

## RESUMEN

En la presente tesis de grado se realizó una evaluación de la remoción de nutrientes solubles en el agua residual proveniente del área urbana de Padcaya, provincia Arce del departamento de Tarija usando tres macrófitas (*Typha domingensis*, *Cyperus sp* y *Azolla filiculoides*) en humedales artificiales a escala piloto, con el fin de determinar cual tendría mejor eficiencia en la remoción de dichos nutrientes como así su adaptabilidad.

Para lo cual se implementaron con éxito tres humedales piloto para el tratamiento de aguas residuales domésticas procedentes de los reactores UASB. Estos humedales fueron implementados y completaron el 22 de agosto de 2022 en la comunidad de Cabildo, cerca de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). El sistema operó en modo cerrado discontinuo con un tiempo de retención de 7 días.

Mediante análisis de laboratorio se determinó las concentraciones iniciales y finales de nutrientes solubles en las aguas residuales, incluyendo Nitrógeno Total, Fósforo Total, DBO<sub>5</sub>, pH y Coliformes Fecales en dos etapas.

De los cuales se calculó las remociones obtenidas por cada humedal, teniendo:

### **Humedal 1 con la especie *Typha domingensis*:**

En la primera etapa, se lograron remociones de DBO<sub>5</sub> (75,8%), Nitrógeno Total (85,9%), Fósforo Total (76,5%), Coliformes Fecales (99,9%) y una modificación del pH (13,7%).

En la segunda etapa, se obtuvieron remociones de DBO<sub>5</sub> (82,9%), Nitrógeno Total (93,3%), Fósforo Total (32,8%), Coliformes Fecales (99,9%) y una modificación del pH (-1,2%).

### **Humedal 2 con la especie *Cyperus sp*:**

En la primera etapa, se alcanzaron remociones de DBO<sub>5</sub> (74,4%), Nitrógeno Total (88,8%), Fósforo Total (67,9%), Coliformes Fecales (99,9%) y una modificación del pH (12,5%).

En la segunda etapa, se obtuvieron remociones de DBO<sub>5</sub> (79,6%), Nitrógeno Total (93,3%), Fósforo Total (75%), Coliformes Fecales (99,9%) y una modificación del pH (-2,8%).

**Humedal 3 con la especie *Azolla filiculoides*:**

En la primera etapa, se lograron remociones de DBO<sub>5</sub> (-58%), Nitrógeno Total (75,5%), Fósforo Total (42,6%), Coliformes Fecales (99,9%) y una modificación del pH (13,2%).

En la segunda etapa, se obtuvieron remociones de DBO<sub>5</sub> (77,8%), Nitrógeno Total (83,3%), Fósforo Total (57,8%), Coliformes Fecales (99,9%) y una modificación del pH (-5,1%).

Además, se realizó un seguimiento del crecimiento y desarrollo de las plantas en los humedales, incluyendo *Typha dominguensis* (totora), *Cyperus sp* (pasto) y *Azolla filiculoides* (azola).

Los resultados muestran que del Humedal 1 como el Humedal 2 presentan remociones muy similares en la primera etapa, mientras que el Humedal 2 destaca en la segunda etapa, especialmente en la remoción de Fósforo Total. El Humedal 3 mostró remociones ligeramente menores en ambas etapas en comparación con los otros dos.

Estos hallazgos proporcionan información valiosa sobre la eficacia de los humedales en el tratamiento de aguas residuales y sugieren posibles áreas de mejora en futuros proyectos.

Los resultados finales muestran que la especie *Cyperus sp.* es más eficiente que las otras dos. En cuanto a adaptabilidad y remoción de nutrientes, destacándose su remoción de Fósforo Total.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los recursos hídricos sufren una gran degradación en todo el mundo y suponen una gran problemática debido a la contaminación que es producida por las aguas residuales domésticas, la mayoría de estas aguas son vertidas a cuerpos receptores sin ningún tipo de tratamiento, siendo los más complejos debido a su naturaleza el tratamiento secundario y terciario.

A nivel global se han desarrollado distintas alternativas de tratamiento de aguas residuales para solucionar los problemas asociados a descargas no tratadas. Sin embargo, existe limitada información acerca del funcionamiento, operatividad y mantenimiento de dichos sistemas, impidiendo que muchas ciudades puedan acceder a la información y a las experiencias exitosas sobre tratamiento de aguas residuales para ciudades con poblaciones menos de 5.000 a 10.000 personas (Gallón & Vidal Tordecilla, 2009).

En la ciudad de Padcaya la capital de la provincia Arce del departamento de Tarija no se encuentra excluida de esta problemática, debido a que la mayoría de sus aguas residuales son conducidas hacia una Planta de Tratamiento, que a causa de su ubicación geográfica fue alcanzada por una riada, con lo cual se encuentra operando parcialmente realizando el tratamiento primario y secundario, a fecha actual dejo de funcionar debido a fallas en el uso de materiales en la construcción, por tanto no se cumple con las condiciones requeridas de tratamiento, y como consecuencia esta se encuentra vertiendo aguas residuales al cauce del rio Huacanqui.

Entre las soluciones más atractivas para la realización del tratamiento terciario y remoción de nutrientes solubles, se encuentran los tratamientos que simulan los fenómenos que ocurren espontáneamente en la naturaleza. Estos sistemas se denominan tratamientos naturales de aguas residuales, entre ellos tenemos: el uso de lagunajes, sistemas de infiltración, humedales artificiales.

Actualmente, el sistema de tratamiento de humedales artificiales es cada vez más aceptado a nivel mundial y ha sido utilizado con más frecuencia en muchos países

desarrollados (ej. Alemania, Inglaterra, Francia, Dinamarca, Polonia, Italia, entre otros). Esto se debe al bajo costo de operación y mantenimiento, al mismo tiempo, que producen efluentes tratados de buena calidad (A. Arias I & Brix, 2003).

Los humedales construidos son una alternativa diferente para el tratamiento de aguas residuales, que al ser implementados han demostrado eficiencia y simplicidad en operación y mantenimiento. Debido a las ventajas constructivas y económicas de estos humedales, son una excelente opción de tratamiento de aguas residuales, especialmente para pequeñas comunidades con bajos recursos. También este tipo de humedales por ser sistemas de depuración de agua naturales son amigables con el medio ambiente y sostenibles. (García Zumalacarregui & Von Sperling, 2018)

Es indispensable la investigación e implementación de sistemas de tratamiento natural que logren una remoción aceptable de contaminantes remanentes como lo son los nutrientes solubles, y que estos sean sencillos de construir y operar, tales como los humedales artificiales, investigar las especies vegetales que logren una buena adaptación y depuración de las aguas residuales domésticas, de acuerdo a las características de la región.

## **2. JUSTIFICACIÓN.**

### **Justificación Técnica**

El tratamiento de aguas residuales domésticas usando los humedales artificiales es una tecnología que no está muy presente en nuestro país, por consiguiente no se realizaron estudios acerca de esta tecnología y del comportamiento de las plantas acuáticas locales, no se conoce cuál es la eficiencia que estas pueden lograr en el tratamiento terciario, debido a que esta puede variar de acuerdo a el tipo de efluente de las PTAR clima, región y del tipo de macrófita empleada, las experiencias aplicadas en su mayoría son exteriores, pudiendo existir plantas acuáticas que logren una mejor disminución de contaminantes y su adaptabilidad y manejo sean más adecuados a nuestra realidad.

### **Justificación Económica**

Estos sistemas son los menos costosos de construir, operar y realizar el mantenimiento respecto a otros tipos de sistemas, es una alternativa de tecnología limpia muy aplicable a pequeñas poblaciones y áreas rurales, no hay consumo de energía eléctrica y no se hace uso de insumos y/o reactivos químicos para el tratamiento, contando con un sistema inocuo por lo cual el gasto se reduce de manera significativa, también las aguas logran tener una salida de mejor calidad pudiendo ser utilizadas en la agricultura beneficiando a la población aledaña

### **Justificación Social**

Esta alternativa basada en la construcción de humedales artificiales logrará mejorar la salud pública, debido a que mediante la presente investigación se podrá dar a conocer una alternativa de tratamiento terciario para las aguas residuales provenientes de diferentes zonas que no cuenten con sistemas de tratamiento convencionales, y así mejorar la calidad de vida de la población, fuera de esto algunas especies a usar pueden ser reincorporadas para un nuevo uso como la cestería o abonos.

### **Justificación Ambiental**

A través de esta tecnología, además de depurar las aguas residuales y mitigar impactos ambientales que producen las aguas residuales domésticas. Los humedales artificiales generan un embellecimiento paisajístico en la zona por el crecimiento de las plantas macrófitas, esto atrae diferentes tipos de aves migratorias, y otros animales generándose nuevos ecosistemas. Es una tecnología limpia porque sirve de filtro, depurando aguas residuales sin la necesidad de usar productos químicos y equipos mecánicos.

## **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En la comunidad de Cabildo actualmente se cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), provenientes de la ciudad de Padcaya, la cual debido a una mala ubicación de construcción fue alcanzada por una fuerte riada consecuencia de esto se detuvo el funcionamiento normal de la misma, realizándose solo el tratamiento primario y secundario con el sistema Upflow Anaerobic Sludge Blanket- Reactor

Anaerobio de Flujo Ascendente (UASB) en dos reactores, luego de esto se identificó problemas en el uso de materiales de construcción por lo que se detuvo la operación, no contando esta con un tratamiento terciario que pueda realizar la remoción de nitrógeno, fósforo y patógenos, consiguientemente surge la necesidad poner en marcha el tratamiento terciario, cabe destacar que las comunidades aledañas a la localidad de Padcaya en su gran mayoría no cuentan con Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales y las que si cuentan con Plantas de Tratamiento se encuentran abandonadas debido a una falta de recursos económicos y ausencia de personal capacitado para operar y mantener en buen funcionamiento las mismas es primordial que se realice un tratamiento adecuado a las aguas residuales domésticas garantizando que estas puedan ser rehusadas y cumplan con condiciones adecuadas, así para evitar problemas legales y también la eutrofización de las mismas, es por ello que se propone dar solución a esta problemática realizando experimentación mediante humedales artificiales usando tres especies de macrófitas y determinando su eficiencia para la remoción de nutrientes solubles de agua residual. Estas especies de macrófitas se encuentran adaptadas a la región y pueden ser viables técnica, económica, social y ambientalmente.

#### **4.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál será la eficiencia de remoción de nutrientes solubles utilizando humedales artificiales a escala piloto con tres especies de macrófitas diferentes en aguas residuales domésticas procedentes de los reactores UASB de la Planta de Tratamiento de Cabildo?

#### **5. HIPÓTESIS**

Con la aplicación de los humedales artificiales a escala piloto se obtendrán eficiencias mayores al 30% en la remoción de nutrientes solubles del agua residual doméstica, según la especie de macrófita a usar.

#### **6. OBJETIVOS**

##### **6.1. Objetivo General**

Evaluar la eficiencia de remoción de nutrientes solubles usando tres especies de macrófitas en humedales artificiales a escala piloto, del agua residual doméstica

proveniente de los reactores UASB del área urbana de la ciudad de Padcaya, provincia Arce, con la finalidad de seleccionar la especie más adecuada para realizar el tratamiento terciario de dichas aguas.

## **6.2. Objetivos Específicos**

- Determinar mediante análisis de laboratorio la concentración inicial y final de nutrientes solubles de las aguas residuales provenientes de los reactores UASB de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales usando los parámetros de: Nitrógeno total, Fósforo total, DBO<sub>5</sub>, pH, Coliformes fecales.
- Implementar tres humedales artificiales a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de los reactores UASB con tres especies de macrófitas
- Registrar cambios de crecimiento y desarrollo de las macrófitas, durante el periodo de adaptación y puesta en marcha.
- Comparar las eficiencias de cada especie utilizada en base a los resultados obtenidos.

## **VARIABLES**

**Variable Independiente:** Remoción de nutrientes solubles en agua de las aguas de humedales artificiales a escala piloto provenientes de los dos reactores UASB.

**Variable Dependiente:** Las tres especies de plantas acuáticas a utilizar en los humedales artificiales a escala piloto.

## SIGLAS Y DEFINICIONES

SST: Sólidos suspendidos totales

SDT: Sólidos disueltos totales

NA: Nitrógeno amoniacal

NT: Nitrógeno total

DBO<sub>5</sub>: Demanda bioquímica de oxígeno

DQO: Demanda química de oxígeno

LES: Libre de escorrentía superficial

ESS: Escorrentía subsuperficial

pH: Potencial de hidrógeno

RAFA-UASB: Reactor anaerobio de flujo ascendente- Upflow Anaerobic Sludge Blanket

HFS: Humedal de flujo superficial

HHAA FSSV: Humedal horizontal de flujo subsuperficial vertical

mg/ℓ: Miligramos por litro.

NMP: Número más probable

DDT: Diclorodifeniltricloroetano

PTAR: Planta De Tratamiento De Aguas Residuales

H1: Humedal 1 (*Typha dominguensis*)

H2: Humedal 2 (*Cyperus sp*)

H3: Humedal 3 (*Azolla filiculoides*)

SENASBA: Servicio Nacional para la Sostenibilidad de Servicios en Saneamiento Básico

MPIS: Max Plank Institute System

ppm: Partes por millón

ARD: Aguas residuales domésticas