

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Dr. Pedro Cisterna Osorio

**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE
TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS DE LA
COMUNIDAD DE CANTERAS BASADO EN
HUMEDALES DE FLUJO SUB-SUPERFICIAL.**

Proyecto de Título presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
Ingeniera Civil

ROCIO VIVIAN PEÑA ALMENDRAS

Concepción 26 Septiembre, 2019

AGRADECIAMIENTO

Durante toda mi etapa universitaria he pasado por distintos procesos en mi vida, que me han llevado a un crecimiento profesional como personal. Han sido años en los que, si bien pudo haber habido alguna duda y sobre todo muy buenos momentos, tuve la suerte de contar con mi familia y excelentes amigos que he conocido a lo largo de los años, en los que me pude apoyar para poder superar el problema por el cual estaba pasando y para poder disfrutar todo lo que la vida universitaria conlleva.

Agradecer a mi familia por siempre dar su apoyo cuando lo necesité, por su cuidado y por inculcarme todo lo necesario para crecer como persona y profesional. A mis amigos con los que siempre he podido contar para las buenas y las malas, agradecer a Paulina Ulloa A. y Caroline Pinto L. quienes fueron las primeras personas que conocí en la universidad y hasta finales han seguido conmigo, a Carlos Cifuentes M, Daniel Hernández C y Víctor Crisóstomo A. por estar conmigo los últimos años universitarios compartiendo las “jaranas” universitarias, por apoyarme y cuidarme en todo momento, Camilo Daroch P., Patricia Alfaro C. , Nicool Astroza M. entre otros por esos vacaciones de verano inolvidables que nos dábamos en la laguna.

Una vez más gracias por los miles buenos momentos que me dieron en la universidad.

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN	1
Justificación del tema.	2
Alcance de la investigación.....	2
Objetivo general.	2
Objetivos específicos.	2
MARCO TEÓRICO.....	3
Implementación de humedal en Canteras.	3
Ubicación.....	3
Descripción humedales de Canteras.	4
Plantación de especie typha ssp en humedales de investigación.....	5
Agua residual.	5
Tipos de aguas residuales.	6
Características físicas.	7
Características químicas.	8
Tratamiento de aguas residuales.	8
Humedal artificial.....	9
Componentes fundamentales de un humedal artificial.....	12
Aguas residuales domésticas.	12
Sustrato.....	12
Las plantas.	13
Mecanismo de depuración.	15
Especies en estudio.....	17
Microorganismos.	18
DQO.....	20

Sólidos suspendidos.....	21
METODOLOGÍA.....	23
Crecimiento de plantas.....	23
Análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	24
Reactivos de DQO.....	24
Reactor térmico.....	25
Espectrofotómetro.....	25
Procedimiento.....	27
Análisis de Sólidos Suspendidos Totales.....	28
Filtros de fibra de vidrio.....	28
Vidrio reloj.....	28
Embudo büchner.....	29
Bomba de vacío.....	29
Erlenmeyer con tubuladura lateral.....	30
Balanza analítica.....	30
Procedimiento.....	31
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	32
Análisis de crecimiento.....	32
Eficiencia humedal de Canteras.....	33
Análisis de Sólidos Suspendidos Totales.....	35
CONCLUSIÓN.....	38
BIBLIOGRAFÍA.....	39
ANEXOS.....	40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del humedal de Canteras.....	4
Figura 2. Representación humedal artificial de flujo libre.....	10
Figura 3. Representación de humedal vertical de flujo sub-superficial..	11
Figura 4. Representación humedal horizontal de flujo sub-superficial.	11
Figura 5. Clasificación de los humedales para el tratamiento de aguas residuales según el tipo de flujo hidráulico.....	12
Figura 6. Representación de los diferentes tipos de macrófitas para humedales.....	14
Figura 7. Especies emergentes más utilizadas en depuración de aguas residuales.....	15
Figura 8. Esquema de los principales procesos de depuración que tienen lugar en un sistema de plantas emergentes.	16
Figura 9. Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas.	17
Figura 10. Reactivos para análisis de DQO.....	24
Figura 11. Reactor térmico para DQO.	25
Figura 12. Espectrofotómetro, dispositivos para analizar reactivos de DQO.....	26
Figura 13. Filtros de fibra de vidrio para realizar filtración de SST.....	28
Figura 14. Vidrio Reloj, posa filtro de fibra de vidrio.	28
Figura 15. Embudo Buchner.....	29
Figura 16. Bomba de vacío.....	29
Figura 17. Erlenmeyer con tubuladura lateral.	30
Figura 18. Balanza analítica.	30
Figura 19. Evaluación del crecimiento de planta typha spp.....	32
Figura 20. Evaluación de la Demanda Química de Oxígeno.	34

Figura 21. Evaluación de Sólidos Suspendidos Totales del efluente.....	35
Figura 22. Evaluación de dispersión de datos.	37

ANEXOS

Anexo A. Tablas de datos.....40

Tabla 1 Eficiencia semanal del Humedal Canteras con sus DQO respectivos.....40

Tabla 2 Valores obtenidos para la determinación de los SST del Afluente, según las muestras semanales del Humedal Canteras.....41

Tabla 3 Valores obtenidos para la determinación de los SST del Efluente, según las muestras semanales del Humedal Canteras.....42

Tabla 4 Porcentaje de remoción de Sólidos Suspendidos Totales.....43

Anexo B. Fotografías análisis de Sólidos Suspendidos Totales.....44

SST del Afluente.....44

SST del Efluente44

Anexo C. Fotografías semanales humedal Canteras.....44

Anexo D. Presencia de aerenquimas en espadañas.....47

Anexo E. Fotografías de crecimiento de brotes.....47

**Evaluación del funcionamiento de tratamiento de aguas servidas de la comunidad de
Canteras, basado en humedales de flujo sub-superficial.**

Autor: Rocio Vivian Peña Almendras

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío.

Correo Electrónico: ropena@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Dr. Pedro Cisterna Osorio

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío-Bío.

