

Rediseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la comunidad Chiquicha Centro perteneciente al cantón Pelileo, provincia de Tungurahua, Ecuador

Redesign of the Wastewater Treatment Plant of the Chiquicha Centro community belonging to the Pelileo canton, Tungurahua province, Ecuador

Sofía Morales¹; Fabián Morales-Fiallos²; Margarita Mayacela³ y ⁴Leonardo Renteria

¹Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica/Carrera de Ingeniería Civil, Ambato - Ecuador, smorales2273@uta.edu.ec

² Universidad Técnica de Ambato, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica/Carrera de Ingeniería Civil, Ambato - Ecuador, frmorales@uta.edu.ec

³Universidad Técnica de Ambato, Dirección de Investigación y Desarrollo DIDE, Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Ambato-Ecuador, cm.mayacela@uta.edu.ec

⁴Universidad Nacional de Chimborazo, Facultad de Ingeniería, Riobamba – Ecuador, leonardo.renteria@unach.edu.ec

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo el rediseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la comunidad de Chiquicha Centro del cantón Pelileo en la provincia de Tungurahua, la cual se ha mantenido en funcionamiento desde el año 2012 y presentaba un deficiente desempeño en la depuración de agua residual, evidenciado por la turbidez del efluente, deterioro estructural de cada unidad descontaminante y presencia de vegetación. La metodología integró investigación documental, observación directa y entrevista para levantar información respecto a la zona de estudio. De igual manera, mediante el trabajo de campo se midió el caudal de ingreso y salida de la planta, y con el método experimental se realizó un muestreo del líquido residual que fue sometido a un análisis físico – químico, determinando que la mayor parte de parámetros contaminantes sobrepasaban el límite permisible para descarga estipulado en la normativa ambiental vigente del país. Con el método descriptivo se diagnosticó el funcionamiento de la estación depuradora según guías de diseño de la Organización Mundial de la Salud, Comisión Nacional del Agua y Secretaría del Agua, demostrando que esta planta no operaba eficientemente. Por esta razón, se propuso un nuevo esquema de depuración con diseño de pretratamiento incluyendo cribado, desarenador y tanque de grasas; se continúa hacia un tanque séptico, dos filtros anaerobios de flujo ascendente y lecho de secado de lodos rediseñado. Los resultados aseguraron la realización total de la propuesta, óptimo proceso de remoción de contaminantes y mejora en las condiciones de vida de la comunidad

Palabras clave: *aguas residuales, normativa ambiental, desarenador, operación y mantenimiento.*

Abstract

The purpose of this research was the redesign of the Wastewater Treatment Plant of the Chiquicha Centro community in Pelileo, Tungurahua province, which has been in operation since 2012 and has had a poor

performance in its residual treatment water, evidenced by the turbidity of the effluent, structural deterioration in each decontaminating unit and vegetation presence. This methodology has integrated documentary investigation such as direct observation and interviews to collect information regarding the study area. In the same way, through fieldwork, the inlet and outlet flow of the plant was measured, and with the experimental method, a sampling of the residual liquid was carried out, which was subjected to a physical-chemical analysis so determined that most of the Polluting parameters exceeded the permissible limit for discharge as stipulated in the current environmental regulations of the country. Using the descriptive method, the operation of the purification station was diagnosed according to design guidelines of the World Health Organization, the National Water Commission and the Water Secretariat, demonstrating that this plant does not operate efficiently. For this reason, a new purification scheme has been proposed with a pretreatment design that includes screening, sand trap, and grease tank; It continues to a septic tank, two up-flow anaerobic filters, and a redesigned sludge drying bed. The results ensured the full implementation of the proposal, an optimal process for removing contaminants and improving the living conditions of the community.

Keywords: wastewater, environmental regulations, grit trap, operation and maintenance.

Introducción

El agua permite efectuar cada una de las funciones vitales de los seres vivos y potenciar las sociedades debido a sus propiedades únicas; por tanto, su conservación garantiza la existencia de vida en el planeta. Pese a su indiscutible importancia, este recurso hídrico se enfrenta a graves problemas de contaminación, principalmente por convertirse en el medio de conducción y disposición final de diferentes residuos (Cabascango & Ortiz, 2019).

