

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



**TRABAJO PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADO EN CIENCIAS
QUÍMICAS**
**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD HÍDRICA DE LA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR) DEL
MUNICIPIO DE VIACHA DEL DEPARTAMENTO DE LA
PAZ**

POR: LIZZETH DANIELA CHOQUE CHURA
TUTOR: RIGOBERTO CHOQUE ASPIAZU PhD.
CO-TUTOR: M. Sc. SILVIA EUGENIA RAMOS PAREDES

LA PAZ – BOLIVIA
Junio, 2024

DEDICATORIA

*Con mucho amor y agradecimiento a Dios
y mis padres Paula Chura y Fidel Choque
por el apoyo incondicional y la confianza
durante mi formación profesional sin su
ayuda jamás lo hubiera logrado.*

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Mayor de San Andrés, a la Carrera de Ciencias Químicas la cual fue como mi segunda casa durante mi formación profesional, por darme las herramientas necesarias para salir adelante, a mis docentes por el conocimiento que me impartieron durante mi estancia en la carrera.

Al Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico por darme la oportunidad de realizar mis pasantías en su institución

A la Unidad de Desarrollo Sectorial y Gestión de la Información (UDESIGI) agradecer a los ingenieros por brindarme sus conocimientos en especial Ing. Fernando Cárdenas, Lic. José Luis Lahore, Mariana Villasante y José Luis Raya

A la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Viacha (EMAPAV) a la Ing. Carolina Villamil por brindarme apoyo e información durante la realización de este trabajo.

A mi tutor Rigoberto Choque Aspiazu Ph.D. Por la confianza depositada, el tiempo dedicado en la revisión de mi trabajo y los conocimientos impartidos a mi persona.

A mi Co tutor M. Sc Silvia Eugenia Ramos Paredes gracias por el apoyo, consejos, correcciones, para realizar este trabajo.

A mi tribunal Sulema Valdez Castro Ph.D. quien hizo un espacio para poder revisar mi trabajo, por su paciencia, confianza y conocimiento brindado para la culminación del mismo.

Al Lic. Boris Valdivia por su apoyo en la realización de los análisis en Absorción Atómica y parámetros fisicoquímicos.

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 trabajo.

A mi familia, mis hermanas Nataly, Isamar y Brenda por acompañarme en esta etapa, darme su apoyo y el impulso para ser cada día mejor. A mí querido hermano Junior que, aunque no está aquí en vida sé que estaría orgulloso de mí.

Por otro lado, quiero agradecer a mis amigos que han estado dándome esos ánimos para seguir adelante en toda esta etapa universitaria Silvia Ramos, Jazmín Mamani, Jhoselin Fernández, Fabio Calasich y Yaquelin Suxo gracias por siempre estar ahí incondicionalmente.

TABLA DE CONTENIDO

CAPITULO I

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Planteamiento del Problema	5
1.2	Hipótesis	6
1.3	Objetivos.....	6
1.3.1	Objetivo General	6
1.3.2	Objetivos Específicos	6
1.4	Justificación	6

CAPITULO II

2	MARCO TEÓRICO.....	8
2.1	El agua.....	8
2.2	Aguas residuales	9
2.2.1	Clasificación de aguas residuales.....	9
2.2.2	Composición de las aguas residuales	10
2.2.3	Fuentes de contaminación del agua.....	10
2.2.4	Características de las aguas residuales	13
2.3	Características de las PTARs	17
2.4	Tratamiento de aguas residuales	17
2.4.1	Etapas de tratamiento de las aguas residuales	17
2.4.2	Lagunas de estabilización	19
2.4.3	Eficiencia de remoción de materia contaminante de la PTAR.	20
2.4.4	Caudal de la PTAR.....	20
2.5	Marco normativo.....	21
2.6	Saneamiento básico	22
2.7	Área de estudio	23
2.7.1	Área geográfica de actividad productiva:.....	24
2.7.2	Zonas sujetas a contaminación.....	24
2.8	Métodos instrumentales.....	25
2.8.1	Espectroscopia de absorción atómica.....	25
2.8.1.1	Horno de grafito.....	26

2.8.2	Espectrometría UV-VIS	27
CAPITULO III		
3	METODOLOGÍA	28
3.1	Ubicación geográfica y puntos de muestreo	28
3.2	Sistema de tratamiento	29
3.3	Flujograma del tratamiento de muestras.....	37
3.4	Metodología de campo	38
3.5	Determinación parámetros de campo	38
3.6	Toma de muestras	39
3.7	Análisis en laboratorio.....	39
3.7.1	Determinación de metales y cationes	40
3.7.2	Determinación de aniones mayoritarios	42
CAPITULO IV		
4	RESULTADOS Y DISCUSIONES	45
4.1	Descripción de puntos de muestreo.....	45
4.2	Parámetros fisicoquímicos Gestión 2023	45
4.3	Parámetros fisicoquímicos Gestión 2024	50
4.3.1	Parámetros medidos en laboratorio.....	53
4.3.1.1	Solidos	53
4.3.1.2	Análisis de aniones mayoritarios: Cl ⁻ , SO ₄ ⁻ y NO ₃ ⁻	54
4.3.1.3	Análisis de cationes mayoritarios: Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ y Mg ²⁺	54
4.3.1.4	Análisis de metales Fe, Cd, Pb, Mn, Cu.....	55
4.4	Calidad del efluente.....	58
4.5	Evaluación de la eficiencia de la PTAR de Viacha.....	59
4.6	Comparación de la eficiencia.....	65
CAPITULO V		
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
5.1	Conclusiones	67
5.2	Recomendaciones.....	68

CAPITULO VI

6	BIBLIOGRAFÍA	69
6.1	Anexos	74
6.1.1	Anexo I.	74
6.1.2	Anexo II.	76
6.1.3	Anexo III.	77
6.1.4	Anexo IV.	79
6.1.5	Anexo V.	82
6.1.6	Anexo VI.	85

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Viacha	2
Figura 2. Canal de oxidación en la PTAR de Viacha (Bolivia) en construcción gestión (2017-2019).....	5
Figura 3. Fuentes típicas de contaminación del agua	11
Figura 4. Productos finales que se obtienen por las vías aerobia y anaerobia en un tratamiento biológico.	18
Figura 5. Flujograma planta de tratamiento de aguas residuales.....	20
Figura 6. Macrolocalizacion del área de estudio	23
Figura 7. Ubicación de industrias en el municipio de Viacha.....	24
Figura 8. Componente de un espectrómetro.....	26
Figura 9. Ubicación del municipio de Viacha de la ciudad de La Paz.	28
Figura 10. Ubicación de la PTAR-VIACHA vista satelital.	29
Figura 11. Sistema de tratamiento, cárcamo de bombeo de ingreso a la PTAR-Viacha.	30
Figura 12. Sistema de tratamiento, cárcamo de bombeo, y medida del caudal de ingreso a la PTAR-Viacha.....	31
Figura 13. Sistemas de pretratamiento cámara rompe presión de la PTAR-Viacha.	31
Figura 14. Sistemas de pretratamiento (rejillas) de la PTAR-Viacha.....	32
Figura 15. Sistemas de pretratamiento canales de desviación, desarenador y el canal Parshall en la PTAR-Viacha.....	32
Figura 16. Sistema de tratamiento secundario, zanja de oxidación de la PTAR-Viacha.	33
Figura 17. Sistema de tratamiento secundario, sedimentador de la PTAR-Viacha.....	34
Figura 18. Sistema de tratamiento terciario, caseta de desinfección, cámara de contacto y líneas contiguas de direccionamiento de la PTAR-Viacha.	35
Figura 19. Sistema de tratamiento de lodos activados en lechos de secado de la PTAR-Viacha.	35
Figura 20. Sistema de disposición de lodos PTAR-Viacha.	36
Figura 21. Diagrama de flujo de la metodología de investigación	37
Figura 22. Puntos de muestreo de la PTAR-Viacha	38
Figura 23. Equipo portátil HACH conductivity/TDS Meter.....	40

Figura 24. Espectrómetro de Absorción Atómica – Perkin Elmer Analyst 200. IIQ – UMSA	41
Figura 25. Espectrofotómetro UV/VIS - Spectroquant® Pharo 300, IIQ-UMSA	42
Figura 26. Parámetros evaluados de temperatura, pH y solidos sedimentables.....	48
Figura 27. Parámetros evaluados de turbidez, conductividad eléctrica, solidos totales y solidos disueltos totales.....	48
Figura 28. Parámetros evaluados de solidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y nitrógeno como amoniacó.....	48
Figura 29. Toma de datos in situ, temperatura, pH, conductividad y de muestras de agua del afluente y efluente de la PTAR Viacha.	50
Figura 30. Parámetros evaluados de temperatura y pH	51
Figura 31. Parámetro evaluado conductividad eléctrica.	51
Figura 32. Parámetro evaluado de turbidez.....	51
Figura 33. Comportamiento de los sólidos en muestras de agua.	53
Figura 34. Descripción del comportamiento de cloruros, sulfatos y nitratos en muestras de aguas.	54
Figura 35. Descripción del comportamiento de sodio, potasio, calcio y magnesio.	55
Figura 36. Descripción del comportamiento de hierro	56
Figura 37. Descripción del comportamiento de cadmio	56
Figura 38. Eficiencia para los parámetros de temperatura y pH.	60
Figura 39. Eficiencia de la conductividad.....	60
Figura 40. Eficiencia de la turbidez.....	61
Figura 41. Eficiencia de los solidos.....	61
Figura 42. Eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno.....	62
Figura 43. Eficiencia de remoción de Na ⁺ , K ⁺ , Ca ²⁺ y Mg ²⁺ de la PTAR	63
Figura 44. Eficiencia de remoción de Cl ⁻ , SO ₄ ⁼ y NO ₃ ⁻ de la PTAR	63
Figura 45. Eficiencia de remoción de Fe y Cd.....	64
Figura 46. Eficiencia entre la puesta en marcha 2022 – 2023 – 2024 en desarrollo, de los parámetros fisicoquímicos evaluados de la PTAR-Viacha.	65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Componentes típicos de aguas residuales municipales	10
Tabla 2. Fuentes de contaminación y efectos de metales en la salud.	12
Tabla 3. Características de los puntos de muestreo	45
Tabla 4. Resumen estadístico de los resultados del afluente y efluente Gestión 2023. ...	46
Tabla 5. Resumen estadístico de los resultados in situ del afluente y efluente Gestión 2024.....	50
Tabla 6. Metales que están por debajo del límite de detección, afluente y efluente por EAA a la llama y horno de grafito.....	57
Tabla 7. Eficiencia de los parámetros evaluados en agua cruda y tratada.	59

INDICE DE ANEXOS

Anexo I. Clasificación de los cuerpos de agua la Ley 1333 (Reglamento de Materia de Contaminación Hídrica).....	74
Anexo II. Industrias del municipio de Viacha	76
Anexo III. Procedimiento de muestreo de aguas para análisis fisicoquímicos y metales según Norma Boliviana 496.....	77
Anexo IV. Curvas de calibración	79
Anexo V. Parámetros fisicoquímicos analizados in situ y laboratorio 2024.	82
Anexo VI. Calidad hídrica del efluente de la PTAR – Viacha	85

RESUMEN

El agua es un recurso esencial para los seres vivos, a medida que el tiempo avanza este recurso tan vital se va agotando, por el mal uso y la poca conciencia, contaminando los cuerpos de agua con vertidos incontrolados de aguas residuales, municipales, urbanas e industriales, sabiendo que muchas veces son desechadas sin tratamiento previo afectando las actividades agrícolas.

El presente estudio se realiza en la PTAR de Viacha que presta el servicio a una población aproximada de 80.740 habitantes, tratando un caudal de 19438 m³/día. El sistema de tratamiento está formado por cárcamo de bombeo, desarenador, rejillas finas, tanque aerobio, sedimentador y lodos activados.

Se realizó la evaluación de la calidad hídrica del agua cruda y tratada, además de la clasificación de la descarga líquida del agua tratada y se evaluó la eficiencia de remoción de cada parámetro, realizando la comparación desde la puesta en marcha hasta la fecha. Se seleccionaron dos puntos de muestreo (afluente) y (efluente) de los cuales se tomaron tres muestras para cada punto generando una base de datos de la ubicación geográfica, parámetros fisicoquímicos de campo y parámetros analizados en laboratorio como (hierro, cadmio, plomo, manganeso, cobre, zinc, sodio, potasio, calcio, magnesio, cloruro, nitrato, sulfatos y DQO) de todas las muestras colectadas, toda la información generada fue sistematizada para su correspondiente interpretación.

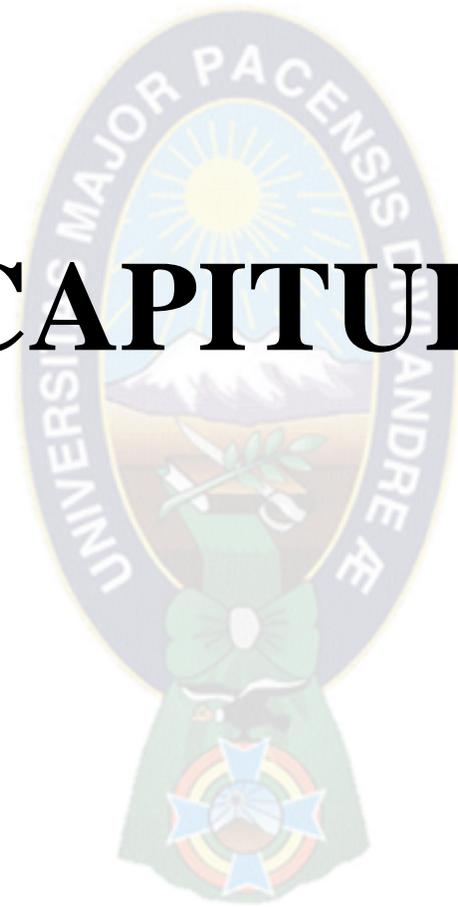
Los resultados muestran que en la evaluación de la calidad hídrica del agua cruda y tratada hay una significativa remoción de sólidos sedimentables, sólidos totales, turbidez, metales, cationes mayoritarios y aniones mayoritarios, también los resultados muestran que el efluente tratado de la PTAR en los parámetros evaluados tiene valores altos de conductividad eléctrica y nitrógeno amoniacal superando los límites máximos permisibles para descargas líquidas establecidos en el RMCH de la Ley N° 1333. La evaluación de la eficiencia de remoción de cada parámetro muestra que la misma ha reducido marcadamente teniendo eficiencias con valores negativos para pH, CE y Turbidez, si bien los demás parámetros muestran cierto valor de eficiencia estos no superan el 50% y la remoción no es significativa.

Palabras Clave: Calidad hídrica, aguas residuales, eficiencia, PTAR, remoción.

LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

AAS	Espectrofotometría de Absorción Atómica
CENTA	Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua
DBO_5	Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días
DQO	Demanda Química de Oxígeno
ENTAR	Estrategia Nacional de Tratamiento de Aguas Residuales
GeoPTAR	Sistema de Información de Plantas de Tratamiento de Agua Residual
LMP	Límites Máximos Permisibles
MMAyA	Ministerio de Medio Ambiente y Agua
MRI	Medidas de Rápido Impacto
NTU	Unidad de Turbidez Nefelométrica
OD	Oxígeno Disuelto
PTAR	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
RMCH	Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica
UDESGI	Unidad de Desarrollo Sectorial y Gestión en la Información
SDT	Sólidos Disueltos Totales
SST	Sólidos Suspendidos Totales
VAPSB	Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico
VRHR	Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego
EMAPAV	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Viacha
Cu	Cobre
Fe	Hierro
Cd	Cadmio
Pb	Plomo
Zn	Zinc
mg/L	miligramo/litro
SSed	Sólidos Sedimentables

CAPITULO I



1 INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los recursos vitales e importantes de la tierra, todos los seres vivos dependemos no solo del consumo local, sino también de su disponibilidad para actividad agrícola e industrial (Cortines, 2014), este recurso es muy necesario y vital ya que hay comunidades que carecen de servicios básicos, los cuales son comunes en zonas rurales en ciudades y en países en vías de desarrollo, tal que sectores a nivel departamental no cuentan con agua potable la necesidad de este recurso es tan elemental que no hay otro que pueda sustituirlo, por lo que sin agua no habría vida en la tierra (Villca, 2022).

Hoy en día, las actividades humanas determinan la calidad del agua, ya que este recurso se utiliza como medio de transporte de desechos y se convierte en un medio de contaminación (Villca, 2022). Uno de los problemas más frecuentes respecto el uso del agua, es el grado de contaminación que presentan, es así que la calidad de agua influye directamente en la salud humana, situación que empieza a incrementar por la demanda creciente que se tiene en la actualidad.

Las principales causas de contaminación del agua, tanto dulce como salada, son los vertidos incontrolados de aguas residuales, municipales, urbanas e industriales, muchas veces son desechadas sin tratamiento previo afectando las actividades agrícolas y pecuarias, ya que contienen una gran cantidad de sustancias contaminantes orgánicas e inorgánicas, impactando de gran manera a la salud humana (Cirelli, 2012). A medida que la demanda de agua aumenta y los desafíos ambientales se intensifican, es imperativo evaluar de manera exhaustiva la eficacia de las plantas de tratamiento de aguas residuales para preservar la calidad del agua.

Las PTAR son responsables de separar la carga orgánica que contienen las aguas residuales, eliminando al máximo la cantidad de residuos y contaminantes antes de ser restituidas al medio ambiente o ser reutilizadas, garantizando que los efluentes tratados cumplan con los estándares de calidad establecidos en el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH), Ley N° 1333 de Medio Ambiente. Bolivia actualmente cuenta al menos con 219 plantas de tratamiento de aguas residuales PTAR (CENTA, 2021), estas plantas desempeñan un papel fundamental en la gestión sostenible de los recursos hídricos.

La PTAR Viacha se sitúa en el Departamento de La Paz, Provincia Ingavi, Municipio Viacha, se encuentra a la salida del alcantarillado proveniente de 4 Distritos, comprendida entre las coordenadas 8159776,460 Norte y 573714.077 Este, a una altura de 3 860 m.s.n.m.

Esta planta está diseñada para realizar el tratamiento de aguas residuales de alcantarillado de los distritos 1, 2, 6 y 7 del municipio de Viacha, mediante el proceso de lodos activados y zanja de Oxidación.

Componentes de la PTAR-Viacha:

- a) **Cámara de entrada.** recibe las aguas provenientes del cárcamo de bombeo de la red de alcantarillado, Cuenta con una rejilla para el control de residuos sólidos, un cesto o canastillo tamizador y limpieza interna manual.
- b) **Pretratamiento.** El Pre-tratamiento tiene como objetivo principal acondicionar las aguas residuales para su posterior tratamiento, donde se eliminan material de grandes dimensiones, materia solida flotante y arena. Básicamente el pretratamiento está formado por reja y desarenador asociado a un medidor Parshall que mide el caudal de ingreso a la zanja de oxidación. En la Figura 1 se presenta la disposición de la planta.



Figura 1. Planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Viacha
Fuente: Google Earth 28/1/2024

- c) **Zanja de oxidación** es una unidad de tratamiento destinada básicamente a la oxigenación del agua residual y remoción de sólidos sedimentables, materia orgánica, nutrientes y coliformes, esto en función de los parámetros de diseño utilizados.
- d) **Tanque de sedimentación secundaria:** Cuenta con un reactor biológico de lodos activados por aireación extendida. Tratamiento por medio de la oxidación de la materia orgánica residual promovida por la biomasa aerobia.

El agua tratada pasa al tanque sedimentador (proceso de separación de la fase sólida y líquida), cuenta con un puente móvil de movimiento radial, que se emplaza desde el eje del tanque hacia el perímetro, cuya función es enviar los lodos precipitados al centro del cono. La PTAR cuenta con una zanja de oxidación, tanque sedimentador y cárcamo de recirculación de lodos.

Línea de lodos: Se cuenta con 2 lechos de secado a cielo abierto los cuales se emplean para la deshidratación natural de los lodos, el cual es producto del tanque sedimentador secundario, en estos lechos se reducirá el contenido de agua de los lodos por evaporación, para luego retirar el lodo inocuo y deshidratado para su disposición final en el relleno sanitario de la población.

Finalmente, las aguas tratadas en la PTAR Viacha desembocan en el río Pallina.

En este sentido, en el presente trabajo se pretende realizar la evaluación de la calidad hídrica de la PTAR del municipio de Viacha, mediante el análisis de parámetros fisicoquímicos, y determinados metales presentes, en el afluente (agua residual que ingresa a la planta de tratamiento), y efluente (agua tratada y vertida después del proceso) obteniendo información valiosa para mejorar la gestión de la PTAR de Viacha, contribuyendo a la preservación de los recursos hídricos y al bienestar de las comunidades.

Antecedentes

La cuenca Katari forma parte del departamento de La Paz, nace del nevado Huayna Potosí, atravesando el municipio de El Alto donde emergen el río Seco y río Seque, ambos ríos desembocan en el río Pallina del municipio de Viacha, a lo largo de su recorrido se

generan una gran variedad de residuos tanto domésticos como industriales, provenientes de la ciudad de El Alto y Viacha. (MMAyA & VRHR, 2021).

Los informes de monitoreo realizados entre 2019-2020 proporcionados por el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) sustentan la presencia de contaminación orgánica y metales en el río Pallina. (MMAyA & VRHR, 2021) Ambos tipos de contaminantes superan los límites permisibles establecidos en la Ley N°1333.

Como se conoce, la actividad minera mueve la economía del país, pero al mismo tiempo es una gran fuente de contaminación de metales pesados para los recursos hídricos, durante más de 70 años de explotación, de acuerdo a un análisis de calidad la represa de Milluni presenta gran contaminación por metales (Peralta, 2017), esta represa forma parte de la cuenca Katari, al que se suma los residuos de industrias y el crecimiento poblacional de los grandes centros urbanos actuales, la ciudad de El Alto y el municipio de Viacha aportan a la contaminación y como consecuencia se tiene embalses y ríos con pésima calidad de agua, esta situación no cumple las normas ambientales establecidas. (Multidisciplinarios, 2019)

Es evidente que la escasez de agua cada vez se hace más notoria y esta situación dificulta tener aguas de buena calidad, la constante demanda de este recurso hídrico se hace más difícil por el empleo para diversos fines ya sea de consumo, riego, minería, industria y otros.

Esta situación nos lleva a que las aguas residuales sean consideradas un recurso muy valioso para que luego de un tratamiento adecuado sea empleado en la agricultura, pues a pesar de los efectos adversos que se pueda tener a mediano y largo plazo, como la degradación de suelos a causa de la salinización y deposición de metales pesados y adoptando los cultivos nutrientes de estas aguas, estos impactos podrían ser minimizados implementando mecanismos multi-barreras que tienen que ver con la implementación de las PTAR, en tal sentido el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) formuló una política para el uso eficiente del agua que propone la implementación de PTARs, con enfoque de reutilización, para disminuir el nivel de contaminación existente, y así contar con agua apta para riego de cultivos, precautelando la salud de productores y consumidores. (MMAyA, 2013)

La evaluación de la calidad hídrica de una PTAR es muy importante y necesaria, para llevarlas a cabo se deben cumplir metodologías y procedimientos aplicando políticas sectoriales, además que deben cumplir las normativas medio ambientales establecidas, las cuales ayudan a la evaluación del desempeño y eficiencia de las PTAR implementadas en Bolivia (MMAyA, 2023). En la Figura 2 se observa la PTAR implementada en el municipio de Viacha.