Correo Electrónico: pcisterna@ubiobio.cl

RESUMEN

Ésta tesis evalúa el funcionamiento de tratamiento de aguas servidas de la comunidad de Canteras basado en humedales horizontal artificiales de flujo sub-superficial, donde las aguas residuales del efluente obtenidas después del procedimiento serán utilizadas para agua de riego. Producto a su efectividad en la depuración de las aguas contaminadas, disminuyendo los niveles de material orgánicos presentes en el Afluente, el bajo costo de operación y mantención que éstas presentan, las hacen una excelente alternativa para sustituir las plantas de tratamiento convencionales en las comunidades rurales.

La evaluación se realizó en la Región del Bío-Bío, en la comunidad rural de Canteras, Quilleco, donde se realizaron dos humedales artificiales de 1850m², que prestan tratamiento a las aguas residuales domésticas de la población.

Los humedales construidos presentan cuatro componentes básicos para su funcionamiento, tales como, agua residual, material granular, material impermeabilizante y vegetación. Éste último corresponde a plantas emergentes del tipo typha ssp, donde el proceso depurador se lleva a cabo por los microorganismos por medio del transponte de oxígeno desde la atmósfera a las raíces de las plantas y un proceso de decantación de sólidos suspendidos presentes en el agua, donde el sustrato disminuye la velocidad del agua residual que entra al humedal permitiendo que el proceso de decantación sea más efectivo a lo largo del humedal.

La evaluación se basó en mediciones realizadas a dos celdas de humedales que se encuentran en Canteras, las que se encargan de tratar las aguas residuales generadas por la localidad rural evaluando la eficiencia de eliminación de la Demanda Química de Oxígeno y los Sólidos Suspendidos Totales de cada uno de los humedales se flujo sub-superficial.

Número de palabras: 272 palabras

**Evaluation of wastewater treatment performance of the Cantera community,
based on sub-surface flow wetlands.**

Author: Rocio Vivian Peña Almendras

Department of Civil and Environmental Engineering, Universidad del Bío-Bío

E-mail: ropena@alumnos.ubiobio.cl

Sponsoring Professor: Dr. Pedro Cisterna Osorio

Department of Civil and Environmental Engineering, Universidad del Bío-Bío

E-mail: pcisterna@ubiobio.cl

ABSTRACT

This thesis evaluates the wastewater treatment operation of the Canteras community based on artificial horizontal wetlands of sub-surface flow, where effluent obtained after the process will be used for irrigated water. Product to its effectiveness in the purification of contaminated waters, decreasing the levels of organic material present in the Tributary, the low cost of operation and maintenance they present, make them an excellent alternative to replacing conventional treatment plants in rural communities.

The evaluation was conducted in the Bío-Bío Region, in the rural community of Canteras, Quilleco, where two artificial wetlands were built in 1850m², treating the domestic sewage of the population.

Built wetlands have four basic components for operation, such as, wastewater, granular material, waterproofing material and vegetation. The latter corresponds to emerging plants of the ssp typha type, where the purification process is carried out by micro-organisms by means of oxygen transport from the atmosphere to plant roots and a process of decanting suspended solids present

in the wáter, where the substrate decreases the rate of waste water entering the wetland allowing the decanting process to be more effective along the wetland.

The assessment was based on measurements of two wetland cells in Canteras, those responsible for treating the wastewater generated by the rural locality by evaluating the removal efficiency of the Chemical Oxygen Demand and the Total Suspended Solids of each of the wetlands is sub-surface flow.

Number of words: 233 words.

1. INTRODUCCIÓN

Producto de las diversas actividades humanas (doméstica, ganadera, minera, industrial, etc.) se ha producido una alteración en las propiedades físicas y químicas del agua, aumentando la contaminación de las aguas, generando diferentes tipos de aguas residuales producto del tipo de actividad por la cual el agua fue contaminada. Dentro de éstas están las aguas domésticas, aguas industriales, aguas urbanas, las que, para tratarlas se construyeron plantas de tratamiento para su descontaminarlas de los agentes nocivos que adquieren durante las diferentes actividades.

Las plantas de tratamientos de aguas residuales son estructuras de gran envergadura, sistemas convencionales con un alto costo de construcción, operación y mantenimiento y que requieren de equipos y altos niveles de energía para su funcionamiento. Costos que para tratamientos de aguas residuales de comunidades urbanas son justificadas, aunque no así para zonas rurales, motivo por el cual, se buscan implementar tecnologías alternativas para la limpieza de las aguas residuales generadas por la comunidad rural.

Es así como nace la implementación de humedales artificiales de flujo sub-superficial como una tecnología alternativa de bajo costo de inversión y operación, donde las encargadas de la descontaminación de las aguas residuales son las plantas de tipo emergente, plantas semi-acuáticas que permiten el traspaso de oxígeno desde el ambiente hacia sus raíces, permitiendo el desarrollo de una capa microbiana, los que llevan a cabo la reducción de materia orgánica y por medio de la decantación que se produce a lo largo del humedal, la disminución de sólidos suspendidos existente en las aguas residuales.

1.1. Justificación del tema.

Se realizará un seguimiento del comportamiento el humedal de canteras con el objeto de evaluar si se logran los resultados esperados y como es la evolución de éste en los primeros meses de funcionamiento. Se tiene en consideración que el humedal en estudio es uno de los más grandes de Chile y el primero en servir a una comunidad APR.

1.2. Alcance de la investigación.

La investigación se realizó en el sector de Canteras en la Región del Bío-Bío, donde se encuentran dos celdas de humedales artificiales, ambas con especies de tipo typha ssp, los que sirven a la comunidad rural de la zona. Lo que se busca, es comparar el funcionamiento de ambos humedales respecto a la demanda de oxígeno y de sólidos con respecto a la evolución de las plantas de cada uno respectivamente.

1.3. Objetivo general.

- Evaluar el comportamiento del humedal y su evolución en los primeros meses de operación.

1.4. Objetivos específicos.

- Determinar crecimiento de las Españas de los humedales del sector canteras.
- Determinar eliminación de la materia orgánica en el humedal.
- Estimar la disminución de Sólidos Suspendidos Totales del agua residual.

2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se dará a conocer la definición de humedal, las componentes de éste, sus componentes y el funcionamiento que éstos presentan para tratar las aguas residuales de distintos tipos.

