

UCUENCA

Universidad de Cuenca

Facultad de Ingeniería

Carrera de Ingeniería Civil

Factibilidad técnica para los usos del agua de lavado de las unidades de la planta de potabilizadora de Tixán - Fase 1


Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil

Autor:

Diego Fernando Cumbe Hurtado

Director:

Andrés Omar Alvarado Martínez

ORCID:  0000-0002-9125-1221

Cuenca, Ecuador

2025-09-23

Resumen

En la presente investigación se evaluará en una primera fase la factibilidad técnica de reutilizar las aguas de lavado en la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán, Cuenca-Ecuador, como una opción para optimizar el uso del recurso hídrico frente a los crecientes desafíos climáticos y prolongados períodos de estiaje. Este estudio se centrará en la caracterización de los efluentes clarificados provenientes del lavado de decantadores y filtros. Se realizaron análisis de laboratorio en distintas fechas para determinar los parámetros clave considerando las características de la planta y comparándolos con los límites establecidos en la normativa ecuatoriana. Los resultados indican que la mayoría de parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles y que la planta cuenta con los procesos adecuados para su tratamiento, las concentraciones de plomo podrían sugerir la necesidad de un tratamiento previo. Se estudiaron varias opciones para el tratamiento de las aguas de lavado en la planta, proponiendo una solución factible en su reacondicionamiento. El volumen de agua recuperable podría cubrir una demanda poblacional considerable, demostrando el alto potencial de esta práctica en la optimización de los recursos hídricos.

Palabras clave del autor: lavado, recirculación, potabilización



El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Cuenca ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por la propiedad intelectual y los derechos de autor.

Repositorio Institucional: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Abstract

This research will evaluate in a first phase the technical feasibility of reusing wash water from the Tixán Drinkable Water Treatment Plant (DWTP) in Cuenca, Ecuador, as an option to optimize the use of water resources in the face of growing climate challenges and prolonged periods of drought. This study will focus on the characterization of the clarified effluents from the washing of decanters and filters. Laboratory analyses were carried out on different dates to determine key parameters, considering the DWTP characteristics and comparing them with the limits established in Ecuadorian regulations. The results indicate that most parameters are within the permissible limits and that the plant has the adequate processes for their treatment; the lead concentrations could suggest the need for a prior treatment. Several options for the treatment of the wash water at the plant were studied, proposing a feasible solution for its reconditioning. The recoverable water volume could cover a considerable population demand, demonstrating the high potential of this practice in the optimization of water resources.

Author Keywords: washwater, recirculation, potabilization



The content of this work corresponds to the right of expression of the authors and does not compromise the institutional thinking of the University of Cuenca, nor does it release its responsibility before third parties. The authors assume responsibility for the intellectual property and copyrights.

Institutional Repository: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/>

Índice de contenido

Introducción	8
Objetivos	9
Objetivo General	9
Objetivos específicos:.....	9
Marco Teórico	9
Estado del arte.....	10
Planta de Tratamiento de Agua Potable - Tixán	11
Metodología	22
Limpieza de las unidades de potabilización	22
Tren de tratamiento de lodos de la PTAP.....	25
Caracterización y análisis de las aguas de lavado clarificadas.....	29
Resultados	30
Límites de calidad del agua para uso en potabilización.....	30
Caracterización de las aguas clarificadas del tren de tratamiento de lodos.....	33
Impacto de la reutilización de aguas de lavado para fines de potabilización	39
Descripción de alternativas para el tratamiento de las aguas de lavado	43
Resultados del diseño.....	46
Discusión	47
Conclusiones y recomendaciones	49

Índice de figuras

Figura 1	Unidades en la PTAP Tixán	12
Figura 2	Esquema de procesos de la PTAP Tixán	12
Figura 3	Dosificación de permanganato de potasio en el agua cruda.....	14
Figura 4	Dosificación de sulfato de aluminio (Módulo II).....	15
Figura 5	Dosificación del sulfato de aluminio (Módulo I). Dosificación del sulfato de aluminio (Módulo I).	16
Figura 6	Unidades de floculación (Módulo I).	17
Figura 7	Unidades de floculación (Módulo II).....	18
Figura 8	Unidades de sedimentación (Módulo II).	19
Figura 9	Unidades de filtración (Módulo I).	20
Figura 10	Sala de cloración.....	21
Figura 11	Cilindros de cloro gas - Edificio de cloración.	22
Figura 12	Módulo de sedimentación vaciado por completo.	23
Figura 13	Procesos del tratamiento de lodos en la PTAP Tixán	25
Figura 14	Dispositivos "Decanters" en el tanque decantador vacío.	26
Figura 15	Dispositivos "Decanters" en el tanque decantador en funcionamiento.....	26
Figura 16	Unidades de espesadores de lodos.....	28
Figura 17	Aguas de lavado que llegan a los espesadores de lodos.	28
Figura 18	Filtros banda – Deshidratación mecánica de lodos.....	29
Figura 19	Emplazamiento del sistema de pre-tratamiento de las aguas clarificadas de lavado (opción 1), debajo de los tanques sedimentadores de las aguas de lavado.....	43
Figura 20	Emplazamiento del sistema de pre-tratamiento de las aguas clarificadas de lavado (opción 2), previo a la entrada a las unidades de oxidación de manganeso.	45
Figura 21	Implantación de las unidades de floculación y sedimentación previo a la cabecera de la PTAP	49

Índice de tablas

Tabla 1 Límites permisibles en aguas para el consumo humano y uso doméstico que solamente requieran de tratamiento convencional (TULSMA Libro VI).	32
Tabla 2 Límites permisibles en aguas para uso agrícola (TULSMA Libro VI).....	33
Tabla 3 Resultados de laboratorio de las muestras (17/02/2025) correspondientes al efluente en el lavado de decantadores.....	34
Tabla 4 Resultados de laboratorio de las muestras (17/03/2025) correspondientes al efluente en el lavado de decantadores.....	35
Tabla 5 Valores máximos obtenidos en la caracterización para los efluentes en el lavado de decantadores	36
Tabla 6 Resultados de laboratorio de las muestras (12/05/2025) correspondientes al efluente en el lavado de filtros (ETAPA-EP).....	37
Tabla 7 Resultados de laboratorio de las muestras (13/06/2025) correspondientes al efluente en el lavado de filtros (ETAPA-EP).....	38
Tabla 8 Valores máximos obtenidos en la caracterización de los efluentes de las aguas en el lavado de los filtros.....	39

Agradecimientos

Doy gracias a Dios, por su gran bondad y por ser el pilar de mi esfuerzo. A la santísima Virgen María, por su compañía y sus bendiciones. Al Sagrado Niño Jesús, por la guía y protección brindadas en este trayecto académico. Agradezco infinitamente a mi familia, por acompañarme y ayudarme en cada momento que lo necesité, especialmente a mi madre Elsa y a mi padre Ángel que me han enseñado la importancia de ser perseverante sin importar los problemas a los que te enfrentes. A mi abuelita Lastenia por ser tan bondadosa y compasiva conmigo, a mis hermanos. A parte de mi familia que ya no está conmigo, mis abuelitos Humberto y Benjamin, y a mi abuelita Elvira. Quisiera agradecer también a Juliana, quien siempre estuvo presente y apoyándome en todo momento, por sus infinitas muestras de afecto que me han ayudado a seguir adelante.

Quiero expresar mi agradecimiento por su aporte y orientación al ingeniero Andrés Alvarado, director de este trabajo de titulación. A los ingenieros Esteban Pacheco y Verónica Carrillo, por su valiosa retroalimentación y por su accesibilidad frente a los problemas enfrentados.

Quisiera agradecer y remarcar a Jorge David Ordoñez Mogrovejo por su fundamental aporte intelectual en esta investigación, lo que lo posiciona como autor y co-creador del presente trabajo. Este rol es formalmente reconocido en este espacio, ya que su autoría en portada de la tesis junto a la mía se restringe a dicho estudiante.

Es preciso denotar el gran aporte de la empresa ETAPA EP que nos ha ayudado con la información, ensayos, orientación que han sido fundamentales para esta primera fase del proyecto y que seguramente nos seguirán aportando en su segunda fase. Así mismo, a los laboratorios de Ingeniería Sanitaria y de Bioenergía de la Universidad de Cuenca, con su apoyo en la recepción y análisis de muestras, factores esenciales en el proyecto.

A mis grandes amigos, Sebastián, Joaquín y Verónica por ser ese momento de desconexión en ciertos momentos difíciles.

1 Introducción

El agua es un recurso primordial en el desarrollo de las sociedades, el cual enfrenta varios desafíos cruciales en el presente siglo. La presión en los recursos hídricos debido al crecimiento poblacional, la urbanización y el cambio climático, han requerido por parte de la comunidad científica la búsqueda de soluciones innovadoras para la gestión sostenible de este recurso. El uso y reúso eficiente del agua en todas las etapas de su aprovechamiento urbano surge como una necesidad fundamental.

Las plantas convencionales de tratamiento de agua potable (PTAPs) que comprenden las etapas de coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección, presentan grandes oportunidades para un uso eficiente del agua utilizada en el proceso. El reúso del agua residual producto del lavado de unidades de tratamiento tiene un gran potencial para la conservación del recurso hídrico, sin embargo, esta opción ha sido poco explorada en el Ecuador. El agua usada en el retrolavado de filtros y, las purgas o vaciado de los decantadores, puede representar un porcentaje significativo de la producción y, por lo tanto, ser una fuente potencial para su reutilización, reduciendo así el consumo de agua y la cantidad de aguas residuales generadas (García et al., 2017).

La Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca (ETAPA EP) opera varias PTAPs en Cuenca, en las cuales se generan importantes volúmenes de agua residual durante los procedimientos de limpieza de las unidades de tratamiento. Particularmente, en la PTAP de Tixán, estas aguas residuales (provenientes principalmente de la limpieza de floculadores, decantadores y filtros), reciben un tratamiento físico, donde se separan los sólidos que son espesados y deshidratados, y, por otra parte, se descargan efluentes clarificados. Estos efluentes cuentan con las características físico-químicas y microbiológicas exigidas por la normativa de calidad ambiental nacional para su descarga en el río Machángara. Sin embargo, estas aguas tienen un alto potencial para ser reutilizadas en varios usos internos en la misma PTAP, e inclusive, para aumentar el volumen de agua cruda procesada en la planta.

Las aguas de retrolavado de filtros han sido usadas principalmente para irrigación o para incrementar las reservas de agua superficial/subterránea en varios países con beneficios ambientales y económicos. En países como Estados Unidos y Brasil se han implementado sistemas de recirculación de aguas de lavado de manera exitosa, logrando reducciones significativas en el consumo de agua cruda y optimizando la eficiencia de sus plantas de tratamiento. Así también, el proyecto de la Junta de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad

de Culiacán (JAPAC) ha sido galardonado con el Premio Sinaloa de Ciencia, Tecnología e Innovación, ejemplificando esta tendencia (CONACYT, 2017).

La presente investigación aborda el problema específico descrito en la planta potabilizadora de Tixán, donde el agua utilizada en los procesos de limpieza es desaprovechada. Más del 90% de este volumen corresponde al lavado de filtros. Este proyecto de investigación plantea la pre-factibilidad técnica para el aprovechamiento de las aguas residuales de lavado de la planta.

Esta investigación se alinea con el Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) 13 de la ONU de adaptación al cambio climático. Los resultados, además de beneficiar a la PTAP de Tixán, pueden replicarse en otras plantas de tratamiento convencionales del país, contribuyendo así a la gestión sostenible del recurso hídrico en la región.

2 Objetivos

2.1 Objetivo General

Estudiar la reutilización de las aguas de lavado del tren de tratamiento de la PTAP - Tixán

2.2 Objetivos específicos:

1. Estimación del potencial recuperable del proceso de tratamiento en la PTAP Tixán.
2. Caracterizar la calidad física, química y microbiológica del agua clarificada del proceso de tratamiento de las aguas residuales de los lavados de sedimentadores y filtros en la PTAP Tixán y verificar su calidad para la reutilización en distintos fines.
3. Proponer y analizar alternativas para el tratamiento de las aguas residuales de los procesos de lavado para su reinyección en el tren de tratamiento u otros usos.

3 Marco Teórico

A lo largo de este capítulo se dan algunas definiciones y conceptos necesarios que facilitaran al lector entender y analizar la problemática abordada. Inicialmente se consideran conceptos relativos a: proceso de potabilización de la PTAP de Tixán; criterios y procedimientos en el mantenimiento de las unidades; el proceso de tratamiento de lodos generados en la limpieza y generación del efluente clarificado a ser aprovechado; los principales parámetros que caracterizan las aguas de estudio; la metodología empleada para caracterizar las mismas; la norma de cumplimiento obligatorio TULSMA, que permitirá un aprovechamiento seguro de las aguas de estudio

a. Estado del arte

La recirculación y reutilización de aguas de lavado en plantas potabilizadoras ha ido creciendo y ganando relevancia en la gestión sostenible de los recursos hídricos.

En el país ya se han efectuado estudios de factibilidad de la reutilización y su influencia en la calidad del agua tratada donde se elaboran procedimientos para la recuperación de agua y en los lavados de filtros para una planta de tratamiento de agua potable en Quito (Carvajal y Ortega, 2014). En México, se ha desarrollado un sistema de recirculación para el aprovechamiento de las aguas de retrolavados de filtros en plantas potabilizadoras. Este sistema permite el reúso de agua con contenido de productos químicos en el proceso de potabilización, mejorando la eficiencia y sostenibilidad del tratamiento del agua (CONACYT, 2017). Así mismo, se han realizado análisis de factibilidad en países vecinos (Mahecha, 2018), evidenciando que la calidad de las aguas de lavado en plantas de tratamiento de agua potable suele tener la calidad adecuada para permitir su reinserción en el proceso de potabilización de las plantas permitiendo atraer beneficios tanto ambientales como económicos en los procesos de tratamiento.