Figura 2. Canal de oxidación en la PTAR de Viacha (Bolivia) en construcción gestión (2017-2019)

Fuente: (CENTA, 2021)

1.1 Planteamiento del Problema

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR Viacha enfrenta una problemática significativa en cuanto a la contaminación del agua, debido a su ubicación y por albergar una variedad de actividades industriales (Molina, 2014), como ser la producción de cerámicas, ladrillos, cemento, estuco, procesamiento de minerales, además se incluyen productos químicos como metales, compuestos orgánicos e inorgánicos y otros materiales tóxicos (Gutierrez A., 2015), generando así efluentes líquidos contaminados que requieren tratamiento antes de su descarga al medio ambiente.

Si bien estas aguas que descargan las industrias desembocan en el río algunas tienden a ingresar a la red de alcantarillado, como también el agua de lluvia, tal situación compromete la eficacia operativa de la PTAR, sobrecargando los sistemas de tratamiento y dificultando la obtención de un efluente tratado que cumpla con los estándares de calidad ambiental y sanitaria requeridos. Esto puede resultar en la descarga de efluentes

escasamente tratados al medio ambiente receptor, lo que contribuye a la degradación de los recursos hídricos y pone en riesgo la salud y el bienestar de las comunidades cercanas.

Formulación del problema

¿Cuál es la calidad hídrica del agua tratada por la PTAR del municipio de Viacha antes de su descarga al río Pallina?

1.2 Hipótesis

- La calidad hídrica del agua tratada por parte de la Planta de Tratamiento de Agua Residual PTAR del municipio de Viacha es la adecuada.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Evaluar la calidad hídrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR, del Municipio de Viacha del Departamento de La Paz.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar el análisis de parámetros fisicoquímicos (DBO₅, DQO, Sólidos Totales Disueltos, Conductividad, OD, Turbidez, SS, pH, Temperatura) en muestras del afluente y efluente de la PTAR del municipio de Viacha.
- Realizar el análisis de determinados metales, en muestras del afluente y efluente de la PTAR del municipio de Viacha por técnicas Espectroscópicas.
- Comparar los resultados del análisis de aguas, del afluente y efluente para evaluar la calidad hídrica de la PTAR del municipio de Viacha.

1.4 Justificación

El municipio de Viacha del departamento de La Paz, cuenta con una planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), la cual trata un caudal de 19 438,272 m³/día y tiene un sistema de tratamiento que consta de: el Cárcamo de bombeo, desarenador, rejas finas, tanque aerobio, sedimentador y lodos activados. Una vez que las aguas residuales pasan por estos tratamientos, las mismas desembocan al río Pallina. Actualmente este

Municipio cuenta con una población de 80 740 habitantes aproximadamente (Teran G. et al, 2020) este crecimiento urbano asociado con el desarrollo industrial ocasiona un aumento en la presión sobre los recursos hídricos locales, intensificando la contaminación del agua, debido a las descargas de aguas residuales domésticas e industriales, así también la erosión de suelos contaminados en las áreas urbanas circundantes.

El propósito del tratamiento de las aguas residuales radica en la necesidad de preservar la salud de los ecosistemas acuáticos, proteger la calidad del agua y garantizar la disponibilidad sostenible de agua dulce para las generaciones futuras. La acción inmediata en esta área es esencial para mitigar los impactos adversos en la salud humana, la biodiversidad y la seguridad hídrica global. (MMAyA & VRHR, 2021)

El presente trabajo, pretende evaluar la calidad hídrica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Viacha, a través de análisis fisicoquímicos y de laboratorio, determinar la presencia de metales, cationes mayoritarios y aniones mayoritarios en el afluente (aguas residuales sin tratar) y efluente que desemboca en el río Pallina, así mismo se realizará la clasificación al cuerpo de agua y se verificara si los parámetros medidos, cumplen con los límites máximos permisibles (L.M.P.) establecidos en el (RMCH) de la Ley N° 1333.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 El agua

Agua palabra que proviene del latín (Aqua) (Lagarreta, 2012) es el recurso hídrico más abundante, importante e indispensable en la vida cotidiana y uno de los recursos naturales más vitales para el desarrollo y supervivencia de los seres vivos. Este recurso también es de gran importancia en un contexto ambiental, de modo que todas las actividades pueden realizarse productivamente y tener un impacto directo o indirecto en las fuentes que nos abastecen de este vital elemento.

El ser humano necesita agua, pero, irónicamente, aunque el 70% de nuestro planeta está cubierto de agua, sólo el 1% es apto para el consumo humano. Hay una escasez general de recursos hídricos y se debe entender la importancia de la conservación del agua (Guadarrama T. et al, 2016). Es posible que algún día no se disponga de este recurso tan vital, mientras la población humana sigue en crecimiento, la disponibilidad de agua ira disminuyendo.

Agua potable

La calidad del agua para consumo humano tiene implicaciones importantes sobre los aspectos sociales y económicos que actúan indirectamente sobre el desarrollo de un país. Caracterizar la calidad del agua, a través de la definición de los valores máximos aceptables de los parámetros organolépticos, físicoquímicos, microbiológicos y radiológicos es fundamental para proteger la salud pública (MMAyA & VAPSB, 2018).

Entonces, el agua potable es aquella que, por sus características organolépticas, físicoquímicas, radiológicas y microbiológicas, se considera apta para el consumo humano y que cumple con lo establecido en la Norma Bolivia, NB 512, que regula la distribución de agua con el propósito de proteger la salud pública.

Agua estancada

Es aquella 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 nutriente 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, s.f.).

2.2 Aguas residuales

Se denominan aguas residuales cuando han sido contaminadas por diversos usos. 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, ya que contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos, estas aguas son captadas por una red de alcantarillado que lo transporta a un destino adecuado para su tratamiento (Rivera M. et al, 2021)

2.2.1 Clasificación de aguas residuales

Se pueden distinguir tipos de aguas residuales de acuerdo a la naturaleza de su procedencia:

a) Aguas residuales domesticas

Corresponden al agua generada en los hogares producto del lavado de vajillas por ejemplo: cocinar, lavar la ropa, higiene personal, evacuación de residuos metabólicos, trabajo y otras tareas del hogar (MMAyA, 2023).

b) Aguas residuales municipales

Son aguas correspondientes a drenajes pluviales o también aguas de origen industrial las cuales son drenadas después de su procesamiento y son conducidas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014). En ese sentido, las aguas residuales municipales pueden contener una gran diversidad de elementos contaminantes originados en zonas urbanas e industriales (MMAyA, 2023)

c) Aguas residuales industriales

Son aguas resultantes de procesos productivos en general tales como actividades minero metalúrgicas, energéticas (hidroeléctricas), agrícolas e industriales y de otros tipos (OEFA, 2014). Aguas residuales vertidas utilizados para efectuar cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial (Vásquez, 2015).

2.2.2 Composición de las aguas residuales

La composición de las aguas residuales se establece a través de diversas medidas tanto físicas, químicas y biológicas, sobre todo mediante la determinación de su contenido en sólidos, la concentración de materia orgánica (DBO y DQO) y el pH, entre otros componentes que se muestran en la Tabla 1 (García M. et al, 1987).

Tabla 1. Componentes típicos de aguas residuales municipales

TIPO DE CONSTITUYENTE	COMPONENTES
Metálicos	Aluminio (Al), cadmio (Cd), plomo (Pb), cobre (Cu), cromo total (Cr), hierro soluble (Fe II), mercurio (Hg), níquel (Ni), zinc (Zn).
No metálicos	Amonio (NH_4^+), cianuro (CN^-), fosfatos (PO_4^{3-}), nitrógeno amoniacal (NH_3), nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), nitrógeno orgánico total (N), sulfatos (SO_4^-), sulfuros ($S^{=}$).
Orgánicos	DBO, DQO, fenoles, aceites y grasas, solventes aromáticos, solventes halogenados, detergentes o surfactantes.
Microbiológicos	<i>Coliformes termotolerantes</i> , <i>coliformes fecales</i> , parásitos.
Sólidos	Sólidos sedimentables o sedimentarios, sólidos suspendidos, sólidos flotantes.

Fuente: (MMAyA, 2023)

2.2.3 Fuentes de contaminación del agua

Cuando se habla de contaminación se hace referencia a las alteraciones tanto físicas como químicas y/o biológicas, esto puede ser por medios tóxicos o ajenos ya sea por encima o debajo de los límites permisibles, de modo que produzcan daños a la salud del hombre deteriorando su bienestar o su medio ambiente.

Bien se sabe que El Alto es una ciudad industrial, al igual que el municipio de Viacha y generan gran cantidad de aguas contaminadas con metales, tintes, desechos de fábricas textiles, fábrica de cerámicos, cemento, curtiembres y entre otras industrias. Esta contaminación afecta gravemente a los principales ríos de la urbe río Seco, río Seke los cuales desembocan en el río Pallina, finalmente contaminan el Lago Titicaca, donde amenazan a varias especies de peces (Nick Buxton, 2013) en la Figura 3 se presentan algunas de las fuentes de contaminación.



Figura 3. Fuentes típicas de contaminación del agua

Fuente: Elaboración propia

Contaminación de agua por metales

Dado que la contaminación por metales en el medio natural persiste, esto puede afectar a todo tipo de ecosistemas. Llegando a los acuíferos mediante percolación de estos compuestos, que en muchos casos depende de factores como el pH del medio o el propio vertido, así como por escorrentía o incluso extrayendo agua de acuíferos o ríos en humedales o lagunas. La presencia de metales en el agua condiciona su uso, afectando su utilidad como agua de abastecimiento, limitando recursos hídricos fundamentales en regiones semiáridas, explotación pesquera, usos recreativos y de gran manera al equilibrio del ecosistema, causando la muerte y desaparición de algunas especies (Andrade Chunga & Ponce García, 2016).

Al respecto, Caviedes et al. (2015), indican que: los metales pesados, se encuentran en los ecosistemas acuáticos en concentraciones disminuidas, denominándolas elementos traza. Así también algunos metales son necesarios para animales y vegetales, como Mn (Manganeso), Mo (Molibdeno), Cu (Cobre), Co (Cobalto), Zn (Zinc), Sc (Escandio) y V (Vanadio)) por el contrario el Ni (Níquel), Sn (Estaño) y Cr (Cromo) son

necesarios para la vida de los animales, pero cuando se encuentran en concentraciones muy altas en los sistemas ambientales, pueden ser muy tóxicos para la vida biológica. En las Tablas 2. Se puede observar las fuentes de contaminación y afección en la salud.

Tabla 2. Fuentes de contaminación y efectos de metales en la salud.

METALES	FUENTES DE CONTAMINACIÓN	EFEECTO SOBRE LA SALUD
Cd	Plantas electrónicas, las fundiciones, fabricación de aleaciones, pigmentos, plásticos, pilas y procesos de refinación	Irritación grave del estómago, lo que produce vómitos y diarrea, daño en los riñones, en ciertas ocasiones la muerte
Zn	Industrias de galvanizado, y la fabricación de acero y otras aleaciones, baterías y pigmentos	La ingestión de niveles altos de zinc durante varios meses puede producir anemia, daño del páncreas, calambres estomacales, náusea y vómitos y disminución del tipo de colesterol beneficios
Cr	Galvanoplastia, la fabricación de colorantes y pigmentos, la producción de aceros y aleaciones, así como conservantes de la madera	Erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, problemas respiratorios, debilitamiento del sistema inmune, daño en los riñones e hígado, alteración del material genético, e incluso la muerte
Ni	Fabricación de acero, en baterías y en la producción de algunas aleaciones	Dolores de estómago y efectos adversos en la sangre, los riñones, o bronquitis crónica y alteraciones del pulmón
Hg	Minería, producción de cloro soda caustica, policloruro de vinilo, espuma de poliuretano	Daño en los riñones, ataxia, temblores, daños neurosensoriales y cognitivos
Pb	Pilas, baterías, el cemento, la masilla, polvo de algunas industrias, tuberías de plomo o las soldaduras de éstas, elementos de joyería y cosméticos, entre otros (Coriza).	Afecta de forma adversa los sistemas reproductivo, nervioso, gastrointestinal, inmunológico, renal, cardiovascular, del esqueleto y muscular
Mn	Rocas, minerales y materiales fabricados, o el uso de los plaguicidas (Marrugo J, 2011).	Puede dañar el desarrollo del cerebro en bebés y niños pequeños, afectando la memoria, atención o problemas motores.

Fuente: (Tejada et al, 2015).

2.2.4 Características de las aguas residuales

- **Características físicas:** los parámetros son:

Temperatura

Es fundamental para el tratamiento en procesos biológicos, las A.R. provenientes de uso doméstico son aguas que tienen temperaturas entre 10 °C a 21 °C, con un valor medio de 15 °C, aproximadamente. A menor temperatura hay una acción perjudicial sobre las aguas receptoras, pudiendo modificar la flora y fauna de éstas, y dando lugar al crecimiento indeseable de algas, hongos, etc. También, el aumento de temperatura puede contribuir al agotamiento del oxígeno disuelto, ya que la solubilidad del oxígeno disminuye con la temperatura.

Turbidez

Este parámetro es característico del agua ya que pierden su grado de transparencia debido a la cantidad de materias en suspensión típico de las aguas residuales limo, materia orgánica y microorganismos, lo cual ocasiona interferencias al paso de la luz, producto de la presencia de partículas en suspensión, este parámetro se mide en NTU.

Color

Si el agua es de color gris hay mayor presencia de oxígeno y por tal razón presenta carga orgánica o microorganismos, pero cuando estas aguas se tornan de color negro pasan por un proceso anoxico, es decir presencia de oxígeno nulo, lo cual está relacionado a la descomposición de los microorganismos.

Sólidos

Según Beltran, 2020, se clasifican en:

- **Fijos:** Partículas producidas tras el proceso de evaporación y carbonización a 600 °C durante varios minutos.
- **Totales:** partículas restantes que precipitaron y se evaporaron a 130 °C durante 60 min.
- **Volátiles:** diferencia entre fijos y totales y se clasifican en: **Disueltos:** con tamaño inferior a 10⁻³ µm. y **Coloidales:** Se pueden eliminar mediante coagulación- floculación.

- **Suspendidos:** tamaño de diámetro $>1 \mu\text{m}$. Se pueden eliminar por procesos físicos sencillos, tales como decantación.
- **Sedimentables:** están constituidos por la fracción dentro de los sólidos suspendidos que se decantan durante una hora en el fondo de un cilindro de altura específica.

Olor

Es un parámetro muy importante ya que depende de la reducción a sulfuros por parte de microorganismos anaerobios, que por la falta de oxígeno llevan a la mayoría de microorganismos aerobios a la putrefacción generando olores desagradables denominados vapores orgánicos muy parecido al olor de huevos podridos, estos vapores son peligrosos para el ser humano ya que contiene gran cantidad de metano.

- **Características químicas:**

Hay varios parámetros que son particularmente importantes al describir la composición de las aguas residuales.

Materia orgánica

Constituye un tercio de los elementos de las aguas residuales, los compuestos más importantes que se pueden encontrar son:

- Proteínas (40-60 %)
- Carbohidratos (25-50 %)
- Grasas y aceites (10 %)

Observando la estructura, podemos encontrar nitrógeno en compuestos como el amoníaco y las ureas unidas a proteínas, y a la materia orgánica también se le añaden elementos básicos, que pueden ser hierro, azufre y fósforo. Los aminoácidos surgen de la presencia de proteínas y están presentes en las aguas residuales.

Además de los azúcares derivados de los carbohidratos que son característicos de los seres vivos (vegetales), algunos de los azúcares que se encuentran pueden ser lactosa, glucosa, fructosa, sacarosa y galactosa. La grasa también es un componente de las aguas residuales y las bacterias la descomponen lentamente e incluso pueden provocar saponificación, ocasionando gran problema en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días (DBO_5)

Es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica presente en el agua. Esta prueba se realiza de 3 a 5 días (DBO_5) a una temperatura promedio de 20 °C, y las pruebas se realizan en un ambiente de laboratorio equipado con los controles y reactivos necesarios. Esta prueba es muy importante porque a partir de estos resultados se puede determinar el grado de contaminación y oxidación, especialmente en reactores de fábrica, donde un índice (DBO_5) alto indica la falla de los procesos biológicos en el reactor interior de sedimentación.

Demanda química de oxígeno (DQO)

Es la demanda de oxígeno que necesita la materia orgánica para degradarse en un proceso de oxidación, pero en este caso proporcionado por un oxidante químico como el permanganato potásico o el dicromato potásico. Este parámetro no puede ser menor que la DBO_5 , ya que es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica.

pH

El pH, también conocida como potencial de iones de hidrógeno, debe estar en el rango promedio neutro de $pH = 7$ y no ser ácida ni básica. Para poder descomponer la materia orgánica, el pH del agua debe estar entre 5 y 9. De lo contrario, al pasar a diferentes cámaras, puede eliminar los lodos activados y no producir una descomposición suficiente. El control de pH para el tratamiento de aguas es importante ya que en la mayoría de las plantas los tratamientos emplean medio biológico que vincula microorganismos (lodos activos), que deben estar en un rango de pH de 6,5 a 8,5, es necesario realizar un monitoreo continuo al pH para que se pueda mantener la degradación de materia orgánica y por medios biológicos tratar el agua.

Materia inorgánica

Los componentes inorgánicos de mayor interés son:

Gases

La presencia de gases en las aguas residuales es un fenómeno común que resulta de la descomposición de la materia orgánica, produciendo muchas veces metano, así

también otros gases asociados que pueden ser anhídros, incluidos el dióxido de carbono y el ácido sulfúrico, y las aminas, aunque también están presentes nitrógeno y oxígeno.

Oxígeno disuelto

Estos gases son muy importantes porque provocan la oxidación de la materia orgánica, especialmente en sistemas aeróbicos donde los microorganismos descomponen los materiales. La falta de oxígeno mata los microorganismos, provocando la descomposición y la producción de gases como el metano, que se utilizan para producir oxígeno.

Factores que determinan el contenido de oxígeno:

- Temperatura.
- Solubilidad de los gases.
- Propiedades del agua (salinidad, partículas en suspensión, etc.).
- La presión parcial del gas en la atmósfera.

Metales

Algunos metales, como el níquel, manganeso, plomo, cromo, cadmio, zinc, cobre, hierro y mercurio, están presentes en aguas residuales como oligoelementos y de gran importancia para la vida biológica. Cuando se alcanzan concentraciones elevadas, pueden resultar tóxicos inhabilitando el agua para algunos usos y acumulándose en organismos y microorganismos acuáticos.

- Características biológicas

Las aguas residuales se caracterizan por contener una gran cantidad de microorganismos que provienen de una variedad de fuentes locales, y esta diversidad es crítica para la oxidación y degradación de la materia orgánica, incluso en el caso del reciclaje, las aguas domésticas necesitan ciertos microorganismos, más conocidos como lodos activos que son utilizados en procesos biológicos de tratamiento. Algunos microorganismos que conforman la variedad biológica son: Bacterias, virus, algas, protozoos y hongos.

2.3 Características de las PTARs

Una PTAR por lo general debe estar ubicada en áreas periurbanas, donde las aguas residuales pueden recogerse por gravedad o estación de bombeo, y una vez realizado el tratamiento ser devuelto al cuerpo receptor. Una PTAR está conformada por distintos sistemas de tratamiento que permiten que todo tipo de aguas (de uso doméstico, industrial, etc.) puedan volver a ser utilizadas para distintos usos o devueltas al medio natural en condiciones óptimas.

2.4 Tratamiento de aguas residuales

El principal objetivo del tratamiento de aguas residuales se centra en;

“La transformación de aguas residuales sin tratar en aguas residuales tratadas y que cumplan con la normativa vigente permitiendo el vertido a canales receptores con costos medioambientales mínimos” (CENTA, 2021). Implicando combinaciones de procesos físicos, químicos y biológicos para la eliminación de componentes típicos de las aguas residuales.

2.4.1 Etapas de tratamiento de las aguas residuales

a) Tratamiento preliminar

Adecua las aguas residuales para facilitar su tratamiento posterior y evitar obstrucciones, con el objeto de retener sólidos gruesos y finos que son más densos que el agua y la arena. Para ello se utilizan canales con rejillas gruesas y finas, ya que son necesarias para evitar problemas por el paso de arena, basura, y plásticos.

b) Tratamiento primario

También conocido como tratamiento físico-químico, este tratamiento tiene por objeto la separación de sólidos en suspensión (sedimentables y no sedimentables) dentro de este tipo de tratamiento se encuentran Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Sedimentadores Primarios. En esta fase se consigue aproximadamente una remoción de 60% en sólidos suspendidos, la Demanda Bioquímica de Oxígeno es por lo general del 30%. La remoción de estos contaminantes es por sedimentación es una etapa preliminar para el tratamiento secundario.

c) El Tratamiento secundario

En esta etapa se elimina la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble). Se prefieren los métodos biológicos debido a su bajo costo y alta eficiencia de eliminación. Básicamente, los microorganismos convierten los contaminantes de las aguas residuales en material celular, energía metabólica y otros compuestos orgánicos e inorgánicos. El tratamiento secundario convencional se usa principalmente para remoción de DBO_5 soluble y sólidos suspendidos e incluye los procesos biológicos de lodos activados, filtros percoladores, sistemas de lagunas y sedimentación. Tiene como objetivo eliminar la materia orgánica disuelta, empleando microorganismos encargados de transformar la materia orgánica en sustancias más sencillas, tales como dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), nitrógeno amoniacal (NH_3), nitratos (NO_3^-) y agua (H_2O) (Vega, 2012). En la Figura 4 se observa el producto final de degradación de materia orgánica.

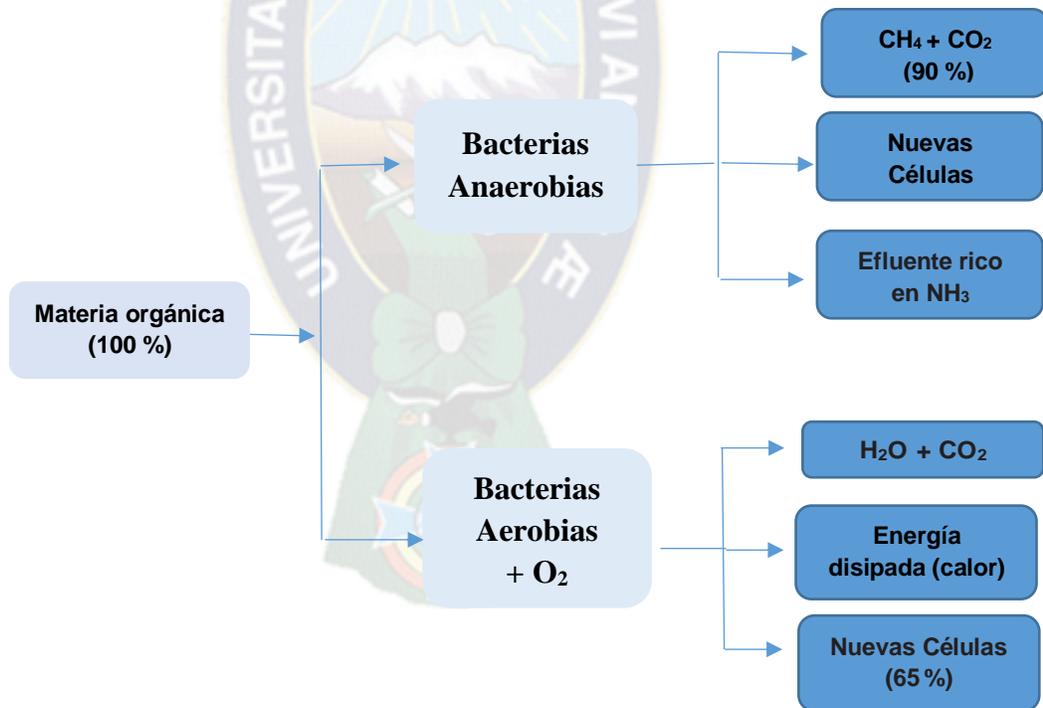


Figura 4. Productos finales que se obtienen por las vías aerobia y anaerobia en un tratamiento biológico.