2.1. Instalación de humedal en Canteras.

La instalación de los humedales artificiales existentes en Canteras, nacen como una alternativa para el tratamiento de las aguas residuales domiciliarias generadas por la misma población rural de Canteras, ya que se buscaba otra forma en la que efectuara la limpieza de las aguas residuales generadas y el reemplazo de la planta de tratamientos de las aguas residuales existente antiguamente, la que se ubicaba en la misma localidad y por la cercanía que presentaba con la comunidad los olores emitidos por la PTAR eran una gran molestia para los habitantes de Canteras.

2.1.1. Ubicación

Los humedales fueron construidos en la comunidad de Canteras, perteneciente a la comuna de Quilleco, pertenecientes a la Región de Bío-Bío.

Según el sistema UTM (Universal Transversal de Mercator) correspondería 18H 764511.00 m E, 5857547.00 S.

Ubicación Humedal de Canteras vía satelital.

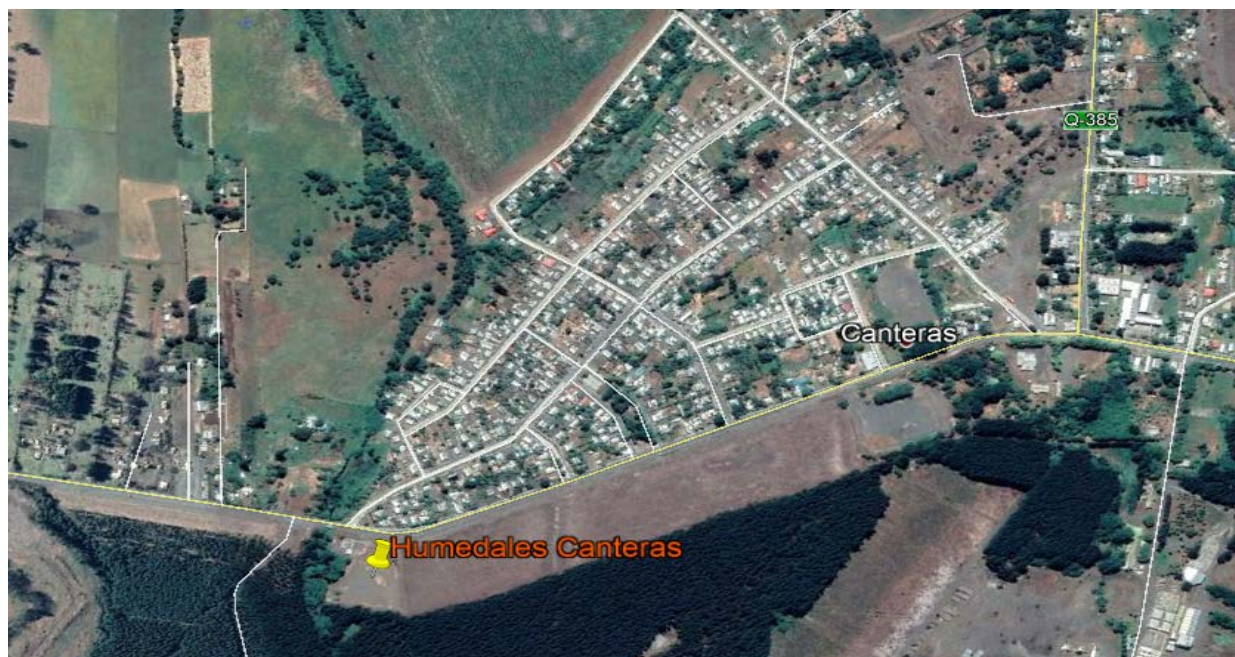


Figura 1. Ubicación del humedal de Canteras. (Fuente: Google Earth).

2.1.2. Descripción humedales de Canteras.

En el sector de Canteras se construyeron dos humedales horizontales de flujo sub-superficial, los que sirven a la mitad de la comunidad rural que posee aproximadamente 3500 habitantes. Las dimensiones de largo y ancho de ambos humedales son de 60 m. y 20 m, respectivamente, con una profundidad de 60 cm, cubierto por una capa de poliuretano de alta densidad (HDPE), que evita la filtración del flujo al suelo o napa subterránea, sobre ésta se incorpora una capa fina de arena (granulometría menos 2 mm y 5 mm de espesor) para así evitar el punzonamiento de la grava que se añadirá posteriormente, permitiendo el flujo de las aguas domesticas desde la entrada hasta la salida del humedal. Posteriormente se trasplantaron plantas de tipo *typha spp.*, específicamente espadañas separadas 1 metro una de otras.

2.1.3. Plantación de especie *typha spp.* en humedales de investigación.

Este procedimiento comienza con la extracción de los ejemplares de especie *Typha ssp.*, ya sea mediante la extracción de éstos en su estado natural, los que suelen ser canales, riachuelos, zonas cercanas a ríos, etc. esto debido a que pertenece a una especie semi-acuática, o bien se pueden obtener por medio de su compra en algún jardín botánico u otros.

La instalación de las plantas se inicia con la excavación de unos 30-40 cm de profundidad en el área del humedal compuesta de grava, a una distancia de 0,7 m entre cada ejemplar, para enterrar la raíz de la planta con cuidado para posteriormente cubrirlos con la misma grava extraída para otorgar firmeza al ésta. Este procedimiento se debe repetir a lo largo y ancho de ambos humedales donde se destinarán 1500 ejemplares para cada uno de los humedales.

2.2. Agua residual.

Las aguas residuales, debido a la gran cantidad de sustancias (algunas de ellas tóxicas) y microorganismos que portan, pueden ser causa y vehículo de contaminación, en aquellos lugares donde son evacuados sin un tratamiento previo.

Se puede definir la polución del agua como una modificación, generalmente provocada por el hombre, de la calidad del agua, haciéndola impropia y peligrosa para el consumo humano, la industria, la agricultura, la pesca, las actividades recreativas, así como para los animales domésticos y la vida natural. (Espigares García & Pérez López, 1999).