Varios estudios han explorado tecnologías para la optimización de dicho proceso, mejorando la calidad del agua tratada y eficiencia de las plantas.

Skolubovich et al. (2017) propuso una tecnología de purificación en dos etapas para el tratamiento y reutilización múltiple del agua de lavado en estaciones de purificación que utilizan fuentes superficiales abiertas. Los resultados experimentales indican que la implementación de este sistema permite la eliminación efectiva de impurezas, facilitando la recirculación del agua de lavado para su potabilización sin comprometer la calidad.

Se han investigado diversas técnicas para el tratamiento del agua de retrolavado de filtros (SFBW), los cuales incluyen la pre-sedimentación, coagulación, floculación, clarificación secundaria y ultrafiltración (UF). Específicamente se han investigado el uso de coagulantes como el cloruro férrico (FeCl_3) y el cloruro polialumínico férrico (PAFCl), siendo este último el que presenta un mejor desempeño en la calidad de agua tratada con un proceso híbrido de coagulación-UF. Los datos de un estudio de la planta de tratamiento de Isfahán-Irán, mostrando que el agua potable puede llegar a ser producida a partir de estas aguas (SFBW) a partir de un proceso de coagulación-UF, usado en especial PAFCl. Este proceso puede incluir la recirculación de las SFBW sedimentadas al inicio de la planta de tratamiento de agua. El tratamiento busca reducir la turbidez, color, conductividad, sólidos disueltos totales, demanda química de oxígeno, el carbono orgánico total y los coliformes. Los procesos de sedimentación, coagulación y de ultrafiltración han demostrado ser efectivos en la eliminación

de contaminantes en estas aguas. La combinación de coagulación y ultrafiltración conduce a una disminución significativa de color, turbidez, metales pesados y microorganismos (Mokhtar et al., 2017).

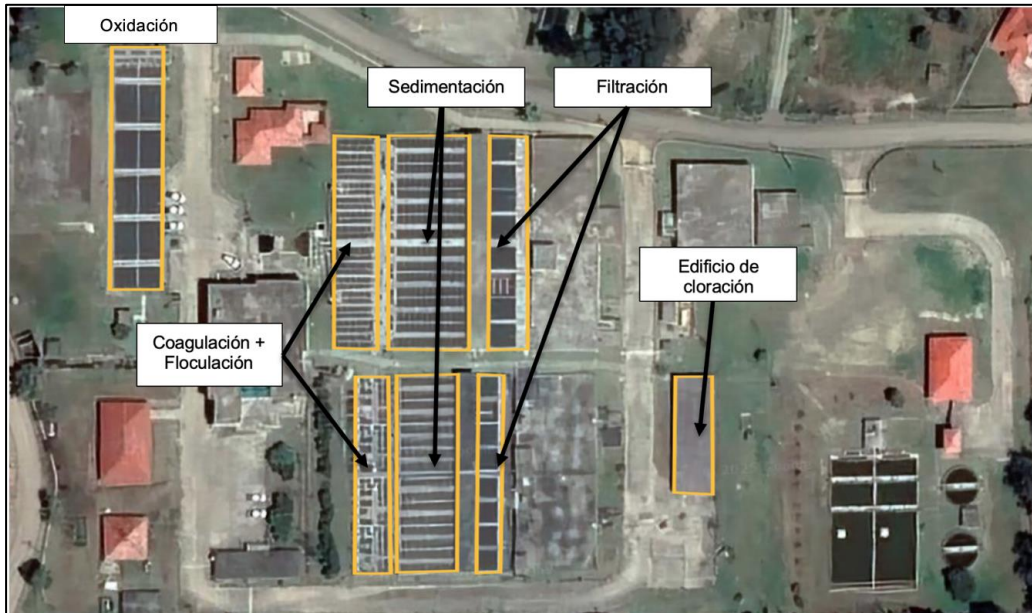
b. Planta de Tratamiento de Agua Potable - Tixán

En esta sección se describen los procesos y etapas de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán, según información recabada en entrevistas al personal e información facilitada por la empresa (ETAPA EP, 2015).

La fuente que abastece a la PTAP es el río Machángara, con una cuenca de aporte de 208 km². Dicha cuenca está regulada en la zona alta por medio de las represas de Chanlud y de El Labrado, que alimentan a las centrales hidroeléctricas de Saucay y Saymirín. La captación de agua afluyente cruda en la planta parte de la descarga de la central hidroeléctrica de Saymirín. Debido a las variaciones climáticas en las estaciones seca y lluviosa en la región, se presentan fluctuaciones en caudal y calidad del agua a lo largo del año. Estudios hidrológicos desarrollados ETAPA EP (1999) muestran un caudal de 3084 L/s en el río Machángara, con una garantía del 95%, además, definen un uso de 2379 L/s al año 2045 (humano, industrial y uso ecológico).

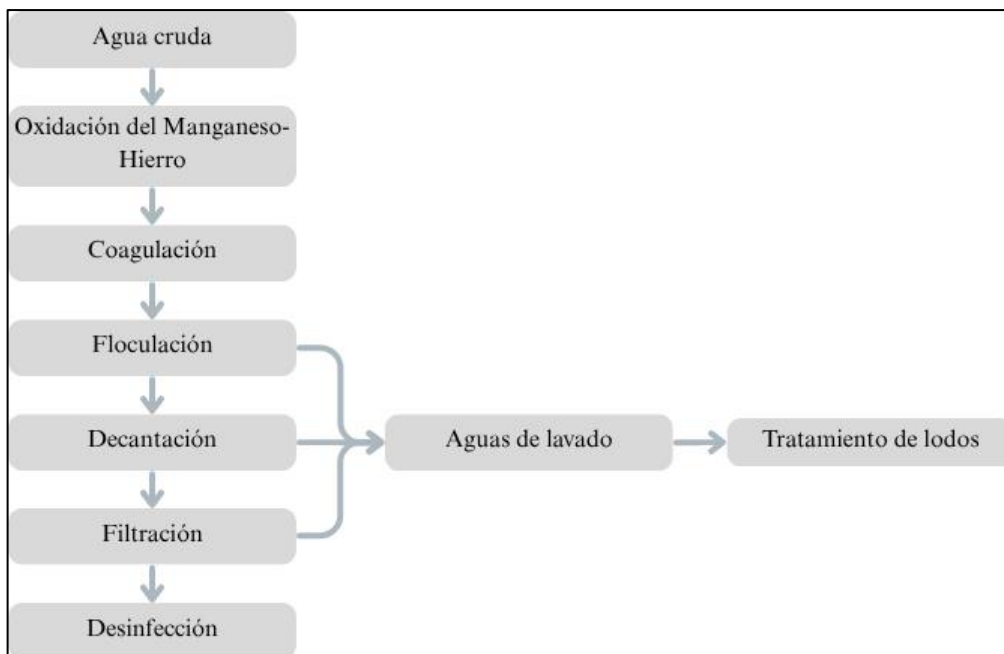
Estudios realizados en el agua cruda en el año 2013 muestran un promedio anual de hierro en concentraciones de 424.17 µg/L, en un rango entre 97.2 y 1507 µg/L; en cuanto al manganeso, el promedio anual es de 169.7 µg/L en un rango entre los 79.55 y 1142 µg/L. Los estudios muestran que las concentraciones de hierro y manganeso en el agua cruda mantienen una relación de tipo estacional directa con los patrones de precipitación en el cantón Cuenca, con mayores concentraciones en períodos lluviosos y menores concentraciones en períodos secos. Las variaciones correspondientes a los parámetros físicos son rápidas y con duraciones cortas.

Figura 1
Unidades en la PTAP Tixán



Nota. Fuente: Propia.

Figura 2
Esquema de procesos de la PTAP Tixán



Nota. Fuente: Propia.

i. Etapa de oxidación y aireación.

El objetivo de esta etapa, ubicada al inicio del proceso de potabilización es el de eliminar el hierro y manganeso presente en las aguas, mediante un proceso de **oxidación** con permanganato de potasio (KMnO_4) en una concentración de 0.7mg/L.

En la PTAP se disponen de dos unidades para la oxidación y aireación que funcionan en paralelo, en las cuales se lleva a cabo en la oxidación mediante la dosificación de aire y de la incorporación de una solución de permanganato de potasio. Las dos unidades cuentan con la capacidad suficiente para el procesamiento del caudal nominal de 1940 litros por segundo, en los dos módulos implementados de la planta.

En la entrada de las unidades de oxidación, existen vertederos con perfil de flujo hidrodinámico. Tres compuertas para cada unidad de oxidación son las que controlan el ingreso de agua cruda. La solución del oxidante es dosificada a partir de flautas, aguas abajo de los vertederos la dispersión del oxidante es facilitada por la solera, la cual permite la formación de un salto hidráulico.

La naturaleza de la oxidación del manganeso es una **reacción auto catalítica**; el subproducto de la reacción de oxidación (dióxido de manganeso MnO_2) acelera (cataliza) la oxidación del manganeso.

Cuando el oxígeno se usa como agente oxidante, la velocidad de la reacción (primer término de la ecuación anterior) es relativamente bajo en valores de pH menores a 9, por ello, se usa un oxidante químico fuerte (permanganato de potasio) en su lugar. Además, la adsorción del Mn^{2+} por el dióxido de manganeso formado contribuye en el proceso de remoción de manganeso.

El permanganato de potasio contiene manganeso en un grado de oxidación +VII. En el proceso REDOX, el permanganato se ve reducido a dióxido de manganeso insoluble **$\text{MnO}_2(\text{s})$** , mientras que el manganeso soluble **Mn(II) se oxida a $\text{MnO}_2(\text{s})$** . En este proceso ocurre una transferencia de electrones, en la cual el agente reductor (especie oxidada), cede electrones a la especie oxidante tomando valores de oxidación menores.

Figura 3

Dosificación de permanganato de potasio en el agua cruda.



Nota. Fuente: Propia.

Durante el mantenimiento de las unidades de oxidación, el arrastre de sólidos debe asegurarse durante el vaciado, por lo cual los tanques cuentan con una pendiente del 1% hacia el extremo en el ingreso de agua cruda.

La incorporación de oxígeno en el agua y la agitación para mantener suspendidas las partículas y precipitados que han sido formados en la oxidación del hierro y manganeso es facilitada por 5 aireadores sumergibles en cada unidad ubicados en el fondo (solera) de las cámaras.

El efluente sale de las unidades de aireación por medio de vertederos de cresta delgada y de descarga libre en todo su ancho, posteriormente el efluente es colectado por un canal de distribución que cuenta con dos tuberías de salida para conducir el agua a los módulos I y II, a las unidades de mezcla rápida.

ii. Mezcla rápida.

Estas unidades, una para cada módulo de la PTAP, tienen como fin, permitir que las reacciones de coagulación se den bajo condiciones óptimas de intensidad de agitación y de

tiempo de retención al momento de dosificar el coagulante (sulfato de aluminio) en la masa de agua.

Para la mezcla del sulfato de aluminio en el agua, se desarrolla un salto hidráulico a partir de un canal de sección constante y de gran pendiente con una pendiente de cero en el final; la energía disipada se usa para dispersar el coagulante (en una dosis en el rango entre 19 a 45 mg/l) en el agua de forma homogénea. En este punto se encuentra el sistema para la distribución de la solución de sulfato de aluminio tipo B, el cual produce la desestabilización y posterior conglomeración de partículas coloidales, los microorganismos, etc.

Figura 4

Dosificación de sulfato de aluminio (Módulo II).



Nota. Fuente: Propia.

Figura 5

Dosificación del sulfato de aluminio (Módulo I). Dosificación del sulfato de aluminio (Módulo I).



Nota. Fuente: Propia.

iii. Floculadores.

En estas unidades, se cumple el proceso mediante el cual varios coágulos formados a partir del coagulante dosificado y las impurezas del agua, se unen para formar flóculos a partir de una agitación, mezcla o movimiento lento del agua. A lo largo de este proceso el tamaño de los flóculos va aumentando para su posterior sedimentación.

Se utiliza además polímeros que son sustancias químicas orgánicas que son usadas para favorecer el proceso de formación de flóculos, siendo estos los puentes para captar los flóculos que se encuentran en suspensión en el agua; estos polímeros se denominan *floculantes*.

La planta dispone de un sistema de distribución de polímeros (0.05mg/L) que se da mediante el uso de dosificadores con carga constante.

En el módulo II (nuevo),

Se tienen unidades mixtas, cada unidad de floculación está compuesta por dos cámaras de floculación mecánica, y posteriormente un floculador hidráulico de flujo vertical. De cada unidad se transporta el efluente a dos sedimentadores.

Figura 6

Unidades de floculación (Módulo I).



Nota. Fuente: Propia.

En el módulo II (nuevo),

Se dispone de cuatro floculadores, de flujo hidráulico vertical; para el ingreso de agua coagulada a cualquier floculador, se tiene una compuerta manual de tipo canal. Para la limpieza se tienen cuatro válvulas por cada floculador, que descargan en el canal de drenaje de las aguas de lavado de unidades, que transportan hasta el sistema de tratamiento de lodos.

Figura 7

Unidades de floculación (Módulo II).



Nota. Fuente: Propia.

iv. Decantadores.