Fuente: (Adalberto N. et al, 2013)

Se observa que las bacterias aerobias van a obtener como producto principal nuevas células y el agua tratada contendrá muy poca materia disuelta. Por su parte, las

bacterias anaerobias dirigen la mayor parte de su actividad a generar gases (metano y dióxido de carbono) y en menor grado células nuevas

d) El Tratamiento terciario

Se utiliza técnicas anteriores, destinadas a mejorar 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. Eliminar los contaminantes de las A.R. para que puedan reutilizarse de manera segura o devolverse al ciclo del agua con un impacto ambiental mínimo, la tecnología de tratamiento de A.R. ha mejorado de modo que los efluentes se pueden utilizar para fines diversos, siempre que el nivel de tratamiento y la calidad del efluente sean "adecuados para el propósito" (Bokoba et al, 2017).

e) El Tratamiento - disposición del lodo

Los procesos de tratamiento de lodos incluyen fermentación aeróbica, fermentación anaeróbica, compostaje con residuos de celulosa, estabilización con cal, incineración y pasteurización, se designan lugares con condiciones especiales para la disposición final del tratamiento de lodos, así también como el compostaje para mejorar suelos, fertilizantes, todos estos mientras cumplen con la normativa respecto a biosólidos, también conocidos como lodos tratados para el aprovechamiento en suelos.

2.4.2 Lagunas de estabilización

Una laguna de estabilización, se trata de un pozo excavado cubierto con una geomembrana que almacena aguas residuales y utiliza la actividad simbiótica de algas y bacterias para su depuración. Los procesos de auto purificación y estabilización se realizan espontáneamente cuando se hacen descargas en lagunas de oxidación (C.N.A, 2007). Se producen procesos de autodepuración y estabilización de forma espontánea; en esta fase también se desarrollan procesos físicos, químicos y biológicos. Según el Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento (2007). Clasifica las lagunas de estabilización en relación a la reacción biológica dominante. Donde la estabilización se da en dos etapas, el primero aeróbico (metabolización en presencia de oxígeno), el segundo casos anaeróbicos (microorganismos fermentativos), estos causan falta de oxígeno en el sistema. En la Figura 5 se observa el flujograma del Tratamiento de las Aguas Residuales.

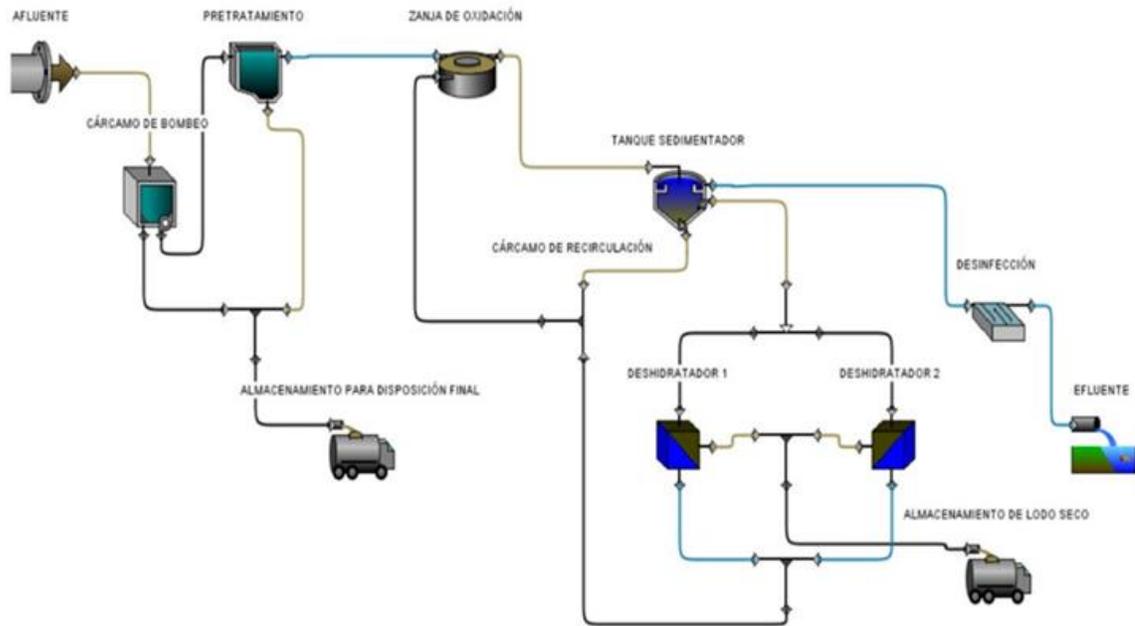


Figura 5. Flujograma planta de tratamiento de aguas residuales

Fuente: Información proporcionada por EMAPAV.

2.4.3 Eficiencia de remoción de materia contaminante de la PTAR.

Según Salazar 2012, la eliminación de contaminantes es el resultado de la variación porcentual de parámetros de control específicos que se pueden monitorear tanto en la entrada como en la salida, caracterizada principalmente por la cantidad removida de contaminante.

La siguiente ecuación se ha utilizado para el cálculo de remoción de contaminantes.

$$E = \frac{C_0 - C}{C_0} \times 100 \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

E: Eficiencia de la PTAR

C: Concentración del efluente (mg/L)

C_0 : Concentración del afluente (mg /L)

2.4.4 Caudal de la PTAR

Medir el caudal es un requisito básico para poder llevar a cabo una operación eficaz de la PTAR. El Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH), en su

artículo 59° menciona: “las aguas residuales tratadas descargadas a un cuerpo receptor, estarán obligatoriamente sujetas como parte del sistema o planta de tratamiento a medición mediante medidores indirectos de caudal, si los caudales promedios diarios son menores a 5 litros por segundo, y con medidores de caudal instantáneo y registradores de los volúmenes acumulados de descarga, si el caudal promedio supera la cifra señalada” (Ley de Medio Ambiente, 27 de Abril de 1992).

Algunos métodos que pueden utilizarse para la determinación del caudal en PTAR son:

- Medición en canales abiertos – Método Volumétrico.
- Método del Canal Parshall.

2.5 Marco normativo

La Ley de Medioambiente, Ley N° 1333 de 27 de abril de 1992 tiene por objeto la protección y conservación del medio ambiente y los recursos naturales, regulando las acciones del hombre con relación a la naturaleza y promoviendo el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población. En lo referente al recurso hídrico se tiene el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH) siendo así una norma conexas que establece:

- La clasificación de los cuerpos de aguas.
- Las atribuciones y competencias de las distintas instituciones.
- Los procedimientos técnico-administrativos de la inspección y vigilancia; los servicios municipales y cooperativas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado; las descargas de efluentes en cuerpos de aguas y de las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado.
- El monitoreo, evaluación, prevención y protección de la calidad hídrica: de la prevención y control de la contaminación y conservación de la calidad hídrica; de los sistemas de tratamiento; de la conservación de las aguas subterráneas; del reúso de aguas; de la contaminación de cuencas de uso sucesivo y de las infracciones y sanciones administrativas (MMAyA, 1992).

En este reglamento se especifican la clasificación de los cuerpos de agua, y descargas líquidas (Anexo I).

2.6 Saneamiento básico

Saneamiento básico se refiere al conjunto de medidas y acciones destinadas a promover condiciones higiénicas adecuadas para la prevención de enfermedades y la protección del medio ambiente, especialmente en lo que respecta al manejo seguro de aguas residuales, la disposición adecuada de residuos sólidos, y el acceso a servicios de agua potable y saneamiento.

El saneamiento básico es fundamental para prevenir enfermedades transmitidas por el agua y mejorar la calidad de vida de las comunidades. Además, contribuye a la protección del medio ambiente al reducir la contaminación del agua, el suelo y el aire. Por lo tanto, es un componente esencial del desarrollo sostenible y una prioridad en las agendas de salud pública a nivel mundial. El sector de saneamiento básico comprende los servicios de: agua potable, alcantarillado sanitario, disposición sanitaria de excretas, residuos sólidos y drenaje pluvial (Ley N° 2029, 1999).

En Bolivia a través del sector de saneamiento básico se debe garantizar a la población la preservación, cobertura, captación y administración del recurso agua, manteniendo la sostenibilidad de los servicios con una condición no lucrativa, gestión responsable y participación territorial a nivel Nacional, Departamental, Regional, Municipal y Naciones y Pueblos Indígenas Originarios y Campesinos incrementando el acceso a los servicios de agua potable y servicios básicos (PSDI & MMAyA, 2017).

Bolivia al año 2015 tiene una cobertura estimada del 57,1% de la población con saneamiento mejorado, un nivel muy inferior al promedio del 90% que tienen los países de América Latina. Entre los años 2001 y 2015 la cobertura creció del 41,4% al 57,1%, lo cual refleja un avance significativo, pero todavía es insuficiente para cumplir con el 64% (PSDI & MMAyA, 2017).

La cobertura media de saneamiento se sitúa en el 62% alcanzando al 69,4% en el área urbana y el 44,8% en el área rural. En lo referente al número de PTAR y el inventario nacional se cuenta con 219 instalaciones, de las cuales sólo 106 (50,7%) presentan un estado “*bueno*” o “*regular*” brindando el servicio a un total de 3 006 656 habitantes (el 26,6% de la población nacional) (CENTA, 2021).

2.7 Área de estudio

Viacha es la Primera Sección de la Provincia Ingavi, del Departamento de La Paz, tiene como capital a la ciudad de Viacha, en ella se encuentra la sede del Gobierno Municipal y forma parte del complejo metropolitano del departamento de La Paz, junto a los municipios de El Alto, La Paz, Achocalla, Palca, Mecapaca y Laja. En la Figura 6 se observa el área de estudio



Figura 6. Macrolocalización del área de estudio

Fuente: proporcionado por EMAPAV

Registra una población de 80 724 habitantes distribuidas y divididas en cinco distritos: cuatro distritos urbanos (1, 2, 6 y 7) y un municipio rural (3).

El municipio presenta dos pisos ecológicos, una zona de relieve montañosa (38%) y una de altiplano y llano (62%). La zona de relieve montañosa presenta serranías y montañas que poseen altitudes de hasta 4 100 m, posee algunos ríos que ocasionan una erosión hídrica en época de lluvias. La zona de las llanuras se encuentra a una altitud que alcanza los 3 930 m, esta región presenta llanuras secas y húmedas.

2.7.1 Área geográfica de actividad productiva:

Las principales actividades económicas de Viacha son la explotación de áridos, la producción de cemento, incluyendo una de las empresas cementeras más importantes del país SOBOCE, se encuentra exactamente en el distrito 2 (Gutierrez). En el distrito 1 y 7 están instaladas fábricas de ladrillos, empresas de cerámica, agrupadas en una organización denominada APSER.

En el sector agrícola, la región se caracteriza por la producción de papa, quinua, tarwi, trigo, cebada y arvejas, entre otros cultivos. Adicionalmente hay actividades ganaderas vacunas, camélidas, ovejas, cerdos, cabras y aves (Molina R. , 2014). En la Figura 7 se muestra algunas industrias establecidas en Viacha y (Anexo II).

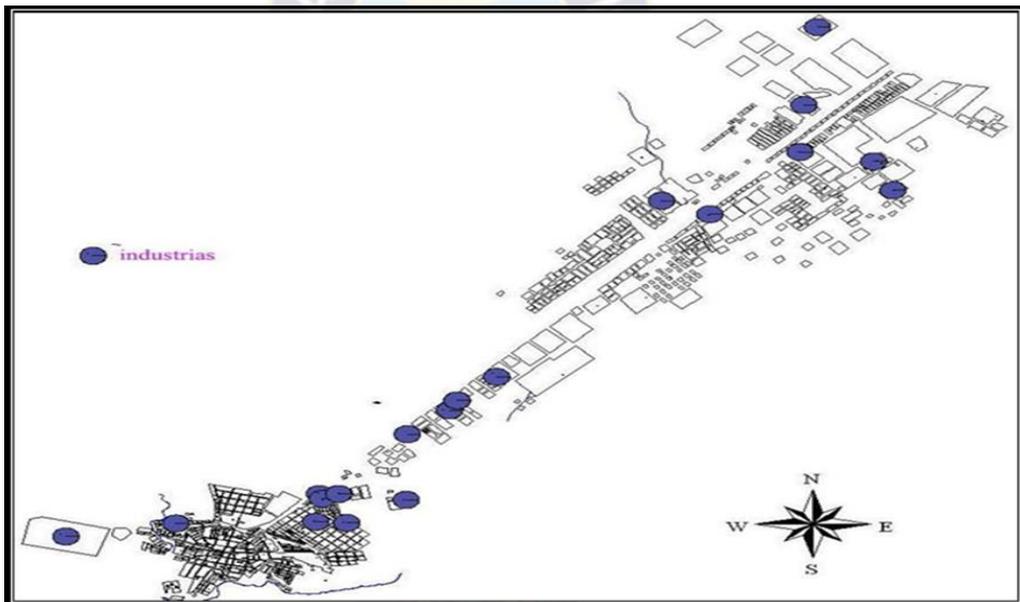


Figura 7. Ubicación de industrias en el municipio de Viacha

Fuente: Plan de Desarrollo Municipal de Viacha 2007 – 2011

2.7.2 Zonas sujetas a contaminación

Las zonas sujetas a contaminación se encuentran vinculadas principalmente a las áreas urbanas, debido a la falta de cobertura total de alcantarillado sanitario, y a los desechos emanados por el municipio de El Alto y Viacha. Asimismo, la contaminación se encuentra alrededor del río Pallina, lugares donde desechan residuos de las fábricas y basura emergente de los hogares. La comunidad más afectada es Mamani por la contaminación hídrica proveniente de los desechos de la zona de Puchucollo se diseminan

a través de las descargas de agua pluviales y los desechos sólidos que se trasladan por las laderas de la carretera, llegando al río Pallina.

La contaminación de las aguas superficiales se produce por intermedio de las aguas de escurrimiento, las cuales, al estar en contacto con depósitos de basura, se cargan de elementos tóxicos generando la propagación de enfermedades, ya sea por roturas de los conductos de aguas servidas, o por la existencia de cementerios o mataderos.

El municipio de Viacha debido a su proximidad con la ciudad de El Alto, recoge todas las aguas domésticas e industriales que provienen de dicha ciudad, generando contaminación por largas distancias, llegando a afectar en particular al municipio. A pesar de la riqueza hídrica, la calidad del agua está altamente deteriorada, debido a su uso intensivo, y al vertido de aguas servidas domésticas e industriales que no son totalmente tratadas, o cuentan con tratamiento insuficiente, y la disposición de basura en los cuerpos de agua, afluentes clandestinos de industrias y de minería. (BID, 2016)

Las aguas residuales tanto domésticas como industriales colectadas por la red de alcantarillado en el municipio de El Alto y Viacha, son conducidas gravitatoriamente mediante un emisario hasta la PTAR Puchukollo y la PTAR del municipio de Viacha las cuales se ubican en la provincia de Los Andes en el municipio de Laja y la provincia Ingavi del municipio de Viacha y descargan los afluentes tratados al río Seco y río Pallina reduciendo la contaminación del Lago Titicaca.

2.8 Métodos instrumentales

Se presentan los métodos instrumentales que se emplean para el desarrollo del presente trabajo.

2.8.1 Espectroscopia de absorción atómica

La absorción atómica es una técnica común para detectar metales en muestras ambientales, aguas, suelos y aire, así como muestras de minerales, alimentos, productos químicos, aleaciones y fundiciones. Este método se basa en que los átomos que están en estado fundamental de un determinado elemento que absorben la energía emitida por una fuente de excitación del mismo elemento, y los átomos del analito presentes en una

solución se transforman a su estado atómico mediante el uso de una llama, horno de grafito o manta calefactora.

Entonces la intensidad de luz absorbida puede ser medida contra una curva de calibración estandarizada, siendo la cantidad de energía absorbida a una longitud de onda característica proporcional a la concentración del elemento en la muestra en un intervalo de concentraciones limitado (Douglas Skoog, 2008).

Los principios fundamentales del método son:

- 1) Los átomos pueden absorber luz.
- 2) La longitud de onda a la que se absorbe la luz es específica para un elemento químico en particular.
- 3) La cantidad de luz absorbida es proporcional a la concentración de átomos absorbentes.

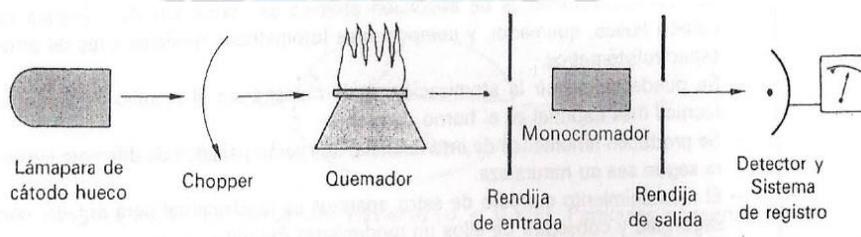


Figura 8. *Componente de un espectrómetro*

Fuente: (Douglas Skoog, 2008).

2.8.1.1 Horno de grafito

Es una de las formas de EAA de mayor sensibilidad (permite detectar concentraciones hasta 1000 veces más inferiores que las detectables con llama), siendo por tanto muy útil en el análisis de ultra-trazas. Otra gran ventaja es que se requiere muy poca cantidad de muestra (pocos microlitros, normalmente).

La energía requerida para la atomización es obtenida aplicando una diferencia de potencial eléctrico a través de un tubo de grafito dentro del cual ha sido colocada la muestra. El tubo está alineado con la luz procedente de la lámpara espectral. Así, el vapor atómico generado por la muestra cuando el horno está encendido, absorberá luz proveniente de la lámpara del elemento a determinar. En este caso, la señal de absorción

es transitoria, en forma de pico, de tal modo que se eleva la concentración y posteriormente cae a medida que los átomos difunden fuera del horno. En el proceso de atomización existen 4 etapas esenciales:

- Secado: permite eliminar el disolvente o diluyente
- Mineralización o Calcinación: destruye la matriz orgánica
- Atomización: consigue llevar los átomos al estado fundamental
- Barrido o limpieza: elimina los restos que puedan quedar en el tubo

2.8.2 Espectrometría UV-VIS

El fundamento de la espectroscopia se debe a la capacidad de las moléculas para absorber radiaciones, entre ellas las radiaciones dentro del espectro UV-visible. Las longitudes de onda de las radiaciones que una molécula puede absorber y la eficiencia con la que se absorben dependen de la estructura atómica y de las condiciones del medio (pH, temperatura, fuerza iónica, constante dieléctrica), por lo que dicha técnica constituye un valioso instrumento para la determinación y caracterización de biomoléculas.

El espectrofotómetro consta por lo general de dos dispositivos; un espectrómetro y un fotómetro, está diseñado para medir la transmitancia o absorbancia. La región UV se define como el rango de longitudes de onda entre 195-400 nm. Puede provocar daño al ojo humano también quemaduras ya que es una región de energía alta. La radiación absorbida por las moléculas desde esta región provoca transiciones electrónicas, es decir, son cambios que se permiten desde su estado basal al estado excitado.

Los principios fundamentales del equipo Spectroquant ® Pharo 300 son:

- i. Las funciones de calibración están almacenadas electrónicamente.
- ii. El valor de medida puede leerse inmediatamente.
- iii. La selección del método perteneciente al sistema analítico Spectroquant ® tiene lugar automáticamente por lectura del código de barras.
- iv. Todos los formatos de cubetas utilizados son reconocidos automáticamente y se selecciona automáticamente el intervalo de medida correcto.
- v. La calidad analítica hace que los valores sean seguros, comprobables y reconocidos.



Figura 10. Ubicación de la PTAR-VIACHA vista satelital.
Fuente: Vista satelital Obtenida Por Google Earth 28/1/2024

Durante el trabajo de pasantía realizado en el Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico (VAPSB) se llegó a conocer varias plantas, entre ellas la planta de tratamiento de agua potable (PTAP), como también plantas de tratamiento de agua residual (PTAR), la que se llegó a conocer más fue la PTAR del municipio de Viacha que fue construida durante 2017 a 2019; la puesta en marcha fue entre el año 2021 al 2022. De acuerdo al Sistema de Información de Plantas de Tratamiento de Agua Residual (GeoPTAR) la PTAR-Viacha fue puesta al servicio de la población el año 2022 hasta la fecha continua en servicio presentando un estado bueno.

3.2 Sistema de tratamiento

Se observó que la PTAR del municipio de Viacha está conformada por diferentes sistemas de tratamiento las cuales se describen a continuación. (GeoPTAR 2023)

Obras de ingreso:

Emisario D1 - D2: Recolecta las aguas residuales correspondientes del distrito 1 y 2 del municipio de Viacha. Este emisario alcanza una longitud total de 4 520,93 m desde la PTAR hasta el cárcamo de bombeo.

Emisario D6 - D7: Recolecta las aguas residuales correspondientes del distrito 6 y 7 del municipio de Viacha. Este colector emisario tiene una longitud total de 1 914,92 m desde la PTAR hasta el frontón municipal

Cárcamo de bombeo de ingreso a la PTAR:

Comprende estructuras, con dispositivos de limpieza, control, regulación e impulsión, Figura 11, conforme se describe a continuación:

1. Cámara de ingreso: cuenta con una rejilla para el control de residuos sólidos, un cesto o canastillo tamizador y limpieza interna manual.



Figura 11. Sistema de tratamiento, cárcamo de bombeo de ingreso a la PTAR-Viacha.

Fuente: Elaboración propia bajo autorización de EMAPAV

2. Cárcamo: cuenta con 4 electrobombas sumergible dentro de este sistema de bombas, el control de niveles se efectúa con interruptores y boyas de nivel con flotador tipo pera, controladas por un tablero de control, Figura12. También se mide el caudal de ingreso a la planta.
3. Línea de impulsión: este sistema une a través de una cámara de válvulas las salidas de las 4 bombas, en una línea de impulsión que transporta y eleva el agua hasta el pretratamiento.



Figura 12. Sistema de tratamiento, cárcamo de bombeo, y medida del caudal de ingreso a la PTAR-Viacha.

Fuente: Elaboración propia bajo autorización de EMAPAV

Pretratamiento

1. Cámara rompe presión: donde llega el caudal transportado por la línea de impulsión y a continuación se cuenta con una compuerta bypass que permite evacuar en alguna situación que así lo requiera, Figura 13.



Figura 13. Sistemas de pretratamiento cámara rompe presión de la PTAR-Viacha.

Fuente: Elaboración propia bajo autorización de EMAPAV

2. Rejillas: con la finalidad de retener los materiales sólidos, los cuales podrían dañar las válvulas, equipos mecánicos u otros durante el paso del agua al siguiente

componente del sistema. Figura 14 estas rejillas deberán ser limpiadas se forma rutinaria o diaria.



Figura 14. Sistemas de pretratamiento (rejillas) de la PTAR-Viacha.

Fuente: Elaboración propia bajo autorización de EMAPAV

3. Canales de desviación: estos canales se encuentran previo al ingreso del desarenador para reducir la capacidad de transporte del flujo en la sección de la rejilla.
4. Desarenador: este sistema cuenta con 2 canales para fines de labores de limpieza de la sedimentación de arenas típicas en las aguas residuales, y un medidor Parshall para medir el caudal del siguiente modulo a la PTAR, Figura 15.



Figura 15. Sistemas de pretratamiento canales de desviación, desarenador y el canal Parshall en la PTAR-Viacha.

Fuente: Elaboración propia bajo autorización de EMAPAV

Tratamiento secundario

Zanja de oxidación: en este reactor biológico se efectúan 2 procesos: el de aireación con 4 cepillos rotatorios de 7,5 HP cada uno para oxigenar las aguas y 2 agitadores de 6,7 HP cada uno sujetos a secciones de puentes transversales para homogenizar el flujo. El funcionamiento de estos equipos tiene tiempos programados para su activación automática a través de tableros de control, Figura 16.



Figura 16. Sistema de tratamiento secundario, zanja de oxidación de la PTAR-Viacha.

Fuente: Elaboración propia, bajo autorización de EMAPAV

Sedimentador secundario: consiste en una infraestructura cilíndrica de hormigón con un cono en la parte inferior para la decantación de sólido. Donde se encuentra un puente móvil de movimiento radial, que se emplaza desde el eje del tanque hacia el perímetro, cuya función es enviar los lodos precipitados al centro del cono. También cuenta con un vertedero lateral derivado a un canal perimetral. Figura 17 el dispositivo del vertedero consta con un baffle anti-espumas que impide el ingreso de este material efervescente hacia el canal perimetral.



Figura 17. Sistema de tratamiento secundario, sedimentador de la PTAR-Viacha.

Fuente: Elaboración propia, bajo autorización por EMAPAV

Cárcamo de bombeo para retorno de lodos: el retorno o la recirculación de lodos tiene como finalidad, incluir nuevamente la zanja de oxidación los lodos decantados en el tanque sedimentador secundario, esta inclusión se efectúa con la finalidad de preservar la cantidad de biomasa que realizan el tratamiento. Con la recirculación, la cantidad de microorganismos en el reactor aumenta al igual que su tiempo de permanencia dentro del sistema.

Tratamiento terciario:

Desinfección

Como se observa en la Figura 18 se realiza la desinfección mediante un dispositivo dosificador de hipoclorito de calcio, constituido por una caseta de desinfección y una cámara de contacto, ambas están con (7) líneas contiguas de direccionamiento y recorrido para el flujo, esta estructura garantiza el tiempo de contacto del hipoclorito de calcio con el agua residual clarificada.



Figura 18. Sistema de tratamiento terciario, caseta de desinfección, cámara de contacto y líneas contiguas de direccionamiento de la PTAR-Viacha.

Fuente: Elaboración propia, bajo autorización de EMAPAV

Descripción de la línea de lodos:

cuenta con 2 lechos de secado a cielo abierto utilizados para la deshidratación natural, descargados del tanque sedimentador secundario, en estas unidades se reducirá el contenido de agua de los lodos y facilitar el manejo y su disposición final, Figura 19.



Figura 19. Sistema de tratamiento de lodos activados en lechos de secado de la PTAR-Viacha.

Fuente: Elaboración propia, bajo autorización de EMAPAV

Descripción de la disposición de lodos:

Los lodos son transferidos a una unidad de lecho de secado, donde permanecen por un tiempo para su deshidratación y estabilización. No se realizó los análisis correspondientes. Sin embargo, una vez que los lodos se secaron o deshidrataron fueron retirados de esta unidad a un área esperando, ser utilizados como fertilizantes, Figura 20.



Figura 20. Sistema de disposición de lodos PTAR-Viacha.
Fuente: Elaboración propia, bajo autorización de EMAPAV

3.3 Flujograma del tratamiento de muestras

En la Figura 21 se tiene un resumen del tratamiento de muestras.

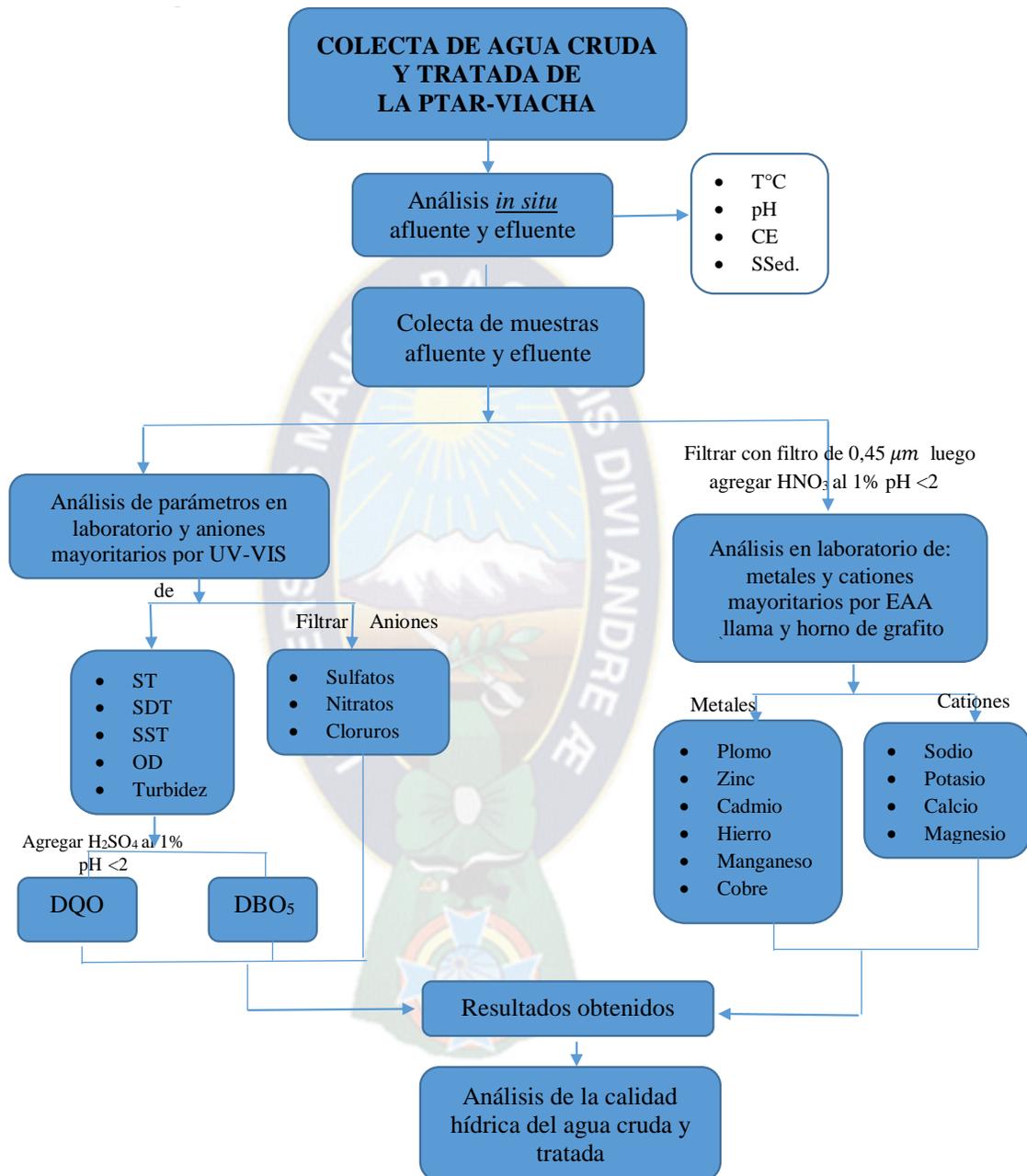


Figura 21. Diagrama de flujo de la metodología de investigación

Fuente: Elaboración propia

3.4 Metodología de campo

Muestreo

De acuerdo a información proporcionada por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado Viacha (EMAPAV) se tiene 6 puntos de muestreo en la planta de tratamiento de agua residual, pero para el desarrollo del trabajo solo se consideraron 2 puntos, los cuales son el afluente y el efluente (ingreso y salida), se tomaron estos puntos principales para conocer como es la calidad hídrica del agua cruda del ingreso (afluente) y cuál es la calidad hídrica del agua tratada (efluente) los puntos tomados en cuenta para el muestreo se observan en la Figura 22.



Figura 22. Puntos de muestreo de la PTAR-Viacha

3.5 Determinación parámetros de campo

Se realizaron las medidas *in situ* (campo) de los siguientes parámetros fisicoquímicos: temperatura (T), potencial de hidrogeno (pH), conductividad eléctrica (CE) y el potencial de oxidación y reducción (ORP), para esto se utilizó un equipo multiparamétrico portátil HANNA el cual se encuentra equipado con electrodos adecuados para cada medida, cabe mencionar que se realizó la calibración antes de iniciar el proceso de muestreo utilizando soluciones estándar de pH y CE esto para que realice una buena lectura y verificar que el equipo esté en condiciones óptimas al momento de realizar las medidas, estos parámetros fueron medidos en los 2 puntos de muestreo

afluente y efluente, se debe mencionar q no se realizó la medida del (OD), porque el multiparamétrico utilizado no realizó esa lectura.

3.6 Toma de muestras

La colecta de muestras de aguas fue realizada de acuerdo a los protocolos normalizados para tomas de muestras de aguas (NB-496) Anexo III y métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (Lenore S. et al, 1992). Previamente se preparan los envases a ser utilizados para cada punto de muestreo, una vez realizada la colecta de la muestra, se procedió a realizar la filtración con un filtro de jeringa de 0,45 μm , la filtración se realizó *in situ*, y se utilizó los primeros 50-100 ml para enjuagar los envases 3 veces, luego se procede a recoger el volumen deseado de filtrado.

Se obtienen 3 envases con muestras: la primera de 500 mL para cationes mayoritarios y metales, añadiendo HNO_3 concentrado para su preservación a un $\text{pH} < 2$, la segunda de 100 mL para la DQO añadiendo H_2SO_4 concentrado. a un $\text{pH} < 2$ para su preservación y la tercera de 250 mL para aniones mayoritarios entre otros análisis sin preservación. Las muestras se conservaron a 4 °C, hasta realizar el análisis en laboratorio.

3.7 Análisis en laboratorio

El análisis de las muestras de (A.R.) se realizaron en el Laboratorio de Servicio del Instituto de Investigaciones Químicas de la Carrera de Ciencias Químicas (IIQ-CQ) para los parámetros fisicoquímicos: solidos totales, solidos disueltos totales, solidos suspendidos totales, turbidez y oxígeno disuelto, también se utilizó el equipo EAA para la determinación de: metales, cationes mayoritarios, aniones mayoritarios y demanda química de oxígeno y la presencia de metales en el Instituto de Ecología, Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA).

Solidos totales (ST)

Para la determinación de sólidos totales se utilizó el Método gravimétrico en unidades de mg/L. para su determinación se siguió el siguiente procedimiento: se pesó las cápsulas de cerámica vacías, posteriormente se midió 50 ml de muestra el cual fue transferido a las cápsulas, se llevó a una estufa a 105 °C hasta peso constante por 24 h, se dejó enfriar en un desecador y se pesó.

El cálculo de los ST se obtiene con la fórmula:

$$ST = \frac{(A - B) \times 1000}{V} \quad \text{Ec. 2}$$

Donde:

A = Peso de la capsula más peso del residuo (mg)

B = Peso de la capsula (mg)

V = Volumen de la muestra (mL)

Solidos disueltos totales (SDT)

Para la determinación de solidos disueltos totales se utilizó el equipo portátil HACH conductivity/TDS Meter, Figura 23 el cual mide en unidades de mg/L



Figura 23. Equipo portátil HACH conductivity/TDS Meter

Fuente: Elaboración propia

Solidos suspendidos (SS)

Para la determinación de solidos suspendidos se utilizó la Ec. 3.

$$SS = ST - SDT \quad \text{Ec. 3}$$

3.7.1 Determinación de metales y cationes

Tanto metales y cationes mayoritarios se analizaron por la técnica de espectroscopia de absorción atómica a la llama, utilizando el equipo (EAA) Espectrómetro de Absorción Atómica – Perkin Elmer AAnalyst 200, Figura 24 los metales y cationes

analizados fueron: hierro, manganeso, cobre, zinc, plomo y cationes mayoritarios: sodio, potasio, calcio y magnesio



Figura 24. Espectrómetro de Absorción Atómica – Perkin Elmer Analyst 200. IIQ – UMSA

Fuente: Elaboración propia

Preparación de estándares para el análisis de metales: hierro, manganeso, cobre, zinc, plomo y cationes mayoritarios: sodio, potasio, calcio y magnesio.

Se preparó una solución madre de concentración 50 ppm de estándar, para cada metal.

A partir de la solución madre, se preparó la curva de calibración (Anexo IV) a distintas concentraciones para:

- Hierro [Fe]: 1 - 5 ppm
- Manganeso [Mn]: 0,5 - 2,5 ppm
- Cobre [Cu]: 0,5 - 2,5 ppm
- Zinc [Zn]: 0,2 - 1 ppm
- Plomo [Pb]: 0,5 - 2,5 ppm

Todas las preparaciones se realizaron en medio ácido (0,1 % HNO_3)

Para el análisis de las muestras de afluente y efluente se realizaron diluciones de las mismas, tomando 5 mL de muestra las cuales fueron aforadas a 50 mL con agua destilada.

Preparación de estándares para: cationes mayoritarios Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}

Se preparó una solución madre de 50 ppm para cada catión.

A partir de la solución madre se preparó la curva de calibración (Anexo IV) a distintas concentraciones para:

- Sodio [Na^+]: 0,2 - 1 ppm
- Potasio [K^+]: 0,4 - 2 ppm
- Calcio [Ca^{2+}]: 1 - 5 ppm
- Magnesio [Mg^{2+}]: 0,1 - 0,5 ppm.

Las preparaciones se realizaron en un medio ácido (0,1 % HNO_3) con sus respectivos inhibidores, para sodio y potasio con cloruro de litio (0,1%); calcio y magnesio con cloruro de estroncio (0,1 %).

3.7.2 Determinación de aniones mayoritarios

Los aniones se analizaron por el Método Espectrofotométrico UV/VIS. Utilizando un espectrofotómetro UV/VIS marca Spectroquant® Pharo 300 con un rango de longitud de onda de 190-1100 nm, Figura 25 los aniones analizados fueron: nitratos y sulfatos.



Figura 25. Espectrofotómetro UV/VIS - Spectroquant® Pharo 300, IIQ-UMSA

Fuente: Elaboración Propia

Preparación de estándares de: NO_3^- , SO_4^{2-} .

Se realizó la preparación de una curva de calibración Anexo IV a partir de soluciones estándares de: nitrato (NO_3^-) y sulfato (SO_4^{2-}) a diferentes concentraciones.

Se preparó las soluciones madre a partir de las distintas sales para cada anión:

- Para (NO₃⁻): se usó la sal de nitrato de sodio al 99 % de pureza
- Para (SO₄⁼): se usó la sal de sulfato de sodio al 99 % de pureza.

A partir de las soluciones madre se prepararon curvas patrón (Anexo IV) de concentraciones para:

- Nitrato (NO₃⁻): 2 - 10 ppm (220 nm).
- Sulfato (SO₄⁼): 0 - 24 ppm (420 nm).

El procedimiento de análisis se detalla a continuación:

Para el análisis de las muestras se filtró alícuotas de 2 mL de aguas de afluente y efluente y se transfirió a matraces aforados de 25 mL, se añadió 0,2 mL de ácido clorhídrico 1 N, y finalmente se realiza la lectura en cubetas de cuarzo previamente lavadas en solución sulfocrómica.

Cloruros Cl⁻

Se determinó Cloruros por titulación utilizando el Método Argentométrico este método consiste en agregar un volumen de la muestra 40 mL en un matraz y colocar indicador (K₂CrO₄), y titular con AgNO₃ (0,01 N), observar el cambio de color que pasa de naranja a rojizo, se anota el volumen gastado y se procede con el cálculo.

Cálculos:

$$Cl^{-} \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(A - B) \times N \times 35,450}{volumen (mL) muestra} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde:

A = mL valoración para la muestra,

B = mL valoración para el blanco

N = normalidad de AgNO₃.

mg NaCl/l = (mg Cl⁻ /l) x 1,65

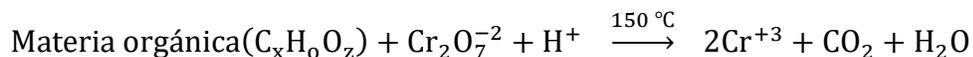
Demanda química de oxígeno (DQO)

Para la demanda química de oxígeno se utilizó el método SM 5220-C (Método titulométrico).

Se midió 2,5 mL de muestra filtrada y se colocó en tubos de 10 mL. Posterior a esto se añadió 1,5 mL de reactivo de dicromato de potasio 0,2085 N (sulfato de mercurio, dicromato de potasio y ácido sulfúrico). Así mismo se agregó 3,5 mL de sulfato de plata

al 1%. Se realizó la digestión durante 2 horas a 150 °C. Al finalizar la digestión se añade 2 gotas de indicador, y se realiza la valoración con sulfato ferroso 0,025 N.

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



Oxígeno disuelto (OD)

Si bien este parámetro es un dato que se debe tomar *in situ* el equipo multiparamétrico no realizaba esta medida en tal sentido se realizó su lectura en laboratorio por titulación con tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), Método de Winkler.

El método consiste en fijar el oxígeno disuelto (OD) en el agua mediante la adición de una sal de manganeso (II), generalmente el sulfato de manganeso (MnSO_4), que deberá estar en medio básico y acompañado de yoduro potásico (KI) dejar precipitar y agitar nuevamente y añadir H_2SO_4 . Agitar fuertemente y realizar la titulación con tiosulfato de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$) al 0,01 N hasta obtener un color amarillo claro, añadir almidón al 10%, y titular nuevamente hasta la desaparición del color existente, anotar el volumen total gastado.

Calculo:

$$N = \frac{\text{Equi.}(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3)}{\text{volumen (L)}}$$

$$PM = \frac{M \text{ soluto}}{PE}$$

$$\text{Equiv Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 = \text{Equiv I}_2 = \text{Equiv O}_2$$

$$\text{Equiv O}_2 = \frac{\text{Masa O}_2}{\text{Masa Equiv O}_2}$$

$$\frac{mg}{L} = \frac{\text{masa}}{\text{volumen (L)}} \quad \text{Ec. 5}$$

4 RESULTADOS Y DISCUSIONES

En esta sección se observa los resultados medidos *in situ*, así como en laboratorio. Se contrastará con límites permisibles para descargas líquidas (Anexo-A2) del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley N°1333, para ver si los parámetros medidos *in situ* y laboratorio no sobrepasan el límite permisible. Finalmente se realizará la interpretación de la calidad hídrica, de todos los datos desde el registro hasta los tratamientos estadístico necesarios.

4.1 Descripción de puntos de muestreo

Las descripciones generales de los puntos de muestreo establecidos para cada punto se muestran en la Tabla 3, señalando el código, lugar del punto de muestreo y las coordenadas UTM. Los puntos de muestreo establecidos fueron afluente y efluente correspondientes a agua cruda y tratada respectivamente.

Tabla 3. Características de los puntos de muestreo

N°	Puntos	Fuente de Agua	Coordenadas UTM		Altura m.s.n.m
			X	Y	
1	Afluente(A)	Alcantarillado Viacha (Distritos 1,2,6 y 7)	8159776,46	573714,08	3 860
2	Efluente(E)	Agua Tratada de la PTAR-Viacha			

4.2 Parámetros fisicoquímicos Gestión 2023

Datos obtenidos gracias a la ENTIDAD EJECUTORA DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA "EMAGUA", Supervisor asignado del Gobierno Autónomo Municipal de Viacha "GAMV", Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado EMAPAV y la Empresa Consultora Ingenieros Técnicos en Consultoría I.T.E.C. SRL que se adjudicó al SERVICIO DE CONSULTORÍA POR PRODUCTO OPERACIÓN Y PUESTA EN MARCHA PROYECTO: CONSTRUCCIÓN PLANTA DE TRATAMIENTODE AGUAS RESIDUALES Y EMISARIOS PTAR- VIACHA.

Se muestra un resumen estadístico de las principales características fisicoquímicas de los parámetros medidos *in situ*, al igual que los realizados en el laboratorio de la PTAR de del municipio de Viacha, del afluente y efluente desde el mes de agosto - octubre.

Tabla 4. Resumen estadístico de los resultados del afluente y efluente Gestión 2023.

Parámetro	Unidad	FUENTE DE MUESTREO				EFLUENTE				Variación $\Delta(A - E)$
		AFLUENTE	Promedio	Máximo	Mínimo	D.E.*	Promedio	Máximo	Mínimo	
T	°C	14,13	16,01	12,54	1,27	16,27	21,81	12,67	2,59	-2,14
pH		7,91	8,48	7,29	0,25	7,92	8,12	7,69	0,13	-0,01
CE	$\mu\text{S/cm}$	1595,10	1923,5	1049	283,29	1680,60	1747	1620	44,03	-85,50
Turbidez	NFU	413,34	696	171	148,68	75,40	116	23,9	32,55	337,94
ST	ppm	1268	1687	804	260,55	712	873	296	139,07	556
SDT	ppm	842,62	1094	621	138,97	840,78	874	811	21,81	1,85
SST	ppm	567,07	1772	236	376,16	57,45	104	8	32,82	509,62
SSed.	ppm	4,50	9	0,5	2,77	0	0	0	0	0
DQO	mg /L (O ₂)	532	992	316	193,25	237,09	324	161	53,59	294,91
DBO₅	mg/L (O ₂)	296,16	372	182	54,61	86,76	134	44	27,70	209,40
N-NH₃	mg /L (NH ₃)	198,02	259,5	132,5	38,87	145,13	186,2	83,75	34,49	52,90

***D.E. Desviación estándar**

Se midieron las principales características fisicoquímicas como pH, conductividad eléctrica y temperatura. En laboratorio se determinaron las concentraciones de los sólidos presentes en las muestras de agua residual: sólidos totales, sólidos disueltos totales, sólidos suspendidos totales y sólidos sedimentables al igual que: demanda bioquímica de oxígeno en cinco días, demanda química de oxígeno y nitrógeno amoniacal (Anexo V).

La temperatura del agua ya sea en un cuerpo natural de agua, en las aguas residuales o en las PTAR es el potencial o grado calorífico que tiene un influencia notable en el comportamiento del metabolismo biológico, así mismo influyen en las reacciones químicas y las velocidades de reacción; donde las variaciones de ésta a lo largo del tiempo, dependen de la época del año, no obstante en las aguas residuales que fluyen por el sistema de alcantarillado, puede ser mayores y sin mucha variación temporal, respecto a las aguas de los cuerpos de aguas superficiales.

El rango de temperatura medida en la zona de estudio (afluente) entre los meses de agosto – octubre varía entre 16,01 a 12,54 °C con una desviación estándar de 1,27 y en el (efluente) entre 21,81 a 12,67 °C con desviación estándar 2,59; se presentó mayor variación de este parámetro como consecuencia del calentamiento de la masa líquida en los tanques de aeración en horas de la mañana, mientras que el agua residual cruda (afluente) mantiene una temperatura más baja y con menor variación, ya que el sistema

de colección (tuberías) de aguas residuales se encuentran enterrados, lo que favorece que la temperatura sea uniformemente más bajas.

El pH es un parámetro muy importante, cuya concentración inadecuada en las aguas residuales genera dificultades para el tratamiento mediante procesos biológicos; así mismo en el efluente de las PTAR, puede influenciar negativamente en la concentración del Ion hidrógeno en las aguas naturales, de allí la importancia de su evaluación. Se observa que los valores de pH tanto del afluente y efluente son ligeramente alcalinos entre 7,91 a 7,92 con una desviación estándar de 0,25 y 0,13 respectivamente, este valor de pH ira variando de acuerdo a la presencia/ausencia de sales en los sistemas de tratamiento de la PTAR.

La conductividad eléctrica del afluente y efluente varía entre valores de 1595,10 a 1680,60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con una desviación estándar de 283,29 y 44,03 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente y presenta una variación de -85,50.

Los sólidos suspendidos totales disueltos, están constituidos por sólidos sedimentables, sólidos y materia orgánica en suspensión o coloidal, que son retenidos en el elemento filtrante; por esta razón los SST o residuos no filtrables de una muestra de agua doméstica o industrial, se define como la porción de sólidos retenidos por un filtro de vidrio, que posteriormente se seca a 103 – 105 °C hasta obtener un peso constante, son principalmente de naturaleza orgánica, contenidos en el agua residuales. La mayor parte de estos derivan de desechos humanos, desperdicios de alimentos, papel, trapos, y células biológicas, que forman una masa de sólidos suspendidos en el agua.

Para una mejor interpretación se representas diagramas de barras a partir de los datos de la Tabla 4 utilizando los promedios de cada parámetro tanto del afluente (A) y efluente (E).

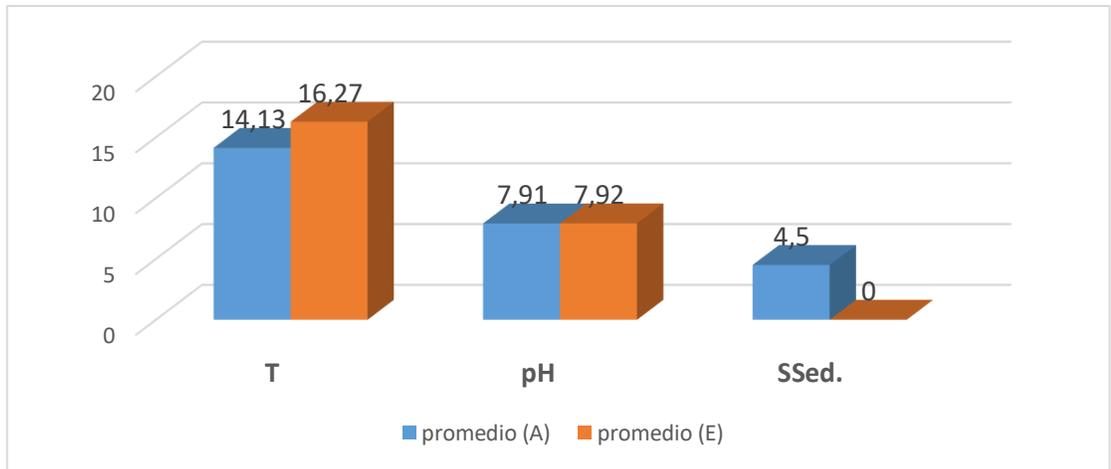


Figura 26. *Parámetros evaluados de temperatura, pH y solidos sedimentables.*

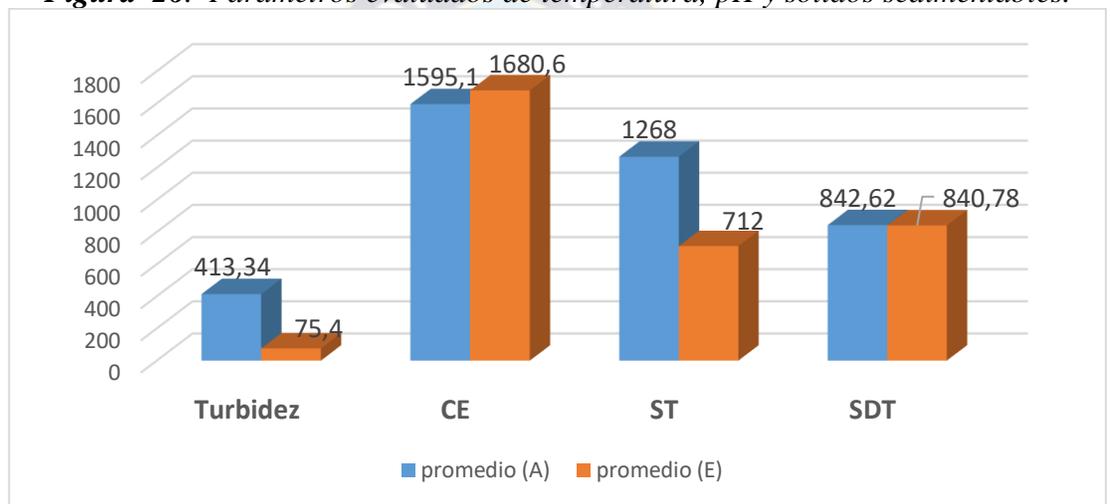


Figura 27. *Parámetros evaluados de turbidez, conductividad eléctrica, solidos totales y solidos disueltos totales.*

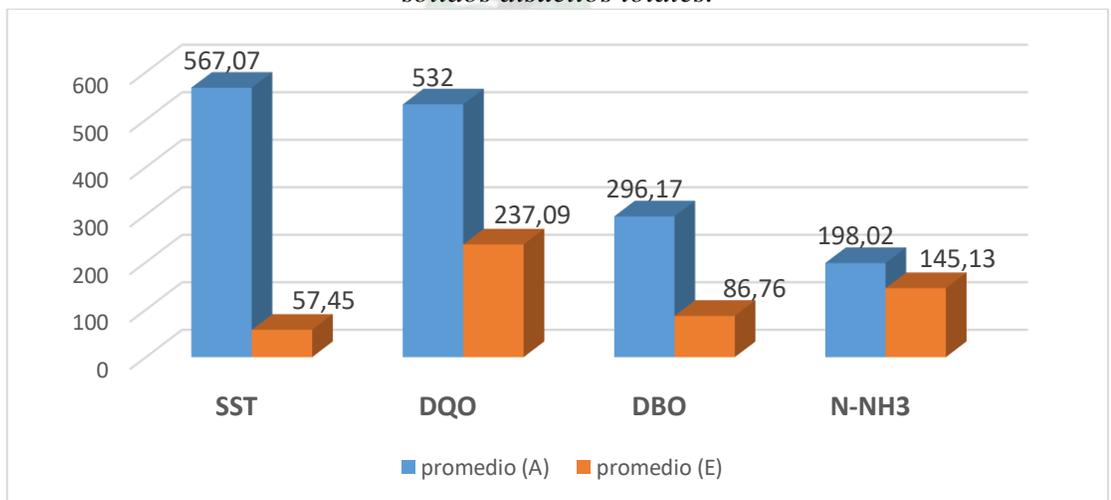


Figura 28. *Parámetros evaluados de solidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno y nitrógeno como amoniaco*

En relación a las características registradas del afluente y efluente Figura 26, 27 y 28, y la Tabla 4, se puede establecer lo siguiente:

- i. La Temperatura del afluente (A) y efluente (E) presenta una gradiente de variación de 2,36 °C, manteniéndose básicamente constante.
- ii. El pH casi permanece constante con valores alrededor de 8,08 con una leve reducción en el efluente debido a la instauración de oxígeno.
- iii. En los sólidos sedimentables, se observa que en el afluente se tiene 6 mg/L presentando una remoción casi del 99%, sin presencia en el efluente.
- iv. El valor de la turbidez de 413,34 NTU en el afluente es elevado se debe a la presencia de solidos disueltos y microorganismos. observando la Figura 27 se puede notar que hay una remoción por encima del 50% presentando así en el efluente un valor de 75,40 NTU.
- v. Los sólidos totales presentan una reducción mayor al 40% ya que ingresa con un valor de 1268 mg/L teniendo una descarga en el efluente de 712 mg/L.
- vi. Observando la Figura 27 que hay un incremento en la conductividad eléctrica (CE), esto debido a la presencia de sales disueltas y el incremento de la Temperatura ocasionando mayor concentración de iones.
- vii. Los sólidos disueltos totales (SDT), presenta una variación de 1,85 es evidente la remoción de los contaminantes, pero no es muy significativo.
- viii. De la Figura 28 se observa que hay una reducción en la demanda química de oxígeno de este parámetro, presentando una concentración elevada al ingreso de 532 mg/L y un efluente de 237,09 mg/L.
- ix. Se observa que los Sólidos Suspendidos Totales (SST) presentan una buena remoción, ya que al ingreso se tiene una concentración de 567,07 mg/L y un efluente final de 57,45 mg/L, la PTAR cumple adecuadamente con la eliminación de este parámetro.
- x. La demanda química de oxígeno presenta una remoción de materia biodegradable del 80%, la misma que estaría asociada a la actividad del oxígeno generado por la zanja de oxigenación el cual cuenta con 4 cepillos y 2 agitadores para dar oxígeno al agua residual.

- xi. El nitrógeno amoniacal (NH_3) presenta una conversión de nitrito (NO_2^-) a nitrato (NO_3^-) siendo evidente su remoción y teniendo un efluente de 145,13 mg/L, si bien se da la remoción de este parámetro el contenido registrado sigue siendo elevado, debiéndose verificar e identificar posibles fuentes.

4.3 Parámetros fisicoquímicos Gestión 2024

En esta sección se presentan los datos del monitoreo realizado en los meses de marzo – abril *in situ*, y resultados de laboratorio. Cabe mencionar que fue en una época de transición (poco lluvioso)



Figura 29. Toma de datos *in situ*, temperatura, pH, conductividad y de muestras de agua del afluente y efluente de la PTAR Viacha.

Tabla 5. Resumen estadístico de los resultados *in situ* del afluente y efluente Gestión 2024.

Parámetro	Unidad	FUENTE DE MUESTREO 2024				EFLUENTE				Variación $\Delta(A - E)$
		Promedio	Máximo	Mínimo	D.E.*	Promedio	Máximo	Mínimo	D.E.*	
T	°C	15,34	15,6	14,9	0,19	16,28	17,5	15,1	0,79	-0,94
pH		8,07	8,19	7,97	0,08	8,16	8,44	7,71	0,26	-0,08
CE	$\mu\text{S/cm}$	1551,43	1850	1065	234,55	1740	1970	1250	216,43	-188,57
SSed.	mg/L	1,93	3,5	0,5	1,02	0	0	0	0	1,93

*D.E. Desviación estándar

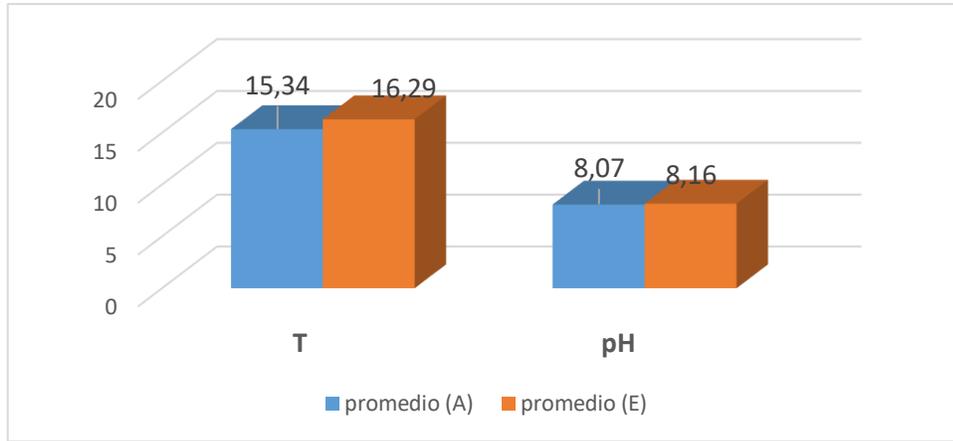


Figura 30. *Parámetros evaluados de temperatura y pH*

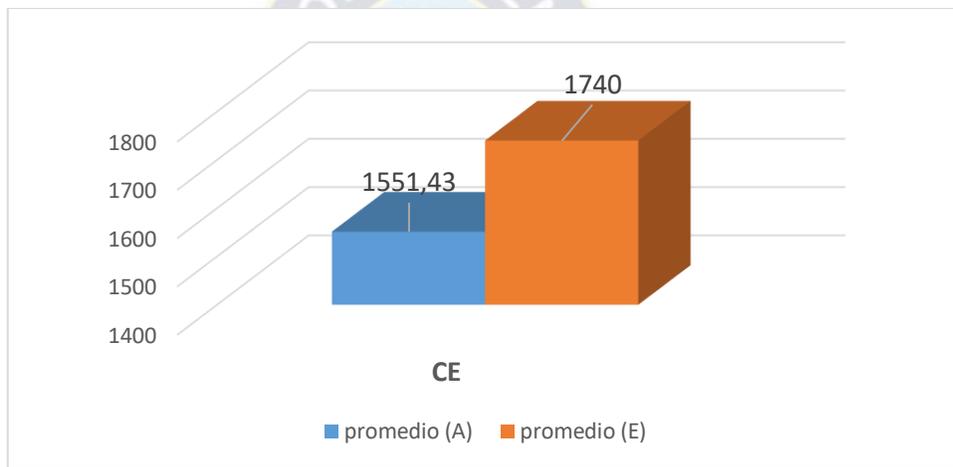


Figura 31. *Parámetro evaluado conductividad eléctrica.*

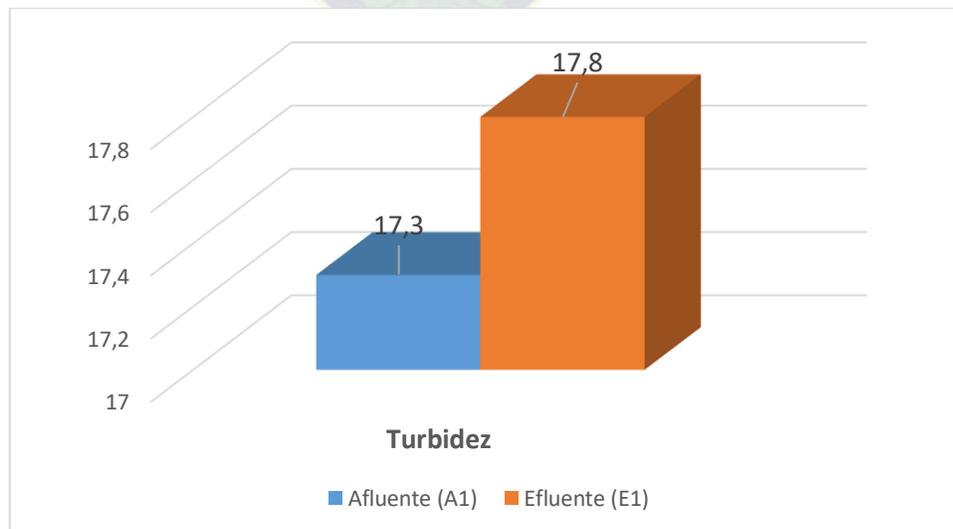


Figura 32. *Parámetro evaluado de turbidez*

La influencia de la temperatura en los tratamientos ya sean de tipo biológico u otros tipos de tratamientos es muy importante, ya que influye en la cantidad de oxígeno que se disuelve en el agua, la velocidad de fotosíntesis de las algas y otras plantas acuáticas, la velocidad metabólica de los organismos aerobios los cuales subsisten en temperaturas mayores a 15 °C. Se puede observar que se tiene valores máximos y mínimos muy variados tanto del afluente y efluente, esto debido a que algunas etapas de tratamiento se encuentran al aire libre y reciben la radiación solar el cual contribuye al tratamiento realizado en la PTAR estos valores están entre 15,6 a 14,9 °C con una desviación estándar de 0,19 y 17,5 a 15,1°C y una desviación estándar de 0,79 respectivamente.

La incidencia del pH en este tipo de aguas donde hay un sistema de tratamiento de aguas residuales y se utilizan procesos biológicos como el tratamiento de lodos activados o la filtración biológica para eliminar la materia orgánica y los nutrientes. El nivel de pH va influir directamente en la actividad y el crecimiento de los microorganismos implicados en estos procesos. Si bien este tipo de agua presentan pH alcalinos un exceso del mismo también indicaría la presencia de sales y esto elevará la concentración de la conductividad eléctrica. Se puede observar que los valores de máximos y mínimos del afluente y efluente son constantes y se encuentran entre 8,19 a 7,97 con desviación estándar de 0,086 y 8,44 a 7,71 con una desviación de 0,26 respectivamente.

La conductividad eléctrica es esencial para los sistemas de aguas residuales, ya que indica cuántas sustancias disueltas (sólidos disueltos totales), productos químicos y minerales contiene el agua. Cuando se tiene valores de pH entre 7 y 8 se da un aumento de conductividad, esto indica que el agua es ligeramente alcalina debido a la presencia de sales y sustancias disueltas las cuales hacen que haya un incremento de la conductividad. Del resumen de la Tabla 5 se puede notar que hay variación entre máximos y mínimos tanto del afluente y efluente siendo estos valores entre 1850 a 1065 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con desviaciones estándar significativas de 234 al igual que en el efluente que va de 1970 a 1250 con de desviación estándar de 216.

La turbidez presenta una concentración al ingreso de la PTAR de 17,3 NTU como se observa en la Figura 32, después de pasar por los sistemas de tratamiento hay un incremento de su concentración de 17,8 NTU, este parámetro puede verse afectado por la

presencia de los sólidos en suspensión, presencia de microorganismos, también por las corrientes de viento que arrastran polvo y contaminan el agua que está siendo tratado y el tiempo de retención en el sedimentador secundario.

4.3.1 Parámetros medidos en laboratorio

En laboratorio se determinaron las concentraciones de los sólidos presentes en las muestras de agua residual: solidos totales, solidos disueltos totales y solidos suspendidos al igual que: demanda bioquímica de oxígeno en cinco días y demanda química de oxígeno y la presencia de aniones; NO_3^- , SO_4^{2-} y Cl^- , cationes como ser: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} , y metales como ser: Fe, Mn, Cu, Zn, Pb y Cd. Datos obtenidos en Laboratorio de Servicio de Análisis del Instituto de Investigaciones Químicas (IIQ), de la Carrera de Ciencias Químicas (CCQ) y Laboratorio de Calidad Ambiental (LCA).

4.3.1.1 Sólidos

La comparación del agua cruda y tratada de los parámetros analizados de: solidos disueltos, solidos totales, solidos suspendidos y solidos sedimentables. se observan en la Figura 33.

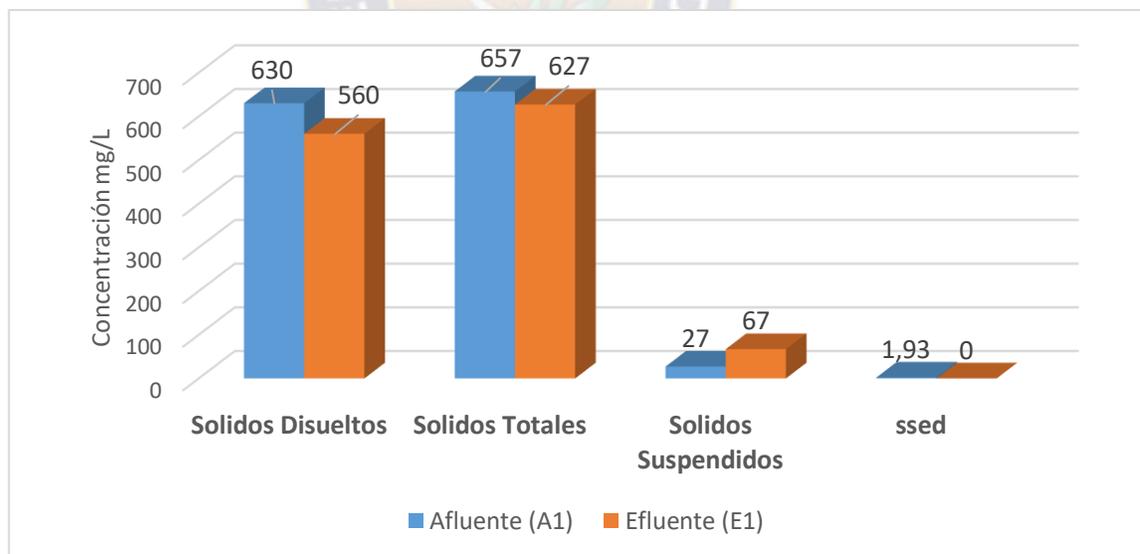


Figura 33. Comportamiento de los sólidos en muestras de agua.

Se observa que hay una gran incidencia de los sólidos presentes en el agua como: solidos totales, solidos suspendidos totales y solidos disueltos totales los cuales llegan a afectar la turbidez, la temperatura del agua, disminuyen los niveles de oxígeno disuelto y elevan la demanda bioquímica de oxígeno. En la Figura 33 se observa la remoción del

afluente en comparación con el efluente, si bien la remoción no es tan significativa, se observa que si hay una reducción en comparación a la concentración de ingreso.

4.3.1.2 Análisis de aniones mayoritarios: Cl^- , SO_4^- y NO_3^-

Los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio en muestras de agua del afluente y efluente de la PTAR Viacha.

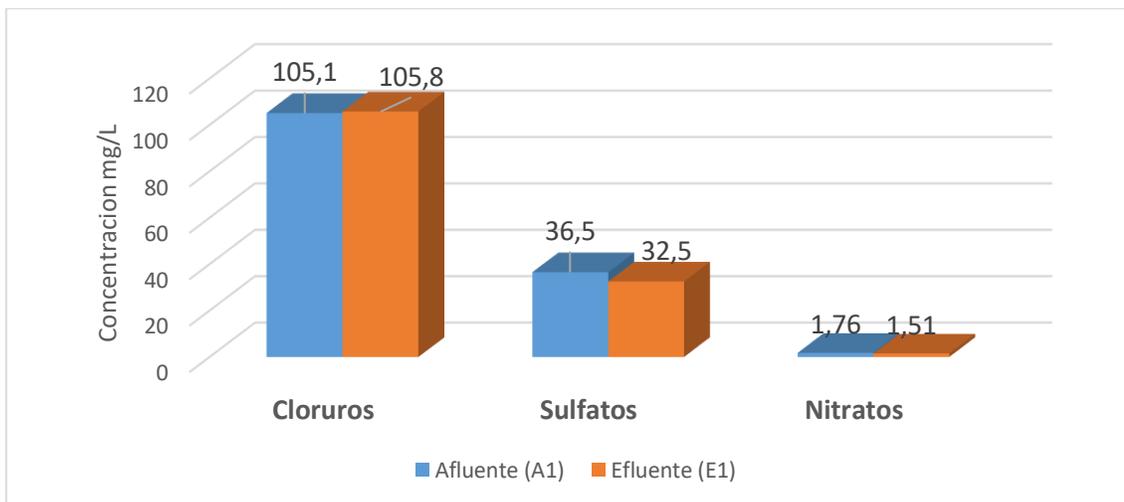


Figura 34. Descripción del comportamiento de cloruros, sulfatos y nitratos en muestras de aguas.