2.2.1. Tipos de aguas residuales.

Las aguas residuales se clasifican según su origen o procedencia según, Espigares García & Pérez López, (1999):

- Aguas residuales domésticas o aguas negras: proceden de las heces y orina humana, del aseo personal y de la cocina y de la limpieza de la casa. Suelen contener gran cantidad de materia orgánica y microorganismos, así como restos de jabones, detergentes, lejía y grasas.
- Aguas blancas: pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parque y lugares públicos. En aquellos lugares en que las precipitaciones atmosféricas son muy abundantes, éstas pueden de evacuarse por separado para que no saturen los sistemas de depuración.
- Aguas residuales industriales: proceden de los procesamientos realizados en fábricas y establecimientos industriales y contienen aceites, detergentes, antibióticos, ácidos y grasas y otros productos y subproductos de origen mineral, químico, vegetal o animal. Su composición es muy variable, dependiendo de las diferentes actividades industriales.
- Aguas residuales agrícolas: procedentes de las labores agrícolas en las zonas rurales. Estas aguas suelen participar, en cuanto a su origen, de las aguas urbanas que se utilizan, en numerosos lugares, para riego agrícola con o sin tratamiento previo.

De Miguel Beascochea, de Miguel Muñoz & Curt Fernández de la Mora, (2005) señalan las características que las aguas residuales deben poseer y de los tratamientos por los que estos pasan, descritos a continuación:

2.2.2. Características físicas.

- Temperatura: Suele ser un parámetro bastante uniforme a lo largo de los años (..) suele oscilar entre los 15 °C en invierno y los 20 °C en verano.
- Olor: Teóricamente, el agua residual no debería presentar olor alguno. Si se producen olores desagradables es síntoma de que los procesos de putrefacción han comenzado, ya sea por distancias o tiempo de transporte largos de las aguas residuales.
- Color: Debe ser gris con sólidos en suspensión o flotantes fácilmente reconocibles. Con el paso del tiempo el color se torna más negro y los sólidos son menos reconocibles, y se denominan en estas condiciones aguas sépticas.
- Sólidos: Los sólidos totales lo compone el residuo seco resultante de evaporar toda el agua, independientemente de su naturaleza, y son la suma de los sólidos en suspensión, aquellos que retiene el papel de filtro, y los sólidos disueltos, los que lo atraviesan. Los sólidos en suspensión se reparten, a su vez, en sedimentables, capaces de separarse del agua residual por sedimentación, y no sedimentables, los coloides.

Un agua residual urbana media presenta, aproximadamente, un 0,1% de sólidos totales. De ellos, el 80% se pueden considerar como sólidos disueltos, un 13% sólidos sedimentables y un 7 % coloides, es decir, un total de un 20% e sólidos en suspensión.

- Conductividad: La conductividad eléctrica indica el contenido en sales disueltas en el agua. El uso doméstico de las aguas suele elevar su conductividad a valores de entre 1.000 y 2.000 μ Siemens/cm. La medida de la conductividad es útil para establecer la posible infiltración de agua marina o para evaluar el uso de las aguas depuradoras en riesgo y otros usos afines.

2.2.3. Características químicas.

- Materia orgánica: La medida más habituales de materia orgánica son la Demanda Biológica de Oxígeno a los cinco días (DBO_5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO).

La DBO_5 representa la cantidad de oxígeno disuelto que se consume en un agua residual durante 5 días a 20°C por efecto de la oxidación biológica de la materia orgánica biodegradable presente en dicha agua residual. La oxidación se efectúa por los propios microorganismos presentes en el agua. Es decir, reproduce el consumo de oxígeno que se ocasionaría con ese vertido en el medio natural. Las aguas residuales urbanas presentan valores de DBO_5 que oscilan entre 100 y 300 mg/l.

La DQO estima el oxígeno necesario para oxidar químicamente toda la materia orgánica contenida en la muestra de agua. Dado que por medios químicos la oxidación es más completa que en caso anterior, los valores de DQO suelen ser mayores que los de la DBO_5 .

2.2.4. Tratamiento de aguas residuales.

Los sistemas de depuración de las aguas residuales son múltiples, pero se clasifican siempre en función del nivel de tratamiento conseguido:

- Pretratamiento: Elimina las materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento total y el funcionamiento eficiente de las maquinas, equipos e instalaciones de la estación depuradora.
- Tratamiento primario: Elimina sólo parte de los sólidos en suspensión y se haga habitualmente en tecnologías de remoción mecánica.

- Tratamiento secundario: Utiliza normalmente sistemas biológicos con microorganismos aerobios y anaerobios que descomponen la mayor parte de la materia orgánica y retienen entre un 20% y un 30 % de los nutrientes, eliminando hasta el 75% del amonio.
- Tratamiento terciario: Incluye la retención del fósforo y del nitrógeno y también la eliminación de microorganismos patógenos.

2.3. Humedal artificial.

Los humedales artificiales son sistemas diseñados y construidos para utilizar los procesos naturales relacionados con la vegetación de los humedales, los sólidos y los conjuntos microbianos asociados para ayudar en el tratamiento de aguas residuales (Vymazal, Greenway, Tonderski, Brix, & Mander, 2006). Sistemas que simulan una zona de transición entre el ambiente terrestre y el acuático, pero que son específicamente construidos para el tratamiento de aguas residuales bajo condiciones controladas de ubicación, dimensionamiento y capacidad de tratamiento (Gerba , Thurston , Falabi, Watt , & Karpiscak, 1999).

Dentro del ítem de humedales artificiales existen tres posibles tipos de humedales que pueden ser utilizadas. A continuación, se describió los tipos de humedales existentes:

– *Humedal horizontal o de flujo libre (HS):*

El agua circula en forma superficial entre los tallos de las macrófitas. En estos sistemas el agua está expuesta directamente a la atmósfera y circula preferentemente a través de los tallos y hojas de las plantas. Estos tipos de humedales se pueden entender como una modificación del lagunaje natural con una profundidad de la lámina de agua entre 0,3 y 0,5 m, y con plantas. Suelen aplicar para mejorar la calidad de efluente que ya han sido previamente tratados en una depuradora (Rabat Blanquez, 2016, pág. 9). (...) Construida sobre el terreno con algún tipo de barrera que confine el

sistema y evite filtraciones, que contienen un lecho o grava para soportar las raíces de la vegetación emergente y a través de los cuales circula el agua (Mena Sanz, 2008).