Luego de la floculación, el agua llega a los decantadores o también conocidos como sedimentadores, con el fin de que los flóculos sean precipitados.

En los módulos I y módulo II, se cuenta en cada uno con 8 unidades, es decir en total son 16 decantadores; en el ingreso del agua a estas unidades está una compuerta con actuador eléctrico. Los decantadores operan en paralelo, y son del tipo conocido de alta tasa superficial o velocidad alta, gracias a que, en las zonas de sedimentación, se cuentan con un número importante de placas inclinadas y separadas a cada 75 mm, entre las cuales el agua fluye ascendentemente, dejando a que los flóculos sedimenten en estas superficies y se deslicen hacia el fondo de las unidades debido a la gravedad. En la parte superior de los decantadores se recolecta el agua sedimentada, mediante una serie de tuberías perforadas en la clave.

En cada decantador se presentan dos zonas con placas, estas, separadas por medio de un canal central, dividido en dos niveles, en el canal inferior que posibilita el ingreso y distribución de agua ya floculada; en el canal superior, en cambio, se transporta el agua posterior a su clarificación/decantación, la cual ha sido recolectada por las tuberías perforadas, a los filtros.

Los lodos que son sedimentados se deslizarán por medio de tolvas longitudinales con un ángulo de 60 grados y con un alto de 1.8m, la extracción se realiza mediante un canal recolector de 0.45m de ancho y de altura variable ubicado a lo largo de estas tolvas y que

está cubierto por losetas de hormigón y provistas de varios orificios separados uniformemente.

Figura 8

Unidades de sedimentación (Módulo II).



Nota. Fuente: Propia.

c. Filtración.

Los filtros son las unidades responsables de que se cumplan los parámetros de calidad en el agua potable. Es el proceso posterior a la sedimentación, en el cual se da la separación de partículas y ciertos microorganismos (virus, bacterias) por un medio poroso. Las unidades están poseen lechos filtrantes de dos capas: antracita y arena, asentados sobre un sistema de drenaje de polietileno con capa de soporte de arena. El agua atraviesa el lecho filtrante, en este proceso se retiene la mayoría de partículas suspendidas que no han sido eliminadas aún.

El método de operación es a tasa declinada variable, esto quiere decir que la velocidad en los filtros no es constante durante la carrera, sino disminuye a medida que se ensucia el medio filtrante. El sistema de lavado de los filtros utiliza la misma agua filtrada producida por los restantes filtros en funcionamiento, conocido como sistema celular, sin la necesidad de bombas.

En cada módulo de la PTAP de Tixán, se tienen ocho unidades.

El sistema de lavado de estas unidades utiliza el agua generada por las otras unidades en funcionamiento, pero además necesita de un sistema adicional que usa aire generado por medio de sopladores, los cuales se encuentran ubicados dentro de una cabina especial.

Figura 9

Unidades de filtración (Módulo I).



Nota. Fuente: Propia.

i. Desinfección.

En este proceso se dosifica cloro al agua para la eliminación de los microorganismos que están presentes en esta etapa del tratamiento; también evita contaminaciones futuras en la red de distribución y asegura que los estándares de calidad dispuestos en la norma se cumplan.

La concentración de cloro inyectado para eliminar los microorganismos en el agua está entre 1 – 1.4 mgCl/l.

Cada módulo de la PTAP, tiene dos cámaras para el contacto de cloro, las cuales se encuentran en la salida de las baterías de los filtros. En estas cámaras se proporciona un flujo de tipo pistón a partir de un laberinto conformado por tabiques, lo cual asegura el mismo TRH a la masa de agua. Un distribuidor de cloro se encuentra en la parte baja del primer canal de cada cámara. Las cuatro cámaras de cloración trabajan independientemente, de

esta manera se asegura el mantenimiento de las cámaras sin interrumpir el proceso de desinfección.

En una sala de cloración se encuentra instalado un equipo de preparación para la solución de cloro y su debida medición para inyectarse posteriormente en el proceso. El edificio de cloración almacena 20 cilindros con una capacidad de 1 tonelada de cloro gas; a través de un sistema de transporte se colocan en los lugares correspondientes.

Entre los equipos de cloración se dispone: de dos Mainfold (tubos con múltiples salidas) de extracción que pueden conectarse cada uno a tres cilindros de cloro de una tonelada; así mismo, en ellos se encuentra un regulador de vacío con un sistema de cambio automático e indicador de presión el cual facilita la conexión a todos los cilindros llenos en el momento que se agote cualquiera de los conjuntos.

Figura 10

Sala de cloración.



Nota. Fuente: Propia.

Figura 11

Cilindros de cloro gas - Edificio de cloración.



Nota. Fuente: Propia.

ii. Reservas de servicio.

Se cuenta con cinco reservas de agua tratada; este volumen se destina al consumo de agua en el mantenimiento rutinario de las unidades, en los procesos de lavado de filtros y decantadores; el volumen representa alrededor de un 4.1% de la producción diaria de la planta (al considerar su capacidad nominal).

4 Metodología

a. Limpieza de las unidades de potabilización

i. Sistema de vaciado de las unidades de sedimentación

Para garantizar la retención de los flóculos en los tanques de sedimentación y evitar que los mismos se suspendan se realiza el vaciado íntegro de las unidades de sedimentación.

En la actualidad, el vaciado de los decantadores se realiza cada 15 días un módulo entero (ocho decantadores) en forma simultánea, en las mañanas y/o con la aparición de turbiedades mayores a 10 unidades nefelométricas de turbiedad (NTU).

A continuación, se describe el procedimiento del vaciado:

1. Se cierra la compuerta de ingreso de agua a la unidad que procede a vaciar, por medio del actuador eléctrico.
2. A través de los actuadores eléctricos, se abren las dos válvulas de desfogue, correspondientes a las tolvas de cada unidad, se generan de esta forma condiciones

de arrastre de los lodos acumulados en las tolvas, los cuales serán descargados a un canal general de recolección de desagües.

3. El tiempo para que se produzca el vaciado por completo de un decantador, es de 15 a 20 minutos.

Figura 12

Módulo de sedimentación vaciado por completo.



Nota. Fuente: Propia.

Se verifica que las unidades se hayan vaciado, y se procede a inspeccionar que todo el lodo sea evacuado; en el caso que luego del vaciado, persista un volumen de lodo en las tolvas, como ocurrió durante el levantamiento de la información, en este caso se procede a abrir el ingreso de agua a la unidad, observando en el indicador del actuador eléctrico, que esta apertura corresponda a un 5% (durante 5 a 10 minutos) con el fin de que todo el lodo sea eliminado por el desfogue.

4. Se espera a que el agua no presente más lodo y posteriormente se cierra la compuerta a un 3%, observado en el display del actuador eléctrico.

5. Se cierran las válvulas de descarga y se espera a que la unidad de sedimentación se llene por completo (cuando el nivel de agua llegue al borde de las placas). Finalmente, las compuertas de carga se abrirán al 100%.

En cada evento se descarga un volumen aproximado de 230m³.

ii. Retro lavado de las unidades de filtración

El método de lavado de las unidades de filtración comprende en 3 fases:

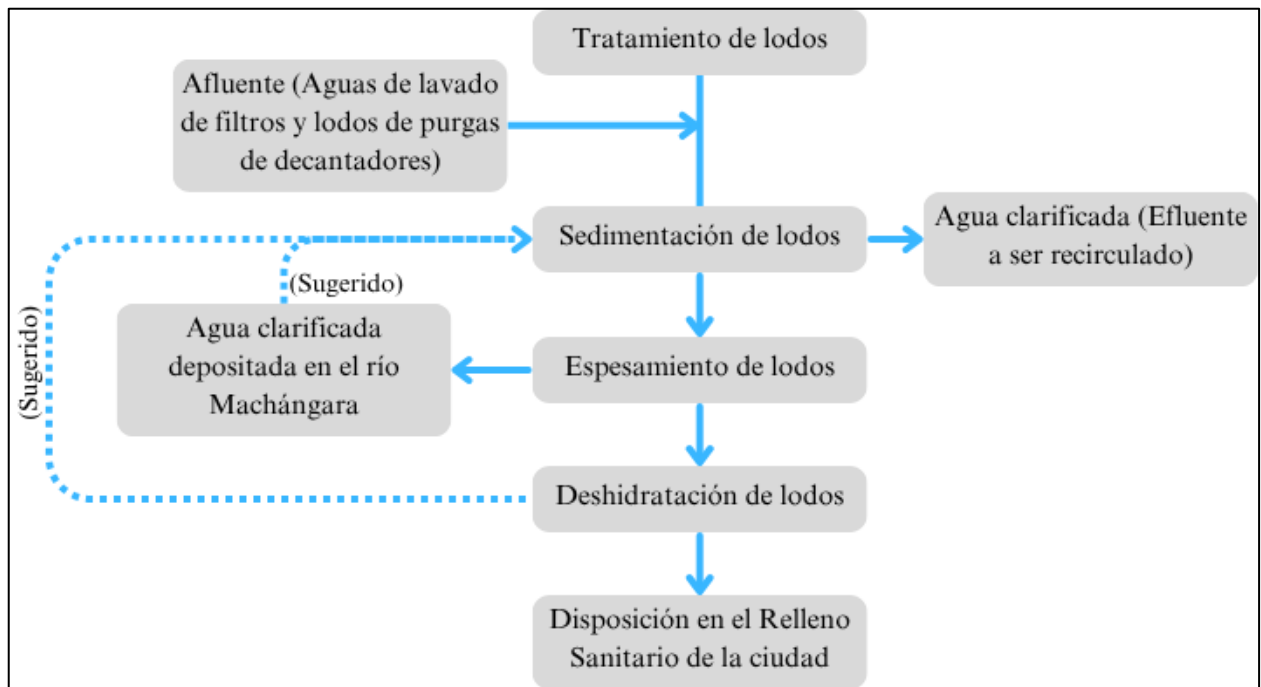
1. Se evacúa el volumen de agua sobre el medio filtrante hasta que quede a una altura de 30 centímetros por debajo del vertedero de recolección de lavado. El volumen de agua desalojada en este punto es de aproximadamente 119m³. La calidad del agua es la del efluente de los decantadores.
2. Se aplica aire por tres minutos con el fin de agitar intensamente el medio filtrante y promover el desprendimiento de las impurezas removidas.
3. Finalmente, se realiza el retrolavado con un porcentaje del efluente de los filtros que se encuentran en operación, con una tasa de entre 0.7-0.83 m/min por 10 minutos hasta que el efluente se aclare completamente. En este punto se consume un volumen de 345m³, del módulo II; mientras que en módulo I es de 405 m³.

El consumo de agua durante todo el proceso de retrolavado de filtros se encuentra en un rango entre 346 a 389m³.

b. Tren de tratamiento de lodos de la PTAP

Figura 13

Procesos del tratamiento de lodos en la PTAP Tixán



Nota. Fuente: Propia.

i. Sedimentadores de lodos

Como primera fase del proceso de tratamiento de lodos se han construido dos depósitos con forma de un decantador rectangular típico, que funcionan en paralelo, con dos funciones principales: la regulación de los efluentes de las descargas de decantadores y del lavado de los filtros a un caudal continuo y constante; además cumplen la tarea de homogeneizar los efluentes anteriormente citados.

En los tanques mencionados, se reciben las descargas en los depósitos (ya sea de forma alternada o simultáneamente).

La separación de las fracciones sólidas y líquidas del agua de lavado se realiza en los tanques sedimentadores de lodos mediante acción de la gravedad; el agua sobrenadante clarificada se recolecta superficialmente por medio de un dispositivo flotante conocido como “Decanters” el cual es un vertedero conectado con un flotador y un brazo oscilantes los cuales recolectarán el agua clarificada transportándola a la cámara de desagües y posteriormente al

río Machángara. Esta es la fracción de agua (clarificada) de la cual se plantea su reutilización y en la cual se concentra el presente estudio.

Figura 14

Dispositivos "Decanters" en el tanque decantador vacío.



Nota. Fuente: ETAPA, 2012.

Figura 15

Dispositivos "Decanters" en el tanque decantador en funcionamiento.



Nota. Fuente: Propia.

El ingreso de las aguas de lavado de filtros y decantadores a los depósitos se realiza mediante tuberías con $D=700\text{mm}$ de diámetro controladas por válvulas neumáticas. El ingreso del

afluyente a las unidades es facilitado por una cortina de orificios; en el lado opuesto se tiene un vertedero de recolección de excesos.

Para asegurar que los sólidos provenientes de las aguas de lavado se queden retenidos en los sedimentadores se han tomado en cuenta las siguientes consideraciones:

- Que la velocidad de descenso de la superficie de agua en los sedimentadores sea menor a la velocidad de sedimentación de los sólidos.
- La capacidad de evacuación del equipo *decanter* debe garantizar que en cualquier momento se pueda alojar la descarga proveniente de una unidad de la PTAP, el nivel de agua en los sedimentadores no debe alcanzar el labio del vertedero de excesos en la unidad (el cual está ubicado en el extremo final de los decantadores).

El volumen de cada depósito es de 1415m^3 ; con un volumen total de ambos depósitos de 2830m^3 .

Los efluentes de los depósitos de homogenización y regulación son descargados actualmente al río Machángara como flujo continuo.

La cantidad y frecuencia de lodos generados en el proceso de potabilización depende de varios factores, tales como las características físico-químicas del agua cruda, la dosis empleada de coagulantes y de polímeros en la floculación, la eficiencia en cada etapa del proceso de potabilización y la capacidad de almacenamiento de sólidos de las unidades, el proceso de limpieza, etc.

ii. Espesadores de lodos

Con el fin de alcanzar una concentración máxima de sólidos previo a la etapa de deshidratación, la planta cuenta con espesadores de lodos; se espera una concentración de sólidos del 3% y funcionan a partir de dos unidades que funcionan en paralelo.

Las unidades consisten de un tanque de hormigón armado, con sección circular en planta y con una solera en forma de tronco cónico de pendiente 12% hacia un pozo cónico de gran pendiente el centro del tanque en donde se recogen los lodos ya espesos para su extracción. Los espesadores cuentan con un conjunto mecánico giratorio encargado de promover el desprendimiento de agua intersticial y de gases ocluidos en los lodos.

A partir de un sistema de aspiración de lodos, los mismos son recolectados desde los decantadores descritos anteriormente; así mismo, estos lodos son descargados en la parte superior-central de los cilindros.

El lodo espeso será extraído en el fondo de las unidades a partir de bombas de desplazamiento positivo hacia la fase de deshidratación mecánica de lodos.

Figura 16

Unidades de espesadores de lodos.



Nota. Fuente: Propia.

Figura 17

Aguas de lavado que llegan a los espesadores de lodos.



Nota. Fuente: Propia.

iii. Deshidratación mecánica de lodos

En esta etapa, se tiene como objetivo primordial la reducción del volumen del agua capilar y de adhesión con el objetivo de facilitar y economizar el transporte y su disposición final.

En este sistema se cuenta con dos filtros banda con un ancho de 1,50m con sus equipos complementarios. Previo a los filtros se acondiciona el lodo con un polímero y luego transportado entre dos bandas sin fin, desplazadas por rodillos de distinto diámetro y

provocando la progresiva compresión del lodo. En esta etapa los lodos alcanzan una concentración de entre el 15 y el 20%.

Figura 18

Filtros banda – Deshidratación mecánica de lodos.



Nota. Fuente: Propia.

iv. Disposición final

Previo a su disposición final, los lodos ya deshidratados son recogidos por una banda transportadora horizontal y luego son elevados por una segunda banda transportadora inclinada hasta un depósito elevado; en este punto se almacenarán y cargarán en camiones de transporte hacia su disposición final en el relleno sanitario de la ciudad, administrado por la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca, EMAC EP, esto debido a una caracterización y al método de tratamiento para su deshidratación que evidencia altas concentraciones de sólidos, aluminio, cargas orgánicas y microbiológicas.

c. Caracterización y análisis de las aguas de lavado clarificadas.

Para la consecución de los objetivos planteados, se propone la siguiente metodología:

- El efluente del proceso de tratamiento de los efluentes de la PTAP, particularmente la fracción del agua sobrenadante y clarificado de los sedimentadores, será caracterizado a partir de parámetros de la calidad física química y microbiológica. Para este efecto serán tomadas varias muestras, en distintas fechas, y se llevarán para su

análisis al laboratorio de la PTAP de Tixán y/o de Universidad de Cuenca. Los parámetros más representativos a determinar serán: físicos: color, turbiedad, conductividad eléctrica, sólidos; parámetros químicos: arsénico, pH, manganeso, hierro, aluminio; parámetros microbiológicos: coliformes totales, coliformes fecales.

- Se obtendrán muestras de agua sobrenadante en los eventos de lavado de filtros y sedimentadores de la planta. Las muestras obtenidas serán, llevadas para su análisis al laboratorio de la Planta o de la Universidad de Cuenca.
- Con base en los resultados obtenidos en la caracterización de estas tres muestras, y de los requisitos establecidos en la Norma Ambiental (TULSMA) para su uso como fuente de abastecimiento de agua potable, se determinará si es factible la recirculación del agua clarificada del tratamiento de las aguas de limpieza de las unidades, al proceso de potabilización.
- Se analizarán otras alternativas de re uso de esta fracción de agua tratada, como: riego de uso agrícola aprovechando el canal de riego que actualmente se encuentra en desuso. Para este objetivo se consultará las características de la calidad del agua requerida para este uso y se comparará con la calidad del agua clarificada.
- Posterior a la caracterización se identificará y se propondrán la(s) alternativas de tratamiento específico para los parámetros físicos-químicos o microbiológicos que no cumplan con los criterios de calidad para su reintroducción directa en el sistema de tratamiento de la PTAP Tixán.

5 Resultados

a. Límites de calidad del agua para uso en potabilización

A continuación, se presentan los requisitos en los que el estudio se basará para determinar la factibilidad de usos del agua clarificada efluente del tren de tratamiento de lodos.

Tabla 1

Límites permisibles en aguas para el consumo humano y uso doméstico que solamente requieran de tratamiento convencional (TULSMA Libro VI)

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio	Al	mg/l	0,2
Amoníaco	N	mg/l	1,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,1
Cloruro	Cl	mg/l	250
Cobre	Cu	mg/l	1
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,001
Coliformes Totales	nmp/100 ml		3.000
Coliformes Fecales	nmp/100 ml		600
Color	color real	U color	100
Cromo hexavalente	Cr ⁺⁶	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	2,0
Olor y sabor			Es permitido removible

Nota. Fuente: TULSMA, Libro VI.

Tabla 2
Límites permisibles en aguas para uso agrícola (TULSMA Libro VI).

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasa	Película visible	mg/l	0,3
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico (total)	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	1,0
Berilio	Be	mg/l	0,1
Boro (total)	B	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Carbamatos totales	Concentración total de carbamatos	mg/l	0,1
Cianuro (total)	CN ⁻	mg/l	0,2
Cobalto	Co	mg/l	0,05
Cobre	Cu	mg/l	2,0
Coliformes totales	NMP	NMP/100ml	1 000
Cromo	Cr ⁺⁶	mg/l	0,1
Fluor	F	mg/l	1,0
Hierro	Fe	mg/l	5,0
Huevos de parásitos	-	Huevos/litro	cero
Litio	Li	mg/l	2,5
Manganeso	Mn	mg/l	0,2
Materia flotante	visible	-	Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Molibdeno	Mo	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	0,2
Organoclorados (totales)	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,2
Organofosforados (totales)	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,05
Plomo	Pb	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH	-	6-9
Selenio	Se	mg/l	0,02
Sólidos disueltos totales	-	mg/l	3 000,0
Transparencia de las aguas medidas con el disco secchi	-	-	mínimo 2,0 m
Vanadio	V	mg/l	0,1
Zinc	Zn	mg/l	2,0

Nota. Fuente: TULSMA, Libro VI.

b. Caracterización de las aguas clarificadas del tren de tratamiento de lodos**i. Caracterización de las aguas clarificadas del vaciado de los decantadores**

A continuación, se presentan los resultados de las caracterizaciones de las aguas de lavado de la PTAP – Tixán. Se diferencian las muestras tomadas posterior a las descargas de los sedimentadores y de los filtros. Se han determinado los valores máximos de las caracterizaciones para cada parámetro con el fin de evaluar la calidad y potencial de reutilización del agua.

Correspondientes a muestras tomadas los días 17 de febrero de 2025 y 17 de marzo de 2025 se han obtenido los siguientes resultados:

Se presenta el análisis del 17 de febrero:

Tabla 3

Resultados de laboratorio de las muestras (17/02/2025) correspondientes al efluente en el lavado de decantadores.

PARÁMETRO	RESULTADO
Análisis Físico	
Color Aparente	8 U.C. Pt-Co
Color Real	2 U.C.
p.H.	6.72 UpH
Turbiedad	1.53 N.T.U
Análisis de Metales	
Arsénico	<1 µg/l
Hierro	59 µg/l
Manganeso	536 µg/l
Análisis Bacteriológico	
Coliformes Totales	3.3E+01

Coliformes Fecales	3.3E+01
---------------------------	---------

Nota. Fuente: ETAPA EP – PTAP Tixán (2025).

A continuación, el análisis del 17 de marzo:

Tabla 4

Resultados de laboratorio de las muestras (17/03/2025) correspondientes al efluente en el lavado de decantadores.

PARÁMETRO	RESULTADO
Análisis Físico	
Color Aparente	14 (51) U.C. Pt-Co
Color Real	3 (19) U.C.
Conductividad	87.2 (88.4) μ S/cm
S.D.T	57 (59) mg/l
Sólidos totales	93 mg/l
p.H.	6.58 (6.14) UpH
Turbiedad	2.11(6.08) N.T.U
Análisis Químico	
Arsénico	<1(0.0) μ g/l
Hierro	128 (151) μ g/l
Manganeso	126 (302) μ g/l
Aluminio	(135) μ g/l
Cromo VI	(23) μ g/l
Plomo	128 μ g/l
DBO	(3.76) mg/l

DQO	(15.94) mg/l
OD	(4.5) mg/l

Análisis Bacteriológico

Coliformes Totales	3.1E+01 (1700 NMP/100mL)
Coliformes Fecales	2.3E+01 (700 NMP/100mL)

Nota. Fuente: ETAPA EP – PTAP Tixán (2025), entre paréntesis: Universidad de Cuenca – Laboratorio de Sanitaria (2025).

La siguiente tabla recopila los valores máximos obtenidos correspondientes a las aguas de lavado de los decantadores.

Tabla 5

Valores máximos obtenidos en la caracterización para los efluentes en el lavado de decantadores

PARÁMETRO	RESULTADO
Análisis Físico	
Color Aparente	14 (51) U.C. Pt-Co
Color Real	3 (19) U.C.
Conductividad	87.2 (88.4) μ S/cm
S.D.T	57 (59) mg/l
Sólidos totales	93 mg/l
p.H.	6.58 (6.14) UpH ¹
Turbiedad	2.11 (6.08) N.T.U
Análisis Químico	
Arsénico	<1 (0.0) μ g/l
Hierro	128 (151) μ g/l

¹ Se presenta el valor menor, en este caso siendo un agua ligeramente ácida

Manganeso	536 (302) µg/l
Cromo VI	23 µg/l
Plomo	128 µg/l
Análisis Bacteriológico	
Coliformes Totales	3.3E+01 (1700) NMP/100mL
Coliformes Fecales	3.3E+01 (700) NMP/100mL
DBO	(3.76) mg/L
DQO	(15.94) mg/L

Nota. Fuente: ETAPA EP – PTAP Tixán (2025), entre paréntesis: Universidad de Cuenca – Laboratorio de Sanitaria (2025).

ii. Caracterización de las aguas clarificadas de lavado de filtros

Se han tomado muestras correspondientes a las aguas clarificadas en eventos de lavado de los filtros, la primera muestra, efectuada el día 12 de mayo de 2025 muestra los siguientes parámetros:

Tabla 6

Resultados de laboratorio de las muestras (12/05/2025) correspondientes al efluente en el lavado de filtros (ETAPA-EP).

Parámetro	Valor
Análisis físicos	
Color Aparente	11 (64) U.C. Pt-Co
Color Real	3 (24) U.C.
pH	6,43 (6.21) UpH
Turbiedad	2,56 (7.44) N.T.U.
Análisis de metales	
Arsénico	6 (0,0) µg/l

Hierro	89 (135) µg/l
Manganeso	78 (305) µg/l
Cromo VI	(0.018) mg/l
Plomo	(0.13) mg/l
Análisis bacteriológicos	
Coliformes Totales	7,80 (1700)NMP/100 ml
Coliformes Fecales	7,80 (390) NMP/100 ml
DBO	1 mg/L
DQO	3 mg/L
Solidos Totales	3,5 mg/L

Nota. Fuente: ETAPA EP – PTAP Tixán (2025), entre paréntesis: Universidad de Cuenca – Laboratorio de Sanitaria (2025). DBO, DQO y Sólidos totales elaborados en el laboratorio Microred – Campus Balzay de la Universidad de Cuenca.

La siguiente muestra ha sido recolectada el día 13 de junio de 2025, con los siguientes resultados:

Tabla 7

Resultados de laboratorio de las muestras (13/06/2025) correspondientes al efluente en el lavado de filtros (ETAPA-EP).

Parámetro	Valor
Análisis físicos	
Color Aparente	25 (55) U.C. Pt-Co
Color Real	3 (22) U.C.
pH	6,49 (7,04) UpH
Turbiedad	3.73 (6,01)N.T.U.

Análisis de metales

Arsénico	1 (0,0) µg/l
Hierro	108 (226) µg/l
Manganeso	141 (102) µg/l
Aluminio	14 µg/l
Cromo VI	(0,03) mg/l
Plomo	(0,086) mg/l

Análisis bacteriológicos

Coliformes Totales	2,4E+02 (390) NMP/100 ml
Coliformes Fecales	2,4E+02 (110) NMP/100 ml
DBO	2 mg/l
DQO	2 mg/l
Sólidos Totales	6 mg/l

Nota. Fuente: ETAPA EP – PTAP Tixán (2025), entre paréntesis: Universidad de Cuenca – Laboratorio de Sanitaria (2025). DBO, DQO y Sólidos totales elaborados en el laboratorio Microred – Campus Balzay de la Universidad de Cuenca.

Así mismo, se han recopilado los valores máximos correspondientes a los parámetros de las aguas de lavado de los filtros

Tabla 8

Valores máximos obtenidos en la caracterización de los efluentes de las aguas en el lavado de los filtros

Parámetro	Valor
Análisis físicos	
Color Aparente	11 (64) U.C. Pt-Co

Color Real	3 (24) U.C.
pH	6,43 (6.21) UpH ²
Turbiedad	2,56 (7.44) N.T.U.

Análisis de metales

Arsénico	6 (0,0) µg/l
Hierro	108 (226) µg/l
Manganeso	78 (305) µg/l
Aluminio	14 µg/l
Cromo VI	(0.03) mg/l
Plomo	(0.13) mg/l

Análisis bacteriológicos

Coliformes Totales	7,80 (1700) NMP/100 ml
Coliformes Fecales	7,80 (390) NMP/100 ml
DBO	2 mg/L
DQO	3 mg/L
Sólidos Totales	6 mg/L

Nota. Fuente: ETAPA EP – PTAP Tixán (2025), entre paréntesis: Universidad de Cuenca – Laboratorio de Sanitaria (2025). DBO, DQO y Sólidos totales elaborados en el laboratorio Microred – Campus Balzay de la Universidad de Cuenca.

c. Impacto de la reutilización de aguas de lavado para fines de potabilización

Varios estudios y proyectos han cuantificado los volúmenes de las aguas de lavado en Plantas de Tratamiento de Agua Potable (PTAP). En una PTAP en Quito, Carvajal y Ortega

² Se presenta el valor menor, siendo esta un agua ligeramente ácida

(2014) determinaron que entre el 3 y el 5% del agua total de entrada se destinaba a dicha actividad. De la misma manera, Pabon y Rodríguez (2015) han calculado un valor aproximado del 5.2% de aguas de lavado en relación con el total de agua cruda para un caudal de 0.65m³/s. Adicionalmente, Ramírez (2008) reporta un 2.3% de aguas de lavado de filtros y sedimentadores respecto al total de agua tratada en una planta con un caudal de 1m³/s. Armenter et al. (2003) presentaron un valor aproximado de 5%.

Según registros operativos de la PTAP Tixán (ETAPA EP 2012) se determina un porcentaje de agua empleado en el lavado de los filtros de 2.82%, mientras que el volumen de agua utilizado para el lavado de sedimentadores en la planta se estimó en un 0.535%. Estos valores resultan en un total de 3.36% en ambos procesos de lavado en la planta.

Considerando que la capacidad de la planta es de 1.94m³/s y al considerar un porcentaje de aguas de lavado del 4% se puede estimar un caudal de 77,6 l/s de agua con grandes posibilidades de re-uso, ya sea para su potabilización o en diversas actividades.

Considerando que la capacidad de la planta es de 1.94m³/s y al considerar un porcentaje de aguas de lavado del 4% se puede estimar un caudal de 78 l/s de agua con grandes posibilidades de reuso, ya sea para su potabilización o en diversas actividades.

Estimación de población dotada.

Para dimensionar el alcance que tendrá el proyecto y estimar la población beneficiada es importante establecer una dotación adecuada, la cual representa el consumo promedio de agua per cápita, expresado en litros por habitante por día (L/hab-día).

Según estudios realizados por TYPESA en 2004 (como se citó en ETAPA, 2015), para el área de servicio del sistema Tomebamba – Machángara, la dotación neta para zonas urbanas consolidadas y zonas especiales será de 247.5 L/hab-día, para centros parroquiales de 150 L/hab-día y para zonas rurales de 113 L/hab/día. Estos parámetros se usarán para determinar el número de habitantes que podrán ser servidos por el volumen de agua recuperado.

Previamente se ha determinado una aproximación del caudal de aguas de lavado (78 L/s) a partir del caudal de diseño de la PTAP Tixán. Considerando un factor de pérdidas de 25% en la red de distribución de la PTAP y de 5% adicionales por pérdidas en el sistema de recolección y tratamiento del agua de lavado, se estima un caudal neto disponible de 54.32 L/s, lo cual equivale a aproximadamente 4693250 L/día.

Dotación, considerando población urbana.

$$\frac{4693250 \text{ L/día}}{247.5 \text{ L/hab/día}} \approx 18960 \text{ habitantes}$$

Dotación, centros parroquiales.

$$\frac{4693250 \text{ L/día}}{150 \text{ L/hab/día}} \approx 31290 \text{ habitantes}$$

Dotación, sectores rurales.

$$\frac{4693250 \text{ L/día}}{113 \text{ L/hab/día}} \approx 41533 \text{ habitantes}$$

A continuación, se presentará un análisis comparativo de la población a la cual se podría servir con este proyecto. Permittedose cuantificar de manera general los caudales de agua cruda que se podrían dejar de extraer de la cuenca del Río Machángara, beneficio de especial importancia en los períodos de sequía y estiaje.

Cantón Paute, población: 26782 hab (Censo Ecuador 2022).

Población rural: 78% (Censo Ecuador 2010), que equivale a 20890 hab.

Población urbana: 22% (Censo Ecuador 2010), que equivale a 5892 hab.

Se calculará el consumo diario del cantón Paute considerando las dotaciones citadas anteriormente:

Consumo rural:

$$20890 \text{ hab} * 113 \text{ L/hab/día} = 2360570 \text{ L/día}$$

Consumo urbano:

$$5892 \text{ hab} * 247.5 \text{ L/hab/día} = 1458270 \text{ L/día}$$

Consumo total neto (Paute):

$$2360570 + 1458270 = 3818840 \text{ L/día}$$

Considerando el caudal disponible de 4693250 L/día frente al consumo estimado en el cantón Paute (3818840 L/día), se estima que solamente el caudal de aguas de lavado en la PTAP Tixán (operando a su caudal de diseño) podría abastecer al 100% de la población de Paute, con un excedente de 874410 L/día que puede abastecer a 7738 habitantes rurales extra.

Cantón Gualaceo, población: 43188 hab (Censo Ecuador 2022).

Población rural: 72% (Censo Ecuador 2010), que equivale a 31095 hab.

Población urbana: 28% (Censo Ecuador 2010), que equivale a 12093 hab.

Calculando el consumo diario:

Consumo rural:

$$\overline{31095 \text{ hab} * 113 \text{ L/hab/día} = 3513735 \text{ L/día}}$$

Consumo urbano:

$$\overline{12093 \text{ hab} * 247.5 \text{ L/hab/día} = 2993020 \text{ L/día}}$$

Consumo total neto (Gualaceo):

$$\overline{3153735 + 2993020 = 6506755 \text{ L/día}}$$

A partir del caudal neto disponible de 4693250 L/día, y un consumo de 6506755 L/día, el caudal de aguas de lavado de no será suficiente para dotar al 100% de la población. No obstante, se lograría cubrir la mayoría de la misma, con aproximadamente el 72% de la demanda hídrica del cantón Gualaceo.

Parroquia Ricaurte – Cuenca, población: 26919 hab (Censo Ecuador 2022).

Porcentajes de población urbana/rural respecto al total de la misma, no se han encontrado en estudios, en este estudio se ha utilizado un valor de 66% de población urbana, correspondiente a la ciudad de Cuenca, esto debido a la gran densificación urbana que ha sufrido esta parroquia.

Población rural: 34%, que equivale a 9152 habitantes.

Población urbana: 66%, que equivale 17767 habitantes.

Consumo rural:

$$\overline{9152 \text{ hab} * 113 \text{ L/hab/día} = 1034176 \text{ L/día}}$$

Consumo urbano:

$$\overline{17767 \text{ hab} * 247.5 \text{ L/hab/día} = 4397333 \text{ L/día}}$$

Consumo total neto (Ricaurte):

$$\overline{1034176 + 4397333 = 5431509 \text{ L/día}}$$

El caudal de 4693250 L/día podría dotar casi en su totalidad a la población de la Parroquia Ricaurte (operando en condiciones de diseño), cubriendo aproximadamente el 87% de la población de Ricaurte.

Parroquia Chiquintad – Cuenca, población: 5738 hab (Censo Ecuador 2022).

Debido a las características se considera a la totalidad de la población como rural.

Consumo total neto (Chiquintad):

$$\overline{5738 \text{ hab} * 113 \text{ L/hab/día} = 648394 \text{ L/día}}$$

Considerando que el caudal neto disponible es de 4693250 L/día, y que las necesidades actuales de la población son de 648394 L/día, el caudal tranquilamente podría abastecer a la parroquia, así como más de 6 parroquias de características similares.

d. Descripción de alternativas para el tratamiento de las aguas de lavado

Las opciones propuestas se centrarán en la remoción del plomo presente en el agua; a continuación, se presentan las distintas alternativas de tratamiento.

i. Opciones de ubicación del sistema de pre-tratamiento

En el caso de optar por un sistema de pre-tratamiento para las concentraciones de plomo en el agua se presentan las siguientes ubicaciones de las unidades.

- **Opción 1:** Tratamiento al nivel del suelo en el punto de la salida de las aguas clarificadas sobrenadantes (P1). El terreno es alargado, de aproximadamente 160-180 m² con 5m de ancho. Con un desnivel hasta la cabecera de la planta de 14m (altura de impulsión). La relación largo/ancho y las condiciones geométricas en general del terreno pueden dificultar la distribución de las unidades de tratamiento

Figura 19

Emplazamiento del sistema de pre-tratamiento de las aguas clarificadas de lavado (opción 1), debajo de los tanques sedimentadores de las aguas de lavado.



Nota. Fuente: Propia.

- **Opción 2:** La opción más factible, consta de un tratamiento previo a la cabecera de la planta. El terreno no cuenta con restricciones considerables de espacio, pues se disponen de aproximadamente 20mx35m (700m²) continuos y sin construcción previo a la cabecera de la planta. Con una altura de impulsión aproximada de 16m. El agua clarificada de lavado (previo a su tratamiento) se bombea directamente desde el punto P1 hasta el terreno detallado en la cabecera de la planta. En dicho terreno se construiría el sistema de pre-tratamiento de las aguas. Se requeriría bombear una altura adicional de aproximadamente 2m con un total aproximados de 16 metros.

Figura 20

Emplazamiento del sistema de pre-tratamiento de las aguas clarificadas de lavado (opción 2), previo a la entrada a las unidades de oxidación de manganeso.



Nota. Fuente: Propia.

ii. Propuesta de diseño del tren de pre-tratamiento

La opción principal consta de la introducción de un coagulante en el agua de lavado clarificada previo a su introducción en la cabecera de la planta de tratamiento. La planta actualmente dentro de sus procesos utiliza el sulfato de aluminio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Estudios efectuados en aguas con sulfato de aluminio en el proceso de coagulación-floculación muestran una alta remoción de plomo para valores de pH entre 6.2 a 7.8, con una efectividad de más de 99% los cuales presenta el agua de lavado caracterizada (Pang et al., 2011)

Posterior a la coagulación y floculación de las aguas clarificadas de lavado se propone un proceso de sedimentación de modo que se evite el riesgo de rotura de los flóculos formados por gradientes elevados por su transporte a las unidades de sedimentación del tratamiento general de la planta. Luego del proceso de sedimentación, el agua entrará a la fase de oxidación de manganeso en la cabecera de la planta.

Esta opción de tratamiento se presenta como la más conveniente, debido a las características de espacio y económicas que requieren. En los siguientes estudios se propone estudiar la optimización de químicos y sus consecuencias, especialmente en las concentraciones de manganeso y de plomo. Se sugiere probar con distintos compuestos para la oxidación del

manganeso/plomo; tales como el permanganato de potasio (usado actualmente), PAC o cloruro férrico.

Se recomienda realizar un estudio en las aguas ya diluidas (4% de lavado, 96% de río) para verificar la dosis óptima de coagulante y de permanganato de potasio; teniendo en especial consideración las concentraciones de manganeso y de plomo, y según los resultados analizar una posible introducción directa del agua de lavado en la cabecera de la planta.

El uso de medios adsorbentes como carbón activado granular (CAG), o de procesos de microfiltración, ultrafiltración o de ósmosis inversa si bien se muestran como una opción atractiva a primera vista por su alta eficiencia, pero implica costos de inversión inicial muy elevados (decenas de unidades debido al caudal elevado de aguas de lavado a tratar), la posterior disposición de los residuos con altas concentraciones de plomo y especialmente el remplazo del medio saturado hacen que esta no sea una opción factible para el proyecto.

La implementación de un proceso de precipitación química presenta buenos resultados al tratarse de metales pesados (Sincero, 2003), sin embargo, la gran complejidad en el manejo de lodos que genera este sistema (Metcalf 2014) y tratándose de unidades que se ubican lejos del sistema de tratamiento de lodos dificultarían el proceso de tratamiento; así mismo, su alta sensibilidad al pH y sus altos requisitos de control hacen que las aguas de lavado puedan generar problemas en situaciones de variación de calidad.

e. Resultados del diseño

A continuación, se muestra el pre-diseño del sistema de tratamiento destinado a las aguas de lavado que recircularán en la planta. Es importante recalcar que este diseño se ha elaborado con fines de pre-factibilidad ya que las pruebas de jarras necesarias para la determinación de la necesidad del tratamiento previo, así como los parámetros de dosificaciones de reactivos químicos, entre otros, se determinarán en la siguiente fase del proyecto. Dicho esto, el sistema de tratamiento consta de unidades de coagulación, floculación y sedimentación. Debido a los requisitos de espacio que presentan las unidades de floculación y de sedimentación, se plantea en esta sección un pre-diseño de dichas unidades; los parámetros de diseño que aún no se han establecido a partir de datos experimentales, se han adoptado a partir de valores de referencia derivados de literatura técnica y de consideraciones de ingeniería estándar.

Se plantea por una unidad de floculación con gradientes de velocidad decrecientes, considerando valores frecuentes en literatura tanto para la entrada ($<70 \text{ s}^{-1}$) como para la salida ($>20 \text{ s}^{-1}$) de los floculadores.

Con dos unidades de **floculación**, un caudal de alrededor de 39 l/s, con tres secciones y un tiempo de retención de 24 minutos (8 minutos por sección). Se usarán paredes de acrílico (espesor de 3cm).

Primera sección: Se plantea una longitud de flujo de 144m; los canales tienen un ancho de 30cm y un alto de 50cm. En esta sección se dejará un espacio libre entre tabiques y la pared del tanque de 45cm. La longitud del canal será de 14m, con 11 canales y un ancho de cámara de 3.5m. El gradiente en esta sección será de $56.3s^{-1}$.

Segunda sección: Con una longitud de flujo de 120m, se consideran 35cm de ancho y 50 cm de alto para los canales. El espacio libre entre tabiques y la pared del tanque será de 53cm. La longitud del canal será de 14m, con 9 canales y un ancho de cámara de 3.5m. El gradiente para este punto será de $41.5s^{-1}$.

Tercera sección: La longitud de flujo es de 96m, con 45cm de ancho y 50cm de alto para los canales. El espacio libre entre tabiques y la pared del tanque es de 68cm. La longitud del canal será de 14m, con 9 canales y un ancho de cámara de 3.5m. El gradiente para este punto será de $28.24s^{-1}$.

Cada unidad entonces tendrá un ancho total de 10.5m, con un ancho de 14 metros en un área de $147m^2$.

Para la **sedimentación** se plantean dos unidades. Los módulos serán placas planas con dimensiones estándar de $2.1m \times 1.2m \times 0.02m$, con una inclinación de 60 grados. La separación entre placas será de 6cm, con un total de 97 placas. La zona de sedimentación tendrá un ancho de 4.2m, un largo de 8.9m para un área de $37.5m^2$; se tiene de esta manera un tiempo de sedimentación de 16.7 minutos.

Para la distribución del caudal en los tanques se proponen 4 tuberías en total (2 por unidad) con un gradiente de $20.6s^{-1}$ dentro de las mismas. Los 99 orificios con un diámetro de 5cm y una separación de 4cm que tendrán las tuberías, presentan un gradiente de $19s^{-1}$.

Las canaletas de distribución del caudal a la zona de sedimentación tendrán un ancho de 40cm y un alto de 20cm.

6 Discusión

El agua sujeta a análisis presenta una ligera acidez, con rangos que varían entre 6 y 7 UpH. Los sólidos totales en los efluentes, posterior al lavado de los decantadores son

considerablemente más altos que en el lavado de filtros, resultado coherente con la remoción de sólidos de las distintas unidades en el tren de tratamiento.

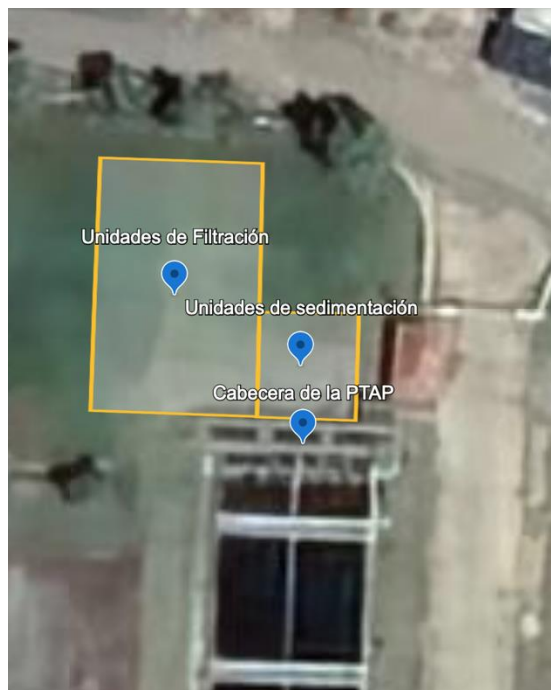
Respecto a las concentraciones de manganeso, las concentraciones obtenidas posterior al lavado de decantadores (0.536 mg/L) y de filtros (0.305) superan los límites de 0.1 mg/L para tratamiento convencional y de 0.2 mg/L para uso agrícola. Es importante señalar que la PTAP – Tixán cuenta con un proceso de pre-tratamiento de oxidación del manganeso, y es probable que las concentraciones halladas en las aguas de lavado sean de manganeso oxidado, lo que facilitará de gran manera su remoción si se plantea recircular el agua. El porcentaje de dilución, y el hecho de que el valor máximo obtenido en los ensayos de agua cruda de entrada a la planta se encuentra debajo del percentil 98% en ensayos del agua cruda elaborados por ETAPA EP en el año 2013 (ETAPA EP, 2015) significa que la planta ya cuenta con la capacidad para tratar estas concentraciones de manganeso en las aguas que ingresen a la misma.

Considerando un posible uso de riego agrícola, las concentraciones de coliformes totales en ambos efluentes (1700 NMP/100mL) superan el límite de 1000 NMP/100mL. Los coliformes fecales en las muestras posterior al lavado de los decantadores exceden el límite de 600 NMP/100mL para agua cruda sometida a tratamiento convencional. Sin embargo, las concentraciones máximas observadas en las aguas de lavado se encuentran por debajo del percentil 94% de las concentraciones de agua cruda de entrada a la planta (que incluso puede llegar a $2.40 \text{ E}+04$ NMP/100mL), sugiriendo que la planta cuenta con un tren de tratamiento adecuado y con la capacidad para cumplir con los criterios de calidad requeridos para el tratamiento de este parámetro en las aguas diluidas. El parámetro de DBO presenta una concentración ligeramente superior al de los requisitos para agua cruda en tratamiento convencional, sin embargo, esto no presenta un problema posterior a su dilución en el agua cruda de entrada.

El prediseño de las unidades de floculación y sedimentación muestran que la implantación del sistema de tratamiento previo a las unidades de oxidación de manganeso es factible. Se muestra que en el terreno libre previo a la cabecera de la planta existe el espacio suficiente para implementar el sistema de tratamiento previo de las aguas.

Figura 21

Implantación de las unidades de floculación y sedimentación previo a la cabecera de la PTAP



Nota. Fuente: Propia.

Esta configuración presenta la ventaja de tener un efluente de lavados sin diluir, con una concentración del plomo probablemente superior a la de su dilución en el tren principal. No obstante, se recomienda enfáticamente realizar los análisis de laboratorio (pruebas de jarras) para determinar la necesidad de implementación de este sistema de tratamiento previo. A partir de estos ensayos se podrá determinar si la calidad de las aguas clarificadas de lavado permite su inyección directa en el tren de tratamiento principal en la planta, o si el sistema propuesto será indispensable para cumplir con los estándares de calidad que se requieran en las aguas tratadas al final del tren de tratamiento.

7 Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La caracterización de los efluentes clarificados del tren de tratamientos de lodos en la planta demuestra que, en su mayoría los parámetros de calidad cumplen con la normativa TULSMA para su potabilización o usos de riego; no obstante, se encontraron concentraciones de manganeso, coliformes y plomo que exceden considerablemente los límites máximos permisibles. Estudiando el uso para riego, las concentraciones de coliformes totales y de

manganeso, se presenta una limitación considerable, estas aguas requerirían un tratamiento específico previo a su disposición para cumplir con los límites de calidad en este uso; la implementación de un sistema de tratamiento exclusivo para este uso resulta económicamente y operativamente poco atractivo. En contraste, una posible recirculación de las aguas para su potabilización se muestra como una opción mucho más llamativa; los parámetros de manganeso y de coliformes fecales ya son tratados en la planta, con concentraciones incluso mayores a los de las aguas clarificadas de lavado. El principal problema presente para el proceso de recirculación serían las altas concentraciones de plomo.

Dichas concentraciones de plomo proponen que la inyección de las aguas clarificadas de lavado a la cabecera de la planta necesitaría de un previo tratamiento. La literatura técnica sugiere que la ligera acidez de las aguas de lavado puede generar una condición favorable en los procesos de tratamiento de las mismas con sulfato de aluminio. Mientras que la baja turbiedad y color podrían dificultar en cierta manera los mismos.

La alternativa de pretratamiento por medio de un tren de coagulación-floculación-sedimentación se perfila como la opción técnicamente viable. Con este sistema se podría remover eficazmente el plomo presente, aprovechando el actual uso del sulfato de aluminio en la planta como coagulante. El prediseño de las unidades sugiere que su implantación es factible en el espacio disponible que se tiene a la cabecera de la planta sin interferir en las operaciones que se llevan a cabo actualmente.

Con la reinyección de las aguas clarificadas, la planta podría disminuir la captación del río Machángara en un orden de hasta 78 litros por segundo en condiciones de diseño contribuyendo a la resiliencia del suministro en épocas de estiaje.

Recomendaciones

Realizar pruebas de jarras estacionales en las aguas diluidas (4% de lavado, 96% agua cruda) para optimizar la dosis de sulfato de aluminio y de los otros reactivos usados en la planta (permanganato de potasio y polímero ayudante de floculación) buscando una remoción apropiada de plomo sin la necesidad de la construcción del sistema de pre-tratamiento. De no ser posible la reinyección directa, realizar así mismo, las pruebas correspondientes para determinar la dosis de sulfato de aluminio (o de coagulante a usar) para depurar de forma adecuada las concentraciones de plomo en el agua.

Luego de haber comprobado una pre-factibilidad del proyecto de reutilización de las aguas de lavado de la planta, se confirma consistentemente que es viable proceder con la fase 2 del

proyecto la cual incluirá un diseño detallado del sistema de bombeo y de tratamiento suplementario (considerando las dosis de reactivos, consideraciones geométricas de diseño y de volúmenes de la planta) para la reinyección de las aguas de lavado al proceso de tratamiento principal.

Esta propuesta puede servir como modelo replicable para otras plantas de tratamiento en la zona y en el país, con una gran contribución a la gestión adecuada y sostenible del recurso hídrico en la región.

Referencias

- Armenter, J., Cristiá, J. Cusidó, J., Arteaga, F. y Cremadés, L. (2002). Innovación en el tratamiento de fangos de una ETAP. Secado por atomización y aprovechamiento en la industria cerámica. *Tecnología del agua. Barcelona*. 28 p.*
- Benschoten, J. & Edzwald, J. (2002). Chemical aspects of coagulation using aluminum salts—I. Hydrolytic reactions of alum and polyaluminum chloride. *Water Research*, Volume 24, Issue 12, Pages 1519-1526, [https://doi.org/10.1016/0043-1354\(90\)90086-L](https://doi.org/10.1016/0043-1354(90)90086-L)
- Carvajal, A. y Ortega, J. (2014). Gestión de lodos producto de la potabilización de agua y recuperación del agua utilizada en el lavado de filtros y sedimentadores en la planta de tratamiento de Puengasí de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento Quito [Tesis de grado previo a la obtención de título de Magister, Escuela Politécnica Nacional]. Archivo digital. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8572/1/CD-5781.pdf>
- Conacyt. (2017, octubre 17). Un sistema de recirculación de agua innova en el proceso de potabilización en México. iAgua. <https://www.iaqua.es/noticias/mexico/conacyt/17/10/17/sistema-recirculacion-agua-innova-proceso-potabilizacion-mexico>
- ETAPA EP. (2012). *Diseños definitivos del sistema de tratamiento de las aguas residuales del proceso de potabilización de la planta de Tixán: Fase II: Espesamiento y deshidratación. Memoria técnica*. Subgerencia de Ingeniería y Proyectos, Segunda Fase de los Planes Maestros de Agua Potable y Saneamiento de Cuenca.
- ETAPA EP. (2015). *Diseños definitivos para la ampliación de la planta de tratamiento de agua potable de Tixán – Módulo II: Tomo 1*. Gerencia de Agua Potable y Saneamiento.
- Foccal Org. (s.f.). Usos de la cal en el tratamiento de las aguas. 15 p.
- Fong, P., Pradeep, K., Tjoon, T., Mohd, O., Kailas, W. (2011). Removal of lead, zinc and iron by coagulation-flocculation. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, Volume 42, Issue 5, Pages 809-815, ISSN 1876-1070, <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2011.01.009>.
- García, F., Valdiviezo, L., Iglesias, S., Gutiérrez, H., Cadme, M., Donoso, S. & Zhindón, C. (2021). Opportunities for improvement in a potabilization plant based on cleaner production: Experimental and theoretical investigations, *Results in Engineering*, Volume 11, 2021, 100274, ISSN 2590-1230, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2021.100274>.
- Mahdavi, M., Ebrahimi, A., Azarpira, H., Tashauoei, H. & Mahvi, A. (2017). Dataset on the spent filter backwash water treatment by sedimentation, coagulation and ultra filtration, *Data in Brief*, Volume 15, 2017, Pages 916-921, ISSN 2352-3409, <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.10.062>.

Metcalf & Eddy, Inc. Tchobanoglous, G., Burton, F. & Stensel, H. (2014). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (5th ed.). McGraw-Hill Education.

Pabon, E. y Rodríguez, J. (2015). Estudio de los lodos generados por las unidades de sedimentación y filtración de la Planta de Tratamiento de Agua Potable El Tablazo en la ciudad de Popayán.

Ramírez, F. (2008). Lodos producidos en el tratamiento del agua potable. *Revista técnica industrial*. 1p.

Sincero, A. & Sincero, G. (2003). Physical-Chemical Treatment of Water and Wastewater. CRC Press

Skolubovich, Y., Voytov, E., Skolubovich, A. & Ilyina, L. (2017). Cleaning and reusing backwash water of water treatment plants. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 90. 012035. 10.1088/1755-1315/90/1/012035.

University of Florida. (s.f.). Common terms used in Wastewater Treatment. Archivo digital. <https://pwd.aa.ufl.edu/treeo/wp-content/uploads/sites/20/2022/02/Glossary-of-Common-WW-Terms.pdf>

Anexos

LABORATORIO DE AGUA POTABLE - ETAPA EP
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL SAE CON ACREDITACION NUMERO SAE LEN 12-003

INFORME ANALISIS DE AGUA

Informe No.: 014-25

DATOS DEL CLIENTE			
CLIENTE:	ETAPA EP		
R.U.C. e C.I.:	01800502001		
DIRECCION:	BENIGNO MALO Y SUCRE ESQUINA		
TELEFONO(S):	2831900		
CORREO ELECTRONICO:	despinva@etapa.net.ec		
SOLICITADO POR:	ING. JUAN DIEGO ESPINOZA		

DATOS DE LA MUESTRA			
ENTREGADO POR:	SR. JORGE ORDÓREZ / SR. DIEGO CUMBE		
ORIGEN y/o PROCEDENCIA:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIXÁN / OCHOA LEÓN		
TOMA DE MUESTRA REALIZADA POR:	SR. JORGE ORDÓREZ / SR. DIEGO CUMBE		
FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	Lunes, 17 de febrero de 2025		
RECIBIDO POR:	ING. CHRISTIAN SÁNCHEZ MERCHÁN		
FECHA DE RECEPCIÓN:	Lunes, 17 de febrero de 2025		

DATOS DEL ANALISIS			
FECHA DE INICIO DEL ANALISIS:	Lunes, 17 de febrero de 2025		
FECHA FIN DEL ANALISIS:	Lunes, 10 de marzo de 2025		
FECHA DE EMISION DEL INFORME:	Lunes, 10 de marzo de 2025		

CONDICIONES AMBIENTALES DEL LABORATORIO			
TEMPERATURA (°C):	21,7		
HUMEDAD RELATIVA (%):	58,4		

PARAMETROS	UNIDADES	MUESTRAS (CODIGO / IDENTIFICACION / TIPO) E25-027		METODO
		PLANTA DE LODOS - EFLUENTES DE LOS SEDIMENTADORES		
CRUDA				
ANALISIS FISICOS				
* Color Aparente	U.C. Pt-Co		0	SM-24_2130 E
* Color Real	U.C.		2	SM-24_2130 E
pH	U _{pH}		0,72	SM-24_4500 H* B
Turbiedad	N.T.U.		1,83	SM-24_2130 E
ANALISIS DE METALES				
Ársenico	µg/l		<1	SM-24_3114 B
Hierro	µg/l		59 (1)	SM-24_3111 B
Manganeso	µg/l		536	SM-24_3111 B
ANALISIS BACTERIOLOGICOS				
* Coliformes Totales	NMPV100 ml		3,30E+01	SM-24_9221
* Coliformes Fecales	NMPV100 ml		3,30E+01	SM-24_9221

OBSERVACIONES:

Notas:

- Los resultados emitidos en este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) entregada(s) por el cliente y sometida(s) al ensayo.
- Los datos del cliente, las condiciones de entrega y la información referida a las muestras son de exclusiva responsabilidad del cliente; el Laboratorio no garantiza la veracidad de la(s) información.
- El Laboratorio no declara confidencialidad.
- Las actividades de ensayo se realizan en las instalaciones del Laboratorio con excepción del parámetro de Cloro Líquido Residual el cual se realiza in-situ.
- No se debe reproducir el informe, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Laboratorio.
- Un asterisco (*) junto al nombre del Parámetro indica que el mismo no se encuentra Acreditado.
- El símbolo (1) junto al valor reportado indica que dicho valor se encuentra fuera del rango de Acreditación.
- SM-24_ = Standard Methods Edition 18.
- 1,80E+01 significa que los ensayos reportados en NMP utilizando 10 tubos de: 8 de 10 ml, 8 de 1 ml y 8 de 0,1 ml ninguno es positivo.
- 1,10E+01 significa que los ensayos reportados en NMP utilizando 10 tubos de: 10 de 10 ml ninguno es positivo.
- 1 significa que los ensayos reportados en UFC no existe la presencia de colonias.

INCERTIDUMBRE:
 ±2 95%

Turbiedad (NTU):
 6,28 ± 200 (1,6%)

pH (U_{pH}):
 6,99 ± 0,59


MANGANESO (µg/l):
 532,64 ± 21%
 524,6 ± 19,6%

ARSENICO (µg/l):
 1 ± 11,83 (17%)

HIERRO (µg/l):
 59 ± 148,6 (25%)

NOMBRE DEL ARCHIVO DIGITAL: 30210117_PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIXÁN_ING. JUAN DIEGO ESPINOZA.PDF

C.S.



F:\Q110-01.RIS
ETAPA EP - Planta de Tixán (Sector Ochoa León) - Laboratorio de Agua Potable - Tel: 078 183227 - http://www.etapa.net.ec
Página 1 de 1

Anexo A. Resultados de laboratorio, fecha: 17/02 (ETAPA, 2025)

LABORATORIO DE AGUA POTABLE - ETAPA EP
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL SAE CON ACREDITACIÓN NUMERO SAE LEN 12-043

INFORME ANALISIS DE AGUA

Informe No.: 021-25

DATOS DEL CLIENTE			
CLIENTE :	ETAPA EP		
R.U.C. o I.C.A.:	010005002001		
DIRECCIÓN :	BENIGNO MALO Y SUCRE ESCOLINA		
TELÉFONO:	2831900		
CORREO ELECTRÓNICO:	esap@etapa.net.ec		
SOLICITADO POR :	ING. JUAN DIEGO ESPINOZA		
DATOS DE LA MUESTRA			
ENTREGADO POR :	SR. JORGE ORODÓZ / SR. DIEGO CUMBE		
ORIGEN y/o PROCEDENCIA :	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIXÁN / OCHOA LEÓN		
TOMA DE MUESTRA REALIZADA POR :	SR. JORGE ORODÓZ / SR. DIEGO CUMBE		
FECHA DE TOMA DE MUESTRA :	Lunes, 17 de marzo de 2025		
RECIBIDO POR :	ING. CHRISTIAN SÁNCHEZ MERCHÁN		
FECHA DE RECEPCIÓN :	Lunes, 17 de marzo de 2025		
DATOS DEL ANALISIS			
FECHA DE INICIO DEL ANALISIS :	Lunes, 17 de marzo de 2025		
FECHA FIN DEL ANALISIS :	viernes, 4 de abril de 2025		
FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME :	viernes, 4 de abril de 2025		
CONDICIONES AMBIENTALES DEL LABORATORIO			
TEMPERATURA (°C):	22,8		
HUMEDAD RELATIVA (%):	57,3		

PARAMETROS	UNIDADES	MUESTRAS (CÓDIGOS / IDENTIFICACIÓN / TIPO)	
		E25-047	
		PLANTA DE LÓDOS - EFLUENTES DE LOS SEDIMENTADORES	
OCHOA			
ANÁLISIS FÍSICOS			
* Color Aparente	U.C. Pt-Co	14	SM-24_2120 E
* Color Real	U.C.	3	SM-24_2120 E
Conductividad	µS/cm	87,3	SM-24_2510 B
* S.D.T.	mg/l	57	SM-24_2510 A
pH		6,58	SM-24_4800 H' B
Turbiedad	N.T.U.	2,11	SM-24_2130 B
ANÁLISIS DE METALES			
Aluminio	µg/l	<1	SM-24_3114 B
Hierro	µg/l	128	SM-24_3111 B
Manganeso	µg/l	128	SM-24_3111 B
ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS			
* Coliformes Totales	NMP/100 ml	3,10E+01	SM-24_3021
* Coliformes Fecales	NMP/100 ml	3,30E+01	SM-24_3021


OBSERVACIONES:

Notas:

- Los resultados emitidos en este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) entregada(s) por el cliente y sometida(s) al ensayo.
- Los datos del cliente, las condiciones de entrega y la información referida a las muestras son de exclusiva responsabilidad del cliente; el Laboratorio no garantiza la veracidad de la(s) misma(s).
- El Laboratorio no declara conformidad.
- Las actividades de ensayo se realizan en las instalaciones del Laboratorio con excepción del parámetro de Cloro Libre Residual el cual se realiza in-situ.
- No se debe reproducir el informe, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Laboratorio.
- Un asterisco (*) junto al nombre del Parámetro indica que el mismo no se encuentra Acreditado.
- El subíndice (:) junto al valor reportado indica que dicho valor se encuentra fuera del rango de Acreditación.
- SM-24_ = Standard Methods Edition 24.
- <1,10E+00 significa que los ensayos reportados en NMP utilizando 18 tubos de: 8 de 11 ml, 6 de 1 ml y 6 de 0,1 ml ninguno es positivo.
- <1,10E+00 significa que los ensayos reportados en NMP utilizando 18 tubos de: 10 de 10 ml ninguno es positivo.
- 1 significa que los ensayos reportados en UFC no existe la presencia de colonias.

NOMBRE DEL ARCHIVO DIGITAL: 20250317_PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIXÁN_ING. JUAN DIEGO ESPINOZA.PDF

C.S.



Ing. Diego Fernando C. Hurtado
RESPONSABLE DE LABORATORIO

F. PGE-10-01 R13

ETAPA EP - Planta de Tixán (Sector Ochoa León) - Laboratorio de Agua Potable - Tel: 074 101377 - http://www.etapa.net.ec

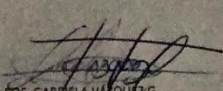
Página 10/11

Anexo B. Resultados de laboratorio, fecha: 17/03 (ETAPA, 2025)


UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FÍSICO QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA			
Muestra Procedencia:	Efluente de sedimentadores de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Taxán-Cuenca		
Fecha de Toma y análisis:	17 de marzo de 2025		
Clima:	Nublado		
Entrega la muestra:	Jorge Ordoñez y Diego Cumbe		
Toma la muestra:	Operador de la Planta		
Análisis solicitado por:	Jorge Ordoñez y Diego Cumbe		

PARÁMETROS	Efluente	UNIDAD	OBSERVACIONES
HORA	10:00		
PARÁMETROS FÍSICOS			
TURBIEDAD	6,08	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	51,0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	19,0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	88,4	microsiemens/ cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS			
pH	6,14		
HIERRO	0,151	mg/l	
MANGANESO	0,302	mg/l	
ALUMINIO	0,135	mg/l	
CROMO VI	0,023	mg/l	
ARSÉNICO	0,0	mg/l	
PLOMO	0,128	mg/l	
DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO	3,76	mgO ₂ /l	
DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO	15,94	mgO ₂ /l	
SOLIDOS TOTALES	93,0	mg/l	
SOLIDOS DISUELTOS TOTALES	59,0	mg/l	
SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES	33,0	mg/l	
OXÍGENO DISUELTO INSITU	4,5	mg/l	T= 14,1°C
PARÁMETROS BIOLÓGICOS			
COLIFORMES TOTALES	1700	N.M.P./100ml	35°C. 24H
COLIFORMES FECALES	700	N.M.P./100ml	35°C. 24H


 BQF. GABRIELA VALQUEZ G.
 JEFE DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD D CUENCA
 Facultad de Ingeniería
 LABORATORIO DE
 INGENIERIA SANITARIA



Anexo C. Resultados de laboratorio, fecha: 17/03 (Lab. Ingeniería Sanitaria – Universidad de Cuenca, 2025)

LABORATORIO DE AGUA POTABLE - ETAPA EP
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL SAE CON ACREDITACION NUMERO SAE LEN 12-003

INFORME ANALISIS DE AGUA

Informe No.: 033-25

DATOS DEL CLIENTE	
CLIENTE:	ETAPA EP
R.U.C. « C.I.:	016029020001
DIRECCION:	BENIGNO MALO Y SUCRE ESQUINA
TELEFONO(S):	2831900
CORREO ELECTRONICO:	desproza@etapa.net.ec
SOLICITADO POR:	ING. JUAN DIEGO ESPINOZA

DATOS DE LA MUESTRA	
ENTREGADO POR:	SR. JORGE ORDOÑEZ / SR. DIEGO CUMBE
ORIGEN y/o PROCEDENCIA:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIXÁN / OCHOA LEÓN
TOMA DE MUESTRA REALIZADA POR:	SR. JORGE ORDOÑEZ / SR. DIEGO CUMBE
FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	Lunes, 12 de mayo de 2025
RECIBIDO POR:	ING. CHRISTIAN SÁNCHEZ MERCHÁN
FECHA DE RECEPCIÓN:	Lunes, 12 de mayo de 2025

DATOS DEL ANALISIS	
FECHA DE INICIO DEL ANALISIS:	Lunes, 12 de mayo de 2025
FECHA FIN DEL ANALISIS:	Lunes, 19 de mayo de 2025
FECHA DE EMISION DEL INFORME:	Lunes, 19 de mayo de 2025

CONDICIONES AMBIENTALES DEL LABORATORIO	
TEMPERATURA (°C):	19,9
HUMEDAD RELATIVA (%):	59,2

PARAMETROS	UNIDADES	MUESTRAS [CODIGO / IDENTIFICACION / TIPO]		METODO
		E25-127 PLANTA DE LODOS - EFLUENTES DE LOS FILTROS CRUDA		
ANALISIS FISICOS				
* Color Aparante	U.C. Pt-Co		11	SM-24 _o -2120 E
* Color Real	U.C.		3	SM-24 _o -2120 E
pH	UgH		6.43	SM-24 _o -4500 H ^o B
Turbiedad	N.T.U.		2.36	SM-24 _o -2130 B
ANALISIS DE METALES				
Arsénico	ppb		6	SM-24 _o -3114 B
Hierro	ppb		89	SM-24 _o -3111 B
Manganeso	ppb		78	SM-24 _o -3111 B
ANALISIS BACTERIOLOGICOS				
* Coliformes Totales	NMP/100 ml		7,80E+00	SM-24 _o -4021
* Coliformes Fecales	NMP/100 ml		7,80E+00	SM-24 _o -4021

OBSERVACIONES:

Notas:

- Los resultados escritos en este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) entregada(s) por el cliente y sometida(s) al ensayo.
- Los datos del cliente, las condiciones de entrega y la información referida a las muestras son de exclusiva responsabilidad del cliente; el Laboratorio no garantiza la veracidad de la(s) misma(s).
- El Laboratorio no declara conformidad!
- Las actividades de ensayo se realizan en las instalaciones del Laboratorio con excepción del parámetro de Cloro Libre Residual el cual se realiza in-situ.
- No se debe reproducir el informe, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita del Laboratorio.
- Un asterisco (*) junto al nombre del Parámetro indica que el mismo no se encuentra acreditado.
- El subíndice (o) junto al valor reportado indica que dicho valor se encuentra fuera del rango de Acreditación.
- SM-24_o = Standard Methods Edition 24.
- < 1,80E+00 significa que los ensayos reportados en NMP utilizando 16 tubos de: 8 de 10 ml, 5 de 1 ml y 5 de 0,1 ml ninguno es positivo.
- < 1,54E+00 significa que los ensayos reportados en NMP utilizando 16 tubos de: 10 de 10 ml ninguno es positivo.
- < 1 significa que los ensayos reportados en UFC no existe la presencia de colonias.

INCERTIDUMBRE:	
k=1 95%	
TURBIEDAD (NTU):	
0,26 - 200	7,6%
pH (UgH):	
4,00 - 6,00	1,43%
MANGANESE (ppb):	
22,48 - 324,8	3,9%
ARSENICO (ppb):	
1 - 11,63	17%
HIERRO (ppb):	
100 - 146,8	28%

NOMBRE DEL ARCHIVO DIGITAL: 3925613_PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE DE TIXÁN_ING. JUAN DIEGO ESPINOZA.PDF

C.S.



Ing. Andrea Arcevalo M.
RESPONSABLE DE LABORATORIO

F PUS 10-01 R13

ETAPA EP - Planta de Tixán (Sector Ochoa León) - Laboratorio de Agua Potable - Teléfono: 076 101377 - Mail: lmm@etapa.net.ec

Página 1 de 1

Anexo D. Resultados de laboratorio, fecha: 12/05 (ETAPA, 2025)

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FÍSICO QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA	
Muestra Procedencia:	Efluente de filtros de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán-Cuenca
Fecha de Toma y análisis:	12 de mayo de 2025
Clima:	Nublado
Toma y entrega la muestra:	Jorge Ordoñez y Diego Cumbe
Análisis solicitado por:	Jorge Ordoñez y Diego Cumbe

PARÁMETROS	Efluente	UNIDAD	OBSERVACIONES
HORA	10:00		
PARÁMETROS FÍSICOS			
TEMPERATURA	14,2	°C	In situ
TURBIEDAD	7,44	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	64,0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	24,0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	94,8	microsiemens/ cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS			
pH	6,21		
HIERRO	0,135	mg/l	
MANGANESO	0,305	mg/l	
ALUMINIO	0,158	mg/l	
CROMO VI	0,018	mg/l	
ARSÉNICO	0,0	mg/l	
PLOMO	0,130	mg/l	
OXÍGENO DISUELTTO	6,5	mg/l	In situ
PARÁMETROS BIOLÓGICOS			
COLIFORMES TOTALES	1700	N.M.P./100ml	35°C. 24H
COLIFORMES FECALES	390	N.M.P./100ml	35°C. 24H


FORMA AUTENTICADA DEL
GABRIELA BELEN
YANQUES GUSLICK
SECRETARÍA GENERAL DEL PUEBLO
 BCF. GABRIELA VÁZQUEZ G.
JEFE DE LABORATORIO

UNIVERSIDAD DE CUENCA
 Facultad de Ingeniería
LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA

Anexo E. Resultados de laboratorio, fecha: 12/05 (Lab. Ingeniería Sanitaria – Universidad de Cuenca, 2025)

UNIVERSIDAD DE CUENCA
FACULTAD DE INGENIERIA
LABORATORIO DE INGENIERIA SANITARIA

RESULTADOS DE ANALISIS FÍSICO QUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DE AGUA	
Muestra Procedencia:	Efluente de lavado de filtros de la Planta de Tratamiento de Agua Potable de Tixán.-Cuenca
Fecha de Toma y análisis:	13 de junio de 2025
Clima:	Nublado
Toma y entrega la muestra:	Jorge Ordoñez y Diego Cumbe
Análisis solicitado por:	Jorge Ordoñez y Diego Cumbe

PARÁMETROS	Efluente lavado de filtros	UNIDAD	OBSERVACIONES
HORA	9:30		
PARÁMETROS FÍSICOS			
TEMPERATURA	14,2	°C	In situ
TURBIEDAD	6,1	NTU, FTU	
COLOR APARENTE	55,0	UC, Pt Co	
COLOR REAL	22,0	UC, Pt Co	
CONDUCTIVIDAD	88,0	microsiemens/ cm	
PARÁMETROS QUÍMICOS			
pH	7,04		
HIERRO	0,226	mg/l	
MANGANESO	0,102	mg/l	
ALUMINIO	0,014	mg/l	
CROMO VI	0,030	mg/l	
ARSÉNICO	0,0	mg/l	
PLOMO	0,086	mg/l	
OXÍGENO DISUELTO	7,2	mg/l	In situ
PARÁMETROS BIOLÓGICOS			
COLIFORMES TOTALES	390	N.M.P./100ml	35°C. 24H
COLIFORMES FECALES	110	N.M.P./100ml	35°C. 24H



BQF. GABRIELA VÁZQUEZ G.
JEFE DE LABORATORIO



Anexo G. Resultados de laboratorio, fecha: 13/06 (Lab. Ingeniería Sanitaria – Universidad de Cuenca, 2025)

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA DE REALIZACIÓN	UNIDADES	VALOR	
DBO ₅	Respirométrico	12/5/25	mg/l	1	
		17/5/25			
DQO	Colorimétrico	12/5/25	mg/l	3	
Sólidos Totales (ST)	Gravimétrico	12/5/25	mg/l	3.00	4.00
Sólidos Volátiles (SV)	Gravimétrico	12/5/25	mg/l	1.00	1.00

Anexo H. Resultados de laboratorio, fecha: 12/05 (Lab. Bioenergía– Universidad de Cuenca, 2025)

PARÁMETRO	MÉTODO	FECHA DE REALIZACIÓN	UNIDADES	VALOR	
DBO ₅	Respirométrico	13/6/25	mg/l	2	
		18/6/25			
DQO	Colorimétrico	13/6/25	mg/l	2	
Sólidos Totales (ST)	Gravimétrico	13/6/25	mg/l	6.00	4.00
Sólidos Volátiles (SV)	Gravimétrico	13/6/25	mg/l	2.00	2.00

Anexo I. Resultados de laboratorio, fecha: 13/06 (Lab. Bioenergía– Universidad de Cuenca, 2025)

Diseño del floculador

A continuación se presentan los datos de cálculo del sistema de tratamiento de plomo para las aguas de lavado de la PTAP TIXÁN, para la cual se presentan dos unidades de floculación

Datos generales	
Q total (l/s)	77.6
Unidades	2
T (min)	24
En la unidad	
Q (m ³ /s)	0.0388
T (min)	8
T(seg)	480
v	1.10E-06

Obtenido del Q. de diseño de la planta y del % de aguas de lavado

Primera sección

Datos	
v (m/s)	0.3
t(seg)	480
L (m)	144
Vol (m ³)	18.624

NTE INEN 2655:2012

Área transversal en un canal entre los baffles

A baff(m²) 0.129

Determinación del calado de agua en los canales

a(m) 0.3 *Representa el ancho (asumido) en los canales*
 d(m) 0.431 *Calado de agua en los canales*

Considerando un factor de seguridad (fs) de 1.1 para el calado de aguas

df(m) 0.474
 df(m) **0.5**

Espacio libre entre el tabique y la pared del tanque; para evitar flujos turbulentos

e(m) 0.45 *Como 1.5*a*

Longitud efectiva útil del canal; para lo cual se ha considerado que la longitud bruta del canal es de 14m

Lt(m) **14**
 l(m) 13.55

Determinación del número de canales

#canales 10.63
 #canales **11.00**

Ancho total de la cámara

b(m) 0.03 *Ancho de paredes de acrílico*
 B1(m) 3.6
 B1(m) **3.5**
 Rh(m) 0.094

Pérdidas por fricción

n	0.014	<i>Rugosidad en el canal de hormigón</i>
hf(m)	0.060	

Pérdidas locales

hf1(m)	0.1376
--------	--------

Total de pérdidas

htot(m)	0.197
G(s ⁻¹)	56.30

Segunda sección

Datos	
v (m/s)	0.25
t(seg)	480
L (m)	120
Vol (m3)	18.624

Área transversal en un canal entre los baffles
 A baff(m2) 0.155

Determinación del calado de agua en los canales

a(m)	0.35	<i>Ancho del canal</i>
d(m)	0.443	

Considerando un factor de seguridad (fs) de 1.1 para el calado de aguas

df(m)	0.488
df(m)	0.5

Espacio libre entre el tabique y la pared del tanque; para evitar flujos turbulentos

e(m)	0.53	<i>Como 1.5*a</i>
------	------	-------------------

Longitud efectiva útil del canal; para lo cual se ha considerado que la longitud bruta del canal es de 14m

Lt(m)	14
l(m)	13.48

Determinación del número de canales

# canales	8.91
# canales	9

Ancho total de la cámara

b(m)	0.03	<i>Ancho de paredes de acrílico</i>
B2(m)	3.39	
B2(m)	3.5	
Rh(m)	0.103	

Pérdidas por fricción

n	0.014
hf(m)	0.030

Pérdidas locales

hf1(m)	0.0765
--------	--------

Total de pérdidas

htot(m)	0.107
G(s ⁻¹)	41.45

Tercera sección

Datos	
v (m/s)	0.2
t(seg)	480
L (m)	96
Vol (m3)	18.62

Área transversal en un canal entre los baffles

A baff(m2) 0.194

Determinación del calado de agua en los canales

a(m) 0.45 *Ancho del canal*

d(m) 0.431

Considerando un factor de seguridad (fs) de 1.1 para el calado de aguas

df(m) 0.474

dí(m) 0.5

Espacio libre entre el tabique y la pared del tanque; para evitar flujos turbulentos

e(m) 0.68 *Como 1.5*a*

Longitud efectiva útil del canal; para lo cual se ha considerado que la longitud bruta del canal es de 14m

Lt(m) 14

l(m) 13.33

Determinación del número de canales

#canales 7.20

#canales 7

Ancho total de la cámara

b(m) 0.03 *Ancho de paredes de acrílico*

B3(m) 3.33

B3(m) 3.5

Rh(m) 0.118

Pérdidas por fricción

n 0.014

hf(m) 0.013

Pérdidas locales

hf1(m) 0.0367

Total de pérdidas

htot(m) 0.050

G(s⁻¹) 28.24

DIMENSIONES UNIDAD

B total (m)	10.5
L total (m)	14
A (m ²)	147
A tot(m ²)	294

Correspondiente a las dos unidades

Anexo J. Pre-diseño de las unidades de floculación para las aguas sobrenadantes y clarificadas de lavado

Diseño del sedimentador de placas

A continuación se presentan los datos de cálculo del sistema de tratamiento de manganeso para las aguas de lavado de la PTAP TIXÁN, para la cual se presentan dos unidades de sedimentación

Datos generales		
Q total (l/s)	77.6	Obtenido del Q. de diseño de la planta y del % de aguas de lavado
Unidades	2	
Vs(cm/s)	0.011	Baja turbiedad y color; no se disponen de ensayos
Q unid (m3/s)	0.0388	
As	9.504	
Módulos: placas planas		
L(m)	2.1	
H(m)	1.2	
e(m)	0.02	
sc	1	Coefficiente por tipo de placa NTE INEN 2655:2012
θ (°)	60	
L(m)	20	Longitud de recorrido de placas, recomendación: Norma CO 10-07

Separación entre placas

e(m) 0.06 <10cm; check, recomendado por NTE INEN 2655:2012

Velocidad del flujo

Vf(cm/s) 0.11952628 <1cm/s; check

Re 65.1961524 Flujo laminar

Área de la zona de sedimentación

A(m2) 37.5

Dimensiones de la unidad de sedimentación

Ancho(m) 4.2 A partir del uso de dos placas

Largo(m) 8.9

t(min) 16.7 Tiempo de sedimentación

Cs(m/día) 89

N 97

Tuberías

total 4 Dos tuberías por unidad de sedimentador

Q/4 (m3/s) 0.0194

D(mm) 350

V(m/s) 0.20163957

f 0.04

Rh 0.0875

G (s⁻¹) 20.6

Orificios

d(mm)	50	
v(m/s)	0.1	
f	0.04	
Rh	0.0125	
G (s ⁻¹)	19	
Q (l/s)	0.1963	
# orif	98.8033887	
s(cm)	4.0326787	<i>Espaciamiento entre orificios</i>

Canaletas

q(m ³ /s)	0.0388	
Hv (m)	0.011	
a(m)	0.4	
h (m)	0.17	
h(cm)	20	<i>La canaleta tendrá una altura de 20cm, y un ancho de 40cm</i>

Anexo K. Pre-diseño de las unidades de sedimentación para las aguas sobrenadantes y clarificadas de lavado