

Planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de Padcaya – Tarija

Wastewater treatment plant for the municipality of Padcaya – Tarija

ACOSTA - Cesar*¹ GUTIÉRREZ - Cesar²

¹Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, Carrera de Ingeniería Ambiental.

Recibido Noviembre, 24, 2023; Aceptado marzo, 30, 2024

Resumen

El diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas, para el Municipio de Padcaya - Tarija, es una propuesta con el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB) que incluye el estudio de caracterización previo del agua residual para determinar las operaciones unitarias óptimas para el tratamiento del efluente.

Para lograr el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, se realizó un diagnóstico de las aguas residuales del Municipio de Padcaya - Tarija, mediante un análisis de laboratorio, encuestas, visitas y entrevistas. De esta manera poder conocer la situación actual y el grado de la contaminación hídrica hacia el medio ambiente. En las distintas etapas podemos diferenciar el pre-tratamiento (Rejillas, Desarenador), tratamiento primario (Tanque Imhoff), tratamiento secundario (Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente UASB, Laguna Facultativa), y un lecho de secado de lodos.

El dimensionamiento de las operaciones unitarias optimas permitirá verificar su efectividad a la hora de tratar el efluente y también demostrar cuanto está mitigando la planta de tratamiento de aguas residuales.

Los resultados obtenidos indican, que el tratamiento de la PTAR podría eliminar un 85 % de DBO, 85% de DQO, 60% de SST, 65% de aceites y grasas, 90% de Fósforo Total y 40% de Nitrógeno Amoniacal. Dando una remoción general del 72 % de la carga contaminante de los efluentes, que superan los límites permisibles de la Ley 1333 del Medio Ambiente. Con el diseño la planta de tratamientos de aguas residuales para el Municipio de Padcaya, se tratará su efluente principal quebrada “Los Tacos”, minimizando la contaminación hídrica generada por el Municipio.

Para la implementación del proyecto se necesitará una inversión de: 2.257.631 Bs, el mismo que será financiado por las instituciones públicas de Tarija y Organización No Gubernamental

Palabras Clave: Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB), Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, Solidos Suspendidos, DBO, DQO, Aceites y Grasas.

Abstract

This study presents the design of an Urban Wastewater Treatment Plant (WWTP) for the Municipality of Padcaya, Tarija, featuring an Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) reactor. The design is based on a preliminary wastewater characterization study to determine the optimal unit operations for effective effluent treatment.

To develop the WWTP design, a comprehensive diagnosis of Padcaya’s municipal wastewater was conducted through laboratory analyses, surveys, site visits, and interviews. This approach provided insight into the current status and degree of water pollution impacting the environment. The treatment process is structured into distinct stages: pretreatment (screens, grit chamber), primary treatment (Imhoff tank), secondary treatment (UASB reactor, facultative lagoon), and sludge drying beds.

The dimensioning of the optimal unit operations aims to verify their effectiveness in treating the effluent and quantify the mitigation capacity of the WWTP. Results indicate that the proposed treatment system can remove approximately 85% of Biochemical Oxygen Demand (BOD), 85% of Chemical Oxygen Demand (COD), 60% of Total Suspended Solids (TSS), 65% of oils and greases, 90% of Total Phosphorus, and 40% of Ammoniacal Nitrogen. Overall, the plant achieves a 72% reduction in pollutant load, effectively reducing contaminants that currently exceed the permissible limits established by Environmental Law 1333.

The implementation of this WWTP will treat the primary effluent discharged into the “Los Tacos” stream, significantly minimizing water pollution generated by the municipality. The project requires an investment of 2,257,631 Bolivianos, to be financed by public institutions in Tarija and non-governmental organizations.

Keywords: Anaerobic Upflow Reactor (UASB), Wastewater Treatment Plant, Suspended Solids, BOD, COD, Oils and Fats.