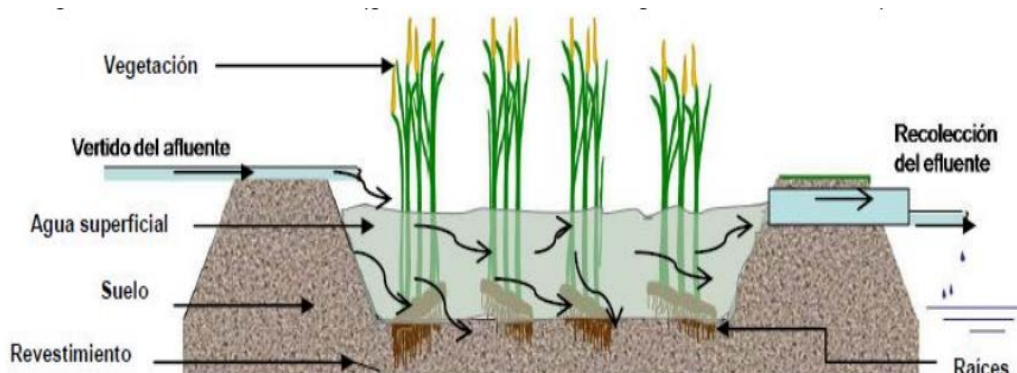


Figura 2. Representación humedal artificial de flujo libre. (Fuente: Rabat Blázquez, 2016).

– *Humedal Vertical de flujo sub-superficial (VSS)*

Los sistemas verticales con flujo subsuperficial son cargados intermitentemente. De esta forma, las condiciones de saturación con agua en la cama matriz son seguidas por periodos por periodos de insaturación, estimulando el suministro de oxígeno.

También conocidos como filtros intermitentes, este tipo de humedales reciben las aguas residuales de arriba hacia abajo, a través de un sistema de tuberías de aplicación de agua, (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010, pág. 10)

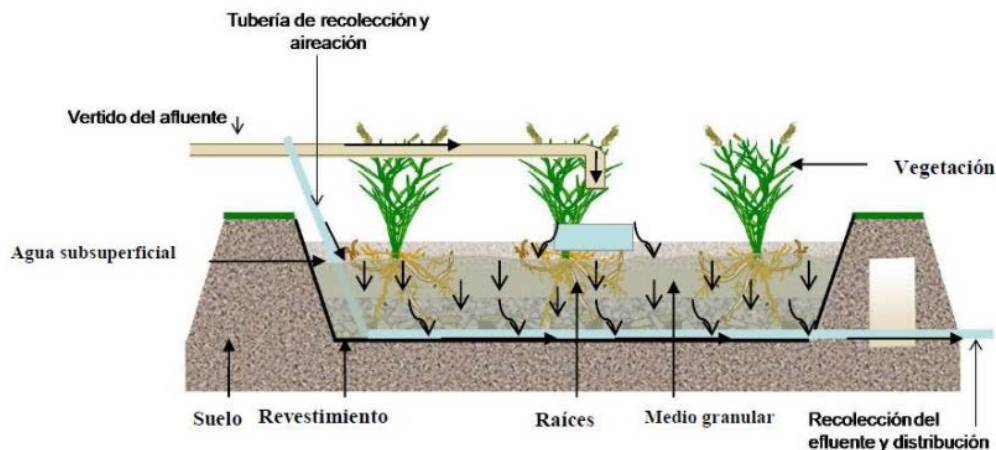


Figura 3. Representación de humedal vertical de flujo sub-superficial. (Fuente: Rabat Blázquez, 2016).

– *Humedal horizontal de flujo sub-superficial (HSS)*

El agua ingresa en forma permanente. Es aplicada en la parte superior de un extremo y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior. El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso (flujo pistón). (...). El agua residual no ingresa directamente al medio granular principal (cuerpo), sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño (Delgadillo et al., 2010, pág. 10).

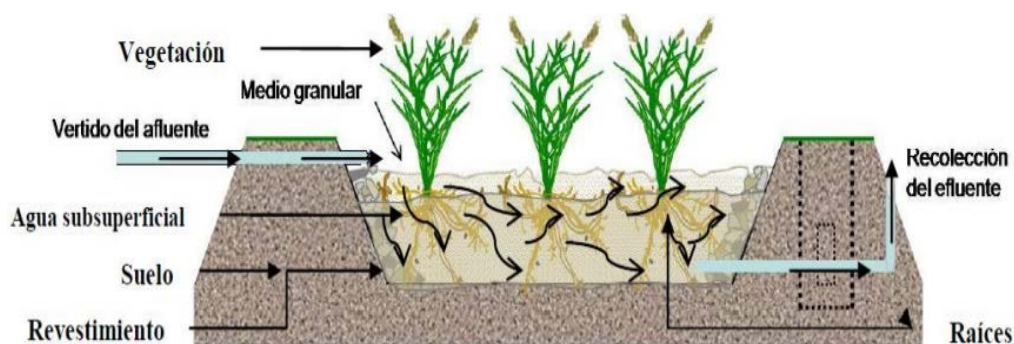


Figura 4. Representación humedal horizontal de flujo sub-superficial. (Fuente: Rabat Blázquez, 2016).

A continuación, se mostrará un diagrama en el que se muestra las combinaciones de los humedales definidos con los tipos de plantas que se describirán posteriormente.

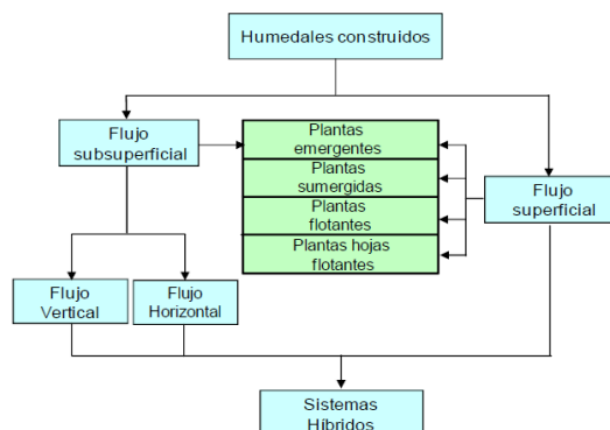


Figura 5. Clasificación de los humedales para el tratamiento de aguas residuales según el tipo de flujo hidráulico (adaptado de Vymazal, L. & Kropfelová, L. 2008)

2.4. Componentes fundamentales de un humedal artificial.

2.4.1. Aguas residuales domésticas.

Las aguas residuales domésticas son los líquidos provenientes de las viviendas o residenciales, edificios comerciales e institucionales, que afecta de alguna manera la calidad del agua de la fuente o cuerpo de agua receptor cuando contiene características que la hacen inaceptable para el uso (Rojas, 1999).