En la Figura 34 se puede observar que hay un incremento de Cl^- en relación del afluente y efluente esto puede ser debido a la presencia de sales en alguna etapa de tratamiento y esto puede corroer el metal y producirse este incremento. También se puede observar la reducción de la concentración de sulfatos comparando el afluente con el efluente, similar situación pasa con los nitratos se tiene una concentración elevada en el afluente y al pasar por los sistemas de tratamiento la concentración disminuye.

4.3.1.3 Análisis de cationes mayoritarios: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+}

Los resultados obtenidos en el análisis de laboratorio de los cationes en muestras de agua del afluente y efluente de la PTAR Viacha.

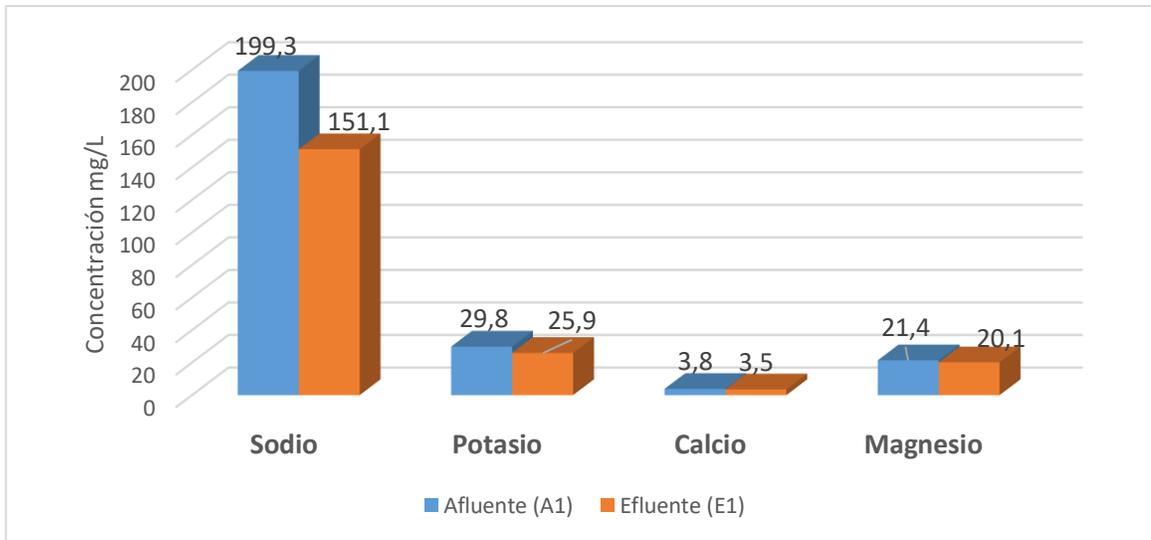


Figura 35. Descripción del comportamiento de sodio, potasio, calcio y magnesio.

En la Figura 35 se observa la presencia de sodio, potasio, calcio y magnesio en el afluente con concentraciones de 199,3 mg/L, 29,8 mg/L, 3,8 mg/L y 21,4 mg/L respectivamente, se puede ver que hay una reducción en comparación con el efluente alcanzando valores de 151,1 mg/L, 25,9 mg/L, 3,5 mg/L y 20,1 mg/L respectivamente. Estos cationes en concentraciones adecuadas no causan daño a la salud, pero si contribuyen al crecimiento de materia orgánica en especial el calcio favoreciendo así a la eutrofización.

4.3.1.4 Análisis de metales Fe, Cd, Pb, Mn, Cu

Hierro

Los resultados obtenidos en el análisis de Hierro en las muestras de aguas del afluente y efluente de la PTAR.

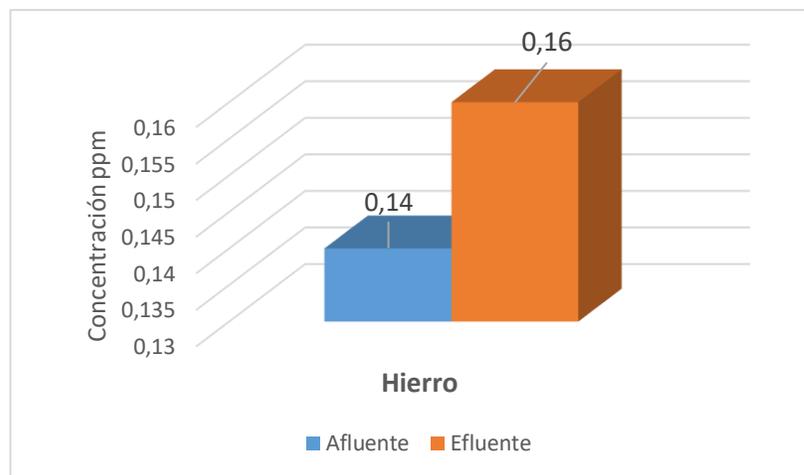


Figura 36. Descripción del comportamiento de hierro

En la Figura 36 se observa la concentración de hierro con valores entre 0,14 ppm en el afluente a 0,16 ppm en el efluente. Se puede ver que la concentración más elevada de hierro se encuentra en el efluente con un valor de 0,16 ppm, este incremento se puede deber en principio al tiempo de retención del agua en el sedimentador

Cadmio

Los resultados obtenidos en el análisis de Cadmio en muestras de aguas del afluente y efluente de la PTAR con L.D.= 0,00020 ppm

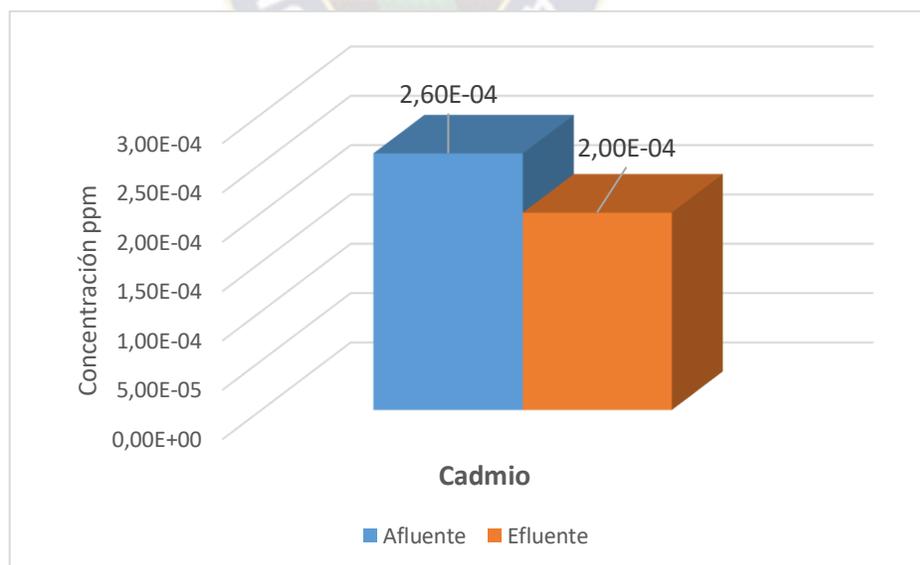


Figura 37. Descripción del comportamiento de cadmio

En la Figura 37 se observa que la concentración de cadmio en el afluente es de 0,00026 ppm y en el efluente menor al límite de detección es 0,00020 ppm. Se puede notar la reducción en la concentración con relación al afluente si bien no es tan significativa se podría mejorar, añadiendo una solución amigable con el medio ambiente, el tiempo de retención en el sedimentador secundario, si bien estas concentraciones son bajas no resultan ser de gran significancia en las muestras analizadas.

Los metales analizados en las muestras de agua tanto del afluente y efluente como ser plomo, manganeso, cobre y zinc están por debajo del límite de detección en tal sentido no se realizó la comparación con el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH) de la Ley N° 1333.

Tabla 6. Metales que están por debajo del límite de detección, afluente y efluente por EAA a la llama y horno de grafito.

	Afluente (A)	Efluente (E)	L.D. ppm
Plomo	<0,0020	<0,0020	0,0020
Manganeso	<0,2	<0,2	0,2
Cobre	<0,3	<0,3	0,3
Zinc	<0,05	<0,05	0,05

Estos metales pueden tener gran incidencia e impacto en un tratamiento de agua residual afectando tanto las etapas de tratamiento como la estructura de la PTAR, en elevadas concentraciones llegan a corroer la estructura del hormigón que caracteriza las plantas, oxidando el metal con el cual está en contacto este tipo de agua, el incremento de estos parámetros afectaría gravemente al tratamiento biológico, una forma de reducir estos metales sería adicionando cal, esto generaría mayor producción de lodos y permitiría la precipitación de los mismos. Si bien en los análisis realizados y observando la Tabla 6 no se observa presencia de estos metales dando resultados por debajo del L.D.

4.4 Calidad del efluente

Se realiza la comparación de la descarga líquida diaria y mensual, tomando en cuenta el Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica de la Ley N° 1333 y la *“Guía técnica para la selección y diseño de líneas de tratamiento de aguas residuales”*

En el Anexo VI se encuentran los parámetros medidos Gestión 2023 del efluente para la comparación con los límites máximos permisibles de descargas líquidas del (RMCH – Anexo A2) de la Ley N°1333 los parámetros cumplen con los requisitos establecidos, a excepción de la CE y (N-NH₃) ya que el reglamento tiene demandas muy elevadas para la descarga de efluentes en especial para este parámetro teniendo descargas diarias de 4 mg/L y mensuales de 2 mg/L de acuerdo a *“Recomendaciones para la elección de plantas de tratamiento de agua residual aptas para Bolivia”* menciona que en Bolivia no existe una PTAR que realice la remoción específica de este parámetro, pero se puede realizar la remoción incorporando a la PTAR bacterias, plantas y algas o realizar una desnitrificación.

Del Anexo VI se tiene los parámetros del efluente Gestión 2024 donde se observa que la CE, SO₄⁼ y OD están por encima del LMP del (RMCH), donde la elevada concentración de conductividad eléctrica puede darse a causa de sales disueltas presentes por incremento de la temperatura y el tiempo de retención en el sedimentador secundario, se recomienda verificar la procedencia de los mismos y realizar monitoreo continuo, con respecto al oxígeno disuelto estos parámetros tienen cierta relación cumpliendo función específica en la zanja de oxidación. Cabe mencionar que debido al tiempo de funcionamiento y la falta de mantenimiento de los equipos específicamente los “cepillos aireadores” dejaron de funcionar y el tratamiento biológico se realizó solo con dos cepillos y los agitadores siendo un sistema semiautomático.

De los análisis realizados se puede notar que el afluente (agua cruda que ingresa a la PTAR) muy aparte de ser agua de procedencia doméstica, hay presencia de metales, aniones, cationes y conductividad eléctrica elevada debido a la presencia de sales minerales típicas de aguas industriales.

Finalmente, el efluente de la PTAR del municipio de Viacha puede ser reusado en el riego de cultivos de tallo bajo (excepto los de consumo) y para el riego de plantas de tallo alto;

por lo que se considera recomendable socializar las ventajas del reusó de aguas residuales tratadas, entre ellas evitar la eutrofización del cuerpo receptor, así como el aprovechamiento de nutrientes y materia orgánica en agricultura.

4.5 Evaluación de la eficiencia de la PTAR de Viacha

Tabla 7. Eficiencia de los parámetros evaluados en agua cruda y tratada.

<i>Parámetros</i>	<i>Afluente</i>	<i>Efluente</i>	<i>Unidad</i>	<i>Eficiencia %</i>
Temperatura	15,6	17,5	°C	-12,17
pH	8,19	8,44		-3,05
Conductividad	1850	1970	mS/cm	-6,48
Solidos Sed.	1,93	0	mg/L
Solidos Disueltos	630	560	mg/L	11,11
Solidos Totales	657	627	mg/L	4,56
Solidos Suspendidos	27	67	mg/L	-148,14
Turbidez	17,3	17,8	NTU	-2,90
Sodio	199,3	151,1	mg/L	24,18
Potasio	29,8	25,9	mg/L	13,09
Calcio	3,8	3,5	mg/L	7,90
Magnesio	21,4	20,1	mg/L	6,07
Cloruros	105,1	105,8	mg/L	-0,66
Sulfatos	36,5	32,5	mg/L	10,96
Nitratos	1,76	1,51	mg/L	14,20
OD	0	2	mg/L
DQO	304	142	mg/L	53,29
DBO	155	75	mg/L	51,61
Hierro	0,14	0,16	mg/L	-14,30
Cadmio	0,00026	< LDD	Mg/L	-----

En la Tabla 7 se tiene los resultados del análisis realizado *in situ* y laboratorio se puede observar valores de la eficiencia de cada parámetro como metales, cationes mayoritarios y aniones mayoritarios al igual que la demanda bioquímica de oxígeno en cinco días, demanda química de oxígeno, oxígeno disuelto y sólidos.

Para realizar el cálculo de la eficiencia que se muestra en la Tabla 7 se utilizó la ecuación 1 para cada parámetro evaluado.

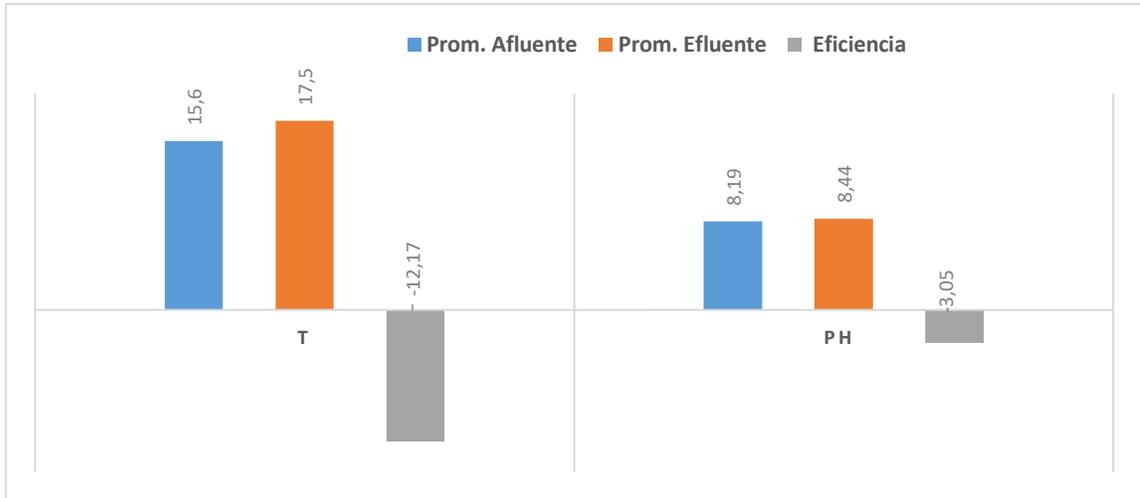


Figura 38. Eficiencia para los parámetros de temperatura y pH.

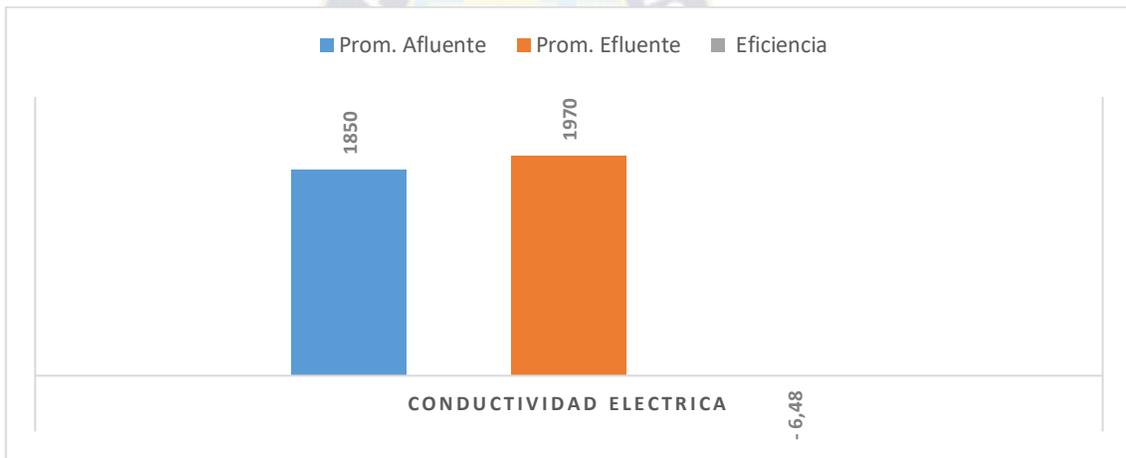


Figura 39. Eficiencia de la conductividad.

Observando la Figura 38 se puede notar que hay un incremento en el efluente (E) en relación al afluente (A) es por tal razón que se obtiene valores negativos de eficiencia de -12,17%, si bien hay un incremento en la temperatura esto es bueno para el tipo de tratamiento que se realiza en la PTAR, este incremento ayuda a la fotosíntesis de algunas algas que pudieran existir en alguna etapa de tratamiento, al igual que la generación de OD.

Si bien hay un incremento en el pH este sigue manteniéndose relativamente alcalino el cual es típico de este tipo de agua. Si se presentaría un incremento representativo sería por la presencia de sales disueltas por efecto del incremento de la

temperatura, en ese sentido, se debe verificar la fuente y realizar el análisis en cada etapa de tratamiento.

La conductividad eléctrica de la Figura 39 muestra un valor negativo de -6,48% de eficiencia lo cual indica que la planta no realiza la remoción de los contaminantes que generan el incremento de este parámetro eficazmente esto puede deberse a la presencia de sales, elevando la concentración de iones disueltos en el agua.

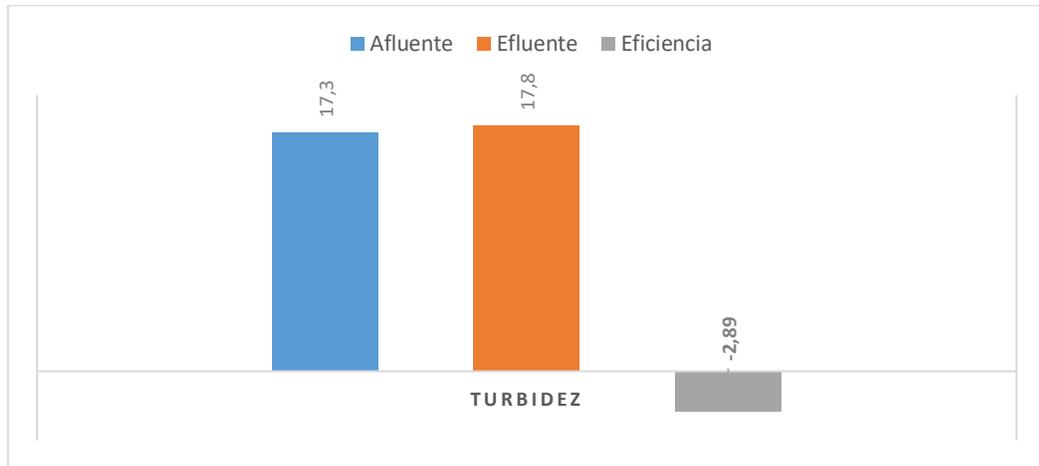


Figura 40. Eficiencia de la turbidez.

En la Figura 40 se observa el valor de la turbidez de -2,89 % de eficiencia lo que muestra que la PTAR no realiza el tratamiento de eliminación de los contaminantes que genera este parámetro eficazmente esto puede deberse a la presencia de partículas en suspensión, proliferación de algas y nutrientes protegiendo a lo microorganismos de la desinfección ocasionando la proliferación de bacterias.

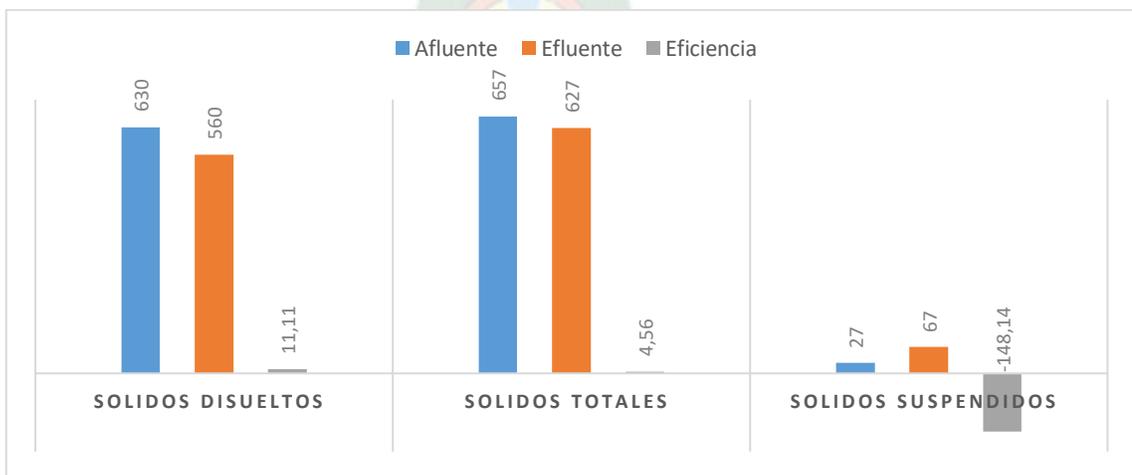


Figura 41. Eficiencia de los solidos

El valor obtenido para sólidos disueltos totales y sólidos totales es de 11,11 % y 4,56% muestra que la PTAR Viacha realiza la remoción de los contaminantes si bien no es tan significativo puede verse perjudicado por el tiempo de retención en el sedimentador y como es una planta que esta al aire libre los vientos arrastran polvo, sólidos y entre otros contaminantes perjudicando su eficiencia. Por otro lado, para los SS se tiene una eficiencia negativa de -148,14 % reflejando que la PTAR no realiza el tratamiento de eliminación del contaminante eficazmente esto puede ser debido, a la presencia de sales disueltas que están en forma de iones elevando así su concentración además que las etapas de tratamiento están al aire libre y el viento arrastra polvo y entre otros contaminantes afectando el tratamiento.

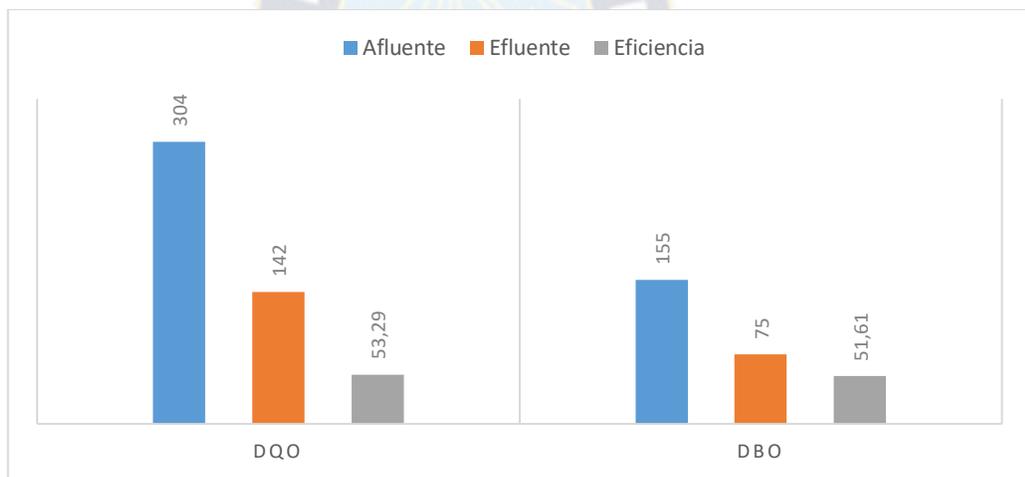


Figura 42. Eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno y la demanda bioquímica de oxígeno.

El 53,29 % de eficiencia de la demanda química de oxígeno muestra que la PTAR cumple con el objetivo de oxidar por medios químicos las sustancias tanto orgánica como inorgánica en su totalidad, este resultado indica que el agua vertida al río no está contaminada y se realiza un tratamiento adecuado, así mismo no supera los límites máximos permitidos. Como se muestra en la Figura 42 la demanda bioquímica de oxígeno en cinco días presenta una eficiencia del 51,61% este valor indica que la oxigenación en la zanja es adecuada, esto indica que la PTAR realiza eficientemente la reducción de la concentración de este parámetro.

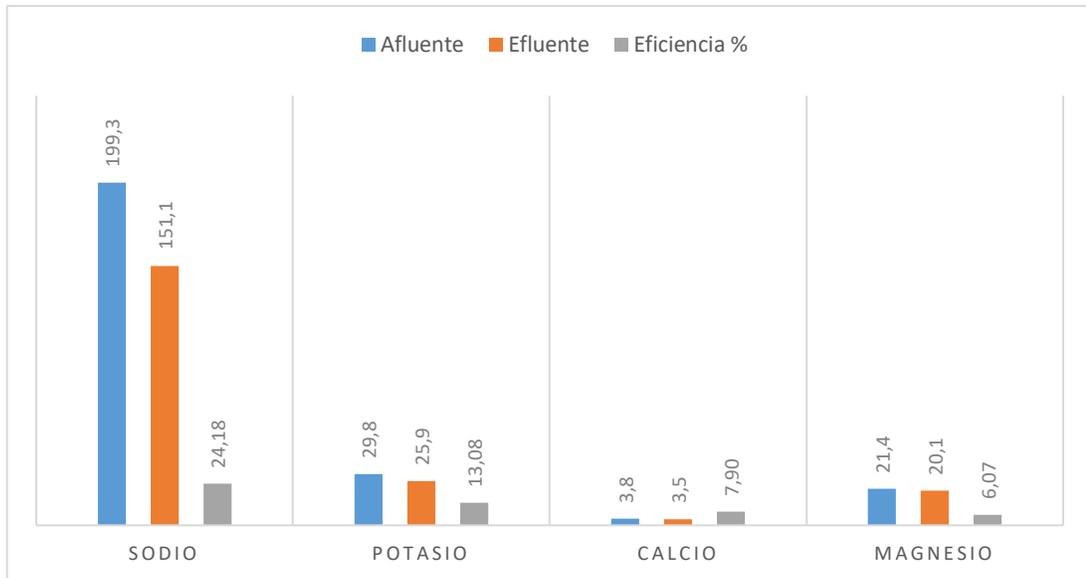


Figura 43. Eficiencia de remoción de Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} de la PTAR

En la Figura 43 vemos la eficiencia de remoción de cada parámetro y no supera el 25% si bien la PTAR cumple reduciendo sus concentraciones estos no reflejan gran significancia ya que es evidente la presencia de la salinidad iónica típica de este tipo de las aguas residuales.

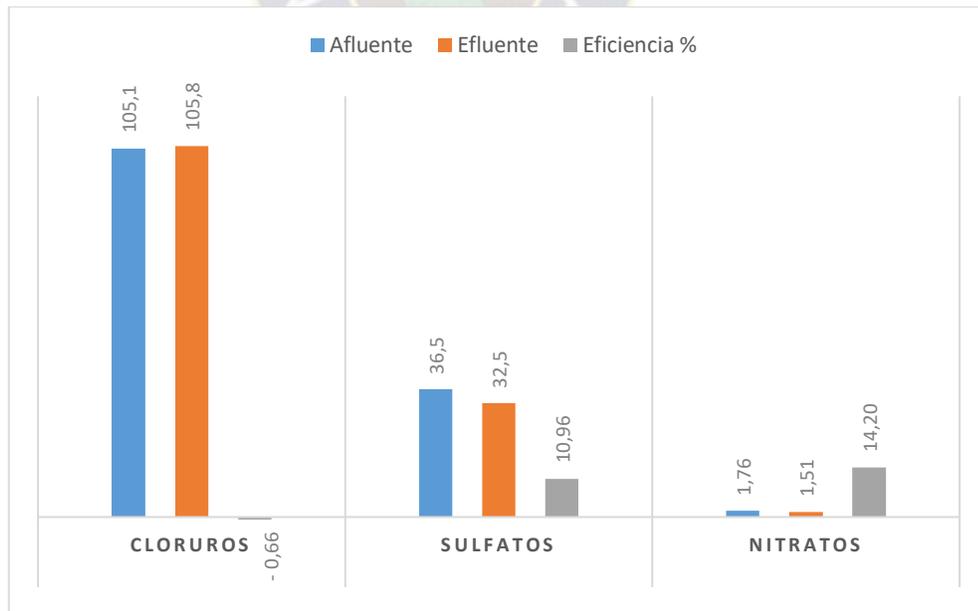


Figura 44. Eficiencia de remoción de Cl^- , $SO_4^{=}$ y NO_3^- de la PTAR

En la Figura 44 Se realiza la comparación entre los resultados del afluente y efluente, así mismo también vemos la eficiencia de cada parámetro evaluado en la PTAR, se puede notar que al evaluar los cloruros (Cl^-) se tiene una eficiencia negativa de -0,66 %, hay incremento en el efluente se puede decir que la PTAR no realiza la remoción del contaminante que genera este parámetro eficazmente, por otro lado para los sulfatos y nitratos se tiene eficiencias de 10,96% y 14,20% eficiencia de remoción, la PTAR si reduce la concentración de los contaminantes.

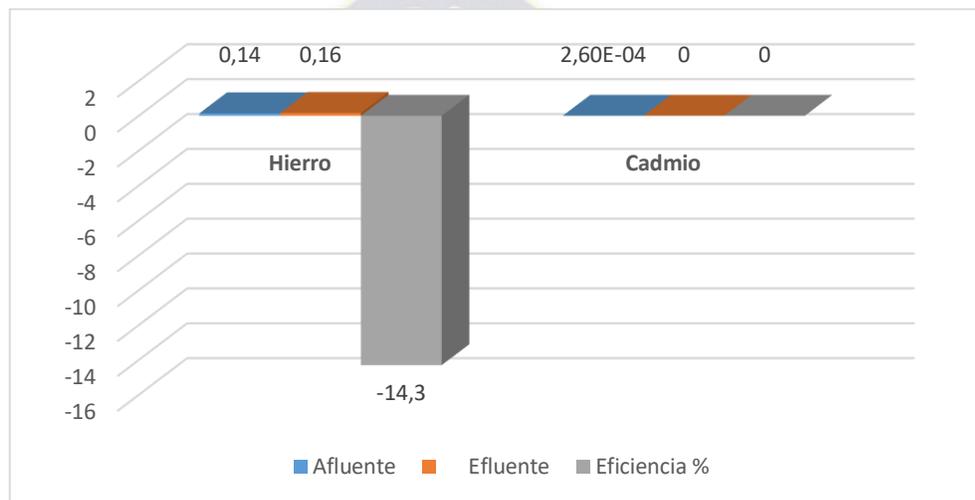


Figura 45. Eficiencia de remoción de Fe y Cd.

De la Figura 45 se puede observar que hay un incremento de hierro en el efluente esto puede ser debido al contacto con el metal del sedimentador secundario el cual puede haberse oxidado por el tiempo de funcionamiento de la planta.

En el desarrollo del presente trabajo se observó que la presencia de metales es muy baja, tanto en el afluente como el efluente de la PTAR Viacha, si bien no hay gran presencia de los mismos, no se le debe restar importancia, ya que la presencia de metales puede dañar severamente la PTAR e influir en los sistemas de tratamiento que se realiza.

4.6 Comparación de la eficiencia

Se realizó la comparación de la eficiencia realizando un promedio de los parámetros evaluados de la puesta en marcha 2022 – 2023 – y 2024 en desarrollo (estado de transición) Anexo V.

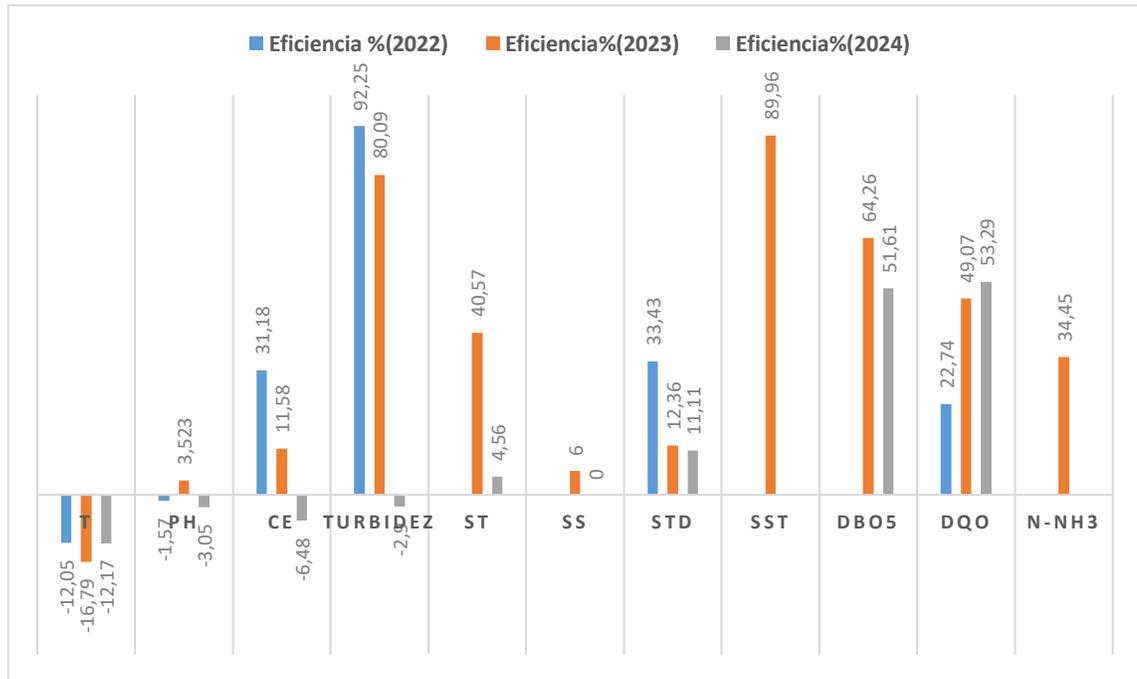


Figura 46. Eficiencia entre la puesta en marcha 2022 – 2023 – 2024 en desarrollo, de los parámetros fisicoquímicos evaluados de la PTAR-Viacha.

En la Figura 46 se observa la eficiencia desde la puesta en marcha hasta la época actual, donde se puede ver como la eficiencia va reduciendo notablemente al transcurrir los años, debido al tiempo de operación; la planta de tratamiento de agua residual realiza el tratamiento de forma semiautomática donde requiere de mantenimiento y limpieza manual de las maquinarias y equipos que se utilizan en los sistemas de tratamientos.

Desde la puesta en marcha se han realizado monitoreo ambiental mostrando así la eficiencia en los años evaluados; observando que tanto el pH y conductividad eléctrica no tiene una buena eficiencia mostrando valores negativos

Por otro lado, se observa que hay un incremento de la eficiencia y similitud en remoción de los contaminantes como la turbidez, solidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno en cinco días.

Comparando la eficiencia de los años anteriores a la actualidad, se observa que la eficiencia ha reducido notablemente mostrando valores negativos, si bien algunos parámetros de la planta de tratamiento de agua residual estarían cumpliendo con la remoción de contaminantes, la eficiencia es mucho menor al 50% esto puede ser debido al tiempo de funcionamiento y la falta de mantenimiento de los equipos debido a la etapa de transición que atraviesa la planta en esta gestión, el tipo de agua que ingresa puede afectando gravemente la eficiencia de la planta.



5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Durante el estudio realizado en la PTAR de Viacha del Departamento de La Paz, se ha identificado dos puntos principales de muestreo. Dado que los resultados del trabajo de campo y laboratorio del agua cruda y tratada fueron optimas sin ningún percance para su análisis y evaluación. De esta forma se tienen las siguientes conclusiones.

- Los parámetros fisicoquímicos evaluados con respecto al agua cruda y tratada no presentan una significativa remoción de la concentración de los contaminantes teniendo variaciones muy pequeñas y en algunos casos negativa, mostrando así un incremento en la concentración de algunos parámetros como ser OD, CE y N-NH₃
- La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del municipio de Viacha no remueve nutrientes (N_{total}, N-NH₃ y P_{total}) a niveles ecológicamente aceptables, por esta razón, constituyen la principal causa de eutrofización del cuerpo receptor, en este caso la bahía de Koana del lago Titicaca siendo este un aspecto importante a ser tomado en cuenta en el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Se analizaron seis metales, cuyas concentraciones están por debajo del límite de detección y no superan los valores de LMP, en tal sentido los porcentajes de remoción en la concentración de los metales se dieron en la mayoría de ellos, exceptuando en hierro en el que presento un incremento en su concentración sin embargo no supera los LMP, en este sentido se debe realizar el control de estos metales ya que en concentraciones elevadas pueden dañar gravemente la PTAR no solo la infraestructura si no también los sistemas de tratamiento de la planta.
- La calidad del efluente final de la PTAR cumple con los LMP en términos de remoción de sólidos, metales, cationes mayoritarios y aniones mayoritarios con porcentajes de remoción menores al 50% que es un porcentaje bajo para una PTAR, mientras que para el N-NH₃, OD y CE presentan incremento en el efluente final pudiendo afectar la calidad del cuerpo receptor.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda cumplir con en el manual de operaciones y mantenimiento, más aún los tiempos de retención hidráulica para cada una de las unidades de la PTAR.
- En el manual de operaciones se debe incluir el volumen de descarga óptimo del tanque sedimentador para realizar el cálculo y tener una dosificación adecuada de hipoclorito de calcio para una desinfección eficiente de los efluentes.
- Se recomienda realizar el mantenimiento y limpieza de la PTAR para la reparación y conservación del equipamiento y la provisión de insumos. Ya que la mayoría de los procesos de tratamiento se realizan de forma semiautomática.
- Se recomienda controlar la recirculación de lodos a la zanja de oxidación esto para mantener vivas a las bacterias aerobias y así puedan eliminar eficientemente la materia orgánica que ingresa a la PTAR.



6 BIBLIOGRAFÍA

- Adalberto N. et al. (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. Instituto de Ingeniería UNAM. ISBN: 978-607-02-4822-1. México.
- Agua.org.mx. (s.f.). *Propiedades del Agua, Propiedades Físico-Químicas*. Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A.C. México. Obtenido de <https://agua.org.mx/propiedades-derl-agua/>.
- Andrade Chunga, & Ponce García. (Julio de 2016). *Determinación de los metales pesados en la microcuenca del río carrizal del cantón Bolívar*. Obtenido de Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Félix López: . Obtenido de <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/283/1/TMA84.pdf>
- Barrantes, B., & Nuñez, C. (2017). Barrantes, Eficacia del tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Costa Rica en la Sede de Occidente, San Ramón, Costa Rica. vol. 9(1), 193-197. DOI: 10.22458/urj.v9i1.1697. *UNED Research Journal*, . March 2017.
- Beltrán, B. E. (2020). *Propuesta del Mejoramiento en la Eficiencia de la PTAR Chilpina Distrito Socabaya-Provincia Arequipa*. Tesis de Grado. Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. AREQUIPA-PERÚ.
- BID. (11 de Junio de 2016). Programa de Saneamiento del Lago Titicaca (Cuenca Katari, Bahía Cohana)“Análisis Ambiental y Social (AAS)”. La Paz, Bolivia.
- Bokoba et al. (2017). *BOKOVA, Irina and RYDER, Guy. "Aguas Residuales el Recurso Desaprovechado" UNESCO 2017, ISBN 978-92-3-300058-2*. Paris.
- C.N.A. (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. "Diseño de Lagunas de Estabilización"* ISBN: 978-968-817-880-5. México.
- CENTA, f. p. (2021). *Guía técnica para la selección y diseño de líneas de Tratamiento de Aguas Residuales*. LA PAZ.
- Cirelli, A. F. (2012). *El Agua un Recurso Esencial*, Revista Química Viva, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas.
- Coriza, E. (s.f.). Eliminación de Plomo en Soluciones Sintéticas Empleando la Cáscara del Limón. Revista N° 2 del Instituto de Ingeniería Sanitaria. La Paz: UMSA.

- Cortines, A. R. (2014). *Estadísticas del Agua en México. Comisión Nacional del Agua. Mexico.*
- Douglas Skoog. (2008). *Principios de Analisis Instrumental, Sexta Edición, ISBN-13: 978-607-481-390-6.*
- García M. et al. (1987). *Aguar Residuales Composición. Universidad de Granada. Servicio de Publicaciones. Granada. Obtenido de https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf*
- Guadarrama T. et al. (2016). Contaminación del agua. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales, 2-5: 1-10.*
- Gutierrez A., G. (2015). *Impacto Ambiental Y Generación De Externalidades Del Sector Industrial En El Municipio De Viacha. Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andres. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/2137/T-1009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>*
- Gutierrez Apaza. (2015). *Impacto Ambiental Y Generación De Externalidades Del Sector Industrial En El Municipio De Viacha. Tesis de Grado. Unoversidad Mayor de San Andres. Obtenido de <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/2137/T-1009.pdf?sequence=1&isAllowed=y>*
- Gutierrez, S. (s.f.). *Impacto Ambiental y Generación de Externalidades del Sector Industrial en El Municipio de Viacha. La Paz, Bolivia: UMSA.*
- Lagarreta, M. G. (2012). *El agua. Fondo de cultura económica. ISBN 978-607-16-0354-8. Mexico.*
- Lenore S. et al. (1992). *métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales"Standard Methods» For the Examination of Water and Wastewater. 17 Edition. Madrid (España): DiaZ de Santos S.A.*
- Ley de Medio Ambiente. (27 de Abril de 1992). *Ley N° 1333. Bolivia.*
- Ley N° 2029. (29 de Octubre de 1999). *LEY DE SERVICIOS DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO SANITARIO. EL HONORABLE CONGRESO NACIONAL.*

Obtenido de <https://www.afcoop.gob.bo/wp-content/uploads/2017/06/Ley-2029-de-agua-y-saneamiento-b%3%A1sico.pdf>

- Marrugo J. (julio de 2011). *"Evaluación de La Contaminación Por Metales Pesados en La Ciénaga La Soledad y Bahía de Cispata Cuenca Del Bajo Sinú Cordoba"* Departamento de Química. Formato PDF disponible en: Obtenido de <https://es.scribd.com/document/347226295/EVALUACION-DE-LA-CONTAMINACION-POR-METALES-PESADOS-EN-LA-CIENAGA-LA-SOLEDAD-Y-BAHIA-DE-CISPATA-CUENCA-DEL-BAJO-SINU-CORDOBA-1-pdf>
- MMaYA. (1992). *Normativa de Gestión Ambiental. Ley de Medio Ambiente.*
- MMaYA. (2010). Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2010). Plan Director de la Cuenca Katari. La Paz. . La Paz, Bolivia.
- MMaYA. (2013). *Sistematización sobre tratamiento y reúso de aguas residuales.* ISBN: 978 - 99974 - 807 - 2 - 9 . La Paz, Bolivia.
- MMaYA. (2017). *Estrategia Nacional de Tratamiento de Aguas Residuales. (ENTAR).*
- MMaYA. (2023). Protocolo para el Monitoreo y Evaluación de la Eficiencia de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. VAPSB, DGAPAS, UDESIGI. La Paz, Bolivia.
- MMaYA. (2023). *Protocolo para el Monitoreo y Evaluación de la Eficiencia de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico, Dirección General de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, UDESIGI, La Paz, Bolivia.*
- MMaYA. (Octubre del 2017). Estrategias y políticas para el reúso de aguas residuales en Bolivia.
- MMaYA, & VAPSB. (2018). *Compendio Normativo Sobre Calidad de Agua para Consumo Humano. NB 512 - Reglamento NB 512 - NB 495 - NB 496.* La Paz - Bolivia.
- MMaYA, & VRHR. (2021). *Plan Director de la Cuenca Katari y su Estrategia de Recuperación Integral de la Cuenca y el Lago Menor del Titicaca. 173p.*
- Molina. (2014). *"Gobierno Autonomo Municipal de Viacha" trabajo dirigido.* La Paz: UMSA.

- Molina P. (2014). Memoria de trabajo dirigido. Gobierno Autonomo de Viacha. Universidad Mayor de San Andres. Fac. Arquitectura. pag. 69.
- Molina, R. (2014). Memoria De Trabajo Dirigido "Gobierno Autonomo Municipal De Viacha. La Paz, Municipio de Viacha, Bolivia: UMSA.
- Multidisciplinarios, C. B. (2019). *Pensando Alternativas para el Abordaje Ambiental. Actas de Congreso Virtual, Desarrollo Sustentable y Desafios Ambientales*, (págs. 220-223).
- Nick Buxton, e. a. (1 de Enero de 2013). *Water scarcity, climate change and Bolivia: Planning for uncertainty*. Obtenido de <https://www.jstor.org/stable/resrep00398>
- OEFA. (2014). *Aguas Residuales. Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental, Pag. 1- 40*. PERU.
- Peralta, P. (2017). *Milluni, en Larga Agonía por la Contaminación. Pagina 7*.
- PSDI, & MMAyA. (2017). *PLAN_SECTORIAL_DE_DESARROLLO_INTEGRAL_DEL_MMAyA-PSDI*. La Paz- Bolivia.
- Revilla, C. (2021). *¿Somos nosotros mismos?. Desigualdades socioecológicas y urbanización en la cuenca del río Katari*. ISBN: 978-9917-9831-5-6.
- Rivera M. et al. (1 de Marzo de 2021). La calidad de las aguas residuales domésticas, The quality of domestic waste water, ISSN: 2550 - 682X, DOI: 10.23857/pc.v6i3.2360, polo del conocimineto (Edición núm. 56) Vol. 6, No 3.
- Salazar, M. Y. (2012). *"Eficiencia en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales"*. *instituto nacional de desarrollo social*. 2012. Vol. 53, no. 9, p. 1–123. México.
- Tejada et al. (Junio de 2015). *"Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico"*. *Tecno Lógicas*, vol. 18, no. 34, pp. 109-123, 2015. ISSN 0123-7799. Obtenido de file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Dialnet-AdsorcionDeMetalesPesadosEnAguasResidualesUsandoMa-5062883.pdf
- Teran G. et al. (2020). Plan de Contingencia Alimentaria: Municipio de Viacha, alternativas cultivando comunidades. Bolivia.
- Vásquez, J. P. (2015). *Analisis del Grado de Contaminacion del Agua en la Bahía de Cohana*. La Paz - Bolivia.

Vega, M. d. (2012). *Eficiencia en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, México Distrito Federal CP. 02080. Mexico.*

Villca, B. A. (2022). *Estudio de la Remosion del Amonio y otros Compuestos Nitrogenados Mediante el uso de Absorventes Naturales en aguas Residuales de la PTAR (Viacha). (Proyecto de Grado). Universidad Mayor de San Andres . La Paz - Bolivia.*



6.1 Anexos

6.1.1 Anexo I.

Anexo I. Clasificación de los cuerpos de agua la Ley 1333 (Reglamento de Materia de Contaminación Hídrica)

CUADRO No. I

CLASIFICACIÓN DE LOS CUERPOS DE AGUA SEGÚN SU APTITUD DE USO

Orden		Clase "A"	Clase "B"	Clase "C"	Clase "D"
1	Para abastecimiento doméstico de agua potable después De:				
	a). Sólo una desinfección y ningún tratamiento.	SI	NO	NO	NO
	b). Tratamiento solamente físico y desinfección.	No necesario	SI	NO	NO
	c). Tratamiento físico-químico completo: coagulación, floculación, filtración y desinfección.	No necesario	No necesario	SI	NO
	d). Almacenamiento prolongado o presedimentación, seguidos de tratamiento, al igual que c).	No necesario	No necesario	No necesario	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 frutas 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

ANEXO A-2

LIMITES PERMISIBLES PARA DESCARGAS LIQUIDAS EN mg/lt.

Norma Parámetros	Propuesta	
	Diario	Mes
Cobre	1.0	0.5
Zinc	3.0	1.5
Plomo	0.6	0.3
Cadmio	0.3	0.15
Arsénico	1.0	0.5
Cromo+3	1.0	0.5
Cromo+6	0.1	0.05
Mercurio	0.002	0.001
Fierro	1.0	0.5
Antimonio(&)	1.0	
Estaño	2.0	1.0
Cianuro libre(a)	0.2	0.10
Cianuro libre(b)	0.5	0.3
pH	6.9	6.9
Temperatura(*)	+5°C	+5°C
Compuestos fenólicos	1.0	0.5
Solidos Susp. Totales	60.0	
Colifecales (NMP/100 ml)	1000	
Aceite y Grasas(e)	10.0	
Aceite y Grasas(d)	20.0	
DB05	80.0	
DQO(e)	250.0	
DQO(f)	300.0	
Amonio como N	4.0	2.0
Sulfuros	2.0	1.0

(*) Rango de viabilidad en relación a la Temperatura Media de cuerpo receptor

(a), (c), (e) aplicable a descargas de procesos mineros e industriales en general

(b), (d), y (f) aplicable a descargas de procesos hidrocarbúricos

(&) En caso de descargas o derrames de antimonio iguales o mayores a 2500 Kg. se deberá reportar a la autoridad ambiental.

6.1.2 Anexo II.

Anexo II. Industrias del municipio de Viacha

N°	Descripción	N°	Descripción
1	Sociedad Boliviana De Cemento SOBOCE	19	Cerámica CERART
2	INCERPAZ Ltda.	20	Calera HEGOF
3	Cerámicas SANTINI S.A.	21	Calera TILATA
4	Ladrillos El Dorado	22	Fundición De Metales No Ferrosos "ILUMIBOL"
5	Cal COLLANA	23	Cerámica MENDEZ
6	Cerámica De Tecnología Choque CERAMITECH	24	Cristalería SEÑOR DE SANTIAGO CRISSANT
7	Industrias En Ladrillos PATZI	25	Sombrerería FLORES
8	Panadería PETRONA	26	Sombrerería LUCY
9	INCERPATZI	27	Sombrerería MARINA
10	Cerámica "BLANCO"	28	Sombrerería PRIMAVERA
11	Cerámica ALI	29	Sombrerería ROSAURA
12	Cerámica COPACABANA	30	Sombrerería MANIX
13	INCERDIBOL	31	Sombrerería LA NUEVA CALIDAD
14	INCERBOL	32	INDESSA
15	Cerámica CERPROFA	33	Panadería RIVAS
16	Centro De Procesamiento De Plásticos "CENTERPLAST SRL."	34	Industria Nacional De Cierres Automáticos "INCA LTDA."
17	Productos Cerámicos AVAROA	35	Panadería TORRICO
18	Calera Y Cerámica COPA	36	Calera LORENZO QUISPE

Fuente: Boletín Informativo de Desarrollo Económico de Viacha (2006) obtenido de (Molina P, 2014)

6.1.3 Anexo III.

Anexo III. Procedimiento de muestreo de aguas para análisis fisicoquímicos y metales según Norma Boliviana 496

PROCEDIMIENTOS DE TOMA DE MUESTRAS

Procedimiento de muestreo parámetros físico-químicos

N°	Actividad	Descripción
1	Preparación de los frascos	Preparar los frascos de polietileno con una capacidad de 2 "l"; 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 las 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 (2) a tres (3) 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 frasco(s) en conservadores con hielo.

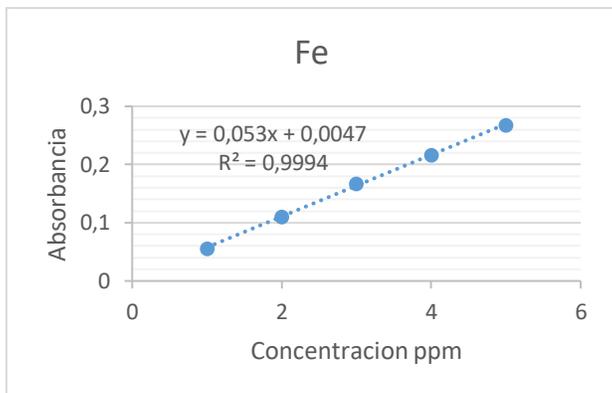
1.1 Procedimiento de muestreo parámetros de metales pesados

N°	Material / Actividad	Descripción
1	Consideración de las condiciones de muestreo.	<p>Considerar las prácticas recomendadas para la toma de muestras, como: Evitar la toma de muestras en fábricas o inmuebles donde se realizan trabajos de soldadura y mecánica, ya que las trazas de metales afectan a los ensayos y sus resultados.</p> <p>Los ensayos de hierro y manganeso, en el agua potable, se entiende como la determinación de analitos disueltos, para ello no es necesario filtrar la muestra.</p>
2	Frascos	<p>Preparar los frascos para la toma de muestras de metales pesados.</p> <p>Utilizar frascos de polietileno, de boca ancha, con capacidad de 300 ml. Para analizar parámetros como el hierro disuelto y manganeso disuelto, el frasco debe contener como conservante, ácido nítrico ultra puro, 2 ml por litro de muestra.</p>
3	Codificación del frasco de muestreo	Codificar el frasco de muestreo (pone la fecha y el código de la muestra correspondiente).
4	Verificación de las condiciones del grifo	Verificar que el grifo seleccionado sea de uso constante y no presente deterioros.
5	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.
6	Extracción de la muestra	<p>Llenar el frasco, regulando el flujo de agua del grifo para evitar el rebalse del agua y de esta forma la salida del conservante, completada la operación tapar de manera inmediata el frasco.</p>
7	Registro de datos	Registrar datos relevantes del muestreo, el tipo de agua a analizar, la procedencia, metodología de muestreo y otras condiciones como la fecha, hora, temperatura y otros datos que puedan influir en las determinaciones analíticas.
8	Transporte de la muestra	Transportar el/los frascos(s) en conservadores con hielo.

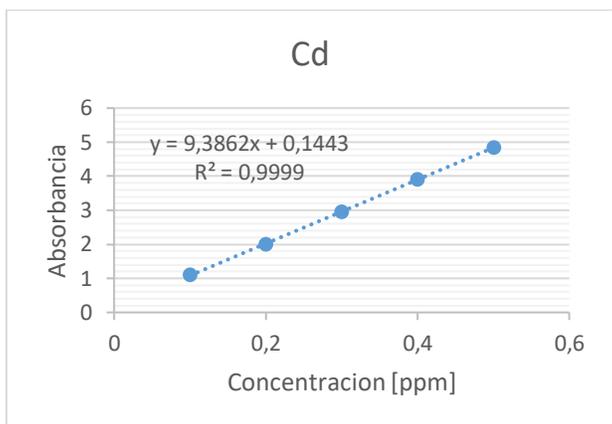
6.1.4 Anexo IV.

Anexo IV. Curvas de calibración

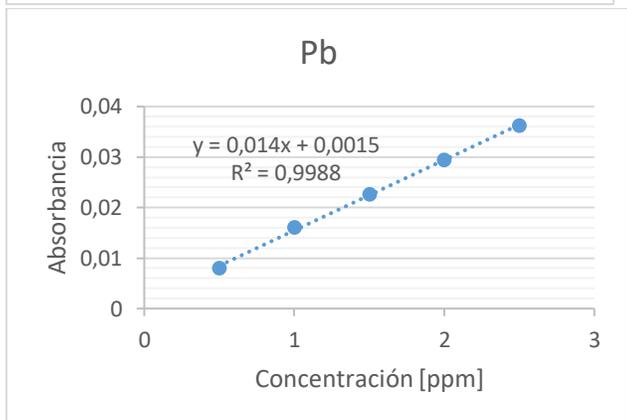
Concentración [ppm]	Absorbancia
1	0,056
2	0,1107
3	0,167
4	0,2167
5	0,268



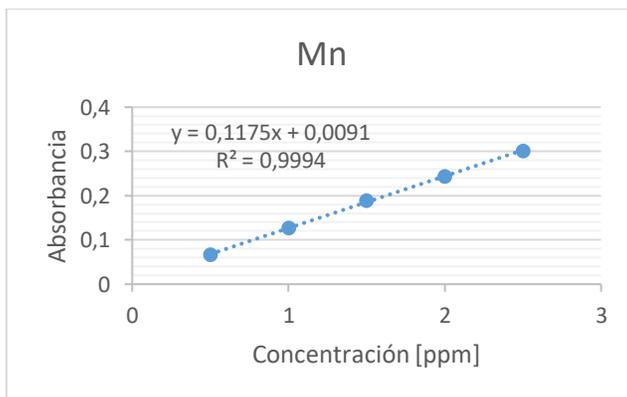
Concentración [ppm]	Absorbancia
0,1	1,102
0,2	2,0024
0,3	2,9506
0,4	3,8988
0,5	4,8469



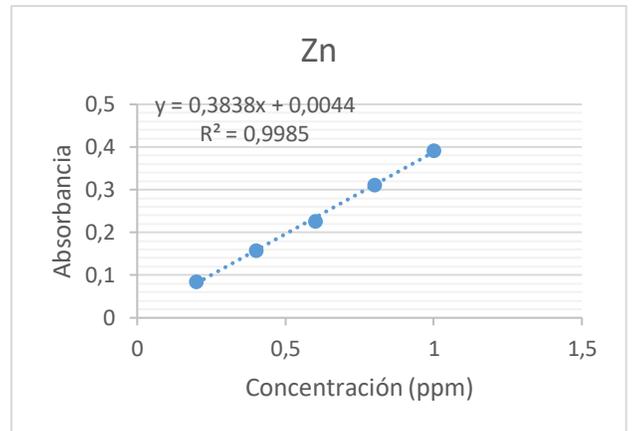
Concentración [ppm]	Absorbancia
0,5	0,008
1	0,016
1,5	0,0226
2	0,0294
2,5	0,0362



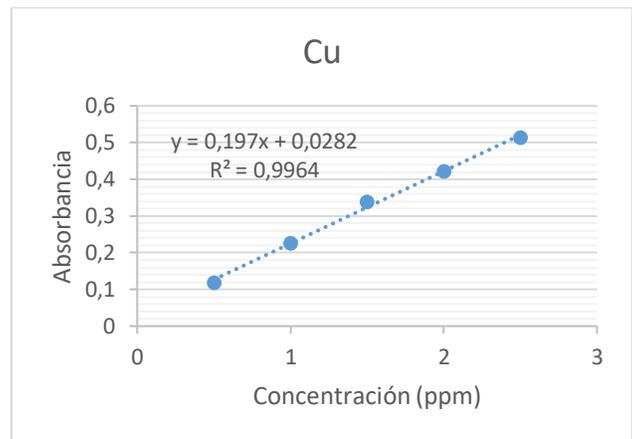
Concentración [ppm]	Absorbancia
0,5	0,066
1	0,1266
1,5	0,189
2	0,2441
2,5	0,301



Concentración [ppm]	Absorbancia
0,5	0,119
1	0,2252
1,5	0,339
2	0,422
2,5	0,513

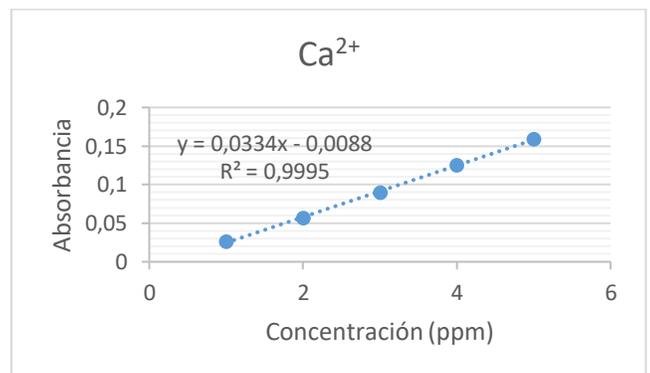


Concentración [ppm]	Absorbancia
0,2	0,085
0,4	0,15792
0,6	0,227
0,8	0,31144
1	0,392

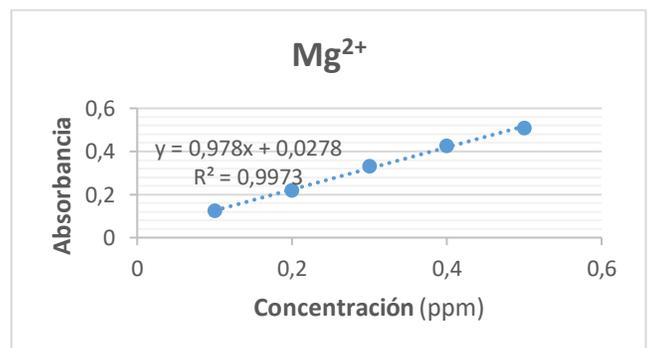


. Curva de calibración de cationes mayoritarios.

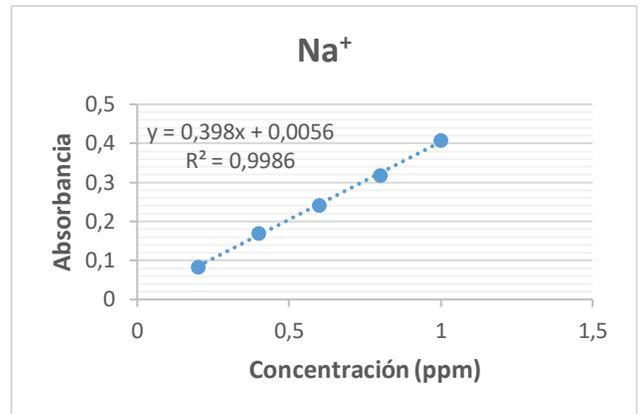
Concentración [ppm]	Absorbancia
1	0,026
2	0,057
3	0,09
4	0,125
5	0,159



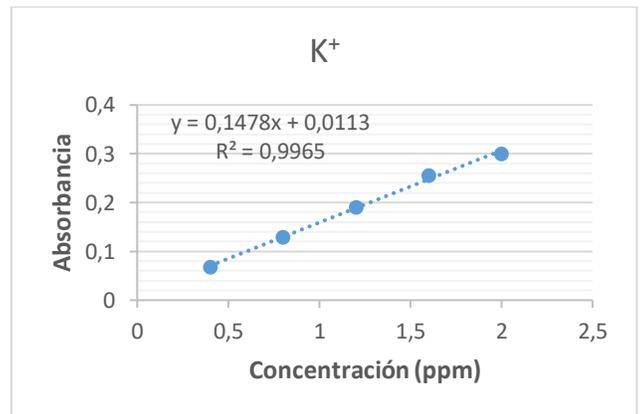
Concentración [ppm]	Absorbancia
0,1	0,123
0,2	0,218
0,3	0,331
0,4	0,426
0,5	0,508



Concentración [ppm]	Absorbancia
0,2	0,084
0,4	0,17
0,6	0,242
0,8	0,318
1	0,408

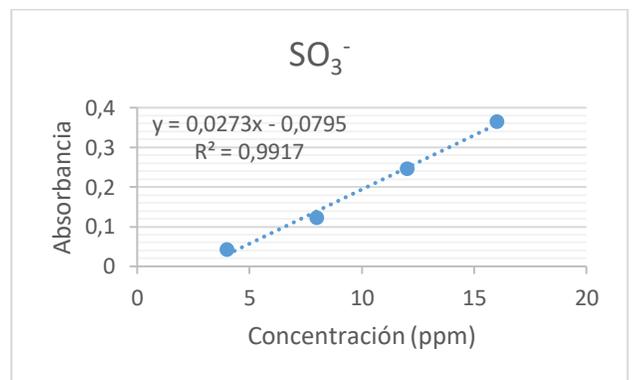


Concentración [ppm]	Absorbancia
0,4	0,068
0,8	0,129
1,2	0,19
1,6	0,256
2	0,3

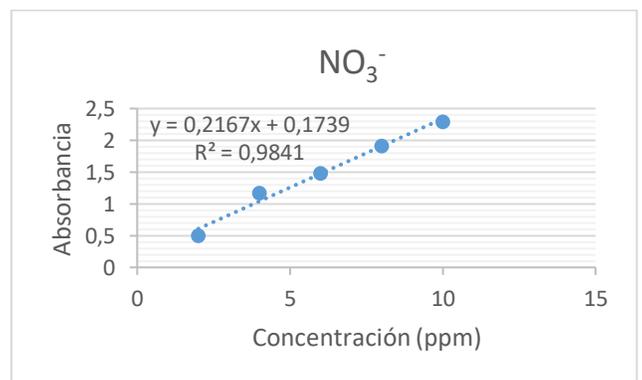


- Curva de Concentración de Aniones Mayoritarios

Concentración [ppm]	Absorbancia
0	0,001
4	0,042
8	0,122
12	0,246
16	0,365
24	0,44



Concentración [ppm]	Absorbancia
2	0,502
4	1,172
6	1,483
8	1,915
10	2,297



6.1.5 Anexo V.

Anexo V. Parámetros fisicoquímicos analizados in situ y laboratorio 2024.

Tabla de los análisis fisicoquímicos y laboratorio del 2024 <i>Parámetros</i>	<i>Afluente</i>	<i>Efluente</i>	<i>Unidad</i>
Temperatura	15,6	17,5	°C
pH	8,19	8,44	Unidad
Conductividad	1850	1970	mS/cm
Solidos Sed.	1,93	0	mg/L
Solidos Disueltos	630	560	mg/L
Solidos Totales	657	627	mg/L
Solidos Suspendidos	27	67	mg/L
Turbidez	17,3	17,8	NTU
Sodio	199,3	151,1	mg/L
Potasio	29,8	25,9	mg/L
Calcio	3,8	3,5	mg/L
Magnesio	21,4	20,1	mg/L
Cloruros	105,1	105,8	mg/L
Sulfatos	36,5	32,5	mg/L
Nitratos	1,76	1,51	mg/L
OD	0	2	mg/L
DQO	304	142	mg/L
DBO	155	75	mg/L
Hierro	0,14	0,16	Mg/L
Cadmio	0,00026	<LDD	mg/L
Plomo	0,0020	<LDD	mg/L
Manganeso	<LDD	<LDD	mg/L
Cobre	<LDD	<LDD	mg/L
Zinc	<LDD	<LDD	mg/L

Datos de parámetros fisicoquímicos del afluente Gestión 2023

Fecha	DBO	DQO	mg NH3/l	N-NH3	T	PH	OPR	CE	Turbidez	STD	ST	SST	SS
Unidades	mg O2/l	mg O2/l	mg NH3/l	mg NO3/l	°C	-	mV	µS/cm	FNU	ppm	ppm	ppm	ppm
3/8/2023	300	568			12,54	8,48	-252,9	1885	471	960	1144	352	
10/8/2023		414			12,87	7,9	-180,1	1317	299	662		408	
17/8/2023	321	603			12,58	7,91	-253,7	1747	337	873	1138	412	
24/8/2023	309	830	132,5		12,98	7,79	-272,8	1049	696	1094	1256	384	
31/8/2023	372	992			13,56	7,67	-231,89	1673,27	433,56	836,53	1536	680	
7/9/2023	182	640	165		13,66	8,06	-246,21	1923,50	509,80	961,60	1369	528	
14/9/2023	328	497	211,5		14,08	7,89	-224,10	1813	316	904	1293	516	9
21/9/2023	232	316	153,5	10,8	13,84	7,29	-254,70	1325	677	662	1687	1772	6
28/9/2023	263	375	192,4	10,5	14,71	7,84	-269,60	1483	442	742	1592	572	6,5
5/10/2023	298	353	208,8		15,29	7,98	-231,90	1491	222	746	857	240	1,5
12/10/2023	357	440	221	28,3	16,01	8,07	-250,80	1890	400	943	1138	548	5
20/10/2023	240	333	238		15,95	7,96	-102,20	1242	171	621	804	236	0,5
26/10/2023	352	555	259,5		15,63	7,97	-289,40	1897	399	949	1402	724	3

Datos de parámetros fisicoquímicos del efluente Gestión 2023

Fecha	DBO ₅	DQO	N-NH ₃	N-NO ₃	T	pH	OPR	CE	OD	Turbidez	STD	ST	SST	SS
Unidades	mg/L O ₂	mg/L O ₂	mg/L NH ₃	mg/LNO ₃	°C	-	mV	µS/cm	ppm	FNU	ppm	ppm	ppm	ppm
3/8/2023														
10/8/2023														
17/8/2023	99	324			13,84	8,12	107,4	1620	2,96	57,2	811	765	100	
24/8/2023	44	272	83,75		15,11	8	128	1718	1,35	61,3	858	763	56	
31/8/2023	72	320			12,67	8,06	-115,06	1691,63	0,00	61,33	845,69	692	56	
7/9/2023	72	287	126,45		14,85	8,10	19,46	1665,40	2,64	55,49	832,90	700	64	
14/9/2023	77	161	180		14,80	7,98	-9,50	1744	0	23,9	873	740	20	0
21/9/2023	94,4	189	94	3,4	21,81	7,92	-72,30	1634	0	104	817	873	48	0
28/9/2023	77	207	153,6	3,5	18,10	7,84	-44,70	1652	0	106	826	773	104	0
5/10/2023	49	198	186,2		16,90	7,87	-163,20	1637	0	100	819	728	56	0
12/10/2023	109	211	159	12,7	17,80	7,76	-223,40	1654		116	830	754	104	0
20/10/2023	127	191	150		14,07	7,69	-251,40	1747	3,44	28,2	874	296	16	0
26/10/2023	134	248	173,2		19,06	7,76	-227,10	1724		116	862	748	8	0

Tabla de la Calidad hídrica del efluente de la PTAR – Viacha – 2024

Parámetro	pH	CE	SSed.	SD	ST	SS	Turbidez	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Unidad		μS/cm	ppm	ppm	ppm	ppm	NTU	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
Efluente (E)	8,44	1970	0	560	627	67	17,8	151,1	25,9	3,5	20,1
Descarga Liquida (Anexo-A2) [mg/L] (RMCH) Ley de Medio Ambiente N° 1333											
DÍA	6,9					60,0					
MES	6,9										

Parámetro	Cl ⁻	S0 ₄ ⁼	NO ₃ ⁻	OD	DQO	DBO ₅	Fe	Cd	Pb	Mn	Cu	Zn
Unidad			ppm	ppm	mg /L (O2)	mg/L (O2)	mg/L	mg /L				
Efluente (E)	105,8	32,5	1,51	2	142	75	0,16	<LDD	<LDD	<LDD	<LDD	<LDD
Descarga Liquida (Anexo-A2) [mg/L] (RMCH) Ley de Medio Ambiente N°1333												
DÍA		2	4		250	80	1.0	0,3	0,6		1.0	3.0
MES		1	2				0,5	0,15	0,3		0,5	1,5