Esto genera vertidos conocidos como aguas residuales, las cuales presentan modificaciones a su composición inicial debido a diversas actividades humanas. Por su calidad y razones de salud pública es sumamente necesario implementar tratamientos de depuración antes de reutilizarlas o evacuarlas en masas naturales de agua, sistemas de alcantarillado o subsuelo (Peña-Álvarez & Castillo-Alanís, 2015).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) son infraestructuras diseñadas con el fin de tratar las aguas servidas aplicando diferentes tecnologías para depurar el líquido cumpliendo estándares de calidad en base a la normativa ambiental vigente y pueda ser reutilizada o a su vez vertida en fuentes hídricas. Incorporar la ciencia y tecnología en la creación e innovación de procedimientos que satisfagan las necesidades humanas es el fin de la ingeniería, por tanto, su enfoque en estos mecanismos de saneamiento es de gran significancia (Salazar & Cesar, 2017).

A nivel de Latinoamérica y el Caribe se ha intentado mejorar los servicios de agua potable y saneamiento alcanzando niveles de cobertura razonables; el 91% de la población tiene acceso al primer servicio y el 51% al segundo. Se exceptúa el caso del tratamiento de aguas residuales, en las cuales un sinnúmero de PTAR están abandonadas o se encuentran en condiciones precarias por descuidos en el mantenimiento y falta de presupuesto (Anda Sánchez, 2017).

Según Mercado et al (2020), existe una relación directa entre la eficiencia de PTAR's con su tipo de operación y mantenimiento, es decir, la calidad obtenida del efluente (principalmente analizando los parámetros DBO y DQO) depende indiscutiblemente de la gestión de la planta, incluida la tecnología usada, calidad del líquido de ingreso y metodología de operación y mantenimiento. Se recalcó la importancia del monitoreo y seguimiento permanente para tomar decisiones en cuanto a los procesos de tratamiento del sitio (Mercado et al., 2020).

Se evidencia la importancia de las plantas de tratamiento de aguas servidas en la comunidad, puesto que mejoran la calidad de vida de las personas e influyen en la reducción de sustancias nocivas para los seres vivos. De igual manera, es fundamental que su sistema sea sometido a continuas evaluaciones y monitoreos para garantizar un adecuado funcionamiento y solución oportuna a problemas que se puedan presentar, dando por sentado que la presente investigación es de aplicación práctica (Vargas, 2016).

El descuido en los sistemas de saneamiento es un grave problema que se presenta singularmente en zonas rurales; tal es el caso de la comunidad de Chiquicha Centro, perteneciente al cantón Pelileo en la provincia de Tungurahua – Ecuador. En este lugar se destaca la agricultura como principal actividad económica y sus habitantes no acceden totalmente a los servicios de saneamiento. Apenas el 5% de su población cuenta con un sistema de alcantarillado, y la eliminación de basura no se lo realiza periódicamente. Además, la descarga de aguas servidas mantiene un tratamiento precario (PDOT, 2015).

En el sitio se encontraba funcionando una PTAR, ayudando a la disminución del impacto ambiental que generan las aguas residuales de la zona. Sin embargo, no trabajaba de manera

eficiente puesto que el fluido de descarga era turbio y de mal olor. La presencia de vegetación en los componentes como producto del deficiente, y asumible, precario plan de mantenimiento en los procesos unitarios y las fisuras evidentes en las paredes internas y externas de las estructuras permitieron aducir que el caudal de ingreso no era sometido a un correcto tratamiento descontaminante. Esto fue considerado como un grave peligro para los moradores y el medio ambiente, teniendo en cuenta que en los predios donde se encuentra esta estructura y en terrenos colindantes había cultivos.

Por tal motivo, el objetivo de la presente investigación fue el rediseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Chiquicha Centro en el cantón Pelileo, provincia de Tungurahua. Se planteó llevar a cabo el levantamiento de información respecto al sitio para el dimensionamiento de las unidades descontaminantes existentes. De igual manera, se buscó analizar el afluente y efluente de la PTAR basándose en la normativa ambiental TULSMA 2015. Finalmente, se propuso un nuevo esquema de depuración y funcionamiento que incluyó: tren de tratamiento, diseño de nuevos componentes hidráulicos, rediseño de elementos descontaminantes, presupuesto y manual de operación y mantenimiento; todo esto con el fin de aportar al mejoramiento de las condiciones de vida de los pobladores de esta comunidad y reducir el impacto ambiental que generan las aguas residuales sin tratamiento adecuado.

Metodología

La presente investigación se desarrolló en cinco etapas, las mismas que garantizaron el cumplimiento de los objetivos propuestos:

Etapas I Levantamiento de información de la PTAR

Se empleó el método documental para recabar información teórica y bibliográfica que describió la zona de estudio y datos concernientes a la planta de tratamiento de aguas residuales. La observación directa permitió inspeccionar el lugar y caracterizar el estado actual de los componentes de la PTAR identificando problemas evidentes en sus estructuras descontaminantes. Por la dispersión poblacional de la comunidad se aplicó una entrevista

como instrumento para recolectar información debido a su carácter personal y directo con los moradores del predio.

Etapa II Investigación de campo

El método de medición permitió llevar a cabo el dimensionamiento (largo, ancho, alturas y espesor) de los componentes que forman parte del tren de tratamiento del agua residual. A continuación, se realizó el levantamiento topográfico del sitio donde está construida la planta de tratamiento y sus respectivos detalles.

A partir del muestreo probabilístico con selección aleatoria se determinó un periodo de tiempo óptimo de 30 días para medir los caudales. De igual manera, se consideró que en la mayoría de casos prácticos se determinan datos de caudales en un periodo de registro de un mes a fin de conseguir resultados aproximados a la realidad, lo que corrobora el valor de la muestra obtenida (Metcalf & Eddy, 1995). Por lo tanto, mediante visitas in situ se realizó el aforo de caudales de entrada y salida de la planta de tratamiento desde el 03 de mayo al 01 de junio del 2022 a las 13:00, que corresponde a la hora en que mayor demanda generó la PTAR y permitió determinar el caudal máximo horario. Para este procedimiento se empleó el método de medición volumétrica, el cual consistió en tomar el tiempo en que se llena un recipiente con medida fija (5 litros).

Empleando la metodología de tipo experimental se realizó un muestreo representativo del agua residual y su respectivo transporte el día viernes 03-06-2022 a las 13:00 (día y hora con mayor caudal obtenido en la medición del aforo de la PTAR) cumpliendo con las normas NTE INEN 2176:98 y NTE INEN 2169:98.

Etapa III Investigación de laboratorio

Las muestras recolectadas se enviaron al Laboratorio de Servicios Ambientales de la Universidad Nacional de Chimborazo para analizar los principales parámetros normados que determinan la eficacia del funcionamiento de una PTAR: pH, DQO, DBO₅, aceites y grasas, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, fósforo total y sólidos suspendidos.

Etapa IV Análisis y verificación de funcionamiento de la PTAR

Se utilizó la metodología de tipo analítica para comparar y analizar los resultados obtenidos del estudio de laboratorio de las muestras de agua residual con los valores límites de descarga

de un cuerpo de agua dulce según lo estipulado en la normativa TULSMA, libro VI, Anexo 1-Tabla 9” y se calcularon sus porcentajes de remoción empleando la siguiente ecuación:

$$E = \frac{Co-Cf}{Co} * 100 \quad (1)$$

donde E es la eficiencia del parámetro (%), Co es el valor inicial del parámetro y Cf es el valor final del mismo.

Adicionalmente, se calculó el funcionamiento teórico de los componentes del tren de tratamiento de la PTAR para analizar y verificar su cumplimiento de acuerdo a las normativas de diseño vigentes proporcionadas por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) y la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Con esto se ofreció un diagnóstico técnico actual de la PTAR.

Etapa V Rediseño de la PTAR

Finalmente, se utilizó el método deductivo para proponer un rediseño de la PTAR de la comunidad de Chiquicha Centro del cantón Pelileo que incluyó la selección idónea del tren de tratamiento y rediseño de componentes con sus respectivos planos, presupuesto y manual de operación y mantenimiento.

Resultados

Levantamiento de información

La PTAR de Chiquicha Centro se construyó en 2012 y estaba bajo la responsabilidad de tres juntas administradoras de agua de la zona: Sucre – Chiquicha Centro, El duende Chiquicha y Sucre – Bautista Loma, contando con 104 usuarios. La estructura ha sido totalmente descuidada, no se ha realizado mantenimiento a los componentes, fue evidente la presencia de vegetación en cada unidad hidráulica y carece de un cerramiento para la obra civil. Además, se percibió mal olor y turbidez en el líquido de descarga. Cuenta con un área de 600m² y presentó las siguientes características en sus procesos unitarios:

- *Tanque repartidor de caudales:* existieron sólidos de diverso tamaño en el interior del tanque por no tener rejilla de ingreso; además se evidenciaron fisuras y grietas en las paredes de la estructura.

- *Tanque séptico*: diseñado con dos compartimentos (cada uno dividido en dos cámaras). Se observó gran cantidad de lodos, sedimentos y animales en el interior.
- *Filtro anaerobio de flujo ascendente 1*: presencia de materia vegetal en la parte superior del material filtrante y fisuras en las paredes.
- *Filtro anaerobio de flujo ascendente 2*: deshabilitado.
- *Lecho de secado de lodos*: contenía desechos sin evacuar y plantas creciendo en su interior.

Se determinó que el caudal máximo horario de ingreso de la PTAR fue de 1,01 l/s pues correspondió al máximo valor de caudal en una hora del día, y el viernes fue el día con mayor aforo de ingreso y salida de la planta.

Análisis de resultados de laboratorio

En la Tabla 1 se comparan los resultados obtenidos de cada parámetro del líquido de ingreso y salida de la PTAR con los valores límites permitidos para descarga de agua residual tratada a un cuerpo de agua dulce, estipulados en la normativa TULSMA 2015

Tabla 1

Comparación de los resultados del análisis de agua residual del proyecto con el Tulsma 2015.

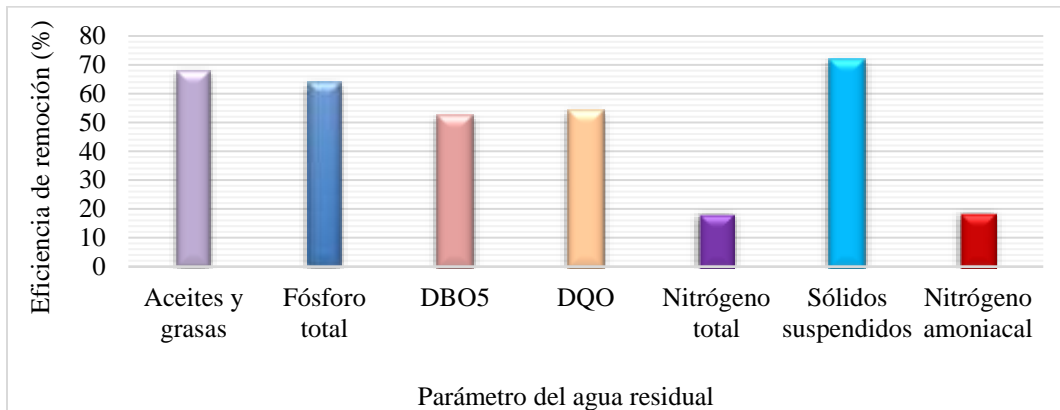
Parámetro	Unidad	Procedimiento	Líquido de ingreso (afluente)	Líquido de salida (efluente)	TULSMA (Límite máximo)	Cumple
Aceites y grasas	mg/L	EPA418,1	996,57	321,14	30,00	NO
Fósforo total	mg/L	STANDARD METHODS 4500 P - E	23,50	8,50	10,00	SI
DBO ₅	mgO ₅ /L	STANDARD METHODS 5210 - B	239,50	115,00	100,00	NO
DQO	mg/L	STANDARD METHODS 5220 - D	536,00	248,00	200,00	NO
Nitrógeno total	mg/L	STANDARD METHODS 4500 N - B	63,80	52,40	50,00	NO
pH	-	PE-LSA-01	7,43	7,68	6 - 9	SI
Sólidos suspendidos	mg/L	STANDARD METHODS 2540 - D	680,00	195,00	130,00	NO
Nitrógeno amoniacal	mg/L	STANDARD METHODS 4500 - NH ₃ B&C	44,00	36,00	30,00	NO

Metcalf & Eddy (1995) consideró que el rendimiento de una PTAR es indiscutiblemente la medida del éxito de su diseño y, por tanto, es fundamental analizar no solo la calidad del líquido de descarga a partir de resultados de laboratorio, sino también examinar los

porcentajes de eliminación de contaminantes, por tanto, utilizando la fórmula (1) se obtuvieron los porcentajes de remoción para cada parámetro analizado, como se observa en la siguiente figura:

Figura 1

Representación gráfica del porcentaje de eficiencia de remoción de parámetros físico – químicos de la PTAR.



Diagnóstico técnico actual de la PTAR

Actualmente, se cuenta con un tren de tratamiento conformado por los componentes que se observan en la siguiente figura:

Figura 2

Tren de tratamiento actual de la PTAR de Chiquicha Centro.



Los principales resultados del cálculo de funcionamiento teórico se evidencian en la Tabla 2:

Tabla 2

Resumen del funcionamiento actual vs. teórico calculado de la PTAR Chiquicha Centro.

Componente	Funcionamiento actual vs. teórico calculado	Observación
------------	---------------------------------------------	-------------

Tanque repartidor de caudales	Ausencia de una rejilla en su parte interior para retener sólidos de gran tamaño previo su entrada.	No aporta ningún tratamiento al agua residual.
Tanque séptico	Esta unidad cuenta con un volumen de 110,20 m ³ , el cual es mayor al volumen teórico calculado de 51,64 m ³ .	Cumple con normas de diseño de la OPS.
Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)	La mayor parte de parámetros se encuentran dentro de los rangos establecidos. El tiempo de retención hidráulica supera el límite máximo y la carga hidráulica superficial mantiene un valor inferior al rango normado.	Cumple con normas de diseño de la CONAGUA.
Lecho de secado de lodos	Presenta un área de 41,62 m ² , el cual es muy superior al área teórica calculada (34 m ²).	Cumple con normas de diseño de la OPS. Sistema de drenaje inadecuado.

Rediseño de la PTAR

Con los resultados de análisis físico – químico de agua residual y diagnóstico técnico actual de la PTAR se propone un rediseño que parte con la selección idónea de un tren de tratamiento depurador que incluye: área de cribado, desarenador, tanque de grasas, tanque séptico, lecho de secado de lodos y dos filtros anaerobios de flujo ascendente. Este esquema puede observarse detalladamente en la figura 3.

Figura 3

Esquema de rediseño de la PTAR de Chiquicha Centro.



Para el dimensionamiento de los nuevos componentes y rediseño de unidades hidráulicas existentes se procedió a determinar parámetros de diseño basado en normativas actuales, como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 3

Parámetros empleados para el cálculo de la propuesta de rediseño de la PTAR.

Parámetro	Normativa	Valor asumido	Unidad
Periodo de diseño	CONAGUA	25,00	años

Tasa de crecimiento	Instituto Ecuatoriano de Normalización	2,41	%
Población futura	Método geométrico propuesto por el Instituto Ecuatoriano de Normalización	754,00	hab
Dotación de agua futura	CO 10.7 proporcionada por la SENAGUA	100,00	l/hab*día
Caudal máximo horario (QMH)	RAS, capítulo D – sección 3.3 y norma CO 10.7 – 601 de la SENAGUA	1,95	l/s
Caudal de diseño (QD)	RAS, capítulo D – sección 3.3 y norma CO 10.7 – 601 de la SENAGUA	2,40	l/s

Con las deficiencias actuales que presentan los componentes de la planta de tratamiento de esta investigación, se incorporaron tres unidades hidráulicas de pretratamiento: cribado, desarenador y tanque de grasas. De igual manera, se rediseñaron los componentes existentes según la normativa indicada en la tabla 4, y se incluye una comparativa clara del estado actual y la propuesta de rediseño de los componentes mencionados.

Tabla 4

Comparación del estado actual de componentes de la PTAR y la propuesta de rediseño de la PTAR.

Componente	Estado actual	Dimensiones calculadas	Estado con el rediseño
Tanque repartidor de caudales	No aporta ningún tratamiento al agua residual	Largo: 1,70m Ancho: 1,35m Altura: 1,60m	Cumple con su función e incluye el área de cribado en su interior.
Cribado	No existe	Ancho de rejilla: 1,05m Diámetro de barras: 14mm N° de barras: 25 Apertura libre: 30mm	Cumple con la normativa CO 10.7 – 601 de la SENAGUA. Se ubica al interior del tanque repartidor de caudales.
Desarenador	No existe	Largo: 6,10m Ancho: 0,70m Profundidad: 0,45m Ancho de canal de llegada: 0,40m Longitud de transición: 0,70m	Cumple con los parámetros de diseño establecidos por la OPS, 2005.
Tanque de grasas	No existe	Largo: 3,20m Ancho: 0,80m Altura útil: 0,80m Borde libre: 0,30m	Cumple con los criterios de diseño de la normativa RAS – 2000, título E y especificaciones proporcionadas por la OPS/CEPIS/03.81.
Tanque séptico	Cumple con normas de diseño de la OPS. Falta de mantenimiento evidente.	Largo: 7,60m Ancho: 5,80m Altura: 2,50m Incluye: dos fosas sépticas en su interior que se dividen en cuatro cámaras en serie.	Cumple con parámetros de diseño establecidos por la OPS en la Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques IMHOFF y lagunas de estabilización.

Filtro anaerobio de flujo ascendente 1	Cumple con condiciones de diseño de la CONAGUA. Falta de limpieza maximizan el riesgo de taponamiento en el material filtrante.	Diámetro: 5,50m Altura: 2,10m Borde libre: 0,45m	Cumple con el dimensionamiento dado por el Manual de Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales desarrollado por la CONAGUA, 2015.
Filtro anaerobio de flujo ascendente 2	Deshabilitado	Diámetro: 5,50m Altura: 2,10m Borde libre: 0,45m	Cumple con el dimensionamiento dado por el Manual de Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales desarrollado por la CONAGUA, 2015. Está habilitado.
Lecho de secado de lodos	Cumple con el dimensionamiento establecido por la OPS. Carece de un sistema de drenaje	Largo: 11,00m Ancho: 5,50m Altura: 1,50m Profundidad de aplicación: 0,40m Sistema de drenaje: tubo perforado de 200mm de diámetro	Cumple con el dimensionamiento establecido por la OPS y todos sus criterios de diseño, incluido el área de drenaje.

Con la propuesta del nuevo esquema depurador se obtiene una eficiencia de remoción adecuada y acorde a los porcentajes de eliminación teórica de constituyentes del agua residual propuestos por Metcalf & Eddy (1995), como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5

Comparación del estado actual de componentes de la PTAR y la propuesta de rediseño de la PTAR.

Unidad de tratamiento	DBO ₅	DQO	Sólidos suspendidos (SS)	Fósforo total (P)	Nitrógeno (N – Org)	Nitrógeno amoniacal (NH ₃ – N)
Rejas de barras	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo	Nulo
Desarenador	5	5	10	Nulo	Nulo	Nulo
Sedimentación primaria (tanque séptico)	40	40	65	20	20	0
Filtros percoladores	80	80	85	12	50	15
Alta caga, medio pétreo						

Para la propuesta de rediseño del presente proyecto se calculó un valor monetario de \$275.695,96 (doscientos setenta y cinco mil seiscientos noventa y cinco, 96/100 dólares) que considera actividades preliminares de limpieza en el sitio, rubros referidos a la construcción de un tanque repartidor de caudales/cribado, desarenador y tanque de grasas que fueron incluidos en el nuevo tren de tratamiento. De la misma manera, se incorporaron actividades de mejoramiento externo en las unidades descontaminantes ya existentes, como el tanque séptico y los dos filtros anaerobios de flujo ascendente. El lecho de secado de lodos se

rediseñó con parámetros de diseño vigentes y se incluyeron labores necesarias para la construcción de un cerramiento y trabajos de operación y mantenimiento de la PTAR durante su vida útil.

Discusión

Con el levantamiento de información obtenida se identificaron datos importantes de la zona y de la población a la que sirve la PTAR de Chiquicha Centro. De esta manera, se establecieron las falencias en el tratamiento del agua residual. Los resultados permitieron determinar parámetros de diseño que son la base para el diagnóstico del funcionamiento actual de la planta de tratamiento y de la propuesta de rediseño de sus componentes.

En base a la Tabla 1 se determinó que las variables: aceites y grasas, DBO₅, DQO, nitrógeno total, sólidos suspendidos y nitrógeno amoniacal sobrepasan en gran medida los rangos permisibles para descarga del efluente, lo cual constituye una grave problemática ambiental y se deduce un deficiente proceso depurador de componentes de la PTAR.

Según la figura 1 se determina que la mayor parte de parámetros contaminantes fueron removidos en un 50%, a excepción del nitrógeno total y el nitrógeno amoniacal. Adicionalmente, a pesar de que los sólidos suspendidos alcanzaron porcentajes de hasta 71,32% de depuración (mayor remoción), no encajan en los parámetros máximos establecidos por la TULSMA.

Los resultados obtenidos concuerdan con los estudios realizados por Víctor Izurieta (2020) destacando el hecho de que, a pesar de que la planta de tratamiento cuenta con unidades hidráulicas especializadas para tratar la mayor parte de parámetros contaminantes analizados, su remoción no se logra satisfactoriamente debido a problemas en su estructura ocasionadas por la falta de mantenimiento y limpieza. Los porcentajes de remoción teóricos en función del presente tren de tratamiento son muy superiores a los porcentajes reales. En consecuencia, el diseño de los componentes de la PTAR de la presente investigación es deficiente.

Por otra parte, Rocío Vilaña (2016) menciona que la ausencia de un tratamiento preliminar para el retiro de partículas de gran tamaño, como es el caso de la PTAR de Chiquicha Centro, es un factor influyente para la descontaminación del líquido residual al evacuar cerca del

15% de los parámetros estudiados y hasta un 60% de sólidos. Además, este porcentaje removido permitiría un mejor desempeño de los demás componentes al evitar posibles obstrucciones en tuberías y compartimentos.

La tabla 2 permite identificar que el tanque repartidor de caudales funciona únicamente como pozo de ingreso a la PTAR conectando el sistema de alcantarillado con el tanque séptico, sin ofrecer tratamiento al agua servida. El segundo componente descontaminante satisface la demanda de líquido residual por su óptimo volumen, pero su carencia de mantenimiento es evidente. En cuanto al FAFA, los cálculos demuestran un sobredimensionamiento de la estructura al generar un excesivo tiempo de retención de líquido en el medio filtrante y mayor depuración de agua; sin embargo, la falta de limpieza maximiza el riesgo de taponamiento de esta unidad. El lecho de secado de lodos mantiene dimensiones adecuadas, pero carece de un tubo perforado para drenar el agua producida por los lodos. En síntesis, pese a que todos los componentes tienen dimensiones adecuadas de diseño, no se ha llevado un correcto mantenimiento y limpieza de los componentes.

Se comprueba que la PTAR de Chiquicha Centro no está trabajando de forma eficiente y es necesario un rediseño de ciertos procesos unitarios ya existentes y la inclusión de unidades hidráulicas al tren de tratamiento. Por tanto, la propuesta garantizará una correcta remoción de contaminantes, un líquido de descarga que cumpla con los límites permisibles normados y mejora en las condiciones de vida de los habitantes de la comunidad.

La figura 3 muestra la propuesta de rediseño en la cual se implementa un pretratamiento cuyo fin es el retiro de arena, partículas sólidas de gran tamaño y basura que ha sido transportada por el sistema de alcantarillado hasta la planta de depuración. De esta manera, el proceso descontaminante empezará con un cribado (incorporado en el actual tanque repartidor de caudales) que permita el paso de agua residual y retenga desechos grandes. Posteriormente se pasará hacia un desarenador que evite el ingreso de arena al resto de componentes del tren de tratamiento. Considerando que no se cuenta actualmente con una unidad hidráulica para tratar el parámetro de aceites y grasas, se incluye un tanque de grasas para disminuir los valores de esta variable y no afecte el correcto funcionamiento de los demás componentes.

El tratamiento primario es el encargado de remover aproximadamente el 90% de contaminantes con el empleo de un tanque séptico. Este elemento permite la desintegración de material orgánico perjudicial mediante la aireación (abastecimiento de oxígeno a bacterias aeróbicas del agua cruda), además de que los cúmulos de material de desecho sólido se coloquen en la base de la fosa. Este lodo pasa hacia un tanque: lecho de secado de lodos, que elimina el agua presente en este fango a partir del secado en una superficie al aire libre y dotada de un buen drenaje. A este componente se le incorporará una tubería perforada tipo desagüe en la parte inferior que recoja el líquido drenado hasta la descarga, puesto que actualmente este elemento es inexistente.

Finalmente, el agua se direcciona hacia un tratamiento secundario conformado por dos filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFA) de iguales dimensiones considerando parámetros de diseño según lo estipulado por la CONAGUA. A la fecha, uno de los filtros se encuentra deshabilitado en la PTAR y no cumple con ninguna función depuradora; por tanto, su incorporación al tren de tratamiento presenta un gran beneficio para disminuir la carga contaminante en el líquido de descarga (reducir significativamente los niveles de nitratos y fosfatos) y económicamente se ahorraría en la construcción del mismo, dado que requiere únicamente mantenimiento y adecuación para conectarlo al sistema y ponerlo en operación.

Con los datos mostrados en la Tabla 4 se puede evidenciar que la implementación de estos procesos propuestos y reestructuración de los componentes actuales garantizan la calidad del líquido de descarga, a tal punto de cumplir con la normativa vigente TULSMA y precautelar el cuidado del medio ambiente.

Es importante mencionar que el éxito del tren de tratamiento de la PTAR de Chiquicha Centro no incluye únicamente estudios e implantación adecuada, sino también un correcto plan de monitoreo para asegurar su adecuado funcionamiento durante el periodo de diseño, y un presupuesto que garantice su ejecución en totalidad.

Conclusiones

Con relación al análisis físico – químico del agua residual de ingreso y salida de la PTAR se evidenció que los parámetros: aceites y grasas, DBO5, DQO, nitrógeno total, sólidos

suspendidos y nitrógeno amoniacal, a pesar de presentar cierto grado de remoción, sobrepasan el límite permisible para descarga en cuerpos de agua dulce según lo estipulado en la normativa ambiental TULSMA 2015. Por lo tanto, la planta de tratamiento de aguas residuales no se encuentra funcionando eficientemente.

El diagnóstico técnico actual de las unidades descontaminantes de la PTAR basado en el dimensionamiento de componentes hidráulicas, análisis físico – químico del afluente y efluente y respectiva comparación con normativas de diseño vigentes proporcionadas por la OPS y CONAGUA determinó que a pesar de mantener un diseño adecuado en la mayor parte de componentes depuradores, la falta de limpieza y mantenimiento impide una correcta remoción de contaminantes y, por consiguiente, un deficiente funcionamiento de la PTAR.

Se propuso un nuevo tren de tratamiento depurador que incluye preliminarmente un área de cribado y desarenador para tratar el parámetro de sólidos suspendidos. A continuación, se implementó un tanque de grasas para disminuir este parámetro en el líquido residual. El proceso continúa hacia el tanque séptico, lecho de secado de lodos y dos filtros anaerobios de flujo ascendente; el segundo filtro fue habilitado con el fin de mejorar el rendimiento de la PTAR y aprovechar un componente ya construido con diseño adecuado.

El valor calculado de presupuesto demuestra la factibilidad de llevar a cabo el rediseño de la PTAR de Chiquicha Centro en comparación a la construcción completa de esta obra, considerando la variable económica y el tiempo. De la misma manera, los resultados de la investigación evitan invertir en actividades de remediación al medio ambiente y todo tipo de trabajos que conlleva la contaminación del agua del sitio de descarga si los parámetros físico-químicos analizados del efluente continúan con esos valores.

Se concluye que la propuesta con rediseño de componentes, incorporación de nuevas unidades al tren de tratamiento, presupuesto y manual de operación y mantenimiento considerando un periodo de vida útil de 25 años y una población proyectada de 754 habitantes hasta el año 2047 asegura un óptimo proceso de remoción de contaminantes, calidad de líquido de descarga acorde a los parámetros ambientales permisibles (TULSMA) y mejora en las condiciones de vida de los habitantes de la comunidad.

Agradecimientos

Se extiende un agradecimiento a la Dra. Margarita Mayacela por su aporte significativo en el desarrollo de esta investigación.

Bibliografía

Anda Sánchez, J. de. (2017). Saneamiento descentralizado y reutilización sustentable de las aguas residuales municipales en México. *Sociedad y Ambiente*, 14, 119–143.

Cabascango, T., & Ortiz, K. (2019). *Evaluación de la eficacia de tratamientos de aguas residuales sintéticas utilizando peces cebra (Danio rerio) como bioindicador en un sistema de exposición no forzada* [Quito: EPN]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20572>

Izurieta, V. (2020). *Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia Poatug, cantón Patate, provincia de Tungurahua*. Ambato: UTA.

Mercado, Á., Cossío, C., & Copa, M. (2020). Eficiencia vinculada a la operación y mantenimiento de pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en Cochabamba, Bolivia. *Acta Nova*, 9, 524–542. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892020000100004&lng=es&tlng=es

Metcalf & Eddy. (1995). Tratamiento, vertido y reutilización. In *Ingeniería de aguas residuales*. McGRAW-HILL.

PDOT. (2015). *Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Rural Chiquicha*.

Peña-Álvarez, A., & Castillo-Alanís, A. (2015). Identificación y cuantificación de contaminantes emergentes en aguas residuales por microextracción en fase sólida-cromatografía de gases-espectrometría de masas (MEFS-CG-EM). *TIP*, 18(1), 29–42. <https://doi.org/10.1016/J.RECQB.2015.05.003>

Salazar, A., & Cesar, S. (2017). *Remoción de coliformes totales y fecales en lodos por procesos electroquímicos, planta de tratamiento de aguas residuales, Lima 2017*.

Revista Investigación y Desarrollo

Artículo recibido: 08/07/2023

Artículo aceptado: 15/11/2023

Vargas, E. (2016). *Evaluación técnica de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR), de la inspección de Pueblo Nuevo del municipio de Nilo Cundinamarca*. Bogotá: Universidad Católica de Colombia.

Vilaña, R. (2016). *Evaluación y rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para los barrios Villaflora y El Rosario, Parroquia Píntag, Cantón Quito, Provincia de Pichincha* [Quito: EPN]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16891>