2.4.2. Sustrato.

El sustrato, corresponde al material granular presente en el humedal el que debe tener un tamaño adecuado para admitir el paso del efluente. Este material granular permite el sostén de las plantas emergentes utilizadas, permitiendo la fijación del conjunto microbiano que intervendrán en la eliminación de contaminante del agua residual que ingresa al humedal. Otra de las funciones que cumple el sustrato es de disminuir la velocidad con la que el agua ingresa al humedal permitiendo la decantación y filtración de las partículas pesadas contenidas en este material acuoso.

2.4.3. *Las plantas.*

Las plantas son organismos fotoautótrofos, es decir que recogen energía solar para transformar el carbono inorgánico en carbono orgánico. Tienen la habilidad de transferir oxígeno desde la atmósfera a través de las hojas y tallos hasta el medio donde se encuentran las raíces. Este oxígeno crea regiones aerobias donde los microorganismos utilizan el oxígeno disponible para producir diversas reacciones de degradación de la materia orgánica y nitrificación (Delgadillo et al., 2010, pág. 13).

Las plantas acuáticas utilizadas en los humedales se pueden clasificar según donde se desarrollen dentro de éste, pudiendo pertenecer a los siguientes grupos:

- Flotantes: Que son plantas que viven en la superficie del agua, tales como el “lirio acuático”, entre las más usadas.
- Emergentes: Plantas que fijan sus raíces al fondo, pero crecen lo suficiente para que sus hojas aprovechen la luz fuera del agua, como el junco. Las hidrófitas emergentes tienen la capacidad de crecer en un amplio intervalo de sustrato y en diferentes aguas residuales.
- Sumergidas: Se desarrollan exclusivamente dentro del agua como la elodea y la potamogeton (Rivas Hernández, pág. 111).

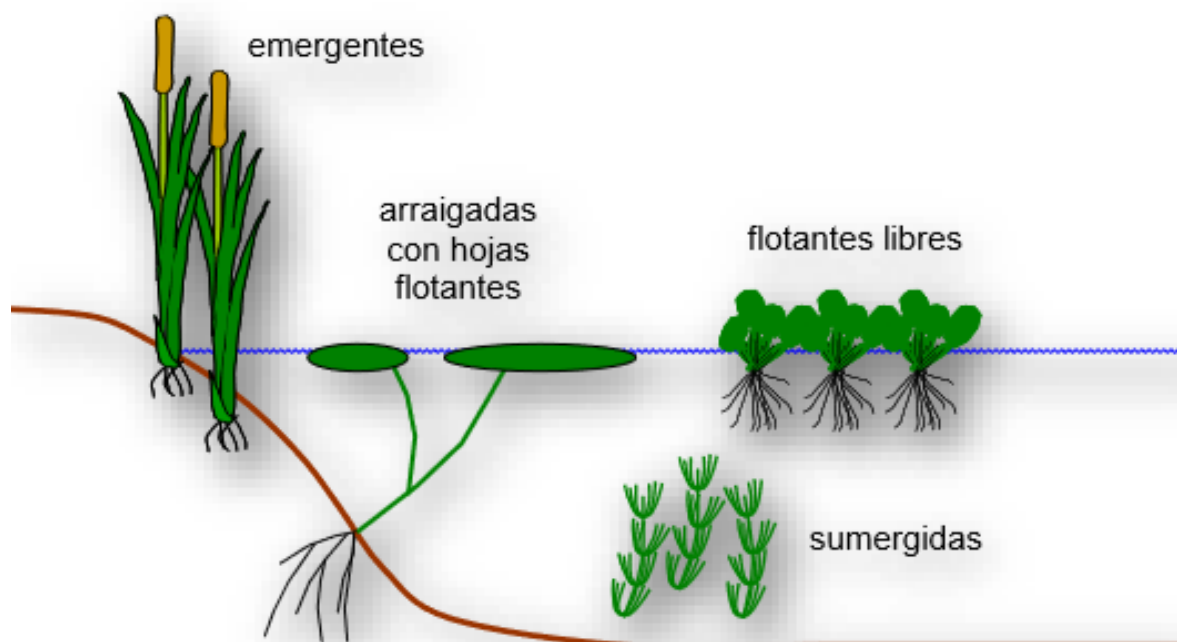


Figura 6. Representación de los diferentes tipos de macrófitas para humedales. (Fuente: Alarcón, Zurita, Lara-Borrero & Vidal, 2018.)

La vegetación empleada consta en plantas acuáticas o semi acuáticas capaces de adaptarse a las condiciones de humedad característico de humedales artificiales. Entre la diversidad de funciones que proveen, se cuentan: a) promover el asentamiento y la retención de sólidos en suspensión, b) proporcionar superficie para el desarrollo de biopelícula microbiana y c) transportar oxígeno a su zona radicular. Adicionalmente, generan una vinculación con la vida silvestre al proveer hábitats, y mejoran estéticamente los lugares donde se implantan (Morales , López , Vera , & Vidal, 2013, pág. 39).

El tipo de macrófitas utilizadas corresponde a plantas acuáticas emergentes.

FAMILIA	NOMBRE LATINO	NOMBRES COMUNES MAS USUALES
Ciperáceas	<i>Carex sp.</i> <i>Eleocharis sp.</i>	— —
Gramineas	<i>Scirpus lacustris L. (*)</i> <i>Glyceria fluitans (L.) R. Br.</i> <i>Phragmites australis (Cav.) Trin. ex Steudel (*)</i>	Junco de laguna Hierba del maná
Iridáceas	<i>Iris pseudacorus L.</i>	Carrizo Lirio amarillo, espadaña fina
Juncáceas	<i>Juncus sp.</i>	Juncos
Tifáceas	<i>Typha sp. (*)</i>	Eneas, aneas, espadañas

Figura 7. Especies emergentes más utilizadas en depuración de aguas residuales.

(Fuente: Martin Martinez, 1989).

