

Alternativas de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales del cantón Jipijapa

Design alternatives for the wastewater treatment system of the Jipijapa
canton

Alternativas de projeto para o sistema de tratamento de águas residuais no
cantão de Jipijapa

Suarez Reyes, Ambar Gisell
Universidad Estatal Del Sur De Manabí
suarez-ambar0405@unesum.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0009-1982-4724>



Cañarte Baque, George Alfredo
Universidad Estatal Del Sur De Manabí
george.canarte@unesum.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3376-2557>



 DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/n1/378>

Como citar:

Suarez Reyes, A. G., & Cañarte Baque, G. A. (2024). Alternativas de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales del cantón Jipijapa. *Código Científico Revista De Investigación*, 5(1), 170–191.

Recibido: 02/05/2024

Aceptado: 07/06/2024

Publicado: 30/06/2024

Resumen

Una planta de tratamiento de aguas residuales consta de una instalación que permite eliminar contaminantes de agua residual, que llega a la planta, cuyas fuentes pueden ser actividades humanas domésticas, industrial y agrícola. El agua que pasa al final del tratamiento es conocida como efluente, en este sentido, si el efluente posee un tratamiento limitado, este puede llegar a afectar recursos naturales como el agua. En este contexto, el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Jipijapa, provoca la contaminación del río Jipijapa, por lo tanto, este artículo tuvo como objetivo proponer alternativas de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales del cantón Jipijapa. Mediante la evaluación del diseño, el estado físico y el tratamiento actual de la planta se determinaron las alternativas de tratamiento, se desarrolló un análisis estadístico de Las variables de calidad del efluente de la PTAR, se compararon estos parámetros con la normativa vigente y se determinó el rendimiento de la planta. Se pudo evidenciar que el proceso actual del tratamiento del agua residual presenta dificultades, debido al deterioro de la infraestructura por la falta de recursos económicos, esto conlleva a que no se cumplan con los criterios establecidos de calidad de agua residual según la normativa ecuatoriana vigente, en ese sentido las alternativas de tratamiento propuestas son emplear lombrifiltros como parte del tratamiento primario, añadir la fase de coagulación-floculación aplicando coagulantes naturales como residuos de papa o plátano, debido a que varios autores manifiestan que son eficientes en la remoción de STS y DBO₅, además son de fácil acceso y bajos recursos económicos.

Palabras claves: Análisis de agua, agua residual, contaminación ambiental, tratamiento de agua.

Abstract

A wastewater treatment plant consists of a facility that removes pollutants from wastewater that reaches the plant, the sources of which may be domestic, industrial and agricultural human activities. The water that passes at the end of the treatment is known as effluent, in this sense, if the effluent has a limited treatment, it can affect natural resources such as water. In this context, the effluent from the wastewater treatment plant of the Jipijapa canton causes the contamination of the Jipijapa river; therefore, the objective of this article was to propose design alternatives for the wastewater treatment system of the Jipijapa canton. Through the evaluation of the design, physical condition and current treatment of the plant, the treatment alternatives were determined, a statistical analysis of the quality variables of the WWTP effluent was developed, these parameters were compared with the current regulations and the performance of the plant was determined. It became evident that the current wastewater treatment process presents difficulties, due to the deterioration of the infrastructure due to the lack of economic resources, which means that the established criteria for wastewater quality according to current Ecuadorian regulations are not met, In this sense, the treatment alternatives proposed are to use worm filters as part of the primary treatment, to add the coagulation-flocculation phase by applying natural coagulants such as potato or banana waste, since several authors state that they are efficient in the removal of STS and BOD₅, and are also easily accessible and inexpensive.

Keywords: Water analysis, wastewater, environmental pollution, water treatment.

Resumo

Uma estação de tratamento de águas residuais consiste numa instalação que remove os poluentes das águas residuais que chegam à estação, cujas fontes podem ser actividades humanas domésticas, industriais e agrícolas. A água que passa no final do processo de

tratamento é conhecida como efluente, neste sentido, se o efluente tiver um tratamento limitado, pode afetar recursos naturais como a água. Neste contexto, o efluente da estação de tratamento de águas residuais de Jipijapa causa a poluição do rio Jipijapa, portanto, o objetivo deste artigo foi propor alternativas de projeto para o sistema de tratamento de águas residuais de Jipijapa. Através da avaliação da concepção, do estado físico e do tratamento atual da ETAR, determinaram-se as alternativas de tratamento, desenvolveu-se uma análise estatística das variáveis de qualidade do efluente da ETAR, compararam-se estes parâmetros com a regulamentação atual e determinou-se o desempenho da ETAR. Tornou-se evidente que o atual processo de tratamento de águas residuais apresenta dificuldades, devido à deterioração da infraestrutura por falta de recursos económicos, o que faz com que não se cumpram os critérios estabelecidos para a qualidade das águas residuais de acordo com a atual regulamentação equatoriana, Neste sentido, as alternativas de tratamento propostas são a utilização de filtros de minhoca como parte do tratamento primário, a adição da fase de coagulação-floculação através da aplicação de coagulantes naturais, tais como resíduos de batata ou banana, uma vez que vários autores afirmam que são eficientes na remoção de STS e CBO5, e são também facilmente acessíveis e baratos.

Palavras-chave: Análise de águas, águas residuais, poluição ambiental, tratamento de águas.

Introducción

La descarga de aguas residuales tratadas de manera insatisfactoria es una fuente común de contaminación que afecta la salud de los individuos y del entorno (Nguyen et al., 2021). Por ende, las entidades dedicadas al monitoreo ambiental, realizan un amplio trabajo en el manejo y control de las plantas de tratamiento de aguas residuales (Osorio R. et al., 2021), puesto que el tratamiento con aguas residuales proporciona uno de los enfoques más sostenibles para la conservación del agua, la producción de energía y la productividad agrícola (Silva J., 2023).

En Ecuador, así como en diferentes países, los recursos hídricos en los distintos ecosistemas, reciben frecuentemente variedad de aguas residuales. En relación al Reporte Estadístico de Información Ambiental, Económica de Agua y Alcantarillado, elaborado por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) de Ecuador en el año 2015, el 38,14% del sector urbano no realizan tratamiento apropiado de sus aguas residuales (Montero et al., 2021).

Esto ha provocado que actualmente la mayor parte de las fuentes hídricas ecuatorianas se encuentren en situaciones graves de contaminación, uno de los factores son las actividades antropogénicas. De acuerdo a esto las actividades que provocan mayor contaminación al Río Jipijapa, son la lavandería, generación y disposición final de desechos sólidos, vertido de

sustancias líquidas domésticas, agropecuarias o industriales (Arteaga M., 2019). Cabe mencionar que estos residuos sólidos o líquidos son en su mayoría desechados a las tuberías de alcantarillado del cantón Jipijapa que desembocan en la planta de tratamiento de agua residual (PTAR), esto provoca mayor concentración de químicos afectando la calidad de agua que emerge al río Jipijapa.

La falta de mantenimiento de equipos, el deterioro de la parte estructural, así como el abastecimiento de equipos y personal encargado de la PTAR que verifique la calidad de agua, ha llevado a que el agua residual proveniente de la planta incumpla los límites permitidos de descarga, y provoque contaminación del río Jipijapa.

Según la investigación realizada por López C. (2019), Moran G. y Guerrero C. (2022) la PTAR de la ciudad de Jipijapa, presenta falencias en el servicio, debido a la falta de mantenimiento y deterioro, de igual manera indican que el sistema de tratamiento no permite el cumplimiento de los parámetros establecidos por la normativa vigente (TULSMA).

Con base a la problemática, el sistema de tratamiento de aguas residuales del cantón Jipijapa se necesita mejorar su proceso, por lo que es de relevancia el análisis de la situación actual de la PTAR de Jipijapa y las alternativas para un tratamiento óptimo, con la finalidad de beneficiar al medio ambiente y prevenir enfermedades en las comunidades cercanas, debido a que el efluente de agua residual desemboca en el río Jipijapa, y debido a la contaminación provoca la pérdida de flora y fauna.

Conforme a lo expuesto este artículo tiene como objetivo proponer alternativas de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales del cantón Jipijapa, para mejorar la calidad de agua que se descarga al río Jipijapa, mediante la evaluación diagnóstica del diseño y del tratamiento actual de la planta, determinación del rendimiento de la planta y la investigación de las características del agua residual mediante una lista de chequeo.

Metodología

Instrumentos en la recolección de datos

Para la recolección de datos se emplearon la entrevista: Se elaboro una entrevista dirigida al técnico encargado de la planta de tratamiento y al responsable del sistema de alcantarillado y agua potable del cantón Jipijapa. Lista de cotejo: Para el trabajo de campo se elaboró una lista de cotejo que permita identificar las condiciones físicas de la planta de tratamiento de agua potable del cantón Jipijapa y además para el contraste de tratamientos de las PTAR de Portoviejo y Jipijapa. La lista de cotejo fue dividida en función de categorías que involucraron el funcionamiento del proceso de tratamiento de agua residual, calidad del agua residual, diseño, equipos e infraestructura y personal de la planta de tratamiento.

Se aplicó de igual manera la lista de cotejo para la obtención de datos estadísticos en relación con el cumplimiento las características físicas, químicas y microbiológicas del agua residual de descarga al cuerpo de agua dulce del cantón Jipijapa instituido por el acuerdo ministerial 097 de la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua anexo 1 TULSMA, y se estableció la siguiente escala de valoración de las opciones de respuesta.

Tabla 1

Escala de valoración de las alternativas de respuesta

Valoración cualitativa	Valoración cuantitativa
Nada satisfactorio	0
Poco satisfactorio	1
Neutral	2
Satisfactorio	3
Muy satisfactorio	4

Nota: Elaborado por los autores (2024)

Medios electrónicos: Se emplearon de aparatos tecnológicos para la recolección de datos bibliográficos de manera rigurosa con el uso de fuentes primarias.

En el proceso de la investigación se realizó un diagnóstico de las condiciones actuales de la PTAR mediante trabajo de campo, con la observación científica aplicando una lista de

cotejo, para identificar las etapas que presentan falencias se realizó un contraste de información entre la PTAR del cantón Jipijapa con otras plantas de tratamiento aplicando la entrevista y la encuesta para obtener estadísticas inferenciales y evaluar las etapas que afectan la calidad del agua residual que emerge al río Jipijapa.

Se obtuvieron las estadísticas descriptivas en relación a el cumplimiento las características físicas, químicas y microbiológicas del efluente de la PTAR del cantón Jipijapa en comparación con otras plantas de tratamiento y la normativa TULSMA de efluentes de agua residual por medio de la entrevista y una lista de cotejo realizada al personal encargado de las plantas de tratamiento. Se estableció una escala de valoración entre 0 y 4 donde el cero representa la valoración cualitativa más baja y 4 la valoración cualitativa más alta.

El rendimiento del sistema de tratamiento de la planta de agua residual se determinó en función de categorías que involucraron el funcionamiento del proceso de tratamiento, calidad del agua residual, diseño, equipos e infraestructura y personal de la planta, dichos parámetros fueron evaluados mediante una lista de cotejo donde el rendimiento de la planta fue calificado bajo rangos de porcentaje, siendo estos; entre 0 a 25% nada satisfactorio, de 26 a 45% poco satisfactorio, de 46 a 65% neutral, de 66-79% satisfactorio y de 80 a 100% muy satisfactorio.

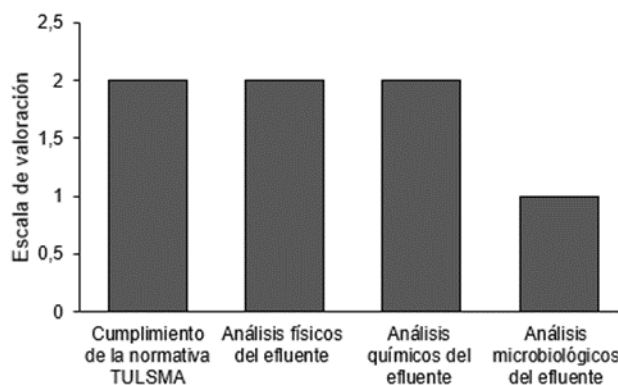
Las alternativas de diseño del sistema de tratamiento de agua residual del cantón Jipijapa se estableció en base a el diagnóstico realizado y la verificación de fallas en el proceso de tratamiento, se diseñó el sistema de tratamiento en el software DWSIM. La investigación realizada se delimito en la PTAR del cantón Jipijapa, la cual se pudo realizar acorde a lo establecido por el personal encargado de la planta. Finalmente, los análisis estadísticos se realizaron con la ayuda del Software Infostat.

Resultados

1.1. Cumplimiento de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua residual según el acuerdo ministerial 097 Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

Figura 2

Valoración del cumplimiento de la normativa vigente del efluente de la PTAR del cantón Jipijapa



Nota: Datos extraídos de la lista de cotejo realizada al personal de la PTAR del cantón Jipijapa, (Autores, 2024)

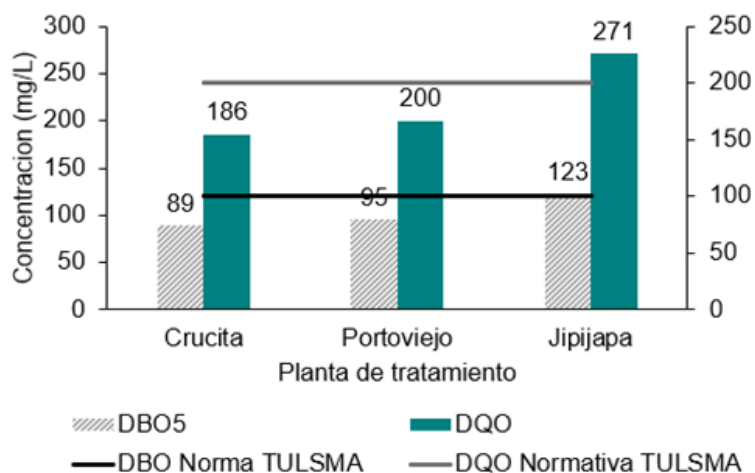
La figura 1 indica los resultados de la lista de cotejo según la valoración establecida, los parámetros físicos y químicos fueron calificados con valoración 2 esto indica que se cumplen de manera neutral, mientras que los parámetros microbiológicos fueron calificados con valoración de 1 es decir que cumplen con la normativa de manera poco satisfactoria, por ende la calificación en general es neutral, por otra parte en las investigaciones realizadas por Cárdenas M. et al. (2019), Moran G. y Guerrero Calero (2022), Duran M. y Lino G. (2023), y Bravo R. (2020), conforme a los parámetros químicos y microbiológicos del agua residual que emerge al cuerpo de agua dulce presenta un nivel superior al límite permisible de descarga en la normativa ecuatoriana, estos parámetros son DBO, DQO, y coliformes fecales.

La figura 2 se establecen las concentraciones de DBO₅ y DQO de efluente de las plantas de tratamiento de agua residual de Crucita, Portoviejo y Jipijapa, donde el agua residual de descarga del cantón Jipijapa al cuerpo de agua dulce excede el límite máximo permisible

instituido por la normativa TULSMA, en la DBO₅ por una variación de 23 mg/L y en la DQO por una variación de 71 mg/L, a diferencia de las plantas de tratamiento de Crucita y Portoviejo.

Figura 3

Comparación de las concentraciones de DBO₅ y DQO del efluente de las plantas de tratamiento de agua residual de Crucita, Portoviejo y Jipijapa con la normativa vigente



Nota: Datos obtenidos mediante la información brindada por personal de la PTAR del cantón Portoviejo, Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua, (2015) y resultados de Moran, M. y Guerrero, J. (2022). (Autores, 2024)

En la figura 2 se establecen las concentraciones de DBO₅ y DQO de efluente de las plantas de tratamiento de agua residual de Crucita, Portoviejo y Jipijapa, donde el agua residual de descarga del cantón Jipijapa al cuerpo de agua dulce excede el límite máximo permisible instituido por el acuerdo ministerial 097 de la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua anexo 1 TULSMA, en la DBO₅ por una variación de 23 mg/L y en la DQO por una variación de 71 mg/L, a diferencia de las plantas de tratamiento de Crucita y Portoviejo.

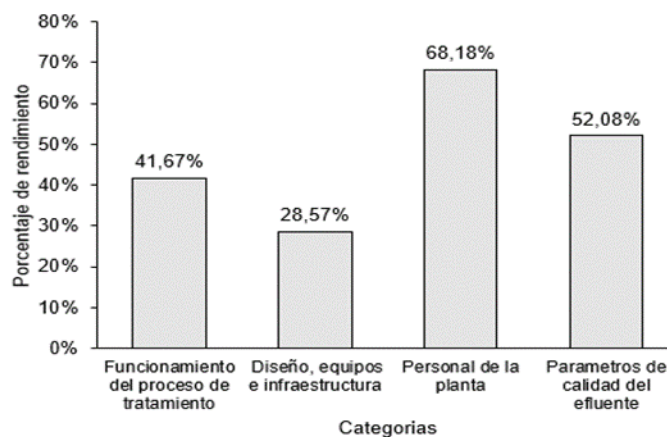
1.2. Rendimiento del sistema de tratamiento de agua residual del cantón Jipijapa

En la figura 3 se visualiza el porcentaje de rendimiento por categorías del sistema de tratamiento de agua residual del cantón Jipijapa. La categoría del funcionamiento del proceso de tratamiento obtuvo un porcentaje de 41,67% encontrándose dentro del rango cualitativo poco satisfactorio, esto debido a que se determinó que algunas etapas del proceso no se realizan

de manera eficiente, en ese sentido, los resultados de Cárdenas M. et al., (2019) muestran que cuando realizaron su muestreo, las operaciones que se adoptaron, para reducir la concentración de contaminantes, no fueron todas efectivas.

Figura 4

Porcentaje de rendimiento por categorías del sistema de tratamiento de agua residual del cantón Jipijapa



Nota: Datos extraídos de la lista de cotejo realizada al personal de la PTAR del cantón Jipijapa. (Autores, 2024)

En cuanto a la categoría del diseño, equipos e infraestructura el porcentaje de rendimiento fue de 28,57% incluido en el rango también de poco satisfactorio, a causa principalmente del tiempo de vida útil de la PTAR y al bajo mantenimiento que posee la misma, así Moran, M. y Guerrero, J. (2022) demostraron también que la infraestructura se encuentra deteriorada en varias etapas como: el cribado en las rejillas del devaste, en el tratamiento biológico (reactores y la geomembrana de las lagunas).

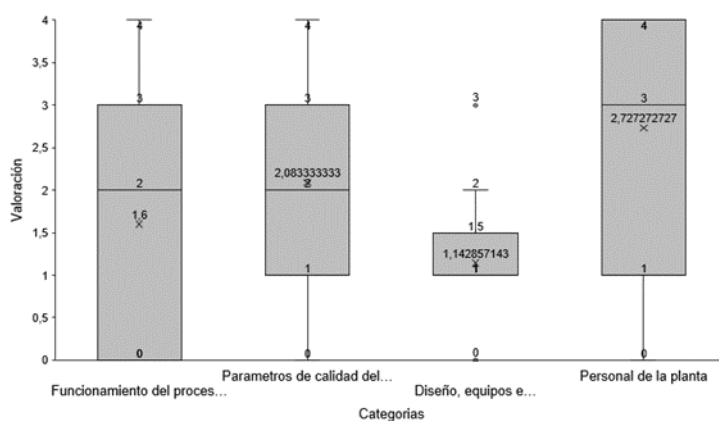
Por otra parte, la categoría del personal de la planta alcanzó un porcentaje de 68,18%, en esta categoría el personal conoce el proceso de tratamiento y se encuentra capacitado, sin embargo, la planta no cuenta con personal suficiente para llevar a cabo todas las labores que se realizan, de igual manera la falta de recursos imposibilita el desarrollo efectivo de las actividades que debe realizar el personal de la PTAR. Finalmente, el porcentaje promedio de la evaluación de rendimiento del sistema de tratamiento de agua residual del cantón Jipijapa es

de 46,06% considerándose como Neutral siendo la razón principal el bajo rendimiento en el diseño, equipos, infraestructura y funcionamiento del proceso de tratamiento.

La figura 4 es un resumen de los datos descriptivos, donde la media del rendimiento según la valoración establecida del sistema de tratamiento de aguas residuales del cantón Jipijapa en la categoría del funcionamiento del proceso de tratamiento es 1,60, siendo 3 la calificación más alta y 0 la calificación más baja obtenida. La categoría de parámetros de calidad del efluente de agua residual posee una media de 2,083, siendo 3 la calificación más alta y 1 la calificación más baja obtenida. Referente a la categoría del diseño, equipos e infraestructura la media fue 1,43, en esta categoría los datos no tuvieron mayores variaciones respecto a la media. La categoría del personal de la planta obtuvo una media de 2,73, con una valoración máxima de 4 y mínima de 1.

Figura 5

Diagrama boxplots de la valoración del rendimiento del sistema de tratamiento de agua residual del cantón Jipijapa

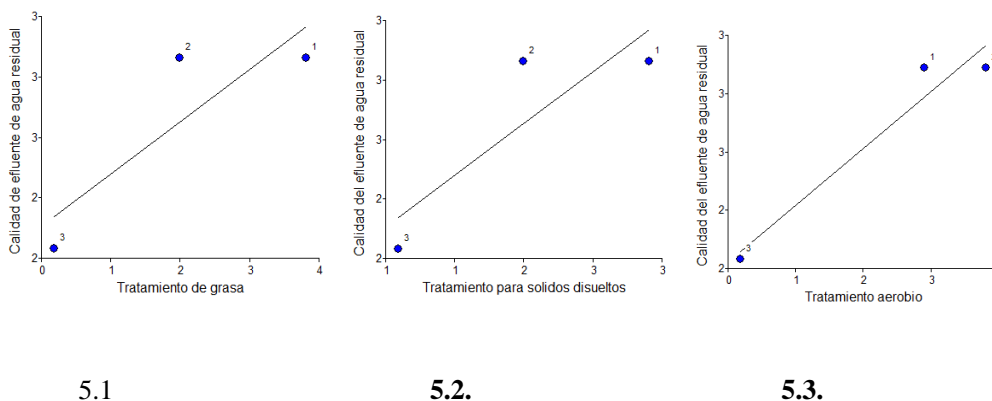


Nota: Datos extraídos de la lista de cotejo realizada al personal de la PTAR del cantón Jipijapa. (Autores, 2024)

1.3. Diagnóstico del sistema de tratamiento de agua residual del cantón Jipijapa

Figura 6

Variación de la valoración calidad de efluente de agua residual en relación a factores de influencia.



Nota: Datos extraídos de la lista de cotejo realizada al personal de la PTAR del cantón Jipijapa. (Autores, 2024)

La figura 5 muestra gráficos de dispersión de entre el puntaje obtenido en la calidad de efluente de agua residual en función de la valoración de algunas variables independientes: tratamiento de grasa (fig 5.1), tratamiento de solidos disueltos (fig 5.2.), tratamiento aerobio (fig 5.3), en 3 plantas de tratamiento de agua residual distintas; Crucita, Portoviejo y Jipijapa

En la figura 5.1 se observa que, cuando la valoración para el tratamiento de grasa es muy satisfactoria (punto 1) la calidad de efluente de agua residual es mejor, mientras que si la valoración para el tratamiento de grasa es nada satisfactorio o no se realiza (punto 3) la calidad de efluente de agua residual disminuye, se obtuvo un coeficiente de correlación de Pearson con tendencia positiva de 0,87 considerándose una relación fuerte. La presencia de grasa, aceite y grasa puede conducir a bloqueos en las líneas de alcantarillado, bombas y operaciones de plantas de tratamiento (Amir et al., 2023), por otra parte si el contenido de grasa es superior a 50 mg/l en las aguas residuales, afectará negativamente el rendimiento de la PTAR de aguas residuales (BMF, s. f.),

En el grafico 5.2 se evidencia que mientras mejor sea el tratamiento de solidos disueltos mejor serán los parámetros de calidad del efluente de agua residual. Adicionalmente se comprobó por medio del coeficiente de correlación de Pearson que el tratamiento de solidos disuelto cumple una función importante para disminuir en los parámetros de calidad del efluente de agua residual, siendo este valor 0,87. Pues el tratamiento primario elimina alrededor del 60 y 70 por ciento de los materiales sólidos suspendidos (Silva J., 2023). Sin embargo, la PTAR del cantón Jipijapa (punto 3) no se encuentra en las mejores condiciones para la remoción de sólidos, a diferencia de las plantas de tratamiento de Portoviejo (punto 2) y Crucita (punto 1).

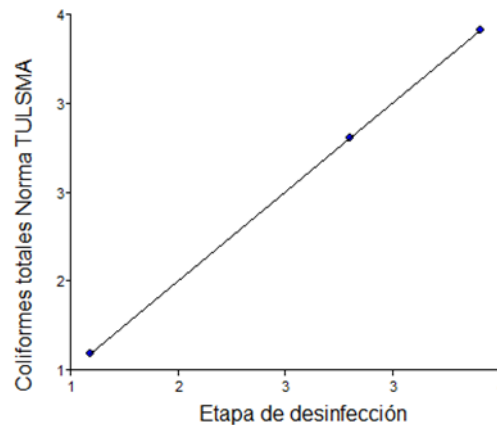
También, se halló una correlación de 0,50 entre el proceso de floculación-coagulación en la remoción de solidos disueltos y en los parámetros finales de la calidad de agua residual, siendo esta variable de influencia media.

Finalmente, el grafico 5.3 y con un coeficiente de correlación positiva fuerte de 0,97, se considera que el tratamiento aerobio influye significativamente en la calidad de la calidad de efluente de agua residual, a diferencia si se aplica un tratamiento anaerobio. De igual manera el tratamiento aerobio influye en los resultados de los análisis microbiológicos cuyo coeficiente de correlación de Pearson es de 0,96 es decir que mientras mejor se aplique el tratamiento aerobio mejores serán también los resultados de los análisis microbiológicos.

Por otra parte, los resultados de los análisis microbiológicos se ven influenciados por el proceso de desinfección llevado a cabo en la PTAR, de acuerdo a la figura 6 se representa la correlación entre el parámetro de coliformes totales y la etapa de desinfección, correlacionándose de manera fuerte con un coeficiente igual 1.

Figura 7

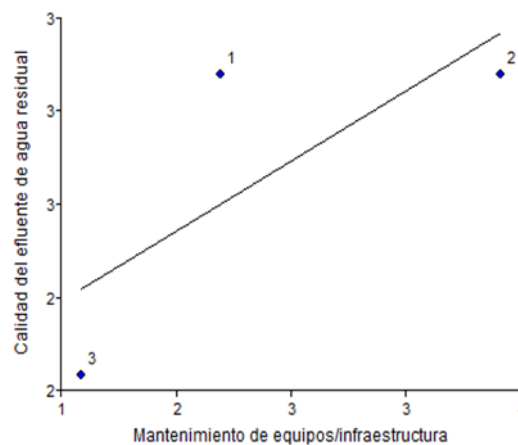
Valoración del cumplimiento de calidad de coliformes totales en función de la valoración de la etapa de desinfección



Nota: Datos extraídos de la lista de cotejo realizada al personal de la PTAR del cantón Jipijapa. (Autores, 2024)

Diseño, equipos e infraestructura**Figura 8**

Variación de la calidad del efluente de agua residual en función del mantenimiento de equipos e infraestructura.



Nota: Datos extraídos de la lista de cotejo realizada al personal de la PTAR del cantón Jipijapa. (Autores, 2024)

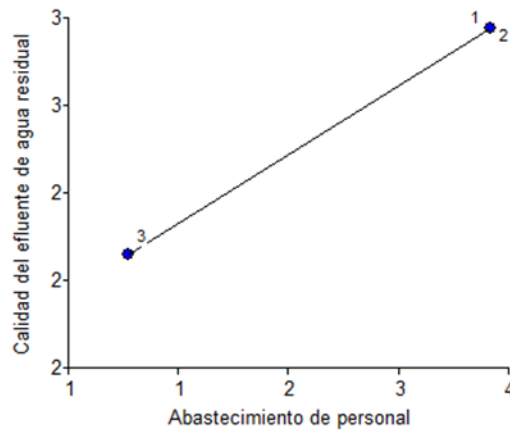
El gráfico 7 representa que mientras se realice de manera satisfactoria el mantenimiento de equipos e infraestructura mayor será la calidad del efluente de agua residual, esto comprueba con una correlación positiva fuerte de 0,76. En este sentido, en la ciudad de Jipijapa la infraestructura se encuentra en un estado poco satisfactorio debido al tiempo de vida útil de la

PTAR, además no se brinda un constante mantenimiento a los equipos, lagunas, y reactores de la PTAR por la escases de financiación, por lo que el resultado de los parámetros de calidad del agua no son óptimos.

Personal

Figura 9

Variación de la calidad del efluente de agua residual en función del abastecimiento de personal de la PTAR



Nota: Datos extraídos de la lista de cotejo realizada al personal de la PTAR del cantón Jipijapa. (Autores, 2024)

Según la figura 8, sí, la PTAR cuenta con el personal suficiente se contribuye a que exista mejora en la calidad del agua residual, se comprobó que, ambas variables se relacionan positivamente ($r^2=1$). En base a lo determinado en la lista de cotejo, el personal conoce del funcionamiento de la planta de manera satisfactoria, sin embargo, la PTAR de Jipijapa no cuenta con personal suficiente para cumplir con todas las actividades que se deben realizan en una PTAR, por ende, se ve afectada la calidad final del agua.

Consecuentemente, con base a lo diagnosticado se estableció que existen falencias en el proceso de tratamiento debido a que algunas etapas de tratamiento de agua residual no se realizan de manera satisfactoria, de igual manera la infraestructura posee una influencia relevante en el tratamiento del agua, así como el tipo de tratamiento biológico.

Figura 10*Prueba de hipótesis del rendimiento la PTAR*

Coeficientes de regresión y estadísticos asociados

	Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const		1,09	0,27	0,53	1,66	4,00	0,0006		
Rendimiento sistema de tra..	0,35	0,14	0,05	0,65	2,42	0,0244		5,84	1,00

Nota: Datos extraídos de la lista de cotejo realizada al personal de la PTAR del cantón Jipijapa. (Autores, 2024)

Se realizó la prueba de hipótesis donde se halló un p-valor de 0,0244 razón por la cual se rechaza la hipótesis nula, y se acepta la hipótesis alternativa, es decir, el sistema de tratamiento de aguas residuales del cantón Jipijapa requiere una mejora en su proceso.

1.4. Alternativas de diseño del sistema de tratamiento de agua residual del cantón Jipijapa

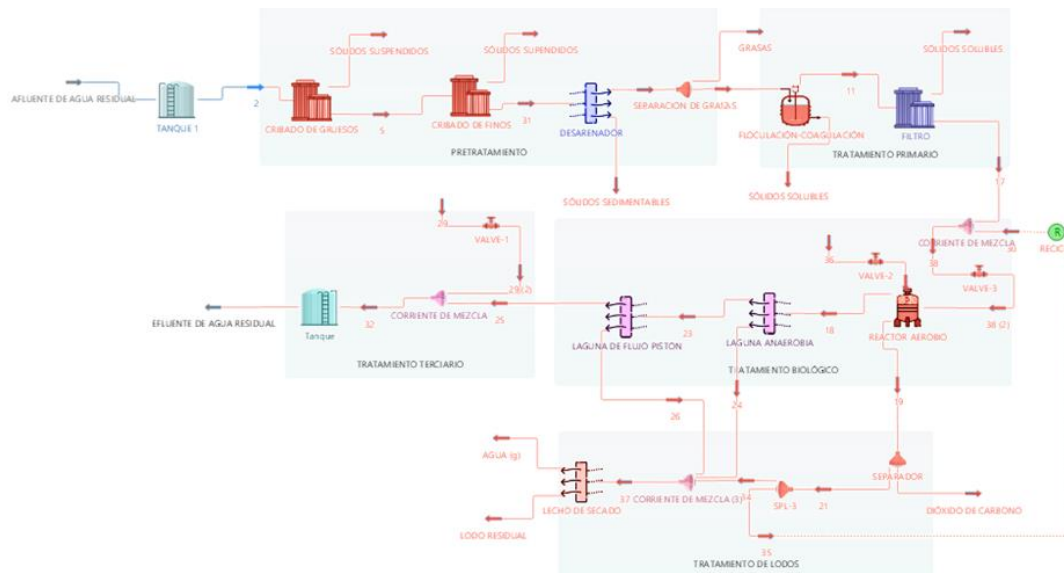
La entrevista realizada al personal encargado de la PTAR, permitió determinar que la falta de recursos económicos es la principal causa de un proceso ineficiente del tratamiento de agua residual, debido que no se brinda un constante mantenimiento a los equipos, lagunas, y reactores de la PTAR, incluyendo la falta de recursos y material de para realizar los análisis físicos, químicos y microbiológicos del efluente y afluente de la PTAR. Para las falencias presentadas en el diseño del sistema de tratamiento se propone el siguiente proceso (figura 9).

El sistema de tratamiento propuesto consta de un tratamiento preliminar cuyas etapas son cribado, desarenado y desengrasado, esta última etapa no ha sido implementada actualmente, para el tratamiento secundario se propone emplear un proceso de coagulación-floculación, incluyendo la sedimentación en la misma etapa, una etapa de filtrado empleando filtros ya sea de filtros biológicos, como los filtros base de materiales orgánico o biofiltros, filtración en bloques de suelo, dichas alternativas han logrado porcentajes de remoción altos esto según las investigaciones de Estrada et al., (2022) con el uso de las semillas de Moringa oleífera, Coox et al., (2022) con el empleo de mucilago de cascara de pitahaya y Aloe vera, Carrasquero et al., (2017) con la utilización de residuos de papa y plátano, Cáceres et al., (2021)

con la aplicación de *Lombrifiltro*, o *Ivankovich*, (2021) con el uso de filtros en bloques de suelo.

Figura 11

Diagrama de proceso de la alternativa del diseño de sistema de tratamiento de agua residual del canton Jipijapa



Nota: (Autores, 2024)

Para el tratamiento secundario, se propone sustituir el tratamiento biológico convencional por un tratamiento integrado anaerobio-aerobio, esto permitirá mejorar la calidad del efluente. En este proceso se propone también implementar una corriente de recirculación de lodos activos para mejorar la producción de bacterias degradadoras de la materia orgánica, tal y como se muestra en la figura 10.

La desinfección es también uno de los procesos indispensables en el tratamiento de agua residual. Se indagó que existe presencia de bacterias coliformes fecales en el agua residual, esto indica un proceso de desinfección insuficiente, tal y como se indicó en los resultados de diagnóstico de la planta. Por lo que el parámetro de coliformes fecales y totales se encuentra fuera de la normativa. Estos valores podrían estar en correspondencia con los altos valores presentados por DBO y DQO, debido a que las altas concentraciones de materia orgánica, beneficia al desarrollo de bacterias y hongos. (Martínez et al., 2019). En ese sentido se propone

mejorar la etapa de desinfección aplicando además de la desinfección por UV, la desinfección por cloración, utilizando este recurso de manera conmensurable.

Discusión

Con base al análisis realizado a partir de la lista de cotejo se pudo determinar que el efluente de agua residual no cumple en su totalidad con los límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, estos resultados se consideran un riesgo para la salud de quienes pertenecen a la localidad (Duran M. & Lino G., 2023), de igual manera lo respaldan Cárdenas M. et al. (2019), Moran G. y Guerrero Calero, (2022) .

A partir del diagnóstico realizado, se pudo identificar las etapas que presentan falencias en el proceso de tratamiento, considerando aquello se propone añadir una etapa para la eliminación de grasas, el tratamiento de sólidos disueltos (floculación-coagulación), contemplando la mejor dosis del coagulante a utilizar, ya que asignar una dosis óptima no solo permite el ahorro de coagulante a utilizar, sino que además mejora la floculación y atenúa la formación de complejos tóxicos (Salas C., 2003).

La elección del coagulante juega un papel importante para la optimización del proceso, este artículo propone que se emplee coagulantes naturales que reducen los parámetros mencionados en porcentajes variados, por lo tanto, son una alternativa para sustituir parcialmente al sulfato de aluminio, en caso de ausencia de este coagulante químico y en vista de que el cumplimiento de las normalizaciones ambientales no debe generar necesariamente costos adicionales, se debe optimizar y emplear de manera eficiente el uso de coagulantes. En ese sentido existen algunas alternativas de coagulantes a utilizar como, las semillas de Moringa oleífera (Estrada et al., 2022) , mucilago de cascara de pitahaya y Aloe vera (Coox et al., 2022), sin embargo algunos de los coagulantes naturales resultan ser más costosos que los coagulantes

químicos por lo que se recomienda emplear los residuos de papa, plátano (Carrasquero et al., 2017).

De igual manera se plantea una etapa de filtrado como parte del tratamiento primario para disminuir la concentración de sólidos disueltos. El empleo de *Eisenia foetida*, *Eichornia crassipes*, luego del tratamiento preliminar, es una alternativa para la reducción de sólidos suspendidos y DBO₅, el uso de este tipo de lombrices según Cáceres et al. (2021) ha presentado una eficiencia del 94.48% para sólidos suspendidos totales y de 98.41% de DBO₅, otras alternativas es la utilización de filtración en bloques de suelo, este tipo de filtración con antracita revelaron una eficiencia próxima al 90%, para la reducción de DBO, DQO y SST (Ivankovich, 2021), o bien emplear filtros convencionales y eficientes como los filtros de carbón activado, filtros de arcilla, o filtros de membrana.

Para el tratamiento secundario, es de conocimiento que la PTAR del cantón Jipijapa emplea lagunas de estabilización, según Kalmakhanova et al. (2023) las lagunas de estabilización siguen siendo una práctica común de tratamiento de aguas residuales debido a su costo y simplicidad; sin embargo, son un uso ineficiente de un recurso valioso y probablemente conducen a la contaminación de las aguas subterráneas locales.

Para las aguas residuales con sedimentos orgánicos de concentraciones bajas a medias (DQO <1000 ppm) y para aguas residuales cuya biodegradación es compleja, tal como las aguas residuales domésticas usualmente se aplica el tratamiento aerobio (Vinuesa et al., 2021), esto influye en los resultados obtenidos del tratamiento, en ese contexto Liu et al. (2020) concluyó que el reactor aerobio fue más eficaz que el reactor anaerobio para la eliminación de trazas de contaminantes orgánicos investigadas. Con base a lo expuesto se propone sustituir el tratamiento biológico convencional por un tratamiento integrado anaerobio-aerobio, esto permitirá mejorar la calidad del efluente, debido a que pese a el tratamiento aerobio resulta más efectivo que el anaerobio según los resultados obtenidos y como lo manifiesta también (Liu

et al., 2020), existen más beneficios al emplear un sistema combinado, ya que es una tecnología eficaz, robusta, flexible y altamente sostenible desde una perspectiva técnica, económica y medioambiental para el tratamiento descentralizado de aguas residuales, especialmente para países en desarrollo con recursos e infraestructura limitado, con requisitos limitados de espacio, la baja inversión y la óptima eliminación de DQO (Fernández del Castillo et al., 2022; Goli et al., 2019; Chan et al., 2009), además se logra mejor calidad de agua entorno a SST, DBO₂ y DQO (Haydar et al., 2014).

La etapa de desinfección aplicando la desinfección por UV y la desinfección por cloración, tiene ventajas en la concentración final de coliformes fecales. En este contexto, varios autores manifiestan que la combinación de la desinfección por UV y cloración resulta ser más eficiente al inactivar y eliminar especies bacterianas, que los tratamientos individuales de desinfección (Wang et al., 2021; Shekhawat et al., 2021). Otro estudio demostró que la UV/Cl retiró eficazmente las bacterias del conteo de placas heterotróficas y fluoróforos orgánicos aromáticos en muestras de agua recuperadas (Chen et al., 2022). De acuerdo a ello, los resultados experimentales de Lu et al. (2022) mostraron que el efecto de inactivación de los rayos UV seguido del hipoclorito de sodio fue más significativo que el de la desinfección simultánea de los rayos UV y la desinfección con hipoclorito de sodio.

Conclusión

De acuerdo a los resultados de este artículo las alternativas de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales del cantón Jipijapa se proponen en función del diagnóstico realizado y la comparación de procesos con otras plantas de tratamientos, donde existe una correlación alta entre los parámetros de calidad del efluente de agua residual y variables de tratamiento de grasa, etapa de tratamiento de sólidos solubles, tratamiento secundario y etapa de desinfección, por ello se propone implementar un tratamiento de grasas, etapa de floculación

coagulación, filtración como tratamiento primario, la combinación de tratamiento biológico aerobio-anaerobio que ha demostrado ser más efectivo que los tratamientos individuales y una desinfección simultánea de UV y cloración, con el propósito de reducir los sólidos solubles, DBO, DQO y coliformes que son las variables que se hallan fuera del límite máximo permisible por la normativa vigente, según los resultados de la lista de chequeo, conforme a ello el rendimiento de la planta se hallan dentro del rango de poco satisfactorio según la valoración establecida en este artículo obteniendo un porcentaje promedio de rendimiento de 46,06%, cuyo problema radica principalmente en la categoría de diseño, infraestructura y equipos con un rendimiento de 28,57%, posteriormente debido a la categoría del funcionamiento del proceso de tratamiento con porcentaje de rendimiento de 41,67%, cabe mencionar que esta categoría está influenciada por el tiempo de vida útil de la PTAR.

Referencias bibliográficas

- Amir, A. A., Roddick, F., Maniam, S., Gao, L., & Pramanik, B. K. (2023). Component analysis of fat, oil and grease in wastewater: Challenges and opportunities. *Analytical Methods*, 15(39), 5112-5128. <https://doi.org/10.1039/D3AY01222K>
- Arteaga M., G. G. (2019). *Las actividades antropogénicas y la calidad del agua del río Jipijapa Manabí Ecuador* [bachelorThesis, Escuela Superior Politécnica agropecuaria de Manabí]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/990>
- BMF. (s. f.). *Why are grease traps important for sewage treatment plants?* Butler Manufacturing Services. Recuperado 18 de abril de 2024, de <https://butlerms.com/faqs/why-are-grease-traps-important-for-sewage-treatment-plants>
- Bravo R., S. (2020). *Contaminación Río Jipijapa*. Prezi. https://prezi.com/p/s_lvineieki1/contaminacion-rio-jipijapa/
- Cáceres, D., Calisaya, G., & Bedoya, E. (2021). *Eficiencia de Eisenia foetida, Eichornia crassipes e hipoclorito de calcio en la depuración de aguas residuales domésticas en Moquegua, Perú*. 1(20). <http://dx.doi.org/10.21704/rea.v20i1.1692>
- Cardenas M., R. C., Lino, M., Briones, V., & Osejos, M. (2019). Water quality of the wastewater treatment plant of the city of Jipijapa, Ecuador. *Revista Bases de La Ciencia*, 4(3), Article 3. https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v4i3.1838
- Carrasquero, S. J., Flores, S. M., Perche, E. D. F., Ferrer, P. M. P., Leal, J. C. M., & Montiel, A. R. D. (2017). Efectividad de coagulantes obtenidos de residuos de papa (*Sonalum tuberosum*) y plátano (*Musa paradisiaca*) en la clarificación de aguas. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, 13(2), Article 2. <https://doi.org/10.18359/rfcb.1941>

- Chan, Y., Chong, M., Law, C., & Hassell, D. G. (2009). A Review on Anaerobic–Aerobic Treatment of Industrial and Municipal Wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 155, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2009.06.041>
- Chen, X., Chen, Z., Liu, H., Huang, N., Mao, Y., Cao, K., Shi, Q., Lu, Y., & Hu, H.-Y. (2022). Synergistic effects of UV and chlorine in bacterial inactivation for sustainable water reclamation and reuse. *Science of The Total Environment*, 845, 157320. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157320>
- Coox, N. N. C., Briones, G. A. B., & Mosquera, A. C. (2022). Evaluación de la eficacia de coagulantes sintéticos y naturales en el tratamiento de aguas residuales generadas en la producción de harina de pescado. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*, 16(2), Article 2. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6993155>
- Duran M., B., & Lino G., M. (2023). *Fitorremediación con Eichhornia crassipes en aguas residuales del cantón Jipijapa, Ecuador (América Latina)*. <https://www.ambiente-sustentabilidad.org/index.php/revista/article/view/221>
- Estrada, J., Rodriguez, A. L., & Paramo, J. (2022). *Evaluación de uso de coagulantes naturales en planta de tratamiento de aguas municipales de los pueblos del rincón, Guanajuato*. 18, 21-28.
- Fernández del Castillo, A., Garibay, M. V., Senés-Guerrero, C., Orozco-Nunnelly, D. A., de Anda, J., & Gradilla-Hernández, M. S. (2022). A review of the sustainability of anaerobic reactors combined with constructed wetlands for decentralized wastewater treatment. *Journal of Cleaner Production*, 371, 133428. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133428>
- Goli, A., Shamiri, A., Talaiekhosani, A., Sanaye, R., & Azizi, K. (2019). *A Review on Different Aerobic and Anaerobic Treatment Methods in Dairy Industry Wastewater*. 7, 113-141.
- Haydar, S., Hussain, G., Nadeem, O., Haider, H., Bari, A., & Hayee, A. (2014). Performance Evaluation of Anaerobic-Aerobic Treatment for the Wastewater of Potato Processing Industry: A Case Study of a Local Chips Factory. *Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences*, 14, 27-37.
- Ivankovich, A. Q. (2021). Uso de la filtración en bloques de suelo como tratamiento secundario de aguas residuales ordinarias. *Agua, Saneamiento & Ambiente*, 16(2), Article 2. <https://doi.org/10.36829/08ASA.v16i2.1327>
- Kalmakhanova, M. S., Diaz de Tuesta, J. L., Malakar, A., Gomes, H. T., & Snow, D. D. (2023). Wastewater Treatment in Central Asia: Treatment Alternatives for Safe Water Reuse. *Sustainability*, 15(20), Article 20. <https://doi.org/10.3390/su152014949>
- Liu, W., Song, X., Huda, N., Xie, M., Li, G., & Luo, W. (2020). Comparison between aerobic and anaerobic membrane bioreactors for trace organic contaminant removal in wastewater treatment. *Environmental Technology & Innovation*, 17, 100564. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100564>
- Lopez C., D. A. L. (2019). *Evaluación al proceso técnico, operativo y ambiental de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jipijapa*. [Universidad Estatal del Sur de Manabí]. <https://repositorio.unesum.edu.ec/bitstream/53000/1877/1/UNESUM-ECU-ING.MEDIO-2019-09.pdf>
- Lu, H., Wang, X., Li, X., & Zhang, X. (2022). Study on the Disinfection Efficiency of the Combined Process of Ultraviolet and Sodium Hypochlorite on the Secondary Effluent of the Sewage Treatment Plant. *Processes*, 10(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/pr10081622>

- Martínez, R. C., Lino, M., Briones, V., & Osejos, M. (2019). Water quality of the wastewater treatment plant of the city of Jipijapa, Ecuador: Calidad del agua de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Jipijapa, Ecuador. *Revista Bases de La Ciencia*, 4(3), Article 3. https://doi.org/10.33936/rev_bas_de_la_ciencia.v4i3.1838
- Montero, S. A. O., Aldás, G. W. N., Arboleda, A. G. L., & Torres, A. X. F. (2021). La depuración de aguas residuales. Estudios de soluciones para el municipio de Ambato. Ecuador. *ConcienciaDigital*, 4(3), Article 3. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i3.1803>
- Moran G., M., & Guerrero Calero, J. (2022). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Jipijapa, Manabí. *MQRInvestigar*, 6, 925-943. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.6.4.2022.925-943>
- Moran G, M. R. M., & Guerrero C, J. M. G. (2022). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Jipijapa, Manabí. *MQRInvestigar*, 6(4), Article 4. <https://doi.org/10.56048/MQR20225.6.4.2022.925-943>
- Nguyen, T. K. L., Ngo, H. H., Guo, W., Nghiem, L. D., Qian, G., Liu, Q., Liu, J., Chen, Z., Bui, X. T., & Mainali, B. (2021). Assessing the environmental impacts and greenhouse gas emissions from the common municipal wastewater treatment systems. *Science of The Total Environment*, 801, 149676. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149676>
- Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes: Recurso Agua, Pub. L. No. 387, 21 (2015). <https://faolex.fao.org/docs/pdf/ecu155128.pdf>
- Osorio R., M. A., Carrillo B., W. E., Negrete C., J. H., Loor Lalvay, X. A., & Riera Guachichulca, E. J. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 6(3), 228-245.
- Salas Colotta, G. (2003). *TRATAMIENTO FÍSICO-QUÍMICO DE AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA TEXTIL*.
- Shekhawat, S. S., Kulshreshtha, N. M., Vivekanand, V., & Gupta, A. B. (2021). Impact of combined chlorine and UV technology on the bacterial diversity, antibiotic resistance genes and disinfection by-products in treated sewage. *Bioresource Technology*, 339, 125615. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125615>
- Silva J. (2023). Wastewater Treatment and Reuse for Sustainable Water Resources Management: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, 15(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/su151410940>
- Vinueza, X. R. C., Cárdenas, G. O. Z., Ayala, J. C. L., & García, I. A. R. (2021). Tratamiento biológico de aguas residuales como un proyecto de emprendimiento comunitario del Tejar Balbanera. *Domino de las Ciencias*, 7(4), Article 4. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i4.2200>
- Wang, L., Ye, C., Guo, L., Chen, C., Kong, X., Chen, Y., Shu, L., Wang, P., Yu, X., & Fang, J. (2021). Assessment of the UV/Chlorine Process in the Disinfection of *Pseudomonas aeruginosa*: Efficiency and Mechanism. *Environmental Science & Technology*, 55(13), 9221-9230. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c00645>