Citación: Planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de Padcaya – Tarija,
Revista Ingeniería Sostenible Ambiental 2024,1(1),1-50

Introducción

Una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), es aquella que gracias a diferentes procesos físicos, químicos y biológicos elimina los contaminantes presentes en el agua luego del uso humano. En virtud de la diversidad de contaminantes que se pueden presentar en las aguas residuales, la forma de tratarlos es también muy amplia, por ende, las técnicas que se utilizan en estos procesos son diversas. (Cuenca & Granados, 2012).

En la actualidad las enfermedades cuyo origen provienen de las aguas residuales han tenido una gran acogida como uno de los principales problemas entre la población en especial en las zonas rurales, donde el poco conocimiento de los peligros que trae consigo el agua residual de origen doméstico sin tratamiento a un cuerpo de agua los hace fácilmente vulnerables a cualquier brote de enfermedades de origen diarreicas, o por cualquier bacteria, parásito, protozoo, etc., que se encuentran en las aguas residuales además del daño que le hacen al ecosistema del cuerpo de agua donde arrojan el agua residual, alterando la flora y fauna del cuerpo de agua. (Organización Panamericana de la Salud, 2005).

La solución más extendida para el control de la contaminación por aguas residuales es tratarlas en plantas donde se hace la mayor parte del proceso de separación de los contaminantes dejando una pequeña parte que complementará la naturaleza en el cuerpo receptor. Es importante señalar que con base en la composición variable de los desechos que se generan, se establece el tratamiento específico que cada municipio debe implementar. El Municipio de Padcaya no cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), y por consiguiente no se tiene conocimiento de los tipos de contaminantes que son vertidos a sus quebradas y aguas receptoras, por lo cual se está vulnerando los parámetros de vertidos que están establecidos en la LEY 1333 de Medio Ambiente.

Este trabajo pretende el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales urbanas, adecuada a las necesidades del Municipio de Padcaya, para tratar la contaminación hídrica y reducir el impacto ambiental, generado por la población y actividades industriales, y así cumplir con las normas y regulaciones ambientales establecidas en el País.

Materiales y métodos

La metodología que se aplicó para el desarrollo del trabajo está constituida por métodos empíricos, métodos teóricos y técnicas de investigación que serán detalladas a continuación.

Métodos Teóricos

- Análisis documental: Este método nos permitió conocer el diagnóstico en el que se encuentra el municipio de Padcaya, con respecto a la contaminación hídrica, conocer los cuerpos hídricos que se encuentran en el municipio.

Métodos Empíricos

- Método de la observación: Permite principalmente la elaboración del diagnóstico ambiental, además de la caracterización del efluente, mediante visitas al Municipio, para conocer la situación ambiental in – situ del mismo, y ubicación de puntos de muestreo.
- Método de Medición: Este método nos permitió obtener el dimensionamiento de las operaciones unitarias para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales y para conocer su eficiencia.

Técnicas e Instrumentos

- Encuestas: Se empleó esta técnica para recabar información necesaria acerca del conocimiento de una muestra determinada de la población aledaña al efluente y aguas abajo.

Resultados y discusión

Selección de las mejores alternativas de las operaciones unitarias

a) Pretratamiento

La etapa de pretratamiento consta de una serie de operaciones físicas y mecánicas, que tienen por objetivo separar del agua residual la mayor cantidad posible de materias (sólidos gruesos, arenas, grasas) que, por su naturaleza o tamaño, pueden dar lugar a problemas en las etapas posteriores del tratamiento.

Cribado

Es el primer proceso encontrado generalmente en una planta de tratamiento de aguas residuales. Es un dispositivo con aberturas, generalmente de tamaño uniforme que se utiliza para retener grandes sólidos que se encuentran en el agua residual. La red de alcantarillado transporta diferentes materiales gruesos como plásticos, madera, trapos, cartón, etc., los cuales representan una amenaza para el óptimo funcionamiento de los trenes de tratamiento posterior y son totalmente indeseables en la implementación de procesos biológicos por tal razón es indispensable retirar este tipo de material.