Las plantas acuáticas emergente (carrizos, juncos, eneas, etc.) son plantas anfibias que viven en aguas poco profundas, arraigadas en el suelo, y cuyos tallos y hojas emergen fuera del agua, pudiendo llegar hasta altura de dos y tres metros. Son plantas cuyas hojas se secan en el invierno, rebrotando en primavera a partir de órganos subterráneos como los rizomas, que persisten durante el período frío (...). Por otra parte, están adaptadas para tolerar las condiciones de falta de oxígeno que se producen en un suelo encharcado, ya que poseen canales o zonas de aireación (aerénquima) que facilitan el paso del oxígeno de las hojas de las raíces (Martin Martinez, 1989, pág. 7)

2.4.3.1. Mecanismo de depuración.

Se describen los mecanismos de depuración de las plantas emergentes que se estudiarán en ésta tesis.

- Eliminación de sólidos en suspensión: Los sólidos se separan por decantación si el nivel del agua se mantiene por encima del suelo y, sobre todo, por fenómeno de filtración a través del conjunto que forma el sustrato con rizomas y raíces (Martin Martinez, 1989, pág. 8).

- Eliminación de materia orgánica: La eliminación de la materia orgánica del agua es realizada por los microorganismos que, en un sistema de plantas emergentes, tienen un desarrollo y una actividad muy elevados.

En estos procesos las plantas actúan como un sistema de aireación para el sustrato, suministrando oxígeno a las bacterias a través de los canales de aireación. De esta forma, la materia orgánica del agua es degradada de forma aeróbica por las bacterias. En las zonas más alejadas de las raíces y rizomas se pueden originar un déficit de oxígeno, produciéndose entonces un tratamiento de la materia orgánica de tipo anaerobio.

Algunos compuestos orgánicos de difícil degradación, como los fenoles, pueden ser también absorbidos por las raíces de algunas de estas plantas (Martín Martínez, 1989, pág. 9).

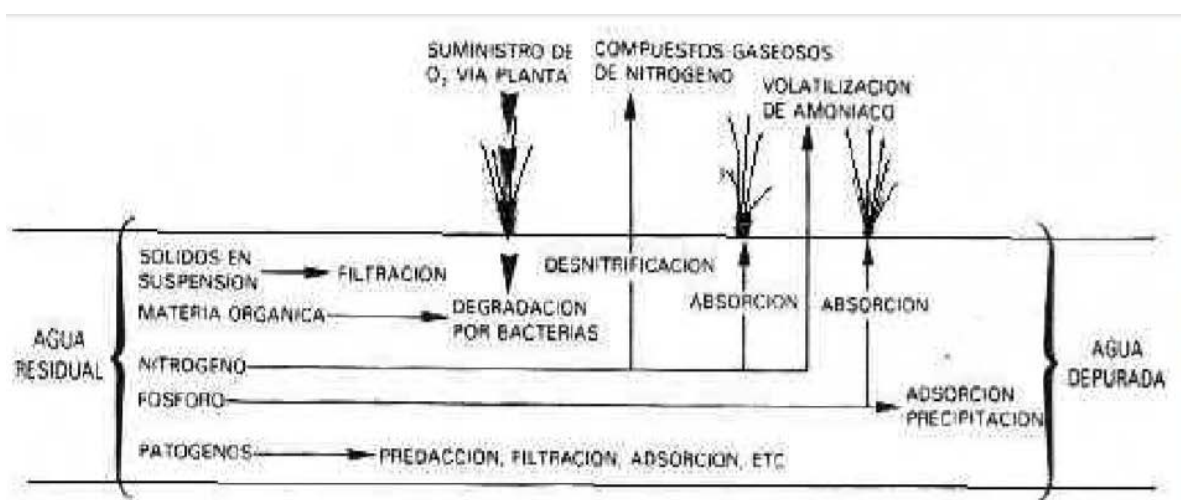


Figura 8. Esquema de los principales procesos de depuración que tienen lugar en un sistema de plantas emergentes. (Fuente: Lara-Borrero, 1999).

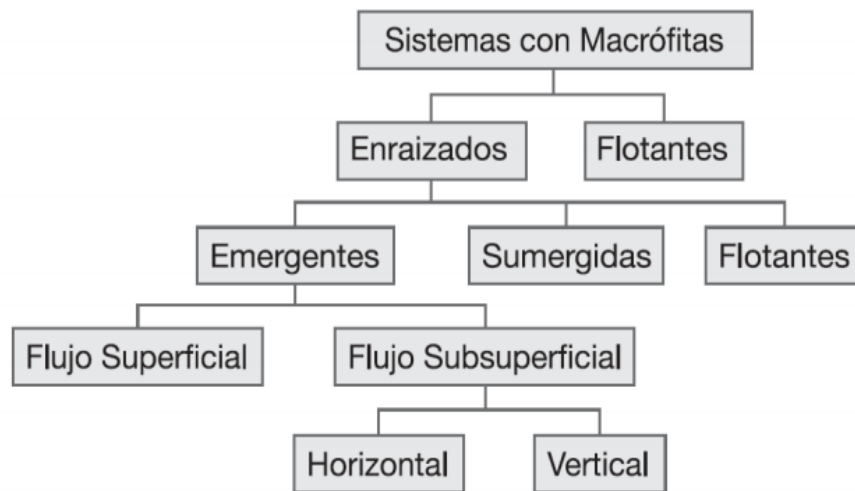


Figura 9. Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas.
(Fuente: Delgadillo et al., 2010).

2.4.3.2. Especies en estudio

Typha spp.

Corresponde a un tipo de planta helófitos, plantas emergentes. De entre todos los diversos grupos de hidrófitas, los que más importancia tienen, en el proceso de depuración en humedales son los helófitos, que tiene sus raíces hundidas en el suelo del fondo del humedal, pero que sus tallos y hojas, atraviesan la columna de agua, emergen por encima de la superficie y desarrollan las funciones propias de los vegetales (fotosíntesis, floración, reproducción, fructificación y -diseminación, entre otras) en contacto con el aire atmosférico. (Alarcón Herrera, Zurita Martínez, Lara Borrero, & Vidal, 2018).

La espadaña es ubicua en distribución, robusta, capaz de crecer bajo diversas condiciones medioambientales, y se propaga fácilmente, por lo que representa una especie de planta ideal para

un humedal artificial. También es capaz de producir una biomasa anual grande y tiene un potencial pequeño de remoción de N y P por la vía de la poda y cosecha. Los rizomas de Espadañas plantados a intervalos de aproximadamente 0,6 m pueden producir una cubierta densa en menos de un año (Lara Borrero, 1999, pág. 10).

Las helófitas más usadas en depuración son *Typha spp*, *Scirpus*, *Phragmites* y *Carex*. Si bien existen pequeñas diferencias en la eficiencia de remoción de contaminantes entre dichas especies, la recomendación es utilizar la especie de mayor adaptación y disponibilidad en el medio (Delgadillo et al., 2010).

La penetración que tienen sus raíces de la *Typha spp* en el material granular del humedal se encuentra dentro del intervalo de 30 a 40 cm.

Se ha demostrado ser una de las macrófitas más tolerables, invasoras y productivas en humedales de tratamiento de todo el mundo (Vymazal et al., 2006).

2.4.4. Microorganismos.

Los microorganismos se encargan de realizar el tratamiento biológico; en la zona superior del humedal, donde predomina el oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el oxígeno proveniente de la atmósfera, se desarrollan colonias de microorganismos aerobios, mientras que en el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaerobios. Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de materia orgánica, la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección (Alarcón Herrera et al., 2018, pág. 22).

Una característica fundamental de los humedales es que sus funciones son principalmente reguladas por los microorganismos y su metabolismo. Los microorganismos incluyen bacterias,

levaduras, hongos y protozoarios. La biomasa microbiana consume gran parte del carbono y muchos nutrientes.

La actividad microbiana:

- Transformar un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas e insolubles.
- Altera las condiciones de potencial redox del sustrato y así afecta la capacidad de proceso del humedal.
- Está involucrada en el reciclaje de nutrientes.

Algunas transformaciones microbianas son aeróbicas (es decir, requieren oxígeno libre) mientras otras son anaeróbicas (tienen lugar en ausencia de oxígeno libre). Muchas especies bacterianas son facultativas, es decir, son capaces de funcionar bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas en respuesta a los cambios en las condiciones medioambientales.

Las poblaciones microbianas se ajustan a los cambios en el agua que les llega y se pueden extender rápidamente cuando se tiene suficiente energía. Cuando las condiciones medioambientales no son convenientes, muchos microorganismos se inactivan y pueden permanecer inactivo durante años (Lara Borrero, 1999, pág. 15)

Las macrófitas poseen tejidos parenquimáticos aeríferos que transportan oxígeno desde las partes aéreas hacia las raíces, y de esta manera, la rizósfera produce un microambiente oxigenado que estimula la descomposición de materia orgánica y el crecimiento de bacterias. Al mismo tiempo, con la producción de nueva biomasa (..), se desarrolla en el fondo un lodo anaeróbico que provee las condiciones propicias para que el proceso de desmitificación se lleve a cabo (Alarcón Herrera et al., 2018, pág. 54).

Los microorganismos involucrados son dependientes del contenido de MO y oxígeno presente en las aguas, por lo tanto, al disminuir la concentración de oxígeno en el medio, disminuye o se reduce la ocurrencia de la oxidación bioquímica aeróbica de la MO.

Degradación Aeróbica (DA): la degradación de la MO es llevada a cabo por las bacterias heterotróficas aeróbicas, las cuales oxidan la MO utilizando oxígeno.

Degradación Anaeróbica (DAN): este proceso es llevada cabo por bacterias heterótrofas de tipo anaeróbica estricto o facultativo, en ausencia de oxígeno disuelto (Alarcón Herrera et al., 2018, pág. 95).

2.4.5. DQO.

La materia se puede clasificar en orgánica e inorgánica, biodegradable y no biodegradable respectivamente, medida por la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5).

La DQO estima el oxígeno necesario para oxidar químicamente toda la materia orgánica contenida en una muestra de agua, mientras que la DBO solo estima el oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica biodegradable. Dado que por medios químicos la oxidación es más completa en la DQO sus valores suelen ser mayores que los de la DBO. Para el caso de las aguas residuales urbanas la relación entre la DBO y la DQO suelen ser alrededor de 0,5, es decir, la DQO suele ser el doble de la DBO. Las aguas residuales urbanas presentan valores de DQO que oscilan entre 150 y 800 mg/l (de Miguel Beascochea et al., 2005, pág. 20).

$$\eta = \frac{DQO_a - DQO_e}{DQO_a} * 100$$

Donde:

η : Eficiencia del Humedal medida en porcentaje (%).

DQO_a : Demanda Química de Oxígeno de Afluente (entrada) medida en mg/l.

DQO_e : Demanda Química de Oxígeno del Efluente (salida) medida en mg/l.

2.4.6. Sólidos suspendidos.

Los sólidos en suspensión pueden ser de origen orgánico o inorgánico. Los materiales orgánicos tienen origen animal o vegetal. Las sustancias orgánicas siempre contienen carbono, oxígeno e hidrógeno. Las sustancias inorgánicas tienen, por otro lado, origen mineral y no suelen contener carbono.

Los sólidos en suspensión desempeñan un papel importante como contaminantes, tanto debido a la materia orgánica o inorgánica que los forman, como por los agentes patógenos que son transportados en la superficie de dichas partículas. Por ello, cuanto menor sea el tamaño de la partícula, mayor será el área superficial por unidad de masa de la partícula, y por lo tanto, mayor será la carga patógena que puede ser transportada.

En estos tipos de tratamientos de aguas residuales, la eliminación de sólidos suspendidos presenta una eficiencia superior al 85%.

Los sólidos totales o el residuo no filtrable de una muestra de agua natural o residual o doméstica, son aquellos que quedan como residuos retenidos por el filtro de fibra de vidrio después de evaporar un volumen conocido de agua, entre 103°C – 105°C. Los sólidos totales presentes en el

agua se dividen en dos fracciones, la primera de ella corresponde a los sólidos suspendido y la segunda, son los sólidos disueltos.

Los sólidos suspendidos, que pertenecen a la fracción de los sólidos totales que quedan retenida en un filtro de 1,2 μm de tamaño de poro.

Los sólidos disueltos, conciernen a la fracción de sólidos totales que pasa a través de un filtro de 1,2 μm de tamaño de poro.

Este método es aplicable a aguas potables, superficiales, y salinas, aguas residuales domésticas e industriales y lluvia ácida.

3. METODOLOGÍA

3.1. Crecimiento de plantas.

Para el registro del crecimiento de las plