



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

DIRECCIÓN DE POSGRADO

MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL CON MENCIÓN EN DESARROLLO SOSTENIBLE

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN APLICADA Y/O DESARROLLO

Título:

Repotenciación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del
Hospital General Provincial Latacunga

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Gestión
Ambiental con Mención en Desarrollo Sostenible

Autor:

Ing. Claudio Quimbita Edwin Ramiro

Tutor:

Ing. Msc. Lara Landázuri Renán Arturo

LATACUNGA – ECUADOR

2024

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “Repotenciación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Hospital General Provincial Latacunga” presentado por el Ing. Claudio Quimbita Edwin Ramiro, para optar por el título magíster en Gestión Ambiental con Mención en Desarrollo Sostenible.

CERTIFICO

Que dicho trabajo de investigación ha sido revisado en todas sus partes y se considera que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación para la valoración por parte del Tribunal de Lectores que se designe y su exposición y defensa pública.

Latacunga, mayo, 20, 2024



Ing. Msc. Renán Arturo Lara Landázuri
C.I. 0400488011

APROBACIÓN TRIBUNAL

El trabajo de Titulación: “Repotenciación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Hospital General Provincial Latacunga”, ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, previo a la obtención del título de Magister en Gestión Ambiental con Mención en Desarrollo Sostenible; el presente trabajo reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la exposición y defensa.

Latacunga, julio, 08, 2024



Mg. Vladimir Marconi Ortiz Bustamante

C.I. 0502188451

Presidente del tribunal



Mg. José Luis Agreda Oña

C.I. 0401332101

Lector 2



Mg. José Antonio Andrade Valencia

C.I. 0502524481

Lector 3

DEDICATORIA

A mis padres Gladys Quimbita y Ramiro Claudio por ser mi ejemplo de lucha y superación.

A mi esposa Gabriela, a mis hijos Jhosep y Mateo por ser mi fuente de inspiración.

Edwin Claudio.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios y la Virgen de las Mercedes por darme salud y vida para culminar esta etapa y hacer realidad este logro trazado.

A mi familia a quienes con su apoyo incondicional y palabras de aliento no permitieron que desmaye en culminar esta etapa.

A mis profesores que transmitieron sus conocimientos, a los miembros del tribunal y a los diferentes coordinadores de la carrera que en su momento y espacio brindaron las facilidades para llegar a este título.

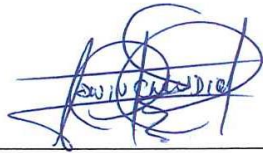
A mi tutor por su tiempo y profesionalismo para dar un acertado asesoramiento y motivación para culminar el trabajo de Titulación.

Edwin Claudio

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Quien suscribe, declara que asume la autoría de los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación.

Latacunga, mayo 20, 2024

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Edwin Ramiro Claudio Quimbita', is written over a horizontal line.

Ing. Edwin Ramiro Claudio Quimbita

C.I. 0502449408

RENUNCIA DE DERECHOS

Quien suscribe, cede los derechos de autoría intelectual total y/o parcial del presente trabajo de titulación a la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, mayo, 20, 2024



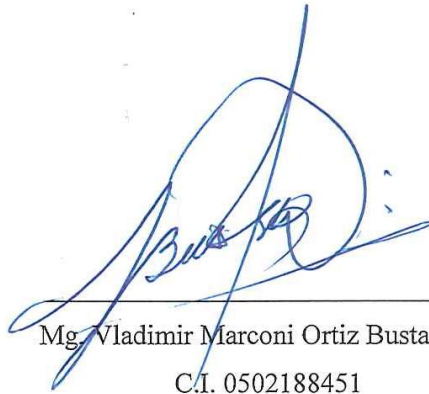
Ing. Edwin Ramiro Claudio Quimbita

C.I. 0502449408

AVAL DEL PRESIDENTE

Quien suscribe, declara que el presente Trabajo de Titulación: “Repotenciación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Hospital General Provincial Latacunga”, contiene las correcciones a las observaciones realizadas por los miembros del tribunal en la predefensa.

Latacunga, julio, 15, 2024



Mg. Vladimir Marconi Ortiz Bustamante
C.I. 0502188451

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL CON MENCIÓN EN
DESARROLLO SOSTENIBLE

Título: Repotenciación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Hospital General Provincial Latacunga

Autor: Ing. Claudio Quimbita Edwin Ramiro

Tutor: Ing. Msc. Renán Arturo Lara Landázuri

RESUMEN

El presente proyecto, titulado "Repotenciación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Hospital Provincial General Provincial Latacunga" tiene como objetivo general optimizar el proceso de la planta de tratamiento para garantizar que las emisiones de aguas residuales cumplan con los estándares definidos por la normativa ambiental ecuatoriana (Acuerdo 097). Esto se enfoca cumplir con los Límites Permisibles para preservar el ecosistema local y mejorar la calidad del agua tratada. En cuanto a la metodología utilizada es Exploratoria, puesto que se implementó un enfoque de investigación de campo combinado con experimentación en laboratorio. Se realizaron análisis de la cantidad y calidad del agua tanto al ingreso como a la salida de la planta de tratamiento. Se cuantificaron dos variables principales: la calidad de agua y su cantidad, para evaluar la efectividad de los procesos de tratamiento. El estudio encontró que, antes del mantenimiento correctivo, varios parámetros de calidad del agua superaban los Límites Máximos Permisibles, indicando la necesidad de optimización. Tras implementar un mantenimiento adecuado y la optimización de filtros, los análisis demostraron una significativa mejora en la calidad del agua tratada. Los niveles de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y otros contaminantes se redujeron, cumpliendo con los estándares ambientales. Se concluyó que la repotenciación de la planta permite un tratamiento más eficiente, por lo que contribuye al cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible en cuanto a la gestión del agua y el saneamiento. Este proyecto destaca la importancia de realizar ajustes técnicos continuos y de monitorear rigurosamente la planta para mantener y mejorar la calidad del tratamiento, recomendando así, contar con un especialista dedicado al monitoreo de la planta para garantizar la optimización y vida útil de la Planta.

PALABRAS CLAVES: Tratamiento de Aguas Residuales, Optimización de Plantas de Tratamiento, Normativas Ambientales

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
DIRECCIÓN DE POSGRADO
MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL CON MENCIÓN EN
DESARROLLO SOSTENIBLE

Título: Repowering of the Wastewater Treatment Plant of Hospital Latacunga Provincial General

Author: Ing. Claudio Quimbita Edwin Ramiro

Tutor: Ing. Msc. Renán Arturo Lara Landázuri

ABSTRACT

The present project, titled "Repowering of Wastewater Treatment Plant of Hospital Provincial General Latacunga", aims to optimize the treatment plant's process to ensure wastewater emissions comply with defined standards by Ecuadorian environmental regulations (agreement 097). This focus on preserving local ecosystem and improving treated water quality. Regarding the methodology used, a field research approach combined with laboratory experimentation was implemented. Analyses of both quantity and quality of the water at entry and exit of treatment plant were conducted. Two main variables were quantified: the water amount and its quality, to evaluate the effectiveness of the treatment processes. The study found that, before corrective maintenance, several water quality parameters exceeded the Maximum Permissible Limits, indicating the need of optimization. After implementing improvements, the analyses showed a significant enhancement in treated water quality. The levels of Biochemical Oxygen Demand (BOD) and other contaminants were reduced, meeting environmental standards. It was concluded that the repowering of the plant allowed more efficient treatment, contributing to the achievement of sustainable development goals regarding water management and sanitation. The thesis highlights the importance of continuous technical adjustments and rigorous monitoring of the plant to maintain and improve treatment quality, recommending the inclusion of a specialist dedicated to monitoring, to guarantee optimization and useful life of the Plant

KEYWORDS: Wastewater Treatment, Treatment Plant Optimization, Environmental Standards

Edison Marcelo Pacheco Pruna con cédula de identidad número 0502617350, Licenciado en: CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MENCIÓN INGLÉS, con número de registro de la SENESCYT: 1020-12-1169234; **CERTIFICO** haber revisado y aprobado la traducción al idioma inglés del resumen del trabajo de investigación con el título: "Repotenciación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Hospital General Provincial Latacunga", de: Edwin Ramiro Claudio Quimbita, aspirante a Magíster en Gestión Ambiental con Mención en Desarrollo Sostenible.

Latacunga, julio, 16, 2024.


Edison Marcelo Pacheco Pruna
0502617350

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|---|
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.1. Justificación..... | 2 |
| 1.2. Planteamiento del problema | 4 |
| 1.3. Objetivos de la investigación | 5 |
| 1.4. Objetivo General | 5 |
| 1.5. Objetivos Específicos | 6 |

CAPÍTULO I.

| | |
|--|----|
| 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA..... | 7 |
| 1.1 MARCO LEGAL..... | 7 |
| 1.2 NORMATIVA ECUATORIANA | 8 |
| 1.3 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN | 9 |
| 1.4 INFORMACIÓN GENERAL DEL ESTABLECIMIENTO DE SALUD | 12 |
| 1.5 CARACTERÍSTICAS DEL HOSPITAL | 12 |
| 1.6 PORTAFOLIO DE SERVICIOS | 13 |
| 1.7 CAPACIDAD DEL ESTABLECIMIENTO DE SALUD..... | 17 |
| 1.8 DEFINICIONES | 17 |
| 1.9 Funcionamiento del sistema de la planta de tratamiento del hospital general Latacunga | 29 |

2. CAPÍTULO II.

| | |
|---------------------------------|----|
| 2.1. MATERIALES Y MÉTODOS | 39 |
|---------------------------------|----|

3. CAPÍTULO III

| | |
|---|----|
| 3.1. RESULTADOS | 41 |
| 3.1.1 Calidad del agua residual antes de la repotenciación de la planta .. | 41 |
| 3.1.2 Calidad del agua residual después de la repotenciación de la planta..... | 44 |

| | |
|--|----|
| 3.1.3 Cantidad del agua residual | 52 |
| DISCUSIÓN | 53 |
| 4. CONCLUSIONES | 58 |
| 5. RECOMENDACIONES | 63 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 64 |
| ANEXOS | 67 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Gama de servicios ofrecidos | 13 |
| Tabla 2 Distribución de camas por servicios | 14 |
| Tabla 3 Quirófanos..... | 14 |
| Tabla 4 Equipos para diagnóstico y tratamiento de apoyo..... | 15 |
| Tabla 5 Equipos de apoyo logístico / administrativo | 16 |
| Tabla 6 Parámetros para analizar y cantidad de muestras..... | 45 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 "Fases del proceso de tratamiento de aguas residuales" | 21 |
| Figura 2 Diagrama de flujo del proceso de caracterización de las aguas residuales..... | 23 |
| Figura 3 Tablero de control..... | 30 |
| Figura 4 Plano del cárcamo de bombeo | 31 |
| Figura 5 Plano del tanque de homogenización | 32 |
| Figura 6 Plano del reactor biológico | 33 |
| Figura 7 Plano del sedimentador..... | 34 |
| Figura 8 Plano de la planta de tratamiento compacta | 35 |
| Figura 9 Plano del tanque sedimentador para el filtrado | 36 |
| Figura 10 Plano del taque de almacenamiento..... | 37 |
| Figura 11 Plano de eras de secado | 38 |
| Figura 12 Análisis de los parámetros del agua residual..... | 42 |
| Figura 13 Resultados de los parámetros de la llave de emergencias 1 | 46 |
| Figura 14 Resultados de los parámetros de la llave de emergencias 2 | 48 |
| Figura 15 Resultados de los parámetros de la estación de bombeo/descarga 1 ... | 49 |
| Figura 16 Resultados de los parámetros de la estación de bombeo/descarga 2 | 51 |
| Figura 17 Comparación entre los parámetros antes y después del mantenimiento correctivo..... | 54 |
| Figura 18 Cantidad del agua residual antes y después del mantenimiento correctivo de la planta de tratamiento de aguas residuales del hospital | 57 |

INFORMACIÓN GENERAL:

Título del Proyecto:

“Repotenciación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Hospital General Provincial Latacunga”

Línea de investigación:

Energías alternativas y renovables eficiencia energética y protección ambiental.

Proyecto de investigación asociado:

Desarrollo de la conservación de los recursos naturales y sostenibilidad ambiental en comunidades de la región 3 del Ecuador.

Grupo Investigativo:

Calidad del Agua

1. INTRODUCCIÓN

El agua residual es el agua proveniente de las descargas de uso industrial, uso comercial, agrícola, institucional como es el presente caso, e incluso de uso doméstico; pero qué sucede con toda esta agua que generamos a partir de nuestras necesidades diarias; existen lugares llamados o denominados Plantas de Tratamiento de aguas residuales, en estos lugares se recibe este tipo de agua y pasa por un proceso tanto físico, químico y biológico, todo con el fin de reducir los contaminantes que esta presenta y puede ser destinada para otros usos ya sea para riego de áreas verdes, para uso sanitario y reutilización en otros tipos de procesos.

Los hospitales forman parte de una industria que no solo genera diariamente grandes volúmenes de consumo de agua, sino que además genera aguas residuales con microorganismos patógenos, medicamentos, compuestos tóxicos, entre otros; que necesitan con urgencia contar con un tratamiento de agua especializado y enfocado en sus necesidades.

Uno de los principales puntos a tratar dentro del estudio es la optimización en procesos, personal y de mantenimiento, ya que el objetivo principal del mantenimiento de una planta, es el control de calidad para obtener mejores

resultados. Debe incluir el control de calidad en procesos, como captación, bombeo, filtración, separación de sólidos, procesos bioquímicos aeróbicos o anaeróbicos, uso de lodos activados, decantación y descarga, entre otros. Un adecuado mantenimiento garantiza la calidad de agua. Además, si se involucran los elementos y mano de obra calificada tanto para su operación como para realizar las reparaciones (en caso de ser necesarias) y ajustes pertinentes, se garantizará adicionalmente la vida útil del sistema de tratamiento.

Por otro lado, un buen mantenimiento puede evitar el riesgo de incidentes y accidentes laborales, en caso de que alguno de sus empleados no cuente con la suficiente experiencia para resolver algún problema durante la operación del sistema.

Las instalaciones de tratamiento de aguas residuales son cruciales ya que permiten limpiar el agua contaminada originada en diversas actividades, como es el caso de las aguas residuales del Hospital General Latacunga; la relevancia de purificar y tratar estas aguas reside en la capacidad de reintegrar el agua residual a los ecosistemas acuáticos de manera segura, sin que constituyan una amenaza para la vida y el entorno natural.

1.1. Justificación

Un río que recibe aguas residuales sin procesar se deteriora, mientras que uno que recibe aguas tratadas puede sostener la vida acuática y su hábitat; por lo tanto, las plantas de tratamiento de aguas residuales son esenciales para preservar tanto la salud humana como la ambiental.

El propósito de este estudio es desarrollar un documento que sea aplicable para la manipulación, modificación e innovación de estos procesos de tratamiento. Se busca que dichos procesos sean no solo eficientes y económicos, sino que también contribuyan positivamente al medio ambiente y la sociedad, apoyando así el cumplimiento de la agenda 2030. Dicha agenda, establecida por la Organización de las Naciones Unidas (ONU), tiene como propósito erradicar la pobreza, proteger el medio ambiente y garantizar la prosperidad universal sin poner en riesgo los

recursos para futuras generaciones. Específicamente, el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 6 enfatiza en "agua limpia y saneamiento", y tiene entre sus metas específicas reducir a la mitad el porcentaje de aguas residuales no tratadas, así como aumentar significativamente el reciclaje y reutilización segura del agua residual a nivel global para el año 2030.

De acuerdo con el informe sobre el desarrollo sostenible, aunque la puntuación promedio para el ODS 6 ha mejorado de forma moderada, todavía no es suficiente para alcanzar las metas establecidas. Esto subraya que aún enfrentamos importantes retos que deben ser superados. Este proyecto se enfoca en mejorar la estación depuradora de aguas residuales del Hospital General Latacunga, optimizando el sistema de tratamiento existente mediante la definición precisa de los parámetros operativos y la caracterización de las proporciones de sustancias a mezclar, así como los tiempos de residencia necesarios.

En este contexto, la repotenciación de la planta con la incorporación de un filtro de ultrafiltración en la etapa de filtración terciaria responde directamente a la necesidad de mejorar la calidad del tratamiento. Este filtro permitirá unas eliminaciones más eficaces de partículas finas, patógenos y otros microorganismos que aparezcan en los análisis del agua, mejorando así la seguridad y la calidad del agua residual tratada antes de su reintegración en los ecosistemas naturales.

Todas las sustancias ajenas al agua lo que generan es una mala calidad de la misma y poniendo, irónicamente, en riesgo la salud de las personas que puedan tener contacto con ella. Por eso, la intención y justificación es que, la implementación de plantas de tratamiento de agua sea más eficientes y que estén alineadas a las normativas del país sobre el cuidado y protección del medio ambiente.

Además, se pretende revisar y actualizar los procesos y operaciones para mejorar la eficiencia de los recursos de la planta. El método empleado para tratar las aguas residuales del Hospital General Latacunga abarca una secuencia de pasos físico-químicos que incluyen homogeneización, coagulación, floculación, sedimentación y filtración. Este sistema está diseñado para eliminar materia orgánica, así como sólidos en suspensión y disueltos.

Al finalizar la implementación de estas optimizaciones, se espera que la planta logre eliminar suficientemente los contaminantes para cumplir con los estándares especificados por la legislación ambiental de Ecuador. Esto permitirá que el agua residual tratada se vierta de manera segura en cuerpos de agua dulce. Con estas mejoras, la estación depuradora debería funcionar con la eficiencia que sugieren los estudios para este tipo de instalaciones, al tiempo que se reducen los costos que implicaría la construcción de una nueva estación para lograr resultados equivalentes en donde se debe tomar algunos aspectos importantes como lo es que se encuentra en una zona considerada de Alto Riesgo.

1.2. Planteamiento del problema

Las aguas residuales se clasifican según la magnitud de sus descargas, siendo particularmente significativas aquellas que emanan de áreas urbanas e industriales. Muchas industrias liberan sus aguas residuales industriales directamente en ríos o lagos sin tratarlas previamente, causando considerables daños al entorno. Las autoridades locales, gubernamentales y las propias empresas industriales, conscientes de estos problemas, están implementando acciones a corto y largo plazo para procesar estos efluentes y de esta manera mejorar tanto la calidad como la disponibilidad del agua residual.

El manejo de aguas residuales en áreas urbanas e industriales presenta desafíos significativos debido a la frecuente liberación de efluentes no tratados en cuerpos de agua, lo que resulta en daños severos al entorno natural y a la salud pública. Históricamente, el tratamiento de aguas residuales ha involucrado una variedad de procesos biológicos, químicos y físicos destinados a purificar el agua de sus contaminantes antes de su reintegración al medio ambiente. Sin embargo, estudios recientes revelan que más del 80% de estas aguas son descargadas sin el tratamiento adecuado, exacerbando la contaminación y la degradación ambiental (Matos & Paulino, 2023). Esta problemática subraya la urgencia de optimizar y mejorar los sistemas de tratamiento existentes.

A pesar de los avances en tecnologías de depuración, muchas instalaciones luchan por manejar eficientemente la carga contaminante, especialmente aquellas

provenientes de fuentes industriales, lo que con frecuencia resulta en la desestabilización de los procesos biológicos y la muerte de la biomasa bacteriana crucial para el tratamiento aerobio. Adicionalmente, los sistemas de pretratamiento, como los sistemas de cribado, solo logran retener un 30% de estos contaminantes, permitiendo que el resto ingrese al reactor biológico y amenace su funcionalidad.

Frente a esta situación, tomando en cuenta que se debe tener un adecuado proceso de tratamiento y para que éste funcione de la mejor manera se necesita un manejo adecuado, personalizado y operación técnica, por lo que el análisis de repotenciación abarca de manera integral al proceso técnico de sus procesos y de manera operativa en por parte del personal ; por lo mencionado el Hospital General Latacunga ha decidido implementar un sistema híbrido que incluye un filtro de ultrafiltración para mejorar la eficacia del tratamiento, especialmente en situaciones donde el reactor biológico se encuentre desestabilizado. Esta medida pretende no solo cumplir con las regulaciones ambientales más estrictas, sino también establecer un precedente para el tratamiento sostenible de aguas residuales en el país. Este proyecto, busca aportar una solución técnica, operativa y científica que pueda ser replicada en futuras instalaciones, mejorando tanto la calidad como la disponibilidad del agua tratada.

1.3. Objetivos de la investigación

1.4. Objetivo General

Optimizar el proceso de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Hospital General Latacunga, en una de sus etapas y/o procesos, identificando su falencia a través de un análisis de la caracterización del agua residual, con la finalidad de garantizar que las emisiones de aguas residuales cumplan con los estándares definidos por la normativa ambiental ecuatoriana vigente para cuerpos de agua dulce.

1.5. Objetivos Específicos

- Determinar si la descarga del agua residual del Hospital General Latacunga, cumple con los parámetros de calidad exigidos para verter a cuerpos de agua dulce, según lo establecido por la legislación ambiental ecuatoriana
- Evaluar la capacidad operativa de la planta de tratamiento en cada uno de sus procesos.
- Medir la cantidad de volumen en cuanto a caudal diario con la que opera la planta.
- Proponer alternativas para el mejor rendimiento de la Planta de Tratamiento para lograr optimizar su funcionamiento y operación.

CAPÍTULO I.

1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 MARCO LEGAL

En 2019, ONU-Agua puso en marcha el Marco Mundial para Acelerar el Logro del ODS 6. En el Día Mundial del Retrete 2020, la OMS y el UNICEF presentaron el informe sobre el estado mundial del saneamiento, en el que se plantea la magnitud del desafío en términos de repercusiones para la salud, cobertura del saneamiento, progresos, políticas e inversiones, y se establece también un programa de aceleración del saneamiento conforme al mencionado Marco Mundial.

En 2010, la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció el acceso al agua potable y al saneamiento seguros y limpios como un derecho humano, e hizo un llamado para que se realizaran esfuerzos a escala internacional con miras a ayudar a los países a proporcionar agua potable y saneamiento seguros, limpios, accesibles y asequibles. La meta 6.2 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible consiste en lograr un saneamiento adecuado y equitativo para todos, y la meta 6.3 consiste en reducir a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentar considerablemente su reciclado y su reutilización sin riesgos.

Como autoridad internacional en materia de salud pública, la OMS encabeza los esfuerzos mundiales por prevenir la transmisión de enfermedades y asesora a los gobiernos acerca de las regulaciones y la prestación de servicios relacionados con la salud. En cuanto al saneamiento, la OMS monitorea la carga mundial de morbilidad (ODS 3.9) y el nivel de acceso al saneamiento y el tratamiento de las aguas residuales (ODS 6.2 y 6.3), y analiza lo que promueve o dificulta los

progresos al respecto (ODS 6a, 6b y GLAAS). Gracias a dicho monitoreo, los Estados Miembros y los donantes disponen de datos mundiales que les ayudan a decidir las inversiones que deben hacerse para proporcionar retretes y garantizar la gestión segura de las aguas residuales y los excrementos.

La OMS colabora con sus asociados para promover prácticas eficaces de gestión y evaluación de riesgos relativas al saneamiento en las comunidades y los establecimientos de salud sobre la base de la evidencia y de guías, en particular directrices sobre el saneamiento y la salud, el uso seguro de las aguas residuales, la calidad de las aguas recreativas y la promoción de planes de seguridad del saneamiento y de inspecciones sanitarias, así como a través de comunidades de práctica como RegNet y la iniciativa sobre los trabajadores del sector del saneamiento. La OMS también apoya la colaboración entre los programas de agua, saneamiento e higiene y los programas de salud en los que el saneamiento es fundamental para la prevención de enfermedades y la reducción de riesgos, incluidas las enfermedades tropicales desatendidas, el cólera, la poliomielitis y la resistencia a los antimicrobianos, y la vigilancia ambiental de los patógenos. En todos los documentos de orientación de la OMS sobre el saneamiento se incorporan aspectos relacionados con la resiliencia ante el clima.

1.2 NORMATIVA ECUATORIANA

Dentro de la normativa legal ecuatoriana, el presente proyecto busca cumplir con lo establecido dentro de la Constitución de la República, Ley de Gestión Ambiental y de Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio de Ambiente según lo establece:

El numeral 5 del artículo 3 de la Constitución de la República del Ecuador establece como un deber del Estado, planificar el desarrollo nacional, erradicar la pobreza, promover el desarrollo sustentable y la redistribución equitativa de los recursos y la riqueza, para acceder al Buen Vivir;

El artículo 14 de la Constitución de la República, reconoce, el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice

la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay. Se declara de interés público la preservación del ambiente, conservación de ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.

El artículo 33 de la Ley de Gestión Ambiental se establecen como instrumentos de aplicación de las normas ambientales los siguientes: parámetros de calidad ambiental, normas de efluentes y emisiones, normas técnicas de calidad de productos, régimen de permisos y licencias administrativas, evaluaciones de impacto ambiental, listados de productos contaminantes y nocivos para la salud humana y el medio ambiente, certificaciones de calidad ambiental de productos y servicios y otros que serán regulados en el respectivo reglamento.

Mediante Acuerdo Ministerial No. 061, publicado en la Edición Especial del Registro Oficial No. 316 de 4 de mayo de 2015, se reforma el Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria y con Registro Oficial de Edición Especial N° 387 del miércoles 4 de noviembre de 2015 entra en vigencia el acuerdo 097-A; donde se establecen las Normas generales para descarga de efluentes a cuerpos de agua dulce.

1.3 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La necesidad de mejorar la eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales se ha vuelto cada vez más urgente debido a la alta carga de contaminantes que muchas plantas deben manejar. Este problema es especialmente crítico en áreas urbanas e industriales, donde la cantidad y variedad de contaminantes puede sobrecargar los sistemas de tratamiento existentes, reduciendo su eficacia y causando posibles incumplimientos de las normativas ambientales. Las plantas de tratamiento enfrentan desafíos significativos para eliminar eficientemente tanto los sólidos suspendidos como los disueltos, además de otros contaminantes como los tensoactivos y patógenos. Para abordar estos desafíos, es esencial implementar mejoras tecnológicas y metodológicas que optimicen cada etapa del proceso de tratamiento, desde el pretratamiento hasta las etapas terciarias avanzadas.

En este contexto, el estudio realizado en la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) proporciona un antecedente relevante, desarrollado por (Molna & Quille, 2024). La investigación se centró en la repotenciación de la planta de tratamiento de aguas residuales de Quillopungo, la cual estaba presentando problemas de sobrecarga de contaminantes, ineficiencia en la remoción de sólidos suspendidos y desestabilización de los procesos biológicos debido a fluctuaciones en la carga de entrada. Los investigadores de la UPS realizaron una caracterización detallada de las aguas residuales y analizaron la capacidad del sistema existente para manejar la carga contaminante. Implementaron mejoras en los sistemas de pretratamiento y en los procesos de lodos activados, logrando una reducción significativa de los contaminantes y mejorando la calidad del efluente. Este enfoque incluyó la optimización de los parámetros operativos y la introducción de tecnologías avanzadas, resultando en un sistema de tratamiento más eficiente y en conformidad con las normativas ambientales.

Otro de los problemas más comunes en las plantas de tratamiento de aguas residuales es la estabilidad del tratamiento biológico y la eliminación de partículas finas y microorganismos. Estas dificultades suelen surgir debido a la fluctuación en la carga de entrada, que puede variar significativamente en volumen y composición. La presencia de contaminantes difíciles de tratar, como ciertos patógenos y sólidos muy finos, desafía la eficacia de los métodos convencionales de tratamiento. Para superar estos obstáculos, es esencial implementar una combinación de tecnologías que puedan complementar y mejorar las capacidades de los procesos biológicos y químicos, garantizando así un tratamiento más robusto y eficiente.

En relación con esto, la investigación realizada por (Paredes, 2023) en la Universidad Técnica de Cotopaxi proporciona un valioso antecedente. El estudio se centró en la implementación de sistemas de tratamiento híbridos en una planta de tratamiento de aguas residuales que enfrentaba precisamente estos problemas. Los investigadores llevaron a cabo un análisis físico-químico detallado y pruebas piloto utilizando diversas tecnologías de filtración y coagulación. Los resultados demostraron que la combinación de métodos biológicos y químicos permitía una mayor eliminación de partículas finas y microorganismos, mejorando

significativamente la calidad del efluente. Esta experiencia justifica la elección de un filtro de ultrafiltración en la planta del Hospital General Latacunga y destaca la efectividad de los sistemas híbridos para abordar los desafíos del tratamiento de aguas residuales.

Finalmente, otro problema crítico en el tratamiento de aguas residuales es la eliminación de sólidos disueltos y tensoactivos. Estas deficiencias representan un desafío significativo para las plantas de tratamiento, ya que estos contaminantes, que pueden ser particularmente difíciles de eliminar, a menudo persisten en el efluente tratado, afectando la calidad del agua y su conformidad con las normativas ambientales.

Los sólidos disueltos pueden incluir sales, minerales y otros compuestos orgánicos e inorgánicos que requieren tecnologías avanzadas para su remoción eficaz. Los tensoactivos, presentes en detergentes y otros productos químicos, también son resistentes a los tratamientos convencionales y pueden ser tóxicos para la vida acuática. Abordar estas deficiencias es crucial para mejorar la eficiencia global del tratamiento y asegurar que el agua tratada sea segura para su descarga o reutilización.

En este sentido, la investigación de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, desarrollada por (Urrutia, 2022), se centró en mejorar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia Aláquez en Latacunga. Los investigadores de ESPE realizaron un análisis detallado de la calidad del agua y las deficiencias del sistema actual, identificando específicamente problemas con la eliminación de sólidos disueltos y tensoactivos. Para abordar estas deficiencias, implementaron tecnologías avanzadas de tratamiento, incluyendo la electrocoagulación y procesos de filtración avanzada. Estos métodos permitieron una mejora notable en la reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y otros parámetros críticos, alineándose con las normativas ambientales vigentes. Los resultados de este estudio demostraron que la adopción de tecnologías avanzadas puede superar las limitaciones de los tratamientos convencionales,

proporcionando un efluente de mayor calidad y contribuyendo a la sostenibilidad ambiental.

1.4 INFORMACIÓN GENERAL DEL ESTABLECIMIENTO DE SALUD

Para un análisis de lo que se produce dentro del Hospital General Latacunga es importante conocer los servicios que ofrece la institución y el número de personas que ejecutan esa actividad, para así, relacionar el tipo de actividad para determinar los tipos de residuos generados. Por lo mencionado se presenta los principales datos de información general y de cartera de servicios del Hospital General Latacunga.

Nombre del Hospital: Hospital Provincial General Latacunga

Dirección: Sector La Matriz. Calle Hermanas Páez y 2 de mayo.

Teléfono: 032800331 / 032800332

Categoría: Hospital General de Segundo Nivel de Atención y Complejidad

Ciudad: Latacunga.

Cantón: Latacunga

Provincia: Cotopaxi.

Fecha de funcionamiento: Sector de Hospital nuevo - enero 2018.

Geo - referenciación: X: 78616569 Y: 9370963 ALTURA: 2769 m.s.n.m.

1.5 CARACTERÍSTICAS DEL HOSPITAL

El Hospital Provincial General de Latacunga es parte del Sistema Nacional de Servicios de Salud del Ministerio de Salud Pública del Ecuador. Está diseñado para proporcionar servicios de salud integrales, tanto ambulatorios como de hospitalización, a los usuarios que los necesiten. Sus actividades se alinean con los Objetivos Estratégicos Institucionales establecidos por el nivel central.

Aspectos de la construcción

La infraestructura del Hospital Provincial General Latacunga consta de dos construcciones o edificaciones distribuidas de la siguiente manera:

- Bloque antiguo de 6100m² de construcción

- Nuevo bloque de 18371,42m²;

El nuevo bloque está constituido por:

- **Subsuelo 2:** parqueadero subterráneo
- **Subsuelo 1:** con áreas comedor, cocina, vestidores, servicios de mantenimiento general con sus respectivos talleres y el área de farmacia
- **Planta baja:** con áreas tales como emergencia, Medicina Transnacional, Imagenología y Rayos X, Laboratorio
- **Piso 1:** con Centro Quirúrgico, esterilización, Unidad de cuidados Intensivos e Intermedios, y Unidad de Quemados
- **Piso 2:** con Centro Obstétrico, Neonatología, Apoyo a Cirugía Ambulatoria
- **Piso 3 y 4:** área de Hospitalización.

Año de construcción: 2017 el nuevo bloque

Material predominante: Construcción de Hormigón en el nuevo bloque.

1.6 PORTAFOLIO DE SERVICIOS

Los Servicios de Salud contemplados en la Estructura Organizacional por Procesos, son los siguientes que se muestran en la tabla 1:

Tabla 1. *Gama de servicios ofrecidos*

| Servicio | Número de camas | de | Capacidad adicional | Observaciones |
|---------------------------|-----------------|-----------|---------------------|---|
| Medicina General | - | - | - | - |
| Medicina Interna | 35 | 0 | - | - |
| Pediatría | 27 | 0 | - | - |
| Cirugía General | 59 | 0 | - | - |
| Obstetricia y ginecología | 59 | 0 | - | - |
| Neonatología | 6 | 26 | | Se dispone de 6 termos cunas. El área física está adecuada para 26 camas: 4- Terapia Intensiva 9- Terapia intermedia 3 – Sépticos 10- Básicos |
| Traumatología | 27 | 0 | - | - |
| Cirugía Plástica | 4 | 0 | - | - |
| (Área de Quemados) | - | 0 | - | - |
| Total | 217 | 20 | | |

Fuente: Coordinadores de servicios.

Tabla 2 *Distribución de camas por servicios*

| Servicio | Camas (actuales) |
|---------------------------------------|------------------|
| Área crítica con sistema de monitoreo | 1 |
| Área atención pacientes agudos | 6 |
| Observación | 3 |
| Obstetricia | 1 |
| Sala de espera | 1 |
| Sala de triage | 2 |
| Total | 14 |

Fuente: Seguridad ocupacional.

La tabla 2 presenta un resumen de la distribución actual de camas en el hospital, clasificadas según el servicio específico al que están asignadas. En el área crítica, que cuenta con sistemas de monitoreo avanzado, se dispone de una cama. Las áreas de atención a pacientes agudos cuentan con seis camas, destacando su importancia para el manejo de casos que requieren una atención inmediata y continua. La sección de observación dispone de tres camas, permitiendo el monitoreo cercano de los pacientes antes de su posible admisión o alta. El servicio de obstetricia, esencial para la atención materna, cuenta con una cama. La sala de espera y la sala de triage tienen asignadas una y dos camas respectivamente, facilitando la clasificación inicial de los pacientes y proporcionando un espacio para aquellos que esperan atención médica. En total, el hospital dispone de 14 camas distribuidas estratégicamente para optimizar la atención médica y responder eficientemente a las necesidades de los pacientes.

Tabla 3 *Quirófanos*

| Tipo | Número quirófanos | de | Número de salas | Capacidad adicional | Observaciones |
|--------------------------------|-------------------|----|-----------------|---------------------|---------------|
| Centro quirúrgico – Quirófanos | 4 | - | 0 | 8 camillas | |
| Centro Obstétrico – Quirófanos | 2 | - | 0 | 5 camillas | |
| Sala Riesgo Obstétrico | - | 1 | 0 | 2 camillas | |
| Sala de partos | - | 4 | 0 | 6 camillas | |
| Total | 6 | 5 | 0 | 21 camillas | |

Fuente: Seguridad ocupacional.

En la tabla 3 se observa la infraestructura disponible para procedimientos quirúrgicos y obstétricos. La tabla especifica que hay un total de seis quirófanos y cinco salas, con una capacidad total de 21 camillas, distribuidas entre los distintos servicios. En detalle, el Centro Quirúrgico cuenta con cuatro quirófanos y ocho camillas, mientras que el Centro Obstétrico dispone de dos quirófanos con cinco camillas. Además, se incluyen una sala de Riesgo Obstétrico y cuatro salas de partos que entre ellas suman ocho camillas. Esta configuración detalla los recursos físicos con los que cuenta la instalación para atender diversas situaciones médicas, sin posibilidad de expansión inmediata, dado que la capacidad adicional es cero.

Tabla 4 Equipos para diagnóstico y tratamiento de apoyo

| EQUIPOS PARA DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO ASISTENCIAL | |
|---|---|
| Los servicios de soporte continuarán realizando las mismas actividades, adoptando una dinámica que les permita responder adecuadamente a la emergencia según la situación específica que se presente. | |
| Equipo | Conformación |
| | 1 médico Imagenólogo |
| | 1 tecnólogo de Rx con funciones de liderazgo. |
| Diagnóstico por imágenes | 1 tecnólogo |
| | 4 técnicos |
| | 2 auxiliares de apoyo de RX. |
| | 1 auxiliar administrativa de servicio |
| | 2 doctoras. Bioquímicas |
| Laboratorio | 4 doctores Laboratorio Clínico |
| | 7 Lic. de Laboratorio clínico |
| | 1 auxiliar administrativo de salud |
| | 2 doctores farmacéuticos |
| Farmacia | 3 bioquímicas farmacéuticas |
| | 7 auxiliares de farmacia |
| Psicosocial | 1 psiquiatra |
| | 1 psicóloga |
| | 1 médico Residente |
| Referencias hospitalarias | 1 trabajadora Social |
| | 1 chofer de ambulancia |
| Manejo de cadáveres | 1 auxiliar de enfermería |

En la tabla 4 se detalla la conformación del personal en distintas áreas de servicios de soporte de una instalación médica, enfocada en optimizar la respuesta a emergencias específicas. En Diagnóstico por Imágenes, el equipo está compuesto por un médico Imagenólogo, un tecnólogo de Rx con liderazgo, otro tecnólogo, cuatro técnicos, dos auxiliares de apoyo de RX y una auxiliar administrativa. El

Laboratorio incluye dos doctoras bioquímicas, cuatro doctores en Laboratorio Clínico, siete licenciados en el área y un auxiliar administrativo. La Farmacia cuenta con dos doctores farmacéuticos, tres bioquímicas farmacéuticas y siete auxiliares de farmacia. En el área Psicosocial, el equipo lo forman un psiquiatra y una psicóloga, mientras que las Referencias Hospitalarias están a cargo de un médico Residente, una trabajadora social y un chofer de ambulancia. Finalmente, el Manejo de Cadáveres es responsabilidad de un auxiliar de enfermería, lo que refleja una estructura de personal bien definida para manejar tanto las necesidades médicas como administrativas y logísticas de la instalación.

Tabla 5 *Equipos de apoyo logístico / administrativo*

| “EQUIPOS DE APOYO LOGÍSTICO ADMINISTRATIVO” | |
|--|---|
| “BRIGADA LOGÍSTICA Y ADMINISTRATIVA” | |
| Responsable de proporcionar los recursos y facilidades necesarios para que los equipos de respuesta hospitalaria desempeñen eficazmente sus funciones. | |
| Brigada | Conformación |
| Nutrición | 1 nutricionista 10 auxiliares de alimentación 5 auxiliares administrativas de salud |
| Comunicación | 2 trabajadoras sociales 2 auxiliares administrativos 1 auxiliar de talento humano 1 TICS |
| Unidad de Seguridad y Protección | 9 vigilantes de Seguridad 8 guardias de seguridad |
| Equipos de Lavandería y Ropería | 9 auxiliar Administrativo de Salud |
| Equipo de Relaciones Internas para el Personal y sus Familias | 1 auxiliar Administrativa de Servicio de Salud |
| Equipo de Transporte | 3 choferes de Ambulancia y camioneta |
| Equipo de Esterilización Central | 4 Lcda. de enfermería |
| Equipo de Mantenimiento | 5 auxiliares de enfermería |
| Equipos de Servicios Generales | 1 auxiliar administrativo de Salud |
| | Total 62 personas Fijas de PR todos los días |

En la tabla 5, se muestra la composición de la brigada responsable de proporcionar los recursos y facilidades necesarias para que los equipos de respuesta hospitalaria desempeñen eficazmente sus funciones. En el área de Nutrición, el equipo está conformado por un nutricionista, diez auxiliares de alimentación y cinco auxiliares administrativas de salud. La sección de Comunicación incluye dos trabajadoras sociales, dos auxiliares administrativos, un auxiliar de talento humano y un

especialista en TICS. La Unidad de Seguridad y Protección cuenta con nueve vigilantes de seguridad y ocho guardias de seguridad. Los Equipos de Lavandería y Ropería tienen nueve auxiliares administrativos de salud. El Equipo de Relaciones Internas para el Personal y sus Familias se compone de un auxiliar administrativo de servicio de salud. El Equipo de Transporte incluye tres choferes de ambulancia y camioneta. En el Equipo de Esterilización Central trabajan cuatro licenciadas en enfermería. El Equipo de Mantenimiento está formado por cinco auxiliares de enfermería, mientras que los Equipos de Servicios Generales tienen un auxiliar administrativo de salud. Esta estructura bien definida asegura que todos los aspectos logísticos y administrativos del hospital estén cubiertos, permitiendo una operación eficiente y coordinada.

1.7 CAPACIDAD DEL ESTABLECIMIENTO DE SALUD

Número de camas para capacidad adicional: 20

Número de camas asignadas 241

Índice de ocupación de camas en situaciones normales: 70%

Quirófanos estériles: 1 para urgencias, 3 para cirugía aséptica/programada, 3 para el servicio de Gineco-Obstetricia y 1 para cirugías sépticas.

Se dispone de 3 Ambulancias: De transporte secundario interno.

1.8 DEFINICIONES

La generación de aguas residuales resulta inevitable debido a las actividades humanas (Rodríguez, 2017). Para tratarlas y gestionarlas correctamente, es crucial entender sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como el efecto que tienen sobre el medio ambiente receptor.

Según (Bermeo & Salazar, 2013), las aguas residuales son aquellas utilizadas junto con sólidos que se incorporan a los sistemas de alcantarillado a través de diversas vías y son transportadas por este sistema. Las aguas residuales industriales se caracterizan específicamente por provenir de las descargas generadas en las actividades de fabricación industrial.

La descripción de las propiedades de las aguas residuales puede diferir dependiendo del propósito del análisis. Sin embargo, es esencial destacar que la caracterización adecuada de estas aguas residuales, necesita un plan de muestreo meticulosamente diseñado para asegurar que las muestras sean representativas, junto con análisis de laboratorio que se lleven a cabo de acuerdo con normas estandarizadas que garantizan la precisión y la exactitud de los resultados. En términos generales, un plan de muestreo para la caracterización y control de calidad del agua residual requiere una evaluación minuciosa del tipo de muestras a recoger, la cantidad necesaria y los parámetros específicos que deben analizarse.

1.8.1. Aguas residuales

Las aguas cuya calidad se ha visto reducida y que se originan de múltiples fuentes como descargas de ciudades, industrias, comercios, servicios agrícolas y ganaderos, uso residencial, urbanizaciones y otras actividades, se distinguen por tener una composición variada (Rodríguez, 2017).

1.8.2. Tratamiento de aguas residuales

El objetivo principal del tratamiento de aguas residuales es proteger la salud humana y promover el bienestar comunitario. A medida que reintroducimos las aguas residuales en ecosistemas acuáticos como ríos y lagos, todos nos beneficiamos, directa o indirectamente, de estas aguas residuales. Con el aumento de la población, se hace más apremiante la necesidad de implementar o mejorar los sistemas de tratamiento y purificación para eliminar riesgos para la salud y minimizar el impacto ambiental (Barrantes & Cartín, 2017).

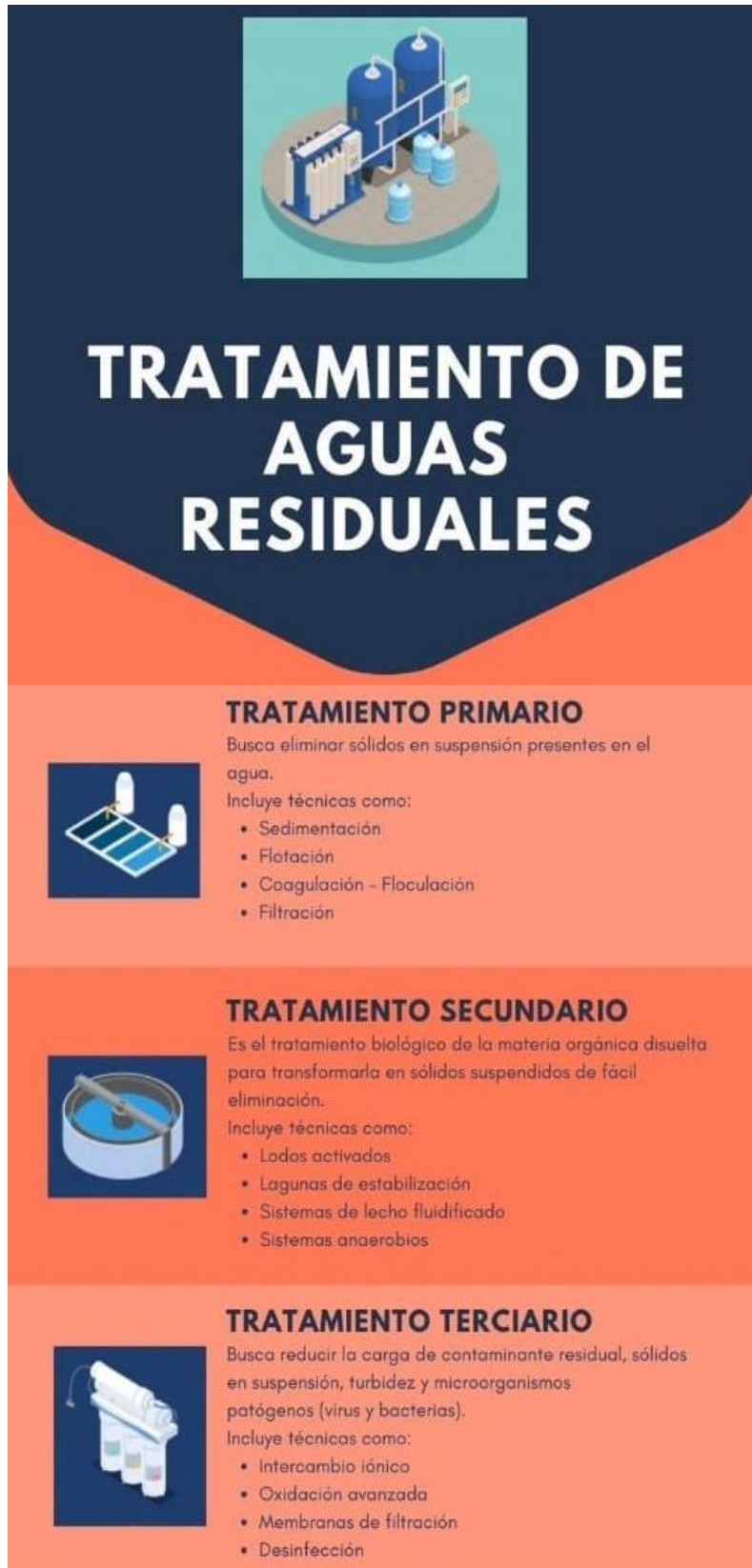
Desde un enfoque tradicional acerca de la contaminación del agua, se considera a los ríos como receptáculos naturales de aguas residuales, que arrastran diversos contaminantes y nutrientes. Estas cargas contaminantes y de nutrientes están sujetas a regulación mediante leyes, decretos y normativas diseñadas para definir y preservar una calidad del agua residual apropiada para sus distintos usos (Barrantes & Cartín, 2017).

La elección de un método de tratamiento de aguas residuales, o de una combinación óptima de métodos, se basa principalmente en ciertos factores clave, según (Orellana, 2018)):

- Las características iniciales del agua residual antes de su tratamiento, es decir, el proceso comienza con la identificación detallada de las cualidades del agua cruda. Este paso inicial incluye evaluar aspectos físicos, químicos y biológicos esenciales que determinan la elección del método de tratamiento adecuado. Entre estos aspectos se cuentan la medición de pH, conductividad, turbidez, sólidos disueltos y en suspensión, la demanda de oxígeno química y biológica (DQO y DBO), nutrientes como nitrógeno y fósforo, además de la detección de metales pesados y microorganismos peligrosos. Determinar estas características con precisión es vital para diseñar un sistema capaz de ajustarse a las variaciones en la carga contaminante y asegurar el cumplimiento de las normas de descarga.
- El nivel de calidad requerido para el agua residual tratada, donde el propósito del tratamiento es garantizar que el agua residual resultante cumpla con ciertas normativas ambientales o requisitos para su reutilización potencial. La calidad objetivo del agua residual tratada dicta qué tecnologías y configuraciones se deben implementar. Por ejemplo, si se pretende usar el agua residual tratada para recargar acuíferos o para la agricultura, los criterios de calidad se centrarán en eliminar nitratos, pesticidas y patógenos. Definir estos estándares de calidad desde el inicio es crucial para diseñar adecuadamente el sistema de tratamiento y proteger efectivamente el ambiente y la salud pública.
- La disponibilidad de espacio para las instalaciones, la factibilidad de aplicar distintas tecnologías de tratamiento también depende del espacio disponible. Las plantas de tratamiento extensivas, como los humedales artificiales, necesitan áreas mucho más amplias en comparación con sistemas más compactos, como los reactores biológicos aeróbicos. La planificación del espacio también debe contemplar la posibilidad de futuras expansiones y el acceso necesario para el mantenimiento y operaciones rutinarias.

- Los costes vinculados a la construcción y operación del sistema de tratamiento, el análisis económico debe considerar los costes iniciales de construcción y los costes operativos y de mantenimiento a largo plazo. Estos últimos incluyen el consumo de energía, los químicos para el tratamiento, la gestión de lodos y otros residuos, y las tareas de supervisión y control. Para que un sistema sea económicamente viable, es fundamental que estos costes se mantengan dentro de los presupuestos operativos sin sacrificar la eficiencia del tratamiento.
- La fiabilidad del sistema de tratamiento, es crucial para asegurarse de que los estándares de calidad del agua residual se cumplen de manera consistente, independientemente de las variaciones en la carga de entrada o en las condiciones operativas. Un diseño robusto y adecuadamente dimensionado es clave para la resistencia del sistema ante fluctuaciones en el volumen de agua residual y en las concentraciones de contaminantes.
- La capacidad de adaptar y mejorar el proceso ante futuros requisitos más estrictos, dada la posibilidad de normativas ambientales más rigurosas y la emergencia de nuevos contaminantes, la flexibilidad para adaptar y actualizar el sistema es esencial. La infraestructura debe ser diseñada para permitir modificaciones o actualizaciones tecnológicas sin necesidad de una revisión completa. Esta adaptabilidad garantiza la sostenibilidad a largo plazo del tratamiento y protege la inversión inicial contra cambios normativos o tecnológicos.

Figura 1 "Fases del proceso de tratamiento de aguas residuales"



Fuente: Claudio, E (2024).

1.8.3. Caracterización de aguas residuales

La caracterización de aguas residuales es un proceso esencial para comprender integralmente las propiedades de las aguas residuales antes de su tratamiento. Este proceso incluye la toma de muestras sistemáticas y el análisis de sus componentes físicos, químicos, biológicos y microbiológicos. Los métodos de muestreo adecuados son vitales para garantizar la representatividad de las muestras y los análisis de laboratorio deben adherirse a normas estándar que aseguren la precisión y exactitud de los resultados (Bermeo & Salazar, 2013).

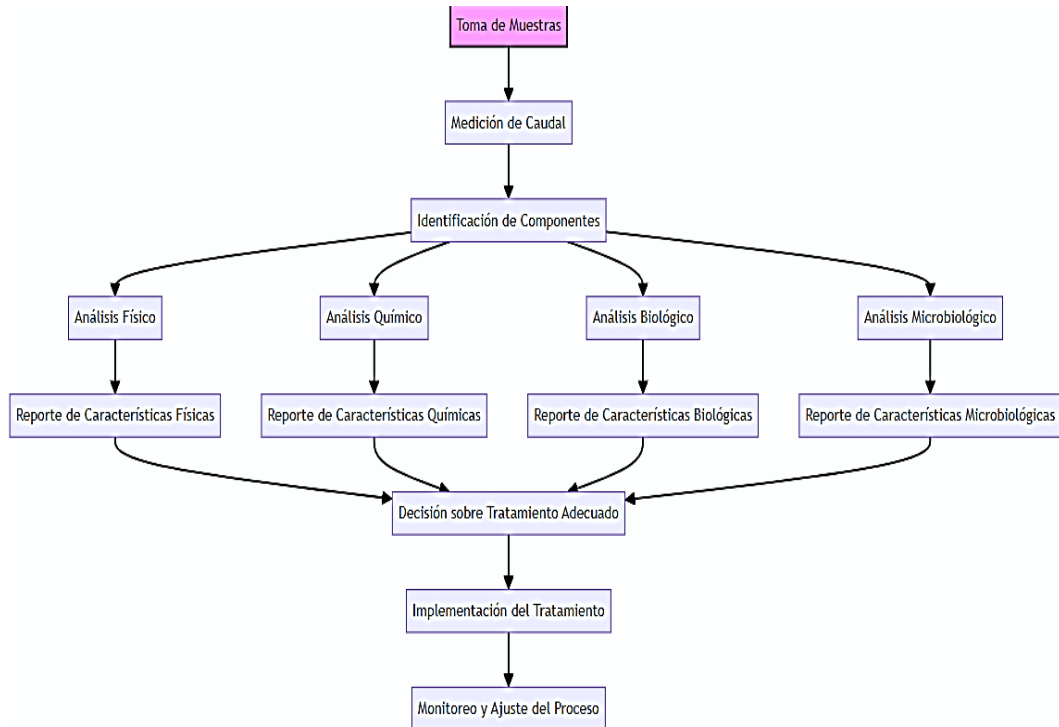
En el contexto de las aguas residuales industriales, se observa una amplia variedad de aguas procedentes de descargas de usos municipales, industriales, agrícolas, pecuarios, en el sector salud y domésticos, todas las cuales han experimentado una degradación en su calidad original. La adecuada identificación y clasificación de estas aguas, basada en la magnitud de sus descargas y su impacto potencial, es fundamental para desarrollar estrategias de tratamiento efectivas que mitiguen su impacto ambiental.

Finalmente, las operaciones de tratamiento de aguas residuales se fundamentan en un conocimiento profundo de la naturaleza de estas aguas. Por ejemplo, las técnicas de pre-tratamiento como el desbaste, desarenado y desengrasado son diseñadas para eliminar contaminantes físicos antes de que las aguas residuales procedan a tratamientos más sofisticados.

Esta primera etapa es crucial para proteger las operaciones subsecuentes de tratamiento y asegurar que los sistemas funcionen de manera eficiente y efectiva (Bermeo & Salazar, 2013).

Se puede, en la figura 2, como es el flujo de procesos que se realiza en el tratamiento de aguas residuales.

Figura 2 Diagrama de flujo del proceso de caracterización de las aguas residuales



Fuente: Claudio, E (2024).

1.8.4. Tratamientos primarios

Según Pimiento y Cárdenas (2021), el propósito fundamental en el tratamiento primario es la reducción de los sólidos que se encuentran suspendidos en las aguas residuales a tratar. Estos suelen determinarse, primeramente, filtrando este tipo de agua y posterior a ello, pesando toda aquella materia sólida que queda retenida en las mallas del filtro. Normalmente se miden en mg/Lt y el filtro que se usa, capta las partículas a partir de una micra.

Los tipos de sólidos en suspensión se clasifican en:

- Sólidos sedimentables: aquellos que se depositan por sí solos cuando el agua residual permanece inmóvil por una hora.

- Sólidos flotables: estos se definen en relación inversa a los sedimentables, incluyendo algunos sólidos coloidales (con un tamaño que oscila entre 0.001 micras y 10 micras). Es importante mencionar que las partículas mayores a 200 micras suelen eliminarse anticipadamente en el desarenador.

Esta etapa puede ser clasificada así (Troconis, 2010):

1. Métodos de separación entre sólidos y líquidos

a. Sedimentación (Decantación Primaria):

La sedimentación, también conocida como decantación primaria, es uno de los procesos más fundamentales en el tratamiento primario de aguas residuales. Este proceso implica permitir que los sólidos en suspensión se asienten por gravedad en tanques o clarificadores diseñados específicamente para este fin. La eficiencia de la sedimentación depende de varios factores, incluyendo la densidad y el tamaño de las partículas, la temperatura del agua y la configuración del tanque. Los sólidos que se depositan forman un lodo que se retira y se procesa más adelante, mientras que el agua clarificada fluye hacia fuera del tanque para continuar con el tratamiento secundario.

b. Flotación:

La flotación es una técnica efectiva para eliminar partículas más ligeras que el agua residual, tales como grasas, aceites y otros sólidos flotantes. En este proceso, se introducen burbujas de aire en el agua residual tratada, las cuales se adhieren a las partículas sólidas y las llevan hacia la superficie, donde pueden ser removidas más fácilmente. Este método es particularmente útil para tratar aguas residuales industriales que contienen altas concentraciones de estos contaminantes.

c. Proceso Mixto (Decantación - Flotación):

El proceso mixto combina tanto la decantación como la flotación para optimizar la remoción de sólidos en suspensión. Esta combinación permite un tratamiento más comprehensivo de las aguas residuales, maximizando la eliminación de una amplia

gama de sólidos suspendidos. Este proceso es ideal para aplicaciones que requieren un alto grado de purificación y es especialmente útil en industrias que generan efluentes con una gran variedad de contaminantes.

2. Procesos complementarios de mejora

a. Floculación:

La floculación es un proceso crítico que precede a la coagulación, donde se añaden sustancias químicas llamadas floculantes al agua residual. Estos agentes ayudan a aglomerar los sólidos suspendidos y coloidales en flóculos más grandes y más pesados, que pueden ser removidos más fácilmente por sedimentación o flotación. Los floculantes más comunes incluyen polímeros orgánicos y compuestos de hierro o aluminio, que actúan aumentando las fuerzas de atracción entre las partículas.

b. Coagulación (Proceso Físico-Químico):

La coagulación es un proceso esencial que complementa la floculación. Mediante la adición de coagulantes, se neutralizan las cargas eléctricas de las partículas en suspensión, lo que reduce la repulsión entre ellas y facilita su aglomeración en flóculos. Este proceso es fundamental para tratar aguas residuales con altas concentraciones de partículas coloidales que no se pueden remover eficazmente solo por procesos físicos. Los coagulantes más utilizados incluyen sales de aluminio y hierro, como el sulfato de aluminio y el cloruro férrico.

1.8.5. Tratamientos secundarios

El tratamiento secundario de aguas residuales es un proceso biológico crucial que se centra en la remoción adicional de la materia orgánica biodegradable después de los tratamientos preliminares y primarios. Utilizando tanto microorganismos aeróbicos como técnicas de ingeniería avanzada, este paso optimiza la reducción de contaminantes orgánicos mediante la biooxidación. En esta fase, se emplean sistemas como los tanques de aireación y los clarificadores secundarios, que juegan roles vitales en el tratamiento y la clarificación del agua antes de su liberación o tratamiento terciario (Troconis, 2010).

Según (Cely et al., 2022), en el proceso de aireación, se inyecta aire en los tanques que contienen aguas residuales y lodo activado, que es una mezcla de microorganismos y agua residual. Este proceso aumenta la concentración de oxígeno disuelto en el agua, esencial para el metabolismo de las bacterias aeróbicas. Estas bacterias descomponen la materia orgánica en compuestos más simples y menos nocivos, transformando significativamente la carga contaminante del agua residual.

Posterior a la aireación, el agua fluye hacia los clarificadores secundarios o tanques de sedimentación donde los sólidos biológicos (lodo activado) se separan por decantación. Este lodo se recircula parcialmente al tanque de aireación para mantener una concentración óptima de biomasa activa, mientras que el exceso se dirige hacia el tratamiento de lodos. El agua clarificada, ahora con una considerable reducción de materia orgánica, avanza hacia el tratamiento terciario o hacia procesos de desinfección, dependiendo de los estándares de calidad requeridos para su descarga o reutilización.

Las técnicas modernas también incorporan controladores de procesos y sistemas automatizados para monitorear y ajustar las condiciones de operación, como el flujo de aire y la tasa de recirculación del lodo. Este enfoque tecnológico asegura la eficiencia y la estabilidad del proceso de tratamiento secundario, resultando en una reducción significativa de los contaminantes y en la producción de un efluente que cumple con las normativas ambientales (Telwesa, 2021).

Por último, (Telwesa, 2021) también habla sobre la gestión y mantenimiento de los sistemas de tratamiento secundario, los cuales son cruciales para su operación eficiente. Las actividades de mantenimiento incluyen la limpieza de los sistemas de aireación, el chequeo de los equipos mecánicos en los clarificadores, y la monitorización de los parámetros del proceso. Estas prácticas aseguran que el sistema funcione a su máximo potencial y prolongan la vida útil de las instalaciones y equipos involucrados.

1.8.6. Tratamientos terciarios

El tratamiento terciario de aguas residuales representa la fase final y más refinada del proceso de tratamiento, diseñado para mejorar la calidad del efluente a niveles que permitan su reutilización o descarga segura en el ambiente. Este nivel de tratamiento utiliza tecnologías avanzadas para eliminar contaminantes residuales que no se abordan en las etapas primaria y secundaria. Entre estas tecnologías se incluyen la filtración avanzada, la desinfección y procesos especializados como la eliminación de nutrientes (Telwesa, 2021).

Uno de los componentes clave del tratamiento terciario es la filtración mediante membranas de filtración, que ayuda a remover partículas finas, turbiedad y algunos tipos de contaminantes biológicos. Las membranas de ultrafiltración y microfiltración son comúnmente utilizadas para estos propósitos, proporcionando un control eficaz sobre la calidad física del agua residual. Además, estos sistemas ayudan a preparar el agua para etapas más intensivas de purificación, como la ósmosis inversa, que se emplea para desalinizar el agua o eliminar contaminantes disueltos a escala molecular (Baeza, 2018).

Por otra parte, la asesoría técnica de Baeza (2018) continúa comentado sobre la oxidación avanzada, el cual es otro proceso crítico en el tratamiento terciario, que utiliza agentes oxidantes fuertes como ozono o peróxido de hidrógeno, a menudo en combinación con luz ultravioleta, para degradar contaminantes orgánicos persistentes. Esta técnica es especialmente efectiva para descomponer compuestos farmacéuticos y hormonas que pueden ser perjudiciales para los ecosistemas acuáticos y la salud humana.

La desinfección es una parte integral del tratamiento terciario, crucial para asegurar que el agua residual sea segura para su descarga o reutilización. Métodos comunes incluyen la cloración y la irradiación ultravioleta, cada uno con sus ventajas específicas y consideraciones operativas. La cloración es efectiva y económica, mientras que la UV es preferida por su capacidad de inactivar patógenos sin la adición de químicos al agua residual (Baeza, 2018).

Los tratamientos terciarios también pueden incluir procesos especializados como la eliminación de nutrientes, particularmente nitrógeno y fósforo, mediante procesos biológicos y químicos. Estos nutrientes, si no se controlan, pueden provocar la eutrofización de cuerpos de agua residual receptores, llevando a un crecimiento excesivo de algas y la degradación de estos ecosistemas (Troconis, 2010).

1.8.7. Gestión de riesgos biológicos y el impacto de desechos hospitalarios en sistemas de tratamiento de aguas residuales

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), los desechos hospitalarios contienen una variedad de contaminantes que pueden ser perjudiciales para los sistemas de tratamiento de aguas residuales y la biota acuática asociada. Estos desechos incluyen agentes patógenos, productos químicos farmacéuticos y materiales radiactivos que pueden alterar la función y la eficacia de los tratamientos biológicos y físico-químicos. Los patógenos, en particular, pueden proliferar en condiciones de tratamiento subóptimas, lo que representa un riesgo para la salud pública y el medio ambiente (ONU, 2018).

La biota en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, incluidos microorganismos, plantas y animales acuáticos, puede verse gravemente afectada por los desechos hospitalarios. Los estudios han demostrado que ciertos compuestos farmacéuticos tienen el potencial de inhibir los procesos microbiológicos que son cruciales para la descomposición de contaminantes orgánicos en las plantas de (García et al., 2019). Esta inhibición puede llevar a una eficiencia reducida del tratamiento y al lanzamiento no regulado de contaminantes en cuerpos de agua receptores.

Para gestionar estos riesgos biológicos, es esencial implementar estrategias específicas de pretratamiento para los desechos hospitalarios antes de su introducción en el sistema municipal de aguas residuales. Esto podría incluir métodos como la desinfección, la neutralización de compuestos químicos y el tratamiento previo de efluentes radiactivos. La segregación de desechos en la fuente es otra estrategia crítica que puede reducir significativamente la carga de

contaminantes peligrosos en las plantas de tratamiento de aguas residuales (Pimiento & Cárdenas, 2021)

Por último, la colaboración entre instituciones hospitalarias y autoridades de tratamiento de aguas residuales es vital para desarrollar políticas efectivas y prácticas sostenibles de manejo de desechos. Estas políticas deben centrarse en la minimización de la generación de desechos peligrosos y en el desarrollo de infraestructuras de tratamiento que puedan manejar adecuadamente estos tipos de desechos, asegurando así la protección de la biota acuática y la salud pública (Vega et al., 2022)

1.9 Funcionamiento del sistema de la planta de tratamiento del hospital general Latacunga

Descripción general

El Hospital General Latacunga cuenta con un sistema de tratamiento biológico mixto aeróbico, utilizando aireación extendida y lodos activados que degrada, flocula y sedimenta los contaminantes orgánicos junto con los sólidos suspendidos. Adicionalmente, incorpora un sistema de electrocoagulación que facilita la oxidación, coagulación y precipitación de sólidos disueltos, detergentes, metales pesados, aceites, grasas, elementos radioactivos y radioisótopos. Este proceso se complementa con un sistema de acabado que incluye filtración, desinfección y deshidratación de lodos.

El Sistema prácticamente está compuesto de las siguientes etapas:

- Sistema de automatización.
- Secuencia de operación del sistema.
- Tanque Sedimentador.
- Planta Compacta.
- Tanque de Almacenamiento.
- Eras de Secado.

1.9.1 Sistema de automatización

Los equipos instalados son comandados a través de un tablero de control, el cual contiene elementos de maniobra, elementos de control, elementos de protección y elementos de señalización/visualización, en la figura 3 se muestra el tablero de control.

Figura 3 *Tablero de control*



Fuente: CUERPO DE INGENIEROS DEL EJÉRCITO (2024).

El proceso de la planta de tratamiento responde a la automatización por parte de un autómatas programable LOGO 230RCE, el cual cumple las funciones de monitoreo, temporización y encendido de equipos, comandados además por sensores de nivel en cada tanque dentro del proceso de tratamiento en la planta.

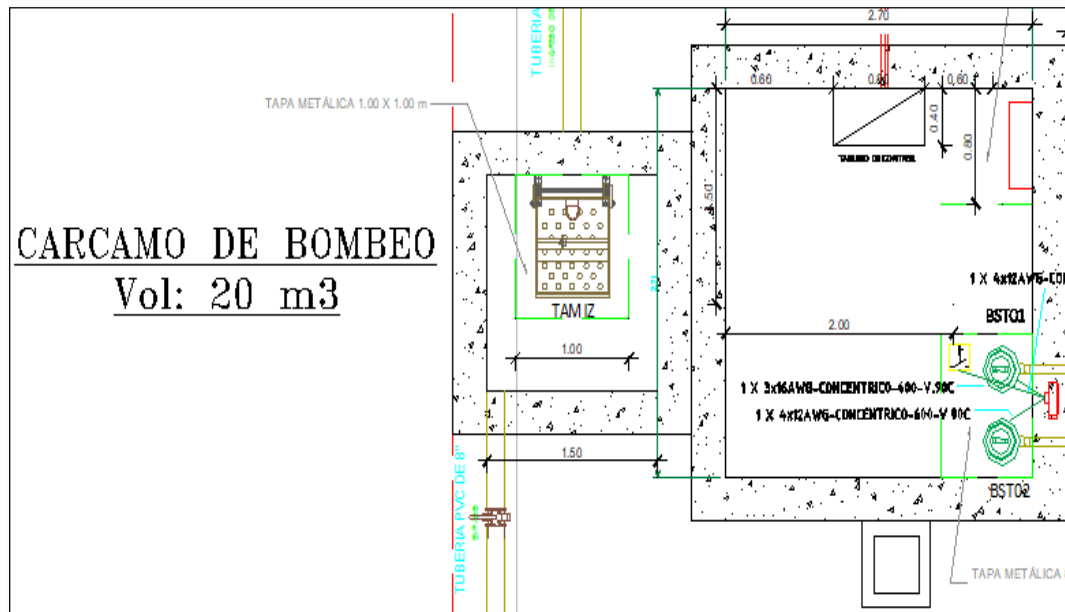
1.9.2 Secuencia de operación del sistema

1.9.2.1 Cárcamo de Bombeo

Este módulo de ingreso al sistema de tratamiento contiene los equipos instalados, mostrados en la figura 4:

- (2) Bombas sumergibles 1,5 hp / 220 V.
- (1) Tamiz con tapa metálica 1,0 x 1,0 m retención de sólidos gruesos.
- (1) Boya de control de nivel.

Figura 4 Plano del cárcamo de bombeo



Fuente: Cuerpo de ingenieros del ejército (2024).

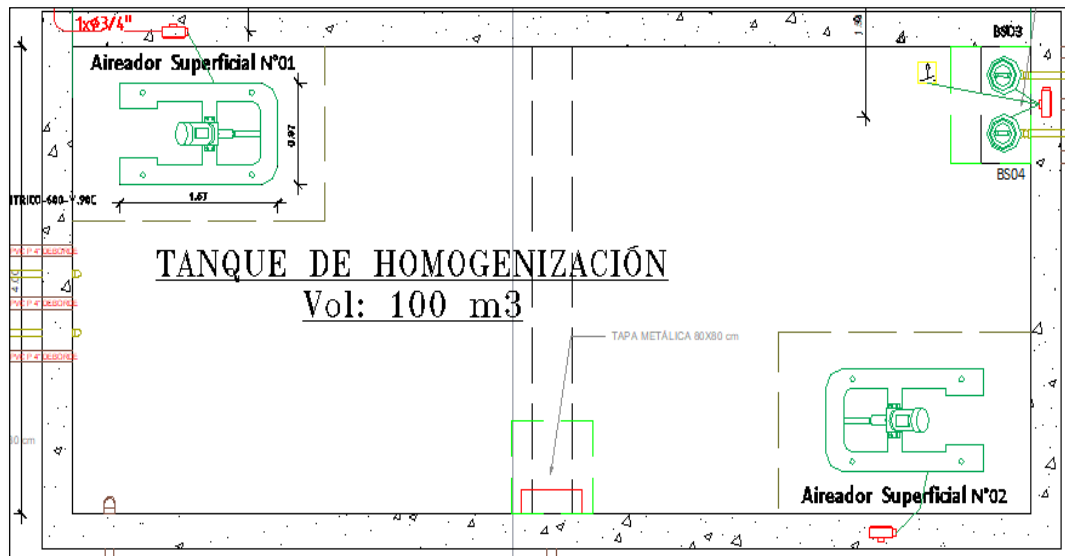
Una vez que se produce el ingreso de agua residual al cárcamo de bombeo, el nivel del tanque asciende hasta que se activa la boya de mínimo nivel (entrada I:02 del controlador), con lo cual se procede a encender la bomba sumergible N°1. Transcurrido el tiempo de una hora el sistema alterna automáticamente; apagando la primera bomba sumergible e inmediatamente encendiendo la bomba sumergible N°2, para evitar el trabajo continuo que puede provocar un sobrecalentamiento en los equipos.

1.9.2.2 Tanque de homogenización

En este módulo del sistema de tratamiento se encuentran instalados los siguientes equipos, en la figura 5:

- (2) Aireadores superficiales 3 hp / 220 V.
- (2) Bombas sumergibles 1 hp / 220 V.
- (1) Boya de control de nivel.

Figura 5 Plano del tanque de homogenización



Fuente: Cuerpo de ingenieros del ejército (2024).

Una vez que se produce el ingreso de agua residual al tanque de homogenización, el nivel sube hasta que se activa la boya de mínimo nivel (entrada I:04 del controlador), con lo cual se procede a encender el primer aireador N°1 y la primera bomba sumergible. Luego de transcurrido una hora el sistema alterna automáticamente; apagando estos equipos, a continuación, se procede a encenderse el aireador N°2 y la bomba sumergible N°2, con una operación cíclica para evitar posibles recalentamientos en los equipos.

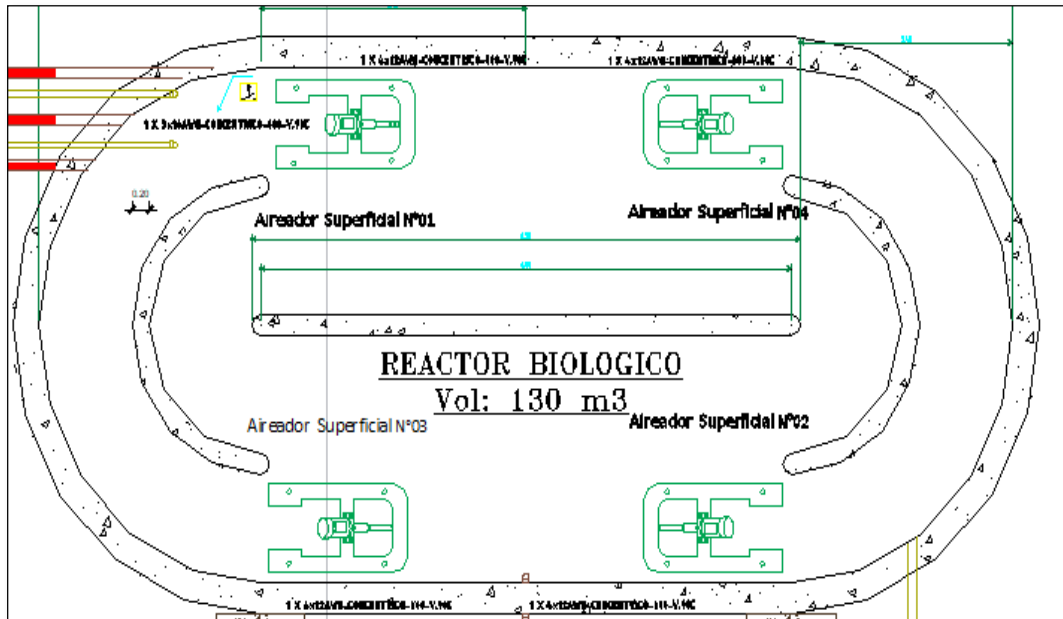
Cuando el agua residual del tanque de homogenización es inferior al mínimo nivel de la boya, se apagan los aireadores superficiales y las bombas sumergibles.

1.9.2.3 Reactor biológico

En el reactor biológico o tanque de aireación se encuentran instalados los siguientes equipos, en la figura 6:

- (4) Aireadores superficiales 3 hp / 220 V.
- (1) Boyas de control de nivel

Figura 6 Plano del reactor biológico



Fuente: Cuerpo de ingenieros del ejército (2024).

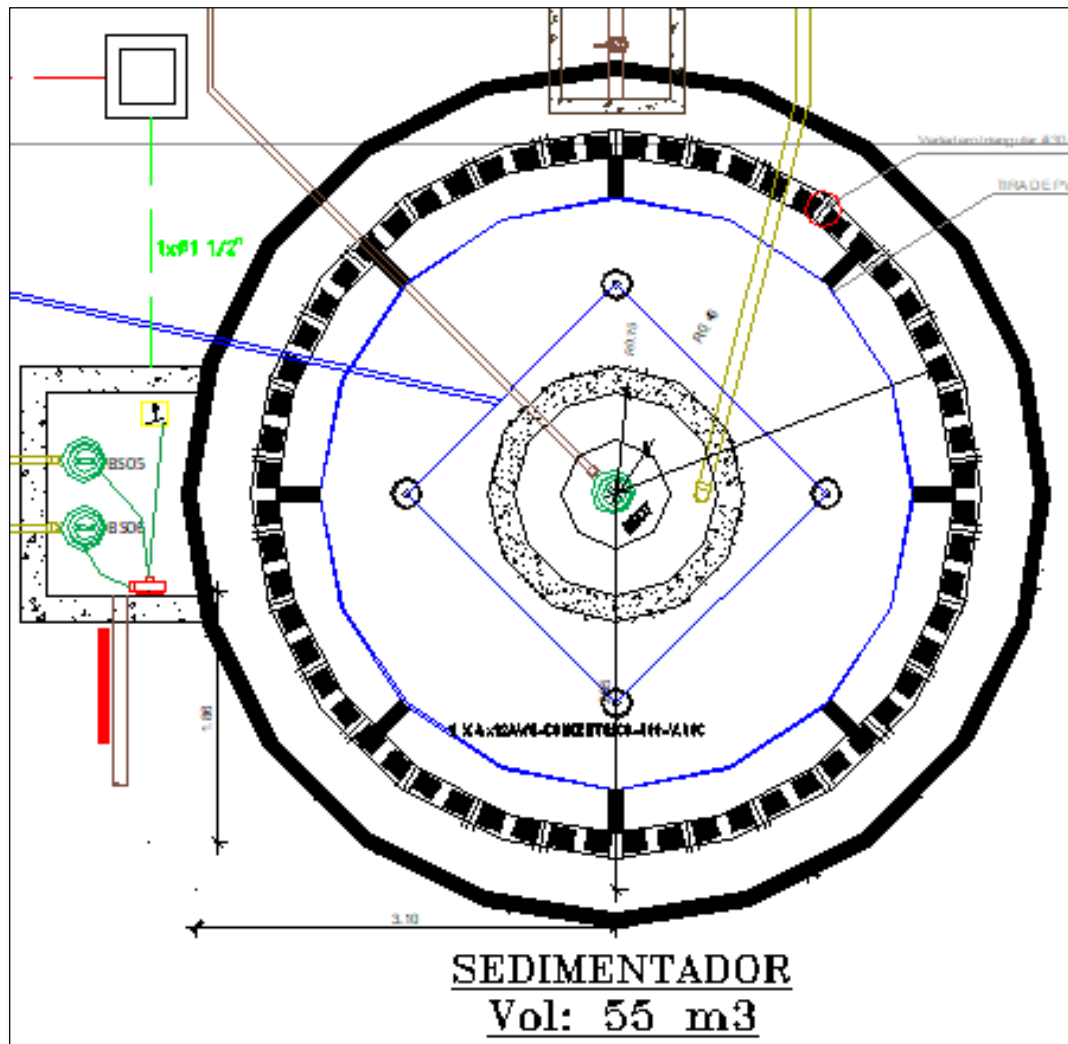
Una vez que ingresa agua residual al tanque de aireación, el nivel incrementa hasta la activación de la boya de mínimo nivel (entradas I:09, I:10 del controlador con modo automático del selector), se encienden los dos primeros aireadores (N°1 & N°2); luego de una hora de operación el sistema alterna el funcionamiento automáticamente, apagando dichos aireadores y procediendo a encender los aireadores superficiales (N°3 & N°4). Cuando el agua residual del tanque de aireación es inferior al de la boya de mínimo nivel, se apagan los aireadores superficiales.

1.9.3 Tanque Sedimentador

El tanque sedimentador cuenta con los siguientes equipos, mostrados en la figura 7:

- (2) Bombas sumergibles 1,5 hp / 220 V.
- (1) Bombas sumergibles 1 hp / 220 V. (retorno de lodos)
- (1) Boyas de control de nivel

Figura 7 Plano del sedimentador



Fuente: Cuerpo de ingenieros del ejército (2024).

Una vez que ingresa agua residual al tanque sedimentador, el nivel incrementa hasta la activación de la boya de mínimo nivel (entrada I:13 del controlador), con lo cual se encienden de forma alternada las bombas sumergibles cada hora, y mediante la activación de la boya, la bomba sumergible para el retorno de lodos activados hacia el tanque de aireación, la cual es comandada por un temporizador externo con regulación mínima de 5 minutos por cada hora.

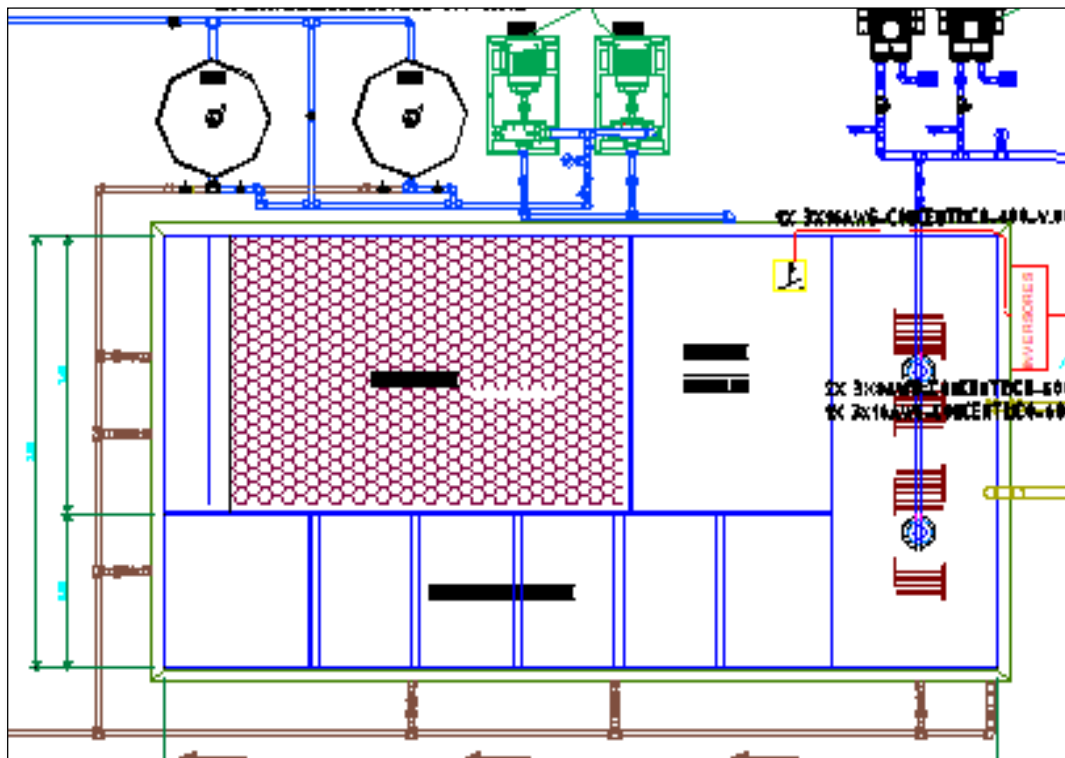
Cuando el agua residual del tanque sedimentador es inferior al de la boya de mínimo nivel, se apagan las bombas sumergibles y la bomba de retorno de lodos.

1.9.4 Planta Compacta

La planta compacta cuenta con los siguientes equipos, de acuerdo a la figura 8:

- (4) Inversores Monofásicos 110Vac, I=30A; Vout= 60Vdc, I=100A.
- (2) Blowers regenerativos de 4,5 hp / 220 V
- (2) Bombas centrífugas de 5,5 hp / 220 V.
- (2) Filtros de carbón activado.
- (1) Boya de control de nivel.

Figura 8 Plano de la planta de tratamiento compacta

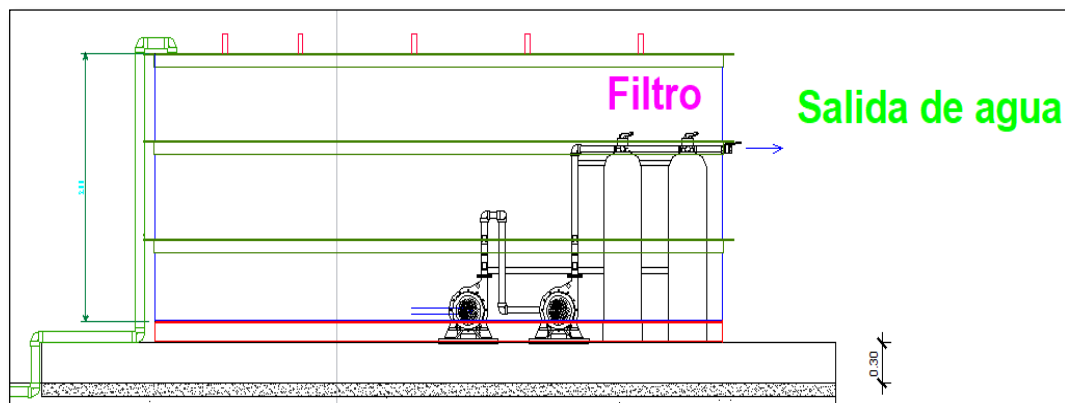


Fuente: Cuerpo de ingenieros del ejército (2024).

En la figura 9 se puede ver que una vez que ingresa agua residual al tanque sedimentador sube hasta que se activa la boya de mínimo nivel (entrada I:13 del controlador), se encenderá la bomba sumergible (N°1 o N°2), alimentando agua residual al tanque de electrocoagulación de la Planta Compacta; con lo que se realiza el proceso de electrocoagulación mediante el encendido de los inversores que inyectan voltaje a las placas metálicas, conduciendo corriente a través del

medio dieléctrico para la formación de los flóculos que posteriormente caen por gravedad al fondo de la cuba de electrocoagulación, luego de transcurrido una hora el sistema se alterna automáticamente, se apaga el primer grupo de inversores (1 y 3) y se enciende el segundo grupo de inversores (2 y 4). Cuando el nivel de agua residual de la planta compacta aumenta y sobrepasa el mínimo nivel de la boya, arranca la bomba centrífuga N° 1 que en conjunto con la bomba centrífuga N°2 operará de forma alternada y cíclica durante una hora hasta el vaciado parcial de este tanque.

Figura 9 Plano del tanque sedimentador para el filtrado



Fuente: Cuerpo de ingenieros del ejército (2024).

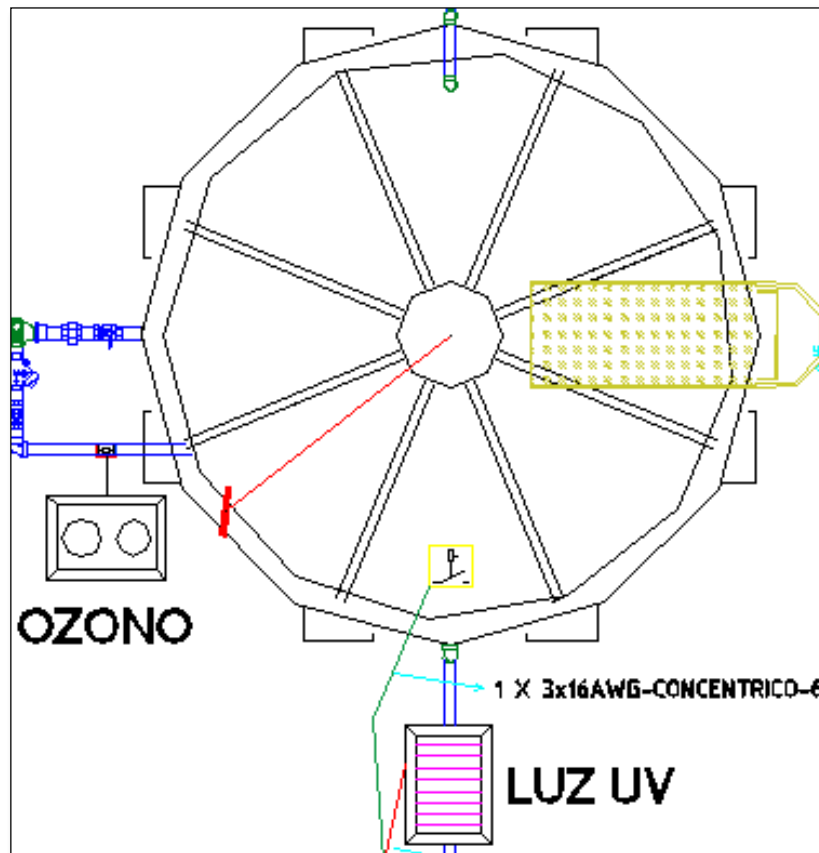
Cuando el agua residual llega al Tanque de Equilibrio y se activa la boya de mínimo nivel (entrada I:22 del controlador), se enciende una de las bombas centrífugas (N° 1 o N°2), de aquí sale el agua residual tratada a los filtros de pulimento para el proceso final. La salida de agua residual previa a la descarga de alcantarilla pasa por un sistema de desinfección como proceso final del tratamiento.

1.9.5 Tanque de Almacenamiento

El tanque de almacenamiento de agua residual tratada contiene los siguientes módulos de desinfección, de acuerdo con la figura 10:

- (1) Sistema de Inyección de Cloro de 2 g/h con compresor.
- (2) Equipo de Radiación Ultravioleta 6x55 W – 110Vac.
- (1) Boya de control de nivel.

Figura 10 Plano del taque de almacenamiento



Fuente: Cuerpo de ingenieros del ejército (2024).

El proceso final en la planta de tratamiento consiste en la descarga del agua residual tratada a través de un sistema de dosificación de ozono. Este sistema, impulsado por un compresor, filtra y elimina sedimentos, sólidos y grasas, asegurando que el agua residual resultante esté libre de partículas y sedimentos en su forma líquida. Adicionalmente, un sistema de desinfección que utiliza radiación ultravioleta se encarga de eliminar los agentes patógenos y clarificar el agua residual. Esto permite que el agua residual sea liberada de manera segura y limpia al final del proceso de tratamiento.

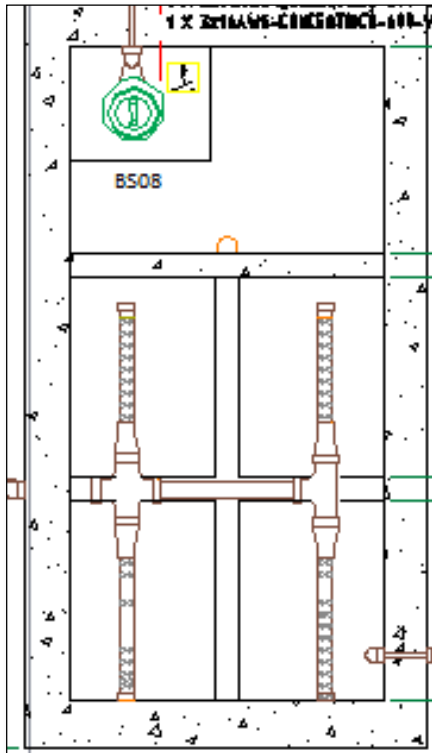
1.9.6 Eras de Secado

El tanque de eras de secado está conformado por los siguientes equipos:

- (1) Bomba sumergible 0,5 hp / 110 V.

Cuando el nivel de agua residual sobrepasa el mínimo nivel del tanque de eras de secado de lodo, se enciende la bomba sumergible correspondiente para el desalojo del agua residual y lodo generado producto del purgado manual de la planta compacta que se muestra en la figura 11.

Figura 11 Plano de eras de secado



Fuente: Cuerpo de ingenieros del ejército (2024).

Un gestor de lodos es encargado de la remoción total de los desechos sólidos incrustados en este tanque, que pueden ser reutilizados según su tipo.

Cuando se oprime el pulsador de PARO DE EMERGENCIA, el sistema se detiene completamente y los equipos dejan de operar hasta que se elimine la retención mecánica sobre este dispositivo.

El sistema de tratamiento de aireación extendida y lodos activados más un sistema de pulimiento de electrocoagulación ha sido diseñado y construido exclusivamente para tratar aguas residuales de desechos orgánicos proveniente de las instalaciones del Hospital General de Latacunga.

2. CAPÍTULO II.

2.1. MATERIALES Y MÉTODOS

En nuestra investigación para determinar tanto el análisis del proceso como el tratamiento en sí de las aguas residuales del Hospital General Latacunga, nos centraremos en dos variables principales: la calidad y la cantidad del agua residual. Estas variables serán cuantificadas tanto al ingresar a la planta de tratamiento como en su salida o descarga. Adoptaremos un enfoque metodológico principalmente cuantitativo, el cual es fundamental para recolectar datos específicos y medibles que permitirán una evaluación objetiva de la eficacia del sistema de tratamiento

Al realizar un análisis y basarnos en datos existentes, nos basamos principalmente en una metodología Exploratoria en donde realizaremos toma de muestras para el proceso de análisis de laboratorio para determinar sus resultados que estén bajo la normativa ambiental vigente dentro de los Límites Permisibles tal como lo establece el **Acuerdo 097A** del TULSMA (Texto Unificado Superior de Legislación Ambiental).

Para cuantificar se incluirá la recolección de datos mediante mediciones directas de volumen y caudal en diversos puntos de la instalación utilizando instrumentos especializados. Además, se tomarán muestras de agua en distintas fases del tratamiento para su análisis en el laboratorio, donde se medirán parámetros como pH, concentración de contaminantes, turbidez y niveles de contaminación biológica. Estos análisis químicos y biológicos se llevarán a cabo utilizando técnicas como la espectrofotometría y métodos microbiológicos para la detección de patógenos.

Por otro lado, se realizarán pruebas de eficacia del tratamiento para evaluar la capacidad de diferentes configuraciones del proceso de tratamiento para eliminar contaminantes, ajustando las condiciones experimentales para simular variaciones operativas. Los datos recolectados serán analizados estadísticamente para identificar tendencias, correlaciones y evaluar la efectividad de los procesos de tratamiento. Utilizaremos software estadístico avanzado para modelar los resultados y prever comportamientos bajo distintas condiciones operativas.

Complementando el enfoque cuantitativo, nuestra metodología también incluirá estudios de caso y análisis documental. Revisaremos estudios de caso de otras plantas de tratamiento con características similares para comparar eficiencias y problemas operativos. Además, examinaremos documentación técnica y normativa para asegurar que nuestro enfoque de tratamiento esté alineado con las prácticas recomendadas y los estándares legales vigentes. Esta investigación se llevará a cabo directamente en las instalaciones de la planta de tratamiento, lo que nos permitirá acceso en tiempo real a los procesos y facilitará la recolección de datos pertinentes y aplicables.

3. CAPÍTULO III

3.1. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos del análisis de las muestras de agua residual recogidas antes y después del proceso en la planta de tratamiento. El estudio se enfocó en evaluar la eficacia del sistema de tratamiento a través de la medición de diversos parámetros químicos y biológicos, que incluyen la concentración de contaminantes específicos, la calidad microbiológica del agua residual y los indicadores físico-químicos esenciales. Se han utilizado gráficos y tablas para una mejor visualización de las tendencias y diferencias significativas en los datos recolectados, proporcionando una base clara para la discusión posterior sobre la interpretación y las implicaciones de estos hallazgos; para así en los casos de alteraciones o de no cumplimiento normativo, emitir una propuesta de mejoramiento y/o repotenciación.

3.1.1 Calidad del agua residual antes de la repotenciación de la planta

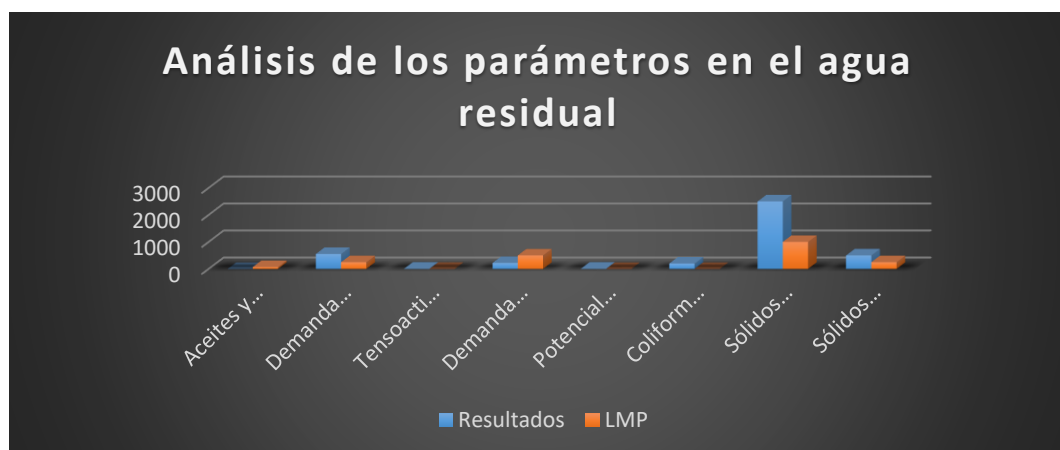
En el presente subapartado se detallan los resultados obtenidos de los análisis realizados en las muestras de agua residual de la planta de tratamiento antes del proceso de mantenimiento y repotenciación técnica. Estos análisis son fundamentales para evaluar la eficacia de las intervenciones realizadas y para asegurar que los parámetros de calidad del agua residual cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos por las regulaciones ambientales. La comprensión detallada de estos resultados permite no solo validar la operación de la planta, sino también identificar áreas críticas de mejora en el proceso de tratamiento.

En el análisis previo de la planta de tratamiento de aguas residuales de la figura 12, se observó que varios parámetros esenciales superaban los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos, precisamente en la figura 12, lo que resalta áreas críticas que requieren atención. El valor de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se registró en 555.00 mg/L, significativamente superior al límite de 250 mg/L, según se determinó mediante el método PE5031/SA-E-22 5210 D. Este alto nivel de DBO indica una presencia considerable de materia orgánica biodegradable que el sistema actual no está logrando procesar eficazmente.

Por otro lado, los Tensoactivos Degradados, medidos a 9.50 mg/L y analizados por el método PE5041/SA-E-22 5540 D, también superan el LMP de 2 mg/L, sugiriendo la presencia de contaminantes surfactantes que podrían estar afectando la eficiencia del tratamiento de aguas residuales. Aunque la Demanda Química de Oxígeno (DQO) resultó estar dentro de los parámetros aceptables con un valor de 221.00 mg/L, medido por el método PE5051/SA-E-22 5220 D, y los Aceites y Grasas registraron un resultado satisfactorio de 0.00 mg/L, indicando una efectiva eliminación de estos componentes según el método PE5011/SA-E-22 5520 D, el equilibrio general del tratamiento aún enfrenta desafíos significativos.

Estos resultados subrayan la importancia de realizar un seguimiento continuo y la implementación de ajustes técnicos en el proceso de tratamiento para cumplir con los estándares ambientales y mejorar la sostenibilidad operativa de la planta.

Figura 12 *Análisis de los parámetros del agua residual*



Fuente: Claudio, E (2024).

En el análisis de los parámetros en el agua residual tratada, se observa una variedad de resultados en comparación con los LMP que resaltan tanto éxitos como áreas para mejora en el sistema de tratamiento. Los aceites y grasas registran un resultado excepcionalmente bueno, con 0 mg/L, lo cual está muy por debajo del LMP de 70 mg/L. Esto indica que el sistema es altamente efectivo en la eliminación de estos compuestos, asegurando que no contribuyan a la contaminación del efluente final.

No obstante, los tensoactivos y la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) presentan un desafío significativo, con niveles que superan los límites permisibles. Los tensoactivos se midieron en 9.5 mg/L, considerablemente por encima del LMP de 2 mg/L, evidenciando una deficiencia en la capacidad del sistema para eliminar estos contaminantes que pueden impactar negativamente en la biota acuática y la eficacia del tratamiento biológico. De manera similar, la DBO con un valor de 555 mg/L, que excede más del doble el LMP de 250 mg/L, sugiere una carga orgánica elevada que el sistema actual no logra procesar eficientemente, posiblemente debido a la insuficiente capacidad biológica o mecánica del tratamiento.

En contraste, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) muestra una eficiencia adecuada, con un resultado de 221 mg/L que se mantiene bien dentro del límite de 500 mg/L. Esto indica que, a pesar de las dificultades con la DBO, el proceso de tratamiento puede oxidar la materia orgánica química de manera efectiva.

Por otro lado, el pH del agua residual tratada, que se sitúa ligeramente por encima del límite con un valor de 9.48, aunque marginal, este exceso podría necesitar ajustes para optimizar los procesos biológicos y mantener un equilibrio más neutral en el tratamiento.

Finalmente, la gestión de coliformes y sólidos totales parece ser efectiva, con ambos parámetros manteniéndose dentro de los límites aceptables. Este control indica un manejo adecuado de los aspectos microbiológicos y de sólidos, lo cual es de gran importancia para asegurar la calidad del agua residual tratada y la protección de los ecosistemas acuáticos receptores. Estos resultados, aunque mixtos, proporcionan una base clara para futuras intervenciones dirigidas a mejorar la eficacia del tratamiento y cumplir consistentemente con las normativas ambientales.

3.1.2 Calidad del agua residual después de la repotenciación de la planta

El proceso de repotenciación técnica realizado en la planta de tratamiento de aguas residuales del hospital se centró en optimizar el tratamiento llevado a cabo por la planta, adicionando un filtro más en la etapa de filtración terciaria. Inicialmente, se llevó a cabo una inspección exhaustiva de todos los equipos y estructuras involucrados en el proceso de tratamiento. Esta inspección identificó varios problemas, como el desgaste excesivo en las bombas de recirculación, obstrucciones en los tanques de sedimentación y acumulaciones de residuos sólidos en los filtros biológicos. Los técnicos encargados del mantenimiento procedieron a desensamblar y limpiar las bombas, reemplazar las piezas dañadas y reinstalarlas para asegurar un flujo continuo y eficiente de las aguas residuales a través del sistema.

En la siguiente fase del mantenimiento correctivo, se abordaron las obstrucciones y acumulaciones en los tanques de sedimentación y los filtros biológicos. Para ello, se utilizaron equipos de alta presión y productos químicos específicos para desincrustar y limpiar las superficies internas de los tanques, eliminando los residuos acumulados que impedían el correcto funcionamiento del sistema. Además, se implementaron mejoras en los métodos de filtración, como la actualización de los materiales filtrantes y la instalación de nuevos filtros más eficientes, capaces de retener partículas más finas y reducir la carga orgánica y química en el agua residual tratada.

Finalmente, se realizaron ajustes y calibraciones en los sistemas de monitoreo y control de la planta para garantizar una operación óptima y continua. Además, se llevó a cabo una capacitación adicional para el personal a cargo, enfocada en el manejo de los nuevos equipos y las técnicas mejoradas de mantenimiento preventivo, con el objetivo de minimizar futuros problemas y asegurar la eficacia sostenida del tratamiento de las aguas residuales del hospital.

Ahora, la evaluación de la calidad del agua residual de la repotenciación de la planta es un paso decisivo para determinar la eficacia de los métodos de tratamiento aplicados. Para asegurar una comprensión integral de la calidad del agua residual

recibida, se han establecido análisis para una amplia gama de parámetros, abarcando aspectos físicos, químicos y biológicos. Este subapartado detallará los resultados obtenidos para los 43 parámetros analizados en la tabla 6, incluyendo aceites y grasas, diversos metales como aluminio, arsénico y bario, componentes orgánicos como los compuestos fenólicos y organoclorados, además de indicadores clave como la demanda bioquímica y química de oxígeno.

Tabla 6 *Parámetros para analizar y cantidad de muestras*

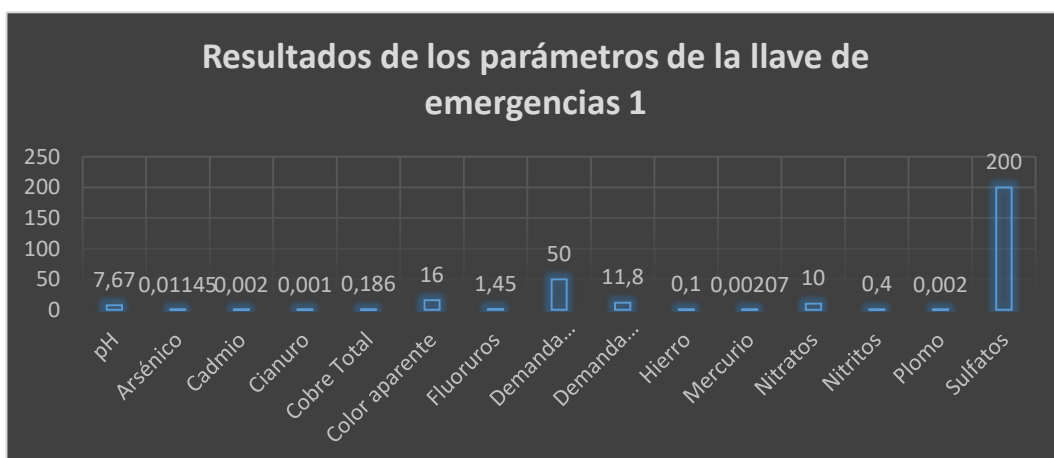
| Ítem | Parámetros para analizar | Unidad | Cantidad de muestras | Cantidad de análisis |
|------|--|--------|----------------------|----------------------|
| 1 | Aceites y grasas | Und | 4 | 2 |
| 2 | Alkil mercurio | Und | 4 | 2 |
| 3 | Aluminio | Und | 4 | 2 |
| 4 | Arsénico total | Und | 4 | 2 |
| 5 | Bario | Und | 4 | 2 |
| 6 | Boro total | Und | 4 | 2 |
| 7 | Cadmio | Und | 4 | 2 |
| 8 | Cianuro total | Und | 4 | 2 |
| 9 | Cinc | Und | 4 | 2 |
| 10 | Cloro Activo | Und | 4 | 2 |
| 11 | Cloroformo | Und | 4 | 2 |
| 12 | Cloruros | Und | 4 | 2 |
| 13 | Cobre | Und | 4 | 2 |
| 14 | Cobalto | Und | 4 | 2 |
| 15 | Coliformes Fecales | Und | 4 | 2 |
| 16 | Color real 1 | Und | 4 | 2 |
| 17 | Compuestos fenólicos | Und | 4 | 2 |
| 18 | Cromo hexavalente | Und | 4 | 2 |
| 19 | Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) | Und | 4 | 2 |
| 20 | Demanda Química de Oxígeno | Und | 4 | 2 |
| 21 | Estaño | Und | 4 | 2 |
| 22 | Fluoruros | Und | 4 | 2 |
| 23 | Fósforo total | Und | 4 | 2 |
| 24 | Hierro Total | Und | 4 | 2 |
| 25 | Hidrocarburos Totales de Petróleo | Und | 4 | 2 |

| | | | | |
|----|-----------------------------|-----|---|---|
| 26 | Manganeso total | Und | 4 | 2 |
| 27 | Materia flotante | Und | 4 | 2 |
| 28 | Mercurio total | Und | 4 | 2 |
| 29 | Níquel | Und | 4 | 2 |
| 30 | Nitrógeno amoniacal | Und | 4 | 2 |
| 31 | Nitrógeno Total Kjeldahl | Und | 4 | 2 |
| 32 | Compuestos Organoclorados | Und | 4 | 2 |
| 33 | Compuestos Organofosforados | Und | 4 | 2 |
| 34 | Plata | Und | 4 | 2 |
| 35 | Plomo | Und | 4 | 2 |
| 36 | Potencial de hidrógeno | Und | 4 | 2 |
| 37 | Selenio | Und | 4 | 2 |
| 38 | Sólidos Suspendidos Totales | Und | 4 | 2 |
| 39 | Sólidos Totales | Und | 4 | 2 |
| 40 | Sulfatos | Und | 4 | 2 |
| 41 | Temperatura | Und | 4 | 2 |
| 42 | Tensoactivos | Und | 4 | 2 |
| 43 | Tetracloruro de carbono | Und | 4 | 2 |

Fuente: (Agrorum, 2024)

En marzo se realizó un análisis exhaustivo de la calidad del agua residual procedente de la llave de emergencia y de la estación de bombeo/descarga (Anexo 4), evaluando diversos parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para determinar la carga contaminante inicial y establecer la eficacia del tratamiento requerido. A continuación, se detallan los resultados fisicoquímicos obtenidos para la llave de emergencias, junto con los métodos de ensayo utilizados en la figura 13, proporcionando una perspectiva completa sobre el estado del agua residual antes de su tratamiento.

Figura 13 Resultados de los parámetros de la llave de emergencias 1



Fuente: Claudio, E (2024).

El pH, con un valor medido de 7,67, se encontró dentro del rango estándar de 5 a 9, indicando un equilibrio adecuado para el tratamiento. Este análisis se realizó utilizando el método ME-LB-004, SM 4500 H+B, una técnica estándar en la valoración del pH que garantiza precisión en la medición.

La concentración de arsénico fue de 0.01145 mg/L, por debajo del límite de 0.1 mg/L establecido por la NTE INEN 1108, utilizando el método ME-LB-112, EAA - Horno de Grafito, que permite una detección precisa de metales pesados a niveles traza.

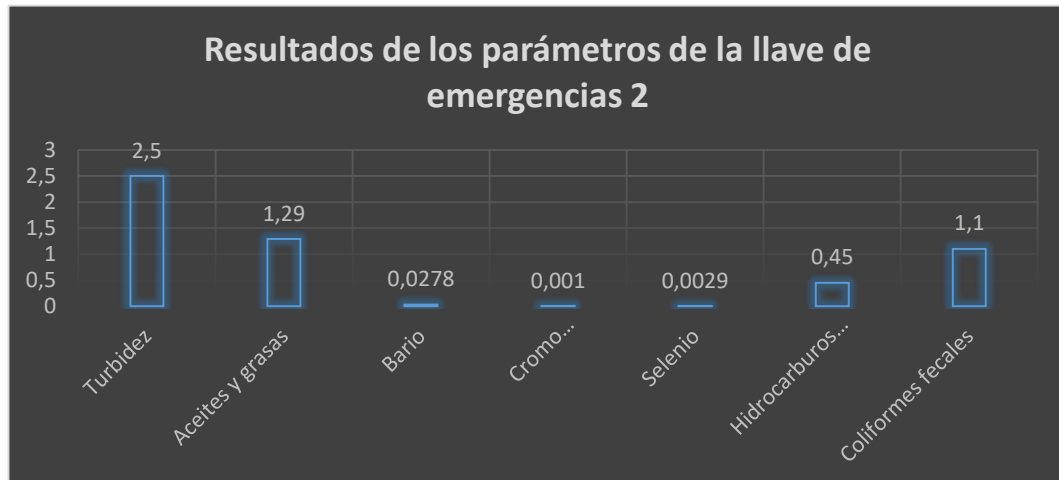
Para el cadmio, cuyo nivel fue menor a 0.002 mg/L, y el plomo, también menor a 0.002 mg/L, se emplearon los métodos ME-LB-109 y ME-LB-111, respectivamente, ambos utilizando EAA - Horno de Grafito para asegurar la medición precisa de estos metales peligrosos a concentraciones extremadamente bajas.

El análisis de cianuro reveló un valor de 0.001 mg/L, realizado con el método ME-LB-070, Hach 8027, adecuado para detectar este compuesto tóxico a bajos niveles. El cobre se determinó en 0.186 mg/L mediante el método ME-LB-093, EAA - Llama, que proporciona una cuantificación efectiva de metales en muestras acuosas.

La demanda química de oxígeno, con un resultado menor a 50 mg/L, y la demanda bioquímica de oxígeno, también menor a 11.80 mg/L, se analizaron utilizando los métodos ME-LB-031 y ME-LB-002, respectivamente. Estos métodos, basados en Colorimetría y Polarografía, son esenciales para evaluar la cantidad de materia orgánica en el agua residual.

Finalmente, los nitratos y nitritos, con concentraciones menores a 10 mg/L y 0.4 mg/L respectivamente, se midieron usando los métodos ME-LB-030 y ME-LB-050. Estos métodos son concluyentes para la determinación de estos compuestos, indicativos de contaminación por nitrógeno.

Figura 14 Resultados de los parámetros de la llave de emergencias 2



Fuente: Claudio, E (2024).

Ahora, en la figura 14 se puede apreciar la turbidez del agua residual, medida en unidades nefelométricas de turbidez (NTU), registró un valor de menos de 2.5 NTU, bien por debajo del límite permitido de 5 NTU. Este análisis se llevó a cabo utilizando el método ME-LB-042, SM 2130-B, que es reconocido por su eficacia en la determinación de la claridad del agua residual.

En cuanto a los aceites y grasas, los niveles encontrados fueron inferiores a 1.29 mg/L, analizados mediante Standard Methods 5520D, un método que permite detectar y cuantificar la presencia de lípidos en muestras acuosas con alta precisión.

El bario se detectó a un nivel de 0.0278 mg/L, que se encuentra debajo del límite máximo permitido de 2.00 mg/L, utilizando el método EPA 6010 D combinado con EPA 3010 A para una extracción efectiva y análisis de metales traza.

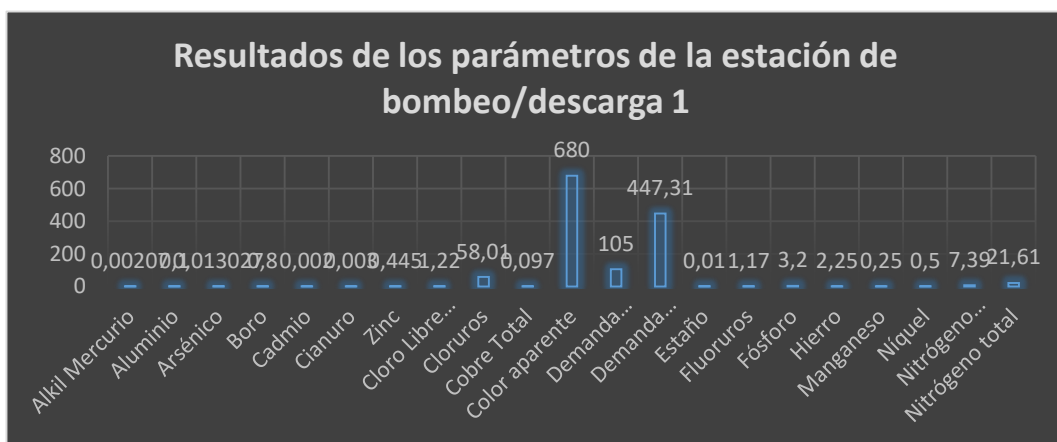
El cromo hexavalente presentó un valor inferior a 0.001 mg/L, comparado con un límite de 0.5 mg/L, utilizando el método Hach Methods 8023 SM, 3500 Cr B, que es altamente sensible a las formas oxidadas de cromo en agua residual.

El selenio, medido a menos de 0.0029 mg/L, y los hidrocarburos totales de petróleo, a menos de 0.45 mg/L, donde sus límites permisibles son de 0,1 mg/L y 20 mg/L respectivamente; se analizaron con los métodos Standard Methods 3120,

combinando EPA 3010 A, y Standard Methods 5520F, respectivamente, destacando su efectividad en la determinación precisa de estos contaminantes.

Finalmente, en el ámbito microbiológico, los coliformes fecales se encontraron en cantidades inferiores a 1 NMP/100mL, indicando una ausencia de estos indicadores bacterianos según el método ME-LB-045, SM 9221 E, lo que sugiere un bajo riesgo microbiológico en esta muestra de agua residual.

Figura 15 Resultados de los parámetros de la estación de bombeo/descarga 1



Fuente: Claudio, E (2024).

Asimismo, para la estación de bombeo/ descarga se detalla los resultados obtenidos de las muestras de aguas residuales tomadas en la figura 15, proporcionando un análisis exhaustivo de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos relevantes. Cada parámetro se ha evaluado cuidadosamente mediante técnicas analíticas específicas para garantizar la precisión y cumplimiento con los límites máximos permitidos (LMP).

Los resultados del análisis revelaron variaciones en los niveles de diversos contaminantes. El arsénico, uno de los contaminantes más vigilados, presentó un nivel de 0.013027 mg/L, ligeramente por encima del LMP de 0.1 mg/L, utilizando el método ME-LB-112, EAA - Horno de Grafito. Este exceso requiere atención para asegurar que no suponga un riesgo para la salud o el medio ambiente.

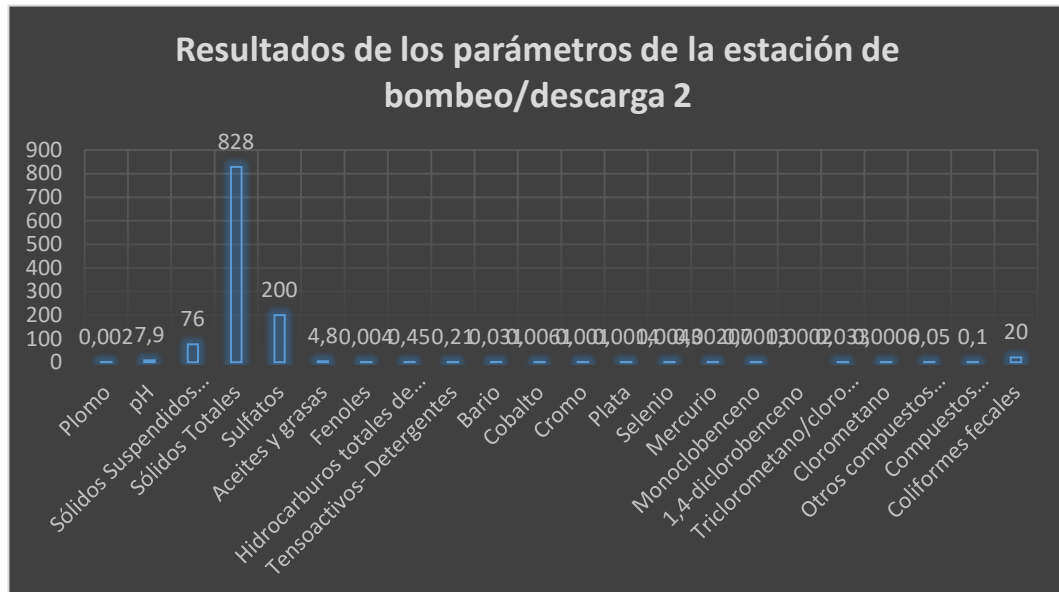
El aluminio y el cadmio registraron concentraciones inferiores a 0.100 mg/L y 0.002 mg/L, respectivamente, ambos bien por debajo de sus LMP, indicando una buena gestión de estos metales en el proceso de tratamiento. Estos análisis se llevaron a cabo utilizando los métodos ME-LB-154 para el aluminio y ME-LB-109 para el cadmio, ambos basados en la absorción atómica.

El boro y el zinc mostraron concentraciones de 0.80 mg/L y 0.445 mg/L, respectivamente. Mientras que el boro se mantuvo dentro de los límites con el método ME-LB-130, el zinc se encontró cerca del límite máximo permitido de 5.0 mg/L, analizado por ME-LB-094, EAA - Llama.

El cloro libre residual se midió en 1.22 mg/L, una concentración significativa para la desinfección, pero sin un LMP especificado, utilizando el método ME-LB-009. Los cloruros presentaron una alta concentración de 58.01 mg/L, evaluados por el método ME-LB-053, lo que podría indicar una influencia de aguas salinas o residuales industriales.

La demanda química de oxígeno fue excepcionalmente alta, a 447.31 mg/L, lo que indica una significativa carga orgánica y contaminante. Esta medición fue realizada utilizando el método ME-LB-001, que es crucial para evaluar la cantidad total de contaminantes en el agua residual. Por su parte, el nitrógeno total fue medido en 21.61 mg/L, utilizando el método ME-LB-157, indicativo de posibles aportes orgánicos o agrícolas.

Figura 16 Resultados de los parámetros de la estación de bombeo/descarga 2



Fuente: Claudio, E (2024).

En la figura 16, se pueden ver los niveles de plomo fueron inferiores a 0.002 mg/L, medidos por ME-LB-111, lo que es significativamente menor que el límite de 0.2 mg/L, mostrando una baja contaminación por metales pesados en este parámetro.

El pH se encontró en 7.90, dentro del rango óptimo de 5 a 9, asegurando un ambiente acuático equilibrado, medido por ME-LB-004. Los sólidos totales disueltos fueron cuantificados en 828.00 mg/L, muy por debajo del límite de 1600 mg/L, lo que indica una moderada mineralización del agua residual, medidos usando ME-LB-007.

Los sulfatos y los aceites y grasas, con concentraciones menores a 200 mg/L y 4.80 mg/L respectivamente, fueron analizados utilizando ME-LB-031 y Standard Methods 5520D. Estos niveles son indicativos de una buena gestión de los contaminantes industriales y residuales.

En cuanto a compuestos orgánicos, el monoclorobenceno y 1,4-diclorobenceno se detectaron en bajas concentraciones (0.0013 µg/L y 0.0002 µg/L, respectivamente), medidos usando métodos de cromatografía de gases acoplada a espectrometría de

masas (House Method, HS-GC/MS), mostrando una efectiva eliminación o ausencia de estos contaminantes volátiles.

El análisis microbiológico reveló 20.00 NMP/100mL de coliformes fecales, mucho menor que el límite de 2000 NMP/100mL, indicando un bajo riesgo microbiológico en el agua residual, evaluado por ME-LB-045.

Las conclusiones derivadas de las evaluaciones realizadas en las muestras GYE-24/1235 y GYE-24/1237 han evidenciado ciertas irregularidades en cuanto a la calidad del agua residual previo al tratamiento. En particular, se ha identificado que ambos ejemplos excedieron los límites de arsénico establecidos por la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108, lo que resalta una preocupación significativa para los estándares de consumo y seguridad ambiental. Este exceso de arsénico no solo plantea riesgos potenciales para la salud sino también desafíos adicionales para los procesos de tratamiento en la planta.

Además, la muestra GYE-24/1237 también mostró valores elevados en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), superando los límites recomendados por la legislación secundaria del Ministerio del Ambiente. Este incremento en la DBO indica una alta carga orgánica en el agua residual, lo cual podría afectar la eficiencia de los sistemas de tratamiento y la calidad del agua residual tratada. La persistencia de estos niveles elevados de contaminantes subraya la necesidad de revisar y potencialmente intensificar los métodos de tratamiento previos a la liberación del agua residual al ambiente o su reutilización, asegurando así que se cumplan los estándares reglamentarios y se proteja la salud pública.

3.1.3 Cantidad del agua residual

La cantidad de agua residual tratada en la planta se mantiene constante tanto en la entrada como en la salida del sistema de tratamiento, conforme al Principio de Conservación de la Masa. Este principio establece que, en un sistema cerrado sin pérdidas ni acumulación, la cantidad de masa que entra en el sistema debe ser igual a la cantidad de masa que sale.

$$\text{Masa entrante} = \text{Masa saliente}$$

En términos de flujo volumétrico para un sistema de tratamiento de aguas residuales, esta ecuación se convierte en:

$$Q_{\text{entrada}} = Q_{\text{salida}} \text{ es decir } 260 \text{ m}^3 = 260 \text{ m}^3$$

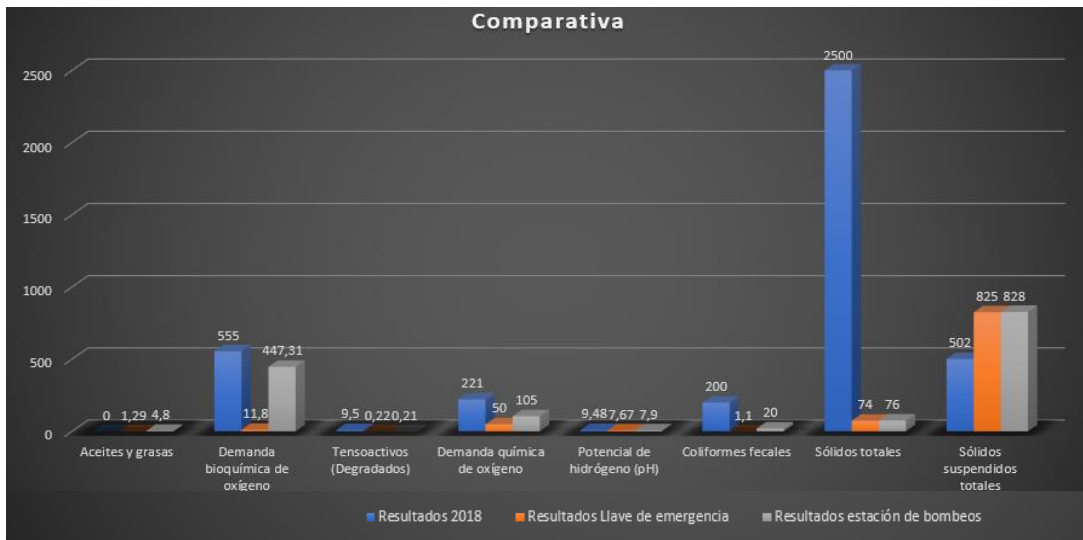
Este valor de caudal de 260 m³/día se obtuvo mediante mediciones precisas realizadas en puntos clave del sistema de tratamiento. Se utilizaron medidores de flujo electromagnéticos marca Siemens, modelo SITRANS FM MAG 8000, con una capacidad de medición de hasta 1000 m³/h y una precisión del ±0.2%. Estos medidores fueron seleccionados por su alta fiabilidad y precisión en la medición de flujos en sistemas de tratamiento de aguas residuales.

DISCUSIÓN

La evaluación comparativa de los parámetros del agua residual antes y después del mantenimiento correctivo es fundamental para determinar la eficacia de las intervenciones realizadas en la planta de tratamiento. A continuación, se presenta un análisis detallado de cómo variaron los niveles de diversos contaminantes y características físico-químicas tras la repotenciación de la planta. Este estudio no solo refleja la capacidad del sistema para mejorar la calidad del agua residual, sino que también resalta áreas específicas donde se lograron avances significativos o donde aún persisten desafíos. Esta comparativa es crucial para optimizar continuamente los procesos de tratamiento y asegurar el cumplimiento con las normativas ambientales vigentes.

A continuación, se presenta el gráfico de la figura 17, donde se expresan los valores comparativos entre ciertos parámetros del análisis del agua residual.

Figura 17 Comparación entre los parámetros antes y después de la optimización



Fuente: Claudio, E (2024).

En 2018, los aceites y grasas en el agua residual se midieron en 0.00 mg/L, indicando una eliminación efectiva. Posteriormente, en la llave de emergencia, se observó un leve aumento a 1.29 mg/L, y en la estación de bombeos, el nivel aumentó significativamente a 4.80 mg/L. Este incremento sugiere que, a pesar de la eficiencia inicial, los procesos de mantenimiento o las condiciones operativas pueden estar permitiendo la acumulación o menos eficacia en la eliminación de estos compuestos.

Inicialmente, la Demanda Química de Oxígeno (DBO) fue extremadamente alta, registrándose en 555.00 mg/L, lo cual refleja una significativa contaminación orgánica biodegradable. Tras el mantenimiento, los resultados en la llave de emergencia mostraron una dramática reducción a 11.80 mg/L y en la estación de bombeos a 447.31 mg/L, indicando una mejora notable en la capacidad del sistema para manejar la carga orgánica, aunque sigue siendo alta en la estación de bombeos comparado con la llave de emergencia.

Con respecto a los tensoactivos (degradados), también mostraron una disminución considerable desde 9.50 mg/L en 2019 a 0.22 mg/L y 0.21 mg/L en la llave de emergencia y la estación de bombeos respectivamente. Esta reducción es un

indicativo de mejoras en el tratamiento de contaminantes específicos que pueden afectar negativamente a la biota acuática y la calidad del agua residual.

Ahora, la Demanda Química de Oxígeno (DQO) se redujo de 221.00 mg/L a 50.00 mg/L en la llave de emergencia y a 105.00 mg/L en la estación de bombeos. Este resultado sugiere que el proceso de oxidación química de la materia orgánica ha mejorado significativamente, reflejando un tratamiento más eficiente post-mantenimiento.

Referente al potencial del hidrógeno o mejor conocido como pH mostró una disminución desde 9.48 a 7.67 en la llave de emergencia y a 7.90 en la estación de bombeos, acercándose más a condiciones neutras. Este cambio implica que el tratamiento ha sido ajustado para optimizar el pH, mejorando las condiciones generales del agua residual para los procesos biológicos.

Los coliformes fecales se redujeron de 200.00 mg/L a 1.10 mg/L en la llave de emergencia y a 20.00 mg/L en la estación de bombeos, demostrando un control microbiológico más efectivo después del mantenimiento.

Finalmente, los sólidos totales y suspendidos totales mostraron una disminución masiva desde 2500.00 mg/L y 502.00 mg/L respectivamente a 74.00 mg/L y 76.00 mg/L en la llave de emergencia y a 825.00 mg/L y 828.00 mg/L en la estación de bombeos. Estos cambios indican una gestión más efectiva de los sólidos, crucial para la claridad y calidad del agua residual tratada.

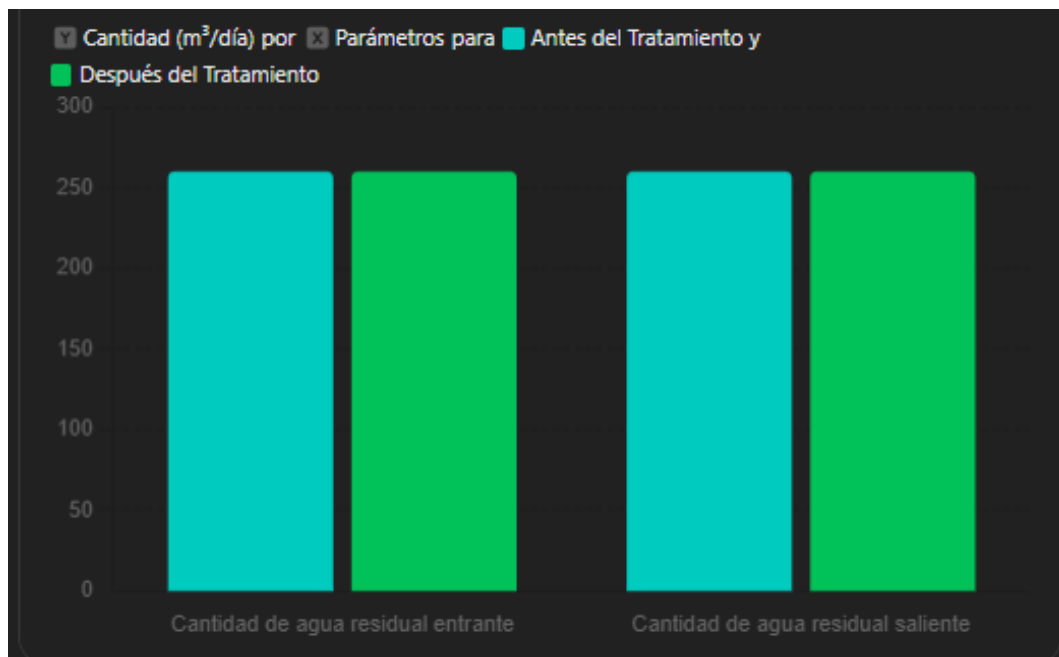
En la evaluación actual de la planta de tratamiento de aguas residuales, es decir, luego de la repotenciación, se observa que la operación se mantiene dentro de los estándares normales, cumpliendo con la mayoría de los límites establecidos por la tabla 9 "Límite de descarga de efluente al curso de agua dulces" del Ministerio del Ambiente. Sin embargo, se identifica una excepción notable en el cumplimiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), que supera los límites permisibles. Este indicador es crucial pues refleja la cantidad de oxígeno que los organismos biológicos requerirían para descomponer el material orgánico presente en el agua residual.

En la planta de tratamiento de aguas residuales del Hospital General Latacunga, el proceso de tratamiento se estructura en varias etapas clave para asegurar la eficiencia y cumplimiento con las normativas ambientales. Inicialmente, los tratamientos primarios como el desbaste, desarenado y desengrasado eliminan los sólidos y materiales flotantes más grandes. Posteriormente, el tratamiento secundario mediante el proceso biológico de lodos activados utiliza microorganismos en tanques de aireación para degradar la materia orgánica. Los clarificadores secundarios luego separan los lodos de las aguas clarificadas, reduciendo significativamente la carga orgánica del agua.

La repotenciación se enfoca en la etapa de tratamiento terciario, donde se ha integrado un filtro de ultrafiltración. Esta adición responde a la necesidad de mejorar la calidad del efluente final para cumplir con estándares más estrictos de descarga. El filtro de ultrafiltración es elegido específicamente por su capacidad para eliminar partículas muy finas y microorganismos que no son completamente retenidos en las etapas anteriores. El análisis físico-químico realizado mostró altas concentraciones de partículas en suspensión que el sistema existente no lograba tratar eficazmente, destacando la necesidad de esta mejora tecnológica.

Además de la adición del filtro, la repotenciación incluyó ajustes meticulosos en los sistemas de aireación y la optimización de la dosificación de químicos, recalibración de los sistemas de control, y revisión de los protocolos operativos para garantizar que todas las etapas del proceso de tratamiento funcionen según las especificaciones técnicas requeridas. La implementación del filtro de ultrafiltración no solo permite alcanzar y superar los límites regulativos de calidad del agua para la descarga segura en cuerpos receptores, sino que también representa una solución costo-efectiva dentro del presupuesto asignado. Al reducir las partículas en suspensión que previamente alteraban los análisis de calidad del agua, se garantiza el cumplimiento de las normativas ambientales ecuatorianas. Esta mejora en la planta de tratamiento es un paso crucial para el Hospital General Latacunga en su compromiso con la sostenibilidad ambiental y la salud pública.

Figura 18 Cantidad del agua residual antes y después del mantenimiento correctivo de la planta de tratamiento de aguas residuales del hospital



Fuente: Claudio, E (2024).

Los resultados obtenidos en la figura 18 demuestran que el sistema de tratamiento de aguas residuales del hospital opera de manera eficiente, manteniendo un volumen constante de 260 metros cúbicos diarios tanto en la entrada como en la salida. Esto no solo confirma la capacidad del sistema para procesar el volumen recibido sin pérdidas, sino que también subraya la estabilidad y fiabilidad del tratamiento, incluso después de un mantenimiento correctivo significativo. La implementación de equipos de medición precisos y la adherencia a principios físicos fundamentales aseguran que el proceso de tratamiento se realice de manera eficaz, garantizando la calidad y consistencia en la gestión de aguas residuales.

4. CONCLUSIONES

La planta de tratamiento de aguas residuales del Hospital General Latacunga enfrenta desafíos significativos debido a la carga de contaminantes orgánicos y partículas en suspensión que desestabilizan el proceso biológico aerobio. Las estructuras de pretratamiento existentes, como los sistemas de cribado, han demostrado ser insuficientes, reteniendo solo hasta un 30% de estos contaminantes, lo cual resulta en una sobrecarga continua en el reactor biológico.

Para abordar estas deficiencias en primera instancia, se ha optado por una estrategia de repotenciación que incluye la implementación de un sistema híbrido, introduciendo un filtro de ultrafiltración. Este enfoque no solo mejora la calidad del efluente tratado, permitiendo que cumpla con estándares más estrictos de descarga, sino que también proporciona una solución robusta para degradar los contaminantes que el tratamiento biológico tradicional no puede manejar eficazmente.

En el análisis del agua residual realizado, se observa que la planta opera dentro de los límites establecidos por la normativa ambiental, con excepción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). Esta excepción indica la necesidad de una revisión continua de los procesos implementados y posiblemente ajustes en la operativa del nuevo filtro y sistema híbrido para optimizar la absorción de materia en suspensión y reducir la DBO a niveles aceptables.

Un tema muy importante y a tener en cuenta, es la identificación de la falta de personal técnico dedicado a la operación continua de la planta, lo que es un factor crítico que afecta la eficacia del tratamiento. La asignación de un especialista dedicado a la supervisión regular de la planta es esencial para asegurar la operación efectiva y la detección oportuna de cualquier anomalía en el sistema.

Como medida inmediata, además de la repotenciación realizada, se enfatiza la necesidad de establecer un programa de capacitación y asignación de recursos que garantice la operatividad técnica y administrativa de la planta. Esto incluye asegurar que el personal operativo esté completamente capacitado para manejar los nuevos componentes de la planta, como el filtro de ultrafiltración y el sistema de

electrocoagulación, garantizando que la planta alcance y mantenga su capacidad operativa máxima en un 100%, especialmente bajo condiciones de carga máxima estimada.

Es vital asegurar un presupuesto adecuado no solo para el mantenimiento, sino también para la operación y supervisión efectiva de la planta de tratamiento. La inclusión de estos gastos en la estructura operativa del hospital es crucial para mantener la funcionalidad óptima de la planta y cumplir con las regulaciones ambientales vigentes, protegiendo así la salud pública y el medio ambiente local.

Aspectos Técnicos a tener en cuenta para la optimización y repotenciación de la planta de Tratamiento del Hospital General Latacunga

Para hablar de repotenciación de la Planta de tratamiento, debemos hablar de un adecuado funcionamiento pero sobre todo de garantizar la vida útil del proceso, que se logrará con un adecuado manejo y mantenimiento operativo tanto funcional como estructural; es decir en lo que se refiere a la maquinaria y sobre todo, en la parte del personal que la maneja y opera; por esta razón se debe tomar en cuenta los siguientes aspectos de optimización general y particular de los procesos; y así poder hablar de una verdadera repotenciación.

Revisión general del sistema y sus procesos; se debe prestar atención tanto en los aspectos de la seguridad de las instalaciones como en la eficiencia de los procesos. Por eso es necesario hacer revisiones frecuentes del sistema, como presión en líneas de alimentación, tuberías y de bombas; estado de tanques y posibles filtraciones.

Una de las principales etapas en el tratamiento de agua, es el proceso de sedimentación, el cual se basa en la separación por medio de diferencia de densidades entre partículas contenidas en el agua y el medio soluble, obteniéndose en la parte inferior del tanque los contaminantes más pesados. La revisión particular de esta etapa tendrá relación con la identificación de la contaminación depositada, tiempos para realizar el drenaje de lodos, etc.

Vigilar los niveles de contaminación externa es importante puesto que la operación de una planta de tratamiento de aguas, no solamente se debe tener en cuenta el producto final sino el manejo de los elementos contaminantes, como los desechos y residuos o si es el caso, mantener control de malos olores o filtrados hacia el exterior.

Realizar una incorporación periódica controlada de bacterias, puesto que uno de los puntos cruciales de la mayoría de las plantas de tratamiento de agua es el uso de procesos aeróbicos, por eso es necesario el control y medición en laboratorio de los niveles de oxigenación necesarios.

Condición del agua que ingresa al sistema y calidad del agua tratada.

Es muy importante realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos periódicos para determinar la condición del agua que ingresa al sistema y de la que es vertida al ambiente. Al conocer la calidad del agua de entrada, se podrá establecer con mayor precisión los procesos empleados. Por otro lado, los análisis al agua tratada ofrecerán un diagnóstico sobre la eficiencia del proceso.

Referente a la variable de cantidad del agua residual, la capacidad de una planta de tratamiento de aguas residuales debe estar en la capacidad de manejar variaciones en la cantidad de agua residual, ya que esto es importante para su funcionamiento eficiente y sostenible. En escenarios donde la cantidad de agua residual pudiera aumentar, es esencial considerar tanto las limitaciones actuales del sistema como las posibles ampliaciones y mejoras que podrían implementarse.

Si la cantidad de agua residual aumentara, la planta de tratamiento tendría que evaluar su capacidad para manejar volúmenes adicionales. Esto podría involucrar varias acciones estratégicas, como serían:

- Ampliación de la capacidad de tratamiento: Una de las alternativas más directas sería ampliar la infraestructura existente. Esto podría incluir la instalación de tanques de sedimentación adicionales, ampliación de los sistemas de filtración y la adición de bombas de mayor capacidad. La

actualización de los equipos a versiones con mayor eficiencia y capacidad también sería fundamental.

- Otra estrategia sería optimizar los procesos existentes para manejar mayores volúmenes de agua sin necesidad de una expansión física significativa. Esto podría incluir la implementación de tecnologías avanzadas de tratamiento, como sistemas de membranas, ozonificación o tratamientos biológicos avanzados. Estas tecnologías pueden aumentar la capacidad de tratamiento y mejorar la calidad del agua residual tratada.
- Es fundamental implementar un sistema de gestión y monitoreo eficiente que permita la detección temprana de incrementos en el volumen de agua residual. Herramientas de monitoreo en tiempo real y análisis predictivo pueden ayudar a anticipar y gestionar estos incrementos de manera proactiva, asegurando que la planta opere dentro de sus límites de capacidad sin comprometer la calidad del tratamiento.

En el caso de una disminución en la cantidad de agua residual, las implicaciones serían diferentes, pero igualmente importantes. Un menor volumen de agua podría impactar la eficiencia de ciertos procesos de tratamiento que están diseñados para operar de manera óptima a volúmenes específicos. Las acciones estratégicas en este escenario podrían incluir:

- Ajustar las operaciones diarias de la planta para optimizar el tratamiento de menores volúmenes de agua. Esto podría implicar la modulación de la velocidad de las bombas, la redistribución de flujos y el ajuste de tiempos de retención en tanques de sedimentación y filtros biológicos.
- Implementar tecnologías flexibles y adaptativas que puedan operar eficientemente a diferentes volúmenes de flujo. Sistemas de tratamiento avanzados, como los reactores secuenciales por lotes (SBR) o los biorreactores de membrana (MBR), pueden ser particularmente útiles en este contexto, ya que permiten ajustar fácilmente la capacidad de tratamiento sin comprometer la eficiencia o la calidad del proceso.
- Promover la reutilización y el reciclaje del agua tratada dentro de la propia instalación o en aplicaciones externas. Esto no solo optimiza el uso de

recursos hídricos, sino que también puede generar beneficios económicos y ambientales.

Entonces, como conclusión, la capacidad de una planta de tratamiento de aguas residuales para adaptarse a cambios en la cantidad de agua tratada es fundamental para su operatividad y sostenibilidad a largo plazo. Mediante la implementación de estrategias de ampliación, optimización de procesos, gestión eficiente y adopción de tecnologías avanzadas, es posible asegurar que la planta opere eficientemente bajo diversas condiciones de volumen de agua residual.

5. RECOMENDACIONES

- Para asegurar el funcionamiento óptimo de los equipos en el proceso de tratamiento, es crucial que la temperatura ambiente se mantenga entre los límites de 5 °C y 45 °C. Operar los equipos en temperaturas ambientales por debajo de los 5 °C puede llevar a la condensación del aceite dieléctrico, lo que resulta en la pérdida de sus capacidades de aislamiento y refrigeración, afectando así el rendimiento de los equipos. Por otro lado, si la temperatura ambiente supera los 45 °C, los equipos pueden experimentar un sobrecalentamiento. Este aumento excesivo de temperatura puede comprometer el funcionamiento de las máquinas y causar daños irreversibles en los equipos.
- Realizar una revisión periódica y técnica de las cribas para que no exista un paso excesivo de los sólidos (lodos) y así no se acumule mucho material para las respectivas limpiezas.
- Independientemente de si la cantidad de agua residual aumenta o disminuye, existen varias acciones comunes que pueden ser implementadas para asegurar la eficiencia y sostenibilidad del sistema de tratamiento. tales como el análisis fisicoquímico y microbiológico del agua (cruda y tratada), medición de consumo de corriente y voltaje de los equipos eléctricos, medición de presión y aforo de caudal de alimentación al sistema, entre otras. Conocer los resultados y sus análisis permitirán programar y realizar las correcciones y reparaciones de forma anticipada, antes de que ocurran paros inesperados.
- Asegurar que el personal de operación esté adecuadamente capacitado en las últimas tecnologías y métodos de tratamiento. La formación continua y el desarrollo profesional son cruciales para adaptarse a cambios en el volumen de agua residual y para implementar nuevas estrategias de tratamiento de manera efectiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrorum. (2024). *"INFORME GENERAL. SERVICIO DE "ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA DE CONSUMO HUMANO Y DESCARGA DE AGUA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL HOSPITAL GENERAL LATACUNGA"*.
- Arboleda, J. (2000). "Teoría y práctica de la purificación del agua". *Editorial Nomos S.A.*, 3, 361.
- Baeza, E. (2018). "Técnicas y métodos de tratamiento para diferentes tipos de aguas residuales". *Asesoría Técnica Parlamentaria*. Valparaíso: Biblioteca Nacional del Congreso de Chile. [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/25552/2/Informe_Tratamiento_Aguas_Residuales.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/25552/2/Informe_Tratamiento_Aguas_Residuales.pdf)
- Barrantes, E., y Cartín, M. (2017). *"Eficacia del tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Costa Rica en la Sede de Occidente, San Ramón, Costa Rica"*. Universidad de Costa Rica. <https://doi.org/chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v9n1/1659-4266-cinn-9-01-00193.pdf>
- Bermeo, D., & Salazar, F. (2013). *"OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DE UNA EMPRESA TEXTIL"*. Universidad Salesiana politécnica de Ecuador. <https://doi.org/chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6215/1/UPS-GT000524.pdf>
- Borges, C. (1996). *"Determinación de parámetros de diseño de un tratamiento físico químico de aguas residuales"*. Yucatán.
- Cely, N., Carrillo, J., & Bonilla, C. (2022). *"Tratamientos de aguas residuales"*. Universidad Francisco de Paula Santander. https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/376375373_Tratamientos_de_aguas_residuales

- García, E., Meléndez, I., Barahona, R., & Álvarez, A. (2019). "Impacto en la salud humana de los desechos provenientes en hospitales y posibles estrategias de manejo". *Revista Cuatrimestral "Conecta Libertad"*, 3(2), 24-43. <https://doi.org/ISSN 2661-6904>
- Martínez, E. (2002). *"Texto unificado de legislación ambiental secundaria"*. Guayaquil.
- Matos, B., y Paulino, D. (2023). *"El impacto ambiental de la depuración y reutilización de aguas residuales"*. INTEC.
https://doi.org/https://www.researchgate.net/publication/367090115_El_impacto_ambiental_de_la_depuracion_y_reutilizacion_de_aguas_residuales
- METCALF&EDDY. (1996). *"Ingeniería sanitaria, evacuación y reutilización de aguas residuales"*. Mc Graw Hill. New York.
- ONU. (08 de Febrero de 2018). *"Desechos de las actividades de atención sanitaria"*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste>
- Orellana, J. (2018). *"TRATAMIENTO DE LAS AGUAS"*. Facultad Regional Rosario.
- ONU-Hábitat y OMS, 2021. *Progress on wastewater treatment – Global status and acceleration needs for SDG indicator 6.3.1*. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat) y Organización Mundial de la Salud (OMS), Ginebra.
Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2022: special focus on gender. Nueva York: Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) y Organización Mundial de la Salud (WHO);
<https://washdata.org/reports/jmp-2023-wash-households>
- Pazmiño, Z. (2002). *"Investigación científica, metodología y diseño de proyectos"*. Guayaquil.
- Pimiento, K., y Cárdenas, M. (2021). *"Evaluación del tratamiento preliminar y primario para las aguas residuales del procesamiento industrial de alimentos en La Grita (Venezuela)"*. Universidad Nacional Experimental

- del Táchira. San Cristóbal .
<https://doi.org/file:///C:/Users/usuario/Downloads/Dialnet-EvaluacionDelTratamientoPreliminarYPrimarioParaLas-8906649.pdf>
- Rodríguez, H. (13 de Marzo de 2017). "*Las aguas residuales y sus efectos contaminantes*". Club ¡agua: <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- Subdirección Ambiental del Área Metropolitana del Valle de Aburrá . (2019). "*MANUAL DE MONITOREO DE AGUA SUPERFICIAL*". Medellín.
<https://doi.org/chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.metropol.gov.co/area/Documents/transparencia/M-GAA-RR-01%20Manual%20para%20el%20monitoreo%20de%20aguas%20superficiales.pdf>
- Telwesa. (2021 de Julio de 2021). "*Tratamiento terciario de aguas residuales*".
<https://telwesa.com/tratamiento-terciario-de-aguas-residuales/>
- Troconis, A. (2010). "*Tratamiento de Aguas Residuales*". Belzona:
<https://belzona.com/en/index.aspx>
- Vega, E., Alcedo, K., Jáuregui, P., Mendoza, L., Najar, E., & Contreras, R. (2022). "Gestión de residuos sólidos hospitalarios y salud ambiental en los centros hospitalarios". *Revista Científica Multidisciplinar*, 6(6), 1-16.
https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i6.3685

6. ANEXOS

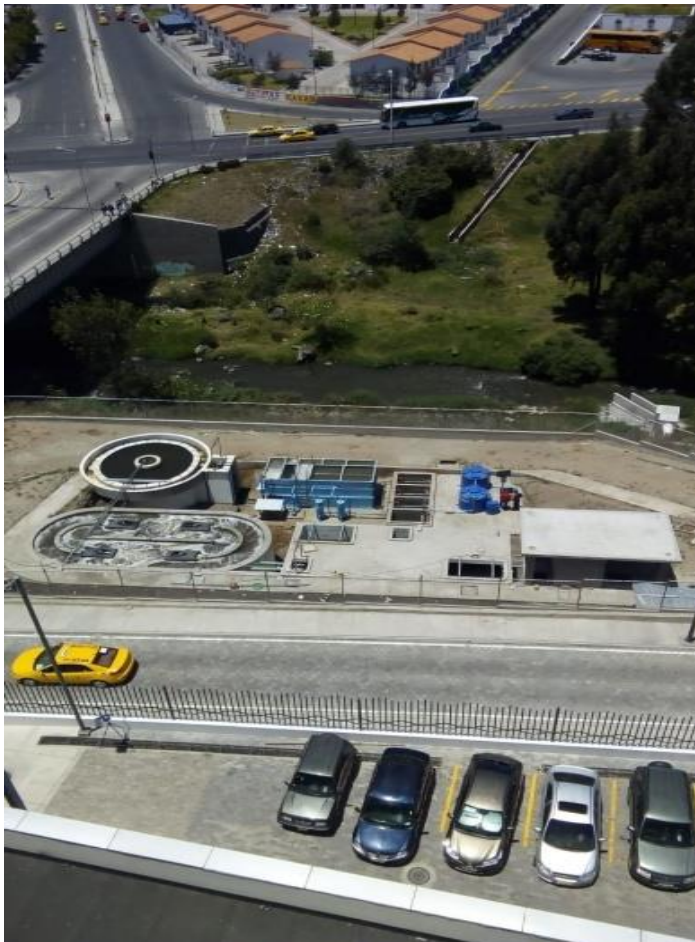
Anexo 1

EDIFICIO NUEVO DEL HOSPITAL GENERAL LATACUNGA



Anexo 2

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA



Anexo 3

VISITA DE CAMPO A LA PLANTA DE TRATAMIENTO CON EL TURTOR Y PERSONAL A CARGO DEL MANEJO AMBIENTAL DEL HOSPITAL



Anexo 4

RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL ANTES DE LA REPOTENCIACIÓN DE LA PLANTA

| CONDICIONES AMBIENTALES | | TEMPERATURA (°C) | | - 21.8 | | |
|--|-----------------|---------------------------------|--------------------------|-------------------------|---------|-----------|
| COORDENADAS EN EL PUNTO DE MUESTREO | | NUTRIENTES RELATIVOS | | S | | |
| TECNICO RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA | | CLIENTE | | Muestra | | |
| TIPO DE TOMA DE MUESTRA (Punto / Compuesto) | | FECHA DE TOMA DE MUESTRA | | 20/08/2021 | | |
| FECHA DE TOMA DE MUESTRA | | HORA DE TOMA DE MUESTRA | | 16:00 | | |
| FECHA DE INGRESO DE MUESTRA | | HORA DE INGRESO DE MUESTRA | | 16:30 | | |
| FECHA DE ANALISIS | | FECHA DE REALIZACION DE REPORTE | | 20/08/2021 - 20/08/2021 | | |
| ANALISTA RESPONSABLE DE ELABORACION DE REPORTE | | PAISAJE | | Paisaje LEA | | |
| PARAMETRO | UNIDAD | VALOR REAL PERMISIBLE | METODOS | U (%) | Especia | CHILE (C) |
| | | | | | AR21348 | |
| Aceites y Grasas | mg/L | 70 | PEE04/SM-Ed-22-6530B | 15% | <50,0 | NC |
| Demanda Bioquímica De Oxígeno (5 Días) | mg/L | 250 | PEE11/SM-Ed-22-5210D | 15% | 555 | NC |
| Tensoactivos (Detergentes) | mg/L | 2,0 | PEE05/HACH2021 | 17% | 5,50 | NC |
| Demanda Química De Oxígeno | mg/L | 500 | PEE03/SM-Ed-22-5220D | 3% | 221 | NC |
| Potencial de Hidrógeno | un pH | 0-9 | PEE02/SM-Ed-22-4500 H +B | 0,00% | 5,48 | C |
| Coliformes Fecales | Colonias/100 ml | NA | PEE47/SM-Ed-22-0222D | NA | 2,1E+02 | NC |
| Sólidos Totales | mg/L | 1600,0 | PEE04/SM-Ed-22-2540 B | NA | 2600,0 | NC |
| Sólidos Suspensos Totales | mg/L | 250,0 | PEE07/SM-Ed-22-2540 B | 14% | 502,0 | NC |

Anexo 5

RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS DE AGUA RESIDUAL DESPUÉS DE LA REPOTENCIACIÓN DE LA PLANTA



CÓDIGO: F-M-C

Muestreo mes 01: Marzo

- Llave sala de emergencia

Lab-ID: GYE-24/1235 1/2 y GYE-24/1235 2/2

Tabla 3. Resultados de los análisis de llave sala de emergencia

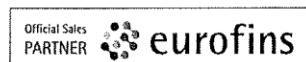
| Parámetro | Unidad | Resultado | LMP | Método de ensayo |
|-------------------------------|--------|-----------|-----------|---|
| Fisicoquímicos | | | | |
| pH | --- | 7,67 | 6,5 - 8,0 | ME-LB-004, SM 4500 H+ B |
| Arsénico | mg/L | 0,011450 | 0,01 | ME-LB-112, EAA - Horno de Grafito |
| Cadmio | mg/L | <0,002 | 0,003 | ME-LB-109, EAA - Horno de Grafito |
| Cianuro | mg/L | 0,001 | --- | ME-LB-070, Hach 8027 |
| Cobre Total | mg/L | 0,186 | 2,0 | ME-LB-093, EAA - Llama |
| Color aparente | UPiCo | 16,00 | 15 | ME-LB-040, Hach 8025 |
| Fluoruros | mg/L | 1,45 | 1,5 | ME-LB-043, SM 4500-F B & D, Ed. 24, 2023 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | <50 | --- | ME-LB-001, Colorimetría |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | <11,80 | --- | ME-LB-002, Polarográfica |
| Hierro | mg/L | <0,100 | --- | ME-LB-092, EAA - Llama |
| Mercurio | mg/L | <0,00207 | 0,006 | ME-LB-153, Generador de Hidruros |
| Nitratos | mg/L | <10 | 50,0 | ME-LB-030, Hach 10206, 8171 |
| Nitritos | mg/L | <0,4 | 3,00 | ME-LB-050, Hach 8507, Ed. 11, 2019 |
| Plomo | mg/L | <0,002 | 0,01 | ME-LB-111, EAA - Horno de Grafito |
| Sulfatos | mg/L | <200 | --- | ME-LB-031, Hach 10227, SM 4500-E SO42- Ed. 24, 2023 |

098 394 1335

Ecuador


www.agrorum.net
info@agrorum.net


6



| Parámetro | Unidad | Resultado | LMP | Método de ensayo |
|--------------------------------------|--------|-----------|------|--|
| Fisicoquímicos | | | | |
| Turbidez | NTU | <2,5 | 5 | ME-LB-042, SM 2130-B Nefelométrico, Ed. 24,2023 |
| Aceites y grasas | mg/L | <1,29 | --- | Standard Methods, Ed.23,2017 5520D |
| Bario | mg/L | 0,0278 | 1,30 | EPA 6010 D Digestión: EPA 3010 A |
| Cromo hexavalente | mg/L | <0,001 | 0,05 | Hach Methods 8023 SM, Ed.23,2017 3500 Cr B |
| Selenio | mg/L | <0,0029 | 0,04 | Standard Methods, Ed.23,2017 3120. EPA 3010 A |
| Hidrocarburos totales de petróleo | mg/L | <0,45 | --- | Standard Methods, Ed.23,2017 5520F |

| Parámetro | Unidad | Resultado | LMP | Método de ensayo |
|------------------------|-----------|-----------|----------|--------------------------------------|
| Microbiológicos | | | | |
| Coliformes fecales | NMP/100mL | <1,1 | Ausencia | ME-LB-045, SM 9221 E, Ed 24, 2023 |

 098 394 1335

 Ecuador

 www.agrorum.net
info@agrorum.net

7



• Estación de bombeo / Descarga

Lab-ID: GYE-24/1237 1/3, GYE-24/1237 2/3 y GYE-24/1237 3/3

Tabla 4. Resultados de los análisis de la estación de bombeo / descarga

| Parámetro | Unidad | Resultado | LMP | Método de ensayo |
|-------------------------------|--------|-----------|-------|---|
| Fisicoquímicos | | | | |
| Alkil Mercurio | mg/L | <0,00207 | 0,005 | ME-LB-153, Generador de Hidruros |
| Aluminio | mg/L | <0,100 | 5,0 | ME-LB-154, Absorción Atómica |
| Arsénico | mg/L | 0,013027 | 0,1 | ME-LB-112, EAA - Horno de Grafito |
| Boro | mg/L | 0,80 | 2,0 | ME-LB-130 Calcinación |
| Cadmio | mg/L | <0,002 | 0,02 | ME-LB-109, EAA - Horno de Grafito |
| Cianuro | mg/L | 0,003 | 0,1 | ME-LB-070, Hach 8027 |
| Zinc | mg/L | 0,445 | 5,0 | ME-LB-094, EAA - Llama |
| Cloro Libre residual | mg/L | 1,22 | --- | ME-LB-009, HACH 8021 / SM 4500-CI G, Ed. 24, 2023 |
| Cloruros | mg/L | 58,01 | 1000 | ME-LB-053, SM 4500 Cl-B. Argentométrico, Ed 24, 2023 |
| Cobre Total | mg/L | 0,097 | 1,0 | ME-LB-093, EAA - Llama |
| Color aparente | UPtCo | 680,00 | --- | ME-LB-040, Hach 8025 |
| Demanda química de oxígeno | mg/L | 105,00 | 200 | ME-LB-001, Colorimetría |
| Demanda bioquímica de oxígeno | mg/L | 447,31 | 100 | ME-LB-002, Polarográfica |
| Estaño | mg/L | <0,01 | 5,0 | ME-LB-113, EAA - Horno de Grafito |
| Fluoruros | mg/L | 1,17 | 5,0 | ME-LB-043, SM 4500-F B & D, Ed. 24, 2023 |
| Fósforo | mg/L | 3,20 | 10,0 | ME-LB-052, HACH 10127, Ed. 9, 2014 SM, 4500 P-C, Ed. 24, 2023 |
| Hierro | mg/L | 2,25 | 10,0 | ME-LB-092, EAA - Llama |
| Manganeso | mg/L | <0,250 | 2,0 | ME-LB-095, EAA - Llama |
| Níquel | mg/L | <0,5 | 2,0 | ME-LB-268, Absorción atómica-llama |
| Nitrógeno amoniacal | mg/L | 7,39 | 30,0 | ME-LB-081 SM 4500-NH3 C |

098 394 1335

Ecuador

www.agrorum.net
info@agrorum.net


| Parámetro | Unidad | Resultado | LMP | Método de ensayo |
|-----------------------------------|--------|-----------|----------|---|
| Fisicoquímicos | | | | |
| Nitrógeno total | mg/L | 21,61 | 50,0 | ME-LB-157, SM, Ed.23,2017 4500 N-org D |
| Plomo | mg/L | <0,002 | 0,2 | ME-LB-111, EAA - Horno de Grafito |
| pH | --- | 7,90 | 6 - 9 | ME-LB-004, SM 4500 H+ B |
| Sólidos Suspendedos Totales | mg/L | 76,00 | 130 | ME-LB-008, SM 2540 D, Ed. 24, 2023 |
| Sólidos Totales | mg/L | 828,00 | 1600 | ME-LB-007, SM 2540 B, Ed. 24, 2023 |
| Sulfatos | mg/L | <200 | 1000 | ME-LB-031, Hach 10227, SM 4500-E SO42- Ed. 24, 2023 |
| Aceites y grasas | mg/L | 4,80 | 30 | Standard Methods, Ed.23,2017 5520D |
| Fenoles | mg/L | <0,004 | 0,2 | Standard Methods, Ed.23,2017 5530 C, B |
| Hidrocarburos totales de petróleo | mg/L | <0,45 | 20 | Standard Methods, Ed.23,2017 5520F |
| Tensoactivos-Detergentes | mg/L | 0,21 | 0,5 | Standard Methods, Ed.23,2017 5540 C |
| Bario | mg/L | 0,0310 | 2 | EPA 6010 D Digestión: EPA 3010 A |
| Cobalto | mg/L | <0,00610 | 0,5 | Standard Methods, Ed.23,2017 3120 |
| Cromo hexavalente | mg/L | <0,001 | 0,5 | Hach Methods 8023 SM, Ed.23,2017 3500 Cr B |
| Plata | mg/L | <0,0014 | 0,1 | EPA 6010 D / EPA 3010 A |
| Selenio | mg/L | <0,0043 | 0,1 | Standard Methods, Ed.23,2017 3120. EPA 3010 A |
| Material flotante | mg/L | Ausencia | Ausencia | 2530 B |
| Mercurio | mg/L | <0,00207 | 0,005 | ME-LB-153, Generador de Hidruros |

098 394 1335

Ecuador

www.agrorum.net
info@agrorum.net

9


Official Sales
PARTNER  eurofins




| Parámetro | Unidad | Resultado | LMP | Método de ensayo |
|---|--------|-----------|------|---------------------------------|
| Fisicoquímicos | | | | |
| Monoclorobenceno | µg/L | 0,0013 | 0,05 | House Method, HS-GC/MS |
| 1,4-diclorobenceno | µg/L | 0,0002 | 0,05 | House Method, HS-GC/MS |
| Triclorometano/cloroforno | µg/L | 0,033 | 0,05 | House Method, HS-GC/MS |
| Clorometano | µg/L | 0,0006 | 0,05 | House Method, HS-GC/MS |
| Otros compuestos organoclorados (tetracloruro de carbono) | mg/L | <LC | 0,05 | House Method, HS-GC/MS |
| Compuestos organofosforados | mg/L | <LC | 0,1 | House Method, HS-GC/MS |
| Pesticidas analizados | mg/L | <LC | --- | GC-MSMS - W3201 + W3101 |
| Pesticidas analizados | mg/L | <LC | --- | LC-MSMS - W3301 + W3101 + W3316 |

| Parámetro | Unidad | Resultado | LMP | Método de ensayo |
|------------------------|-----------|-----------|------|-----------------------------------|
| Microbiológicos | | | | |
| Coliformes fecales | NMP/100mL | 20,00 | 2000 | ME-LB-045, SM 9221 E, Ed 24, 2023 |

LC: Límite de cuantificación

 098 394 1335

 Ecuador

 www.agrorum.net
info@agrorum.net