Rejas

La reja de desbaste es un elemento formado por un recipiente y una reja en su interior, que se instala antes de cualquier tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales, evita que los sólidos más grandes que entran con el agua residual lleguen al sistema de tratamiento. Elementos que pueden obstruir los equipos de la PTAR. Según su funcionamiento se clasifican en rejas de limpieza Manual y automática.

Rejas de desbaste manual

Las más utilizadas, tienen un sistema de limpieza mecánico el usuario deberá limpiar periódicamente, la reja manualmente con un rastrillo y eliminar los sólidos atrapados. Es la que utilizaremos en nuestro proyecto.)

Cuadro 1. Comparativo ventajas y desventajas rejas de desbaste manual

Ventajas	Desventajas
Retienen residuos de gran tamaño	Ocasionan molestia con el espacio ocupado con el material retenido.
No requiere energía para su funcionamiento	Atracción de animales en busca de desechos
No requiere personal calificado	Observar que no se acumulen muchos sólidos en la reja
Capacidad de filtración máxima	Arreglar y reponer los barros que se hayan dañado
No requiere mucha inversión económica	
Requieren trabajo manual para su limpieza	

Tamices

El tamizado tiene la misma función del desbaste, pero a un nivel más fino. De hecho, la malla del tamiz tiene aberturas que fluctúan entre 5 y 0,5 mm. Pueden ser estáticos o rotativos. Los tamices estáticos son auto limpiantes (con la malla inclinada), debido a la pendiente de flujo del agua, mientras que los rotativos se limpian al pasar el tamiz por una cuchilla que retiene el material removido.

Cuadro 2. Cuadro comparativo ventajas y desventajas tamices

Ventajas	Desventajas
Cualquier tipo de instalación	Costo elevado para su instalación
Cualquier caudal	Necesitan energía para su funcionamiento
Cualquier luz de paso	Costo extra en mantenimiento

➤ Análisis y elección de las Rejas de desbaste manual

Las rejas es el sistema más utilizado en el pretratamiento de aguas residuales el costo de su instalación y mantenimiento es mínimo. En comparación de los tamices que requieren energía para su operación, costos elevados para su instalación. Por estos motivos nos inclinamos por las rejas

b) Tratamiento primario

Se considera como unidad de tratamiento primario a todo sistema que permite remover material en suspensión, excepto material coloidal o sustancias disueltas presentes en el agua. Así, la remoción del tratamiento primario permite quitar entre el 60 a 70% de sólidos suspendidos totales y hasta un 30% de la DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) orgánica sedimentable presente en el agua residual. Es común en zonas rurales el empleo del tanque séptico como unidad de tratamiento primario con disposición final por infiltración. El tanque Imhoff ha sido empleado en localidades de mediano tamaño como un buen sistema de tratamiento primario.

Sedimentadores estáticos (desarenador)

En este tipo de unidades puede producirse sedimentación normalmente con caída libre, en régimen laminar turbulento o de transición. En estas unidades la masa líquida se traslada de un punto a otro con movimiento uniforme y velocidad constante. Cualquier partícula que se encuentre en suspensión en el líquido en movimiento se moverá según la resultante de dos velocidades componentes: la velocidad horizontal del líquido (v_h) y su propia velocidad de sedimentación (v_s). Tienen por objeto remover del agua cruda la arena y las partículas minerales más o menos finas, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión y evitar sobrecargas en las fases de tratamiento siguiente y la interferencia en los procesos de coagulación y floculación.

Cuadro3. Cuadro comparativo ventajas y desventajas de un Desarenador

Ventajas	Desventajas
Mayor simplicidad de operación de la planta.	Es necesario remover los lodos cada 7 días.
Tecnología sencilla	Se recomienda la instalación de 2 unidades que trabajen de manera paralela.
Remoción eficiente de sólidos suspendidos	Requieren inspecciones y mantenimiento frecuentes.
Costos de operación y capital relativamente bajo	Pueden obstruirse con el tiempo debido al exceso de sedimentos, lo cual puede llegar a reducir su eficacia.
Eliminan eficazmente la arena, la suciedad y otros sólidos en suspensión del agua.	
También reducen la tensión en equipos y tuberías	
Mejoran la eficacia química	
Reducen los costes de mantenimiento y mejoran la calidad del agua.	
Además, los desarenadores ofrecen una opción mucho más eficaz y rentable que los filtros de arena tradicionales, ahorrando tiempo y dinero a la vez que proporcionan mejores resultados.	

Desarenador aireado

Las arenas se remueven en un desarenador aireado por causa del movimiento en espiral que realiza el agua residual. Debido a su masa las partículas de arena se aceleran y abandonan las líneas de flujo hasta que en últimas alcanzan el fondo del tanque ya que el flujo en espiral es un campo con aceleración variable inducido por el aire inyectado.

Cuadro 4. Cuadro comparativo ventajas y desventajas de un Desarenador Aireado

Ventajas	Desventajas
Eficiencia de remoción en un amplio rango de caudales	Puede liberar orgánicos volátiles peligrosos y olores
Relativamente bajo contenido orgánico	Altos requerimientos energéticos y mantenimiento
Mínimo desgaste de los equipos	Liberación potencial COV en estos desarenadores
No se requiere una unidad independiente para lavado de arenas	

➤ Análisis y elección del Desarenador

La velocidad de giro o agitación determina las partículas removidas de acuerdo con su gravedad específica. Si la velocidad es excesiva las partículas de arena serán arrastradas fuera del desarenador por otra parte a velocidades bajas se promueve la remoción de material orgánico particulado

Tanque Imhoff

El tanque Imhoff es una tecnología de tratamiento primario para aguas residuales crudas, diseñada para separar el sólido del líquido, y para la digestión del lodo asentado. Consiste en un compartimiento de sedimentación en forma de V sobre una cámara de digestión de lodo. Tienen una operación muy simple y no requiere de partes mecánicas; sin embargo, para su uso concreto es necesario que las aguas residuales pasen por los procesos de tratamiento preliminar de cribado y remoción de arena. El lodo estabilizado en el fondo del compartimiento de digestión debe eliminarse según el diseño. Siempre debe haber un espacio mínimo de 50 cm entre la manta de lodo y la ranura de la cámara de sedimentación. (McLean, R.C, 2009).

Cuadro 5. Cuadro comparativo ventajas y desventajas Tanque Imhoff

Ventajas	Desventajas
Contribuye a la digestión de lodo, mejor que en un tanque séptico, produciendo un líquido residual de mejores características.	Son estructuras profundas (>6m). Es difícil su construcción en arena fluida o en roca y deben tomarse precauciones cuando el nivel freático sea alto, para evitar que el tanque pueda flotar o ser desplazado cuando esté vacío.
No descargan lodo en el líquido efluente, salvo en casos excepcionales.	El efluente que sale del tanque es de mala calidad orgánica y microbiológica.
El lodo se seca y se evacúa con más facilidad que el procedente de los tanques sépticos, esto se debe a que contiene de 90 a 95% de humedad.	En ocasiones puede causar malos olores, aun cuando su funcionamiento sea correcto.
Las aguas servidas que se introducen en los tanques Imhoff, no necesitan tratamiento preliminar, salvo el paso por una criba gruesa y la separación de las arenillas.	Bajos rendimientos en reducción de carga orgánica y abatimiento de patógenos, por lo que se precisan tratamientos posteriores.
El tiempo de retención de estas unidades es menor en comparación con las lagunas.	Escasa estabilidad frente a puntas de caudales.
Tiene un bajo costo de construcción y operación.	Generación de malos olores si no se mantienen adecuadamente.
Para su construcción se necesita poco terreno en comparación con las lagunas de estabilización.	
- Son adecuados para ciudades pequeñas y para comunidades donde no se necesite una atención constante y cuidadosa, y el efluente satisfaga ciertos requisitos para evitar la contaminación de las corrientes.	

Desengrasador o trampas de grasas

Las trampas de grasas son equipo de tratamiento de aguas residuales que, generalmente, se utilizan para separar las grasas y aceites. Su principal finalidad es la preservación del medio ambiente, evitando vertidos de aceites y grasas en el agua, siempre se utiliza para estos tipos de plantas.

que provocarían daños a la flora y fauna de los cuerpos hídricos naturales su instalación resulta también indispensable, antes de cualquier sistema de tratamiento biológico de aguas residuales y es uno de los sistemas de pretratamiento que siempre se utiliza para estos tipos de plantas.

Cuadro 5. Cuadro comparativo ventajas y desventajas Desengrasador o Trampas de grasas

Ventajas	Desventajas
Disminuye la acumulación de grasa	Complejidad en la instalación de los equipos
Controla los olores	La concentración de los contaminantes muy elevadas
Evita las obstrucciones de las líneas de drenaje	Perdidas en el proceso de desnatado
Facilita las tareas de limpieza	Exceso de materia orgánica. Excesos de grasas y aceites. Ambientes tóxicos. Malos olores.
Promueve remoción de DBO, DQO y Grasas	Problemas generales de mantenimiento y limpieza en líneas de drenajes

✓ Análisis y elección del Tanque Imhoff

La principal ventaja del tanque Imhoff es que los lodos se separan del efluente, lo que permite una sedimentación y una digestión más completa. Son un gran sistema para poblaciones pequeñas y una gran solución para acumular fangos primarios

Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente UASB

Esta tecnología proveniente de Holanda, es aplicada especialmente al tratamiento de aguas residuales con alto contenido de materia orgánica. El reactor anaerobio de flujo ascendente y manto de lodo describe un reactor de biopelícula fija sin medio de empaque o soporte, con una cámara de digestión que tiene flujo ascendente y a cierta altura se desarrolla un manto de lodos anaerobios que es altamente activa y en el cual se da la estabilización de la materia orgánica del afluente hasta CH₄ y CO₂. (Caicedo, 2006).

Cuadro 6. Cuadro comparativo ventajas y desventajas Reactor UASB

Ventajas	Desventajas
- Alta eficiencia en la remoción incluso con altas tasas de carga de materia orgánica y bajas temperaturas	- La eliminación de patógenos es baja. Tampoco se eliminan fósforo nitrógeno.
- Construcción simple y de bajo costo, con muy limitados requerimientos de equipos electromecánicos	- La puesta en marcha de un reactor anaerobio es más larga comparada con los sistemas aerobios.
- El área ocupada por los equipos es menor que en tratamiento que necesitan aireación.	- Producción de malos olores y gases tóxicos.
- Se consume menos energía al no tener que aportar oxígeno mediante una bomba. Además, no se necesita llegar a una temperatura de operación alta.	- Eliminación parcial de patógenos con la excepción de huevos de helmintos que se capturan afectivamente en el lecho del lodo.
- Se producen menos lodos porque presentan menores tasas de crecimiento celular.	- Arranque lento si no se cuenta con el inocuo adecuado se ha comprobado que para aguas residuales domésticas o municipales el reactor puede arrancarse sin inocuo, aunque en un tiempo mayor.
- El lodo producido está estabilizado y presenta buenas condiciones de deshidratabilidad.	
- No requieren tanto aporte de nutrientes.	
- Soporta periodos sin alimentación (semanas incluso meses)	
- Puede aplicarse a pequeña y gran escala	
- La producción de lodo en exceso es baja	

Lodos activos convencionales

El proceso de lodos activados es un proceso biológico conocido como bioproceso, el cual permite desarrollar una depuración de origen natural donde los microorganismos presentes en el mismo, tratan el agua contaminada y la convierten a su estado natural mediante procesos anaerobios por medio de aireación prolongada y la recirculación de fangos activos que eliminan las sustancias biodegradables disueltas en las aguas residuales.

Cuadro 7. Cuadro comparativo ventajas y desventajas Lodos Activos

Ventajas	Desventajas
Buena confiabilidad de las unidades de proceso.	Limitación de la capacidad de carga de DBO.
Tecnología más versátil y difundida en todo el mundo	Pobre distribución de la carga orgánica.
El diseño del reactor como flujo pistón permite mejorar la eficiencia y reducir el área - La aireación escalonada optimiza la distribución de aire en el reactor	Requerimiento de 4 a 8 horas como tiempo de aireación.
Simplicidad Operativa	Reacción adversa frente a variaciones extremas de la carga hidráulica, orgánica o tóxica.
Flexibilidad o Rendimiento en la Operación	Consumo de energía de los compresores mecánicos.
Facilidad para mejorar procesos	Mantenimiento de los difusores.

✓ **Análisis y Elección del Reactor UASB.**

Los países en vías de desarrollo promueven el uso de tecnologías de bajo costo para áreas urbanorurales pequeñas. Con un buen diseño del reactor pueden contrarrestarse las desventajas y aprovechar muchas de sus cualidades. El reactor UASB es un proceso económico, que disminuye apreciablemente los costos de inversión y operación de un proyecto de una planta de tratamiento que involucre este proceso.

Sin embargo, el diseño y la operación de un reactor de lodo activado generalmente requiere expertos en diseño de sistemas biológicos para monitorearlo. Es necesario que existan operadores y supervisores altamente calificados que puedan verificar la viabilidad y la eficiencia de las bacterias en el lodo para evitar alteraciones del sistema. El tiempo de retención hidráulica muy largos para lograr niveles adecuados de resultados de tratamiento. Los tanques del reactor para el proceso de lodo activado (ASP) tienden a ser bastante grandes para tratar grandes volúmenes de efluente. Esto requiere grandes áreas de tierra necesarias para su operación. Por estos motivos nos inclinamos por el reactor UASB.

Laguna facultativa

Laguna o estanque de tratamiento con una sección superior aerobia y una inferior anaerobia de modo tal que los procesos biológicos aeróbicos y anaeróbicos se produzcan en forma simultánea. Laguna de coloración verdosa cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa primaria existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables. El propósito de las lagunas facultativas es remover la DBO bajo condiciones aeróbicas, aprovechando principalmente la simbiosis entre las algas y bacterias.

Cuadro 8. Cuadro comparativo ventajas y desventajas Laguna Facultativa

Ventajas	Desventajas
Bajos costos de inversión, sobre todo si el terreno es suficientemente impermeable, y facilidad constructiva.	Para la implantación de Lagunas Facultativas y de Maduración, se precisan grandes extensiones de terreno.
Consumo energético nulo, si el agua a tratar puede llegar por gravedad a la depuradora.	Dada su estrecha dependencia de las condiciones climáticas, la implantación de este sistema de depuración puede verse limitada en zonas frías o de baja radiación solar.
Ausencia de averías mecánicas al carecer de equipos.	En el caso de las Lagunas Anaerobias se desprenden olores desagradables, que obliga a situarlas en lugares alejados de las zonas habitadas.
Escaso y simple mantenimiento, que se limita a retirar los residuos del Pretratamiento y a mantener la superficie de las Lagunas libre de flotantes, para evitar la proliferación de mosquitos.	Recuperación lenta cuando se produce el deterioro del sistema biológico.
Escasa producción de fangos, a consecuencia de los elevados tiempos de retención con los que se opera, lo que facilita enormemente su manipulación y evacuación.	Efluentes finales con sólidos en suspensión (microalgas).
Gran inercia, lo que permite una fácil adaptación a cambios de caudal y de carga orgánica.	Pérdidas de agua por evaporación.
Alto poder de abatimiento de microorganismos patógenos.	

Laguna de estabilización

Las lagunas de estabilización son simplemente tanques de dimensiones específicas, diseñadas para el tratamiento de las aguas residuales domésticas o industriales por un proceso bioquímico de purificación natural. Deben ser de forma regular, más bien rectangular, con esquinas redondeadas y, si se utiliza el proceso aeróbico, de profundidad no mayor de 1.20 m, para que puedan penetrar los rayos solares hasta el fondo, y nunca de menos de 1 m de profundidad para impedir que se produzca el crecimiento de malezas.

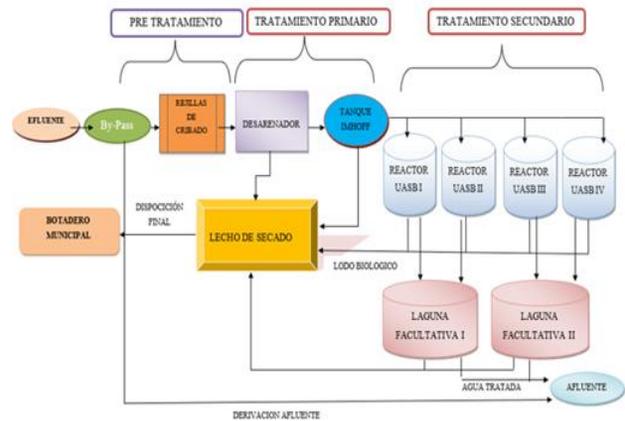
Cuadro 9. Cuadro comparativo ventajas y desventajas Laguna de Estabilización

Ventajas	Desventajas
Resistente a variaciones en el caudal y carga orgánica aplicada	Requiere de un terreno grande
Alta reducción de sólidos, DBO y patógenos	El costo de inversión puede ser muy alto, dependiendo del precio del terreno
Alta remoción de nutrientes si se combina con acuicultura	Requiere experiencia en diseño y construcción
Bajo costo de operación	El lodo requiere adecuada remoción y tratamiento
No requiere energía eléctrica	Puede generar malos olores

✓ **Análisis y elección de la Laguna Facultativa**

Conociendo ventajas y desventajas de las diferentes lagunas no inclinamos por las Lagunas Facultativas por la facilidad del terreno que se dispone y el costo de su implementación es bajo a comparación de otros sistemas de depuración por lo que es la mejor opción

Figura 1 Diagrama de flujo de la PTAR para el Municipio de Padcaya-Tarija



Conclusiones

Se caracterizaron las aguas residuales del efluente principal quebrada “Los Tacos” del Municipio de Padcaya obteniéndose resultados que superan los límites permisibles de la ley 1333 en los parámetros de DBO con 1953 mg/l, DQO con 2740 mg/l, Sólidos Suspendedos con 252 mg/l SS, Coliformes Fecales con ≥ 2400 NMP/100ml, Nitrógeno Total con 164 mg/l N - NH₄⁺, Oxígeno Disuelto con 7.54 mg/l, Aceites y Grasas con 99.7 mg/l.

Con los datos del laboratorio y el caudal del efluente, se logró las dimensiones óptimas de los equipos a implementar: Rejillas, Desarenador, Tanque Imhoff, Reactor UASB, Laguna Facultativa y Lecho de Secado.

El nivel de eficiencia de remoción con el tratamiento propuesto es: para DBO de 85%, DQO 85%, aceites y grasas 65%, sólidos totales 60%, de Coliformes Fecales de un 70%, Fósforo Total 90%, de Nitrógeno Amoniacal 40%, es decir que a la salida del sistema son aptos para su descarga y cumplen los límites máximos permisibles.

La planta de tratamiento propuesta, requiere un área aproximada de 820 m² para su implementación y pueda tratar el efluente total del agua con una eficiencia general de un 72%.

La tecnología elegida para el tratamiento de las aguas residuales del Municipio de Padcaya en su operación se limita al mantenimiento y revisión constante en cada etapa, no considerándose de difícil manejo para los trabajadores.

Referencias

- Acuatécnica S.A.S. (09 de enero de 2017). PROCESO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES URBANAS. Obtenido de <https://acuatecnica.com/https://acuatecnica.com/proceso-tratamiento-aguas-residuales-urbanas/#:~:text=Las%20aguas%20residuales%20urbanas%20son,seg%C3%BAAn%20el%20tipo%20de%20contaminaci%C3%B3n>.
- Caicedo, F. J. (2006). Diseño, construcción y arranque de un reactor U.A.S.B. piloto para el tratamiento de lixiviados. Tesis de Especialidad en Ingeniería Ambiental-Área Sanitaria.
- Cámara de Senadores. (2021). <https://web.senado.gob.bo/prensa/noticias/senado-aprueba-reconocimiento-al-municipio-de-padcaya-en-su-127-aniversario>.
- Chernicharo, C. A. (2020). Obtenido de Serie de Tratamiento Biológico de Aguas Residuales. (Vol. 4): <https://limaens.paginas.ufsc.br/files/2020/09/volume-4.pdf>.
- Cordoba, D. (8 de marzo de 2017). Tratamiento de aguas residuales. Obtenido de www.slidshare.net
- Cosaalt. (2022). https://cosaalt.org.bo/?page_id=2095.
- ELAPAS. (2003). Proyecto de agua potable y alcantarillado Sucre II. Sucre, Bolivia.
- EMAT, E. M. (2009). Gobierno Municipal de Tarija Provincia Cercado. Obtenido de <https://docplayer.es/32094812-Entidad-municipal-de-aseo-tarija-emat-2009.html>
- Ley 1333 del Medio Ambiente, N. (1992). Ley del Medio Ambiente Ley 1333. La Paz: U.P.S.
- López Torrejón, M. (2022). Alcantarillado Sanitario y Tratamiento de Aguas Residuales de Cotagaita. Potosí, Cotagaita.
- Márquez, M., & González, M. (2011). Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA's o UASB) Antología. Obtenido de Centro Tecnológico Aragón. Obtenido de https://sswm.info/sites/default/files/referencie_attachments/M%C3%81RQUEZ%20y%20MART%C3%8DNEZ%202011%20Reactores%20Anaerobios.pdf.
- McLean, R.C. (2009). "Tratamiento de Aguas Residuales de Honduras: Tratamiento Primario Mejorado Químicamente y Tecnologías Sostenibles de Tratamiento Secundario para Uso con Tanques Imhoff". Compendio de Sistemas y Tecnologías de Saneamiento.
- Mercado, A. (2013). Lagunas de estabilización. Santa Cruz de la Sierra, Santa Cruz, Bolivia: Ralcea.
- Metcalf, & Eddy. (1995). Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización (Tercera ed., Vol. 1). (J. d. Trillo, Trad.) Madrid, España
- Metcalf, & Eddy. (1996). Ingeniería de Aguas Residuales, Tratamiento, Vertido y Reutilización, volumen 1. Barcelona: McGraw Hill.
- Noyola, A. (2000). Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales. México: Subcoordinacion de Editorial y Grafica.
- OIT. (marzo de 2021). Equipos de Protección Personal (EPP). Seguridad y Salud en el Trabajo, 2-12. Obtenido de <http://www.cepb.org.bo/wp-content/uploads/2021/04/9-EQUIPOS-DE-PROTECCION-PERSONAL.pdf>

- Organización Panamericana de la Salud. (2005). Caja de herramientas de saneamiento sostenible y gestión del agua. *Publicación Mensual*, 40-51.
- Organización Panamericana. (2005). Guía para el diseño de tanque sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización. Lima: UNATSABAR.
- Orozco, A. (2005). *Bioingeniería de aguas residuales*. Bogotá: Acodal.
- Ortiz Villegas, J. C. (2021). *Ingeniería Sanitaria IV* (Vol. 1). Sucre, Sucre, Bolivia.
- Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, L. 1. (1992). Ley 1333 de Medio Ambiente. La Paz: U.P.S.
- Romero, B., & Lizet, D. (2019). Efectos de los tenso activo en el medio ambiente. *Effects of surfactants on the environment*, 1.
- Villalba, R., Dalence, G., & Rico, L. V. (2007). *Reglamentos técnicos de diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial* (3 ed.). La Paz, La Paz, Bolivia.
- Villela, diego josué robin macloni morán. (2014). *diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para eL*. Tesis de grado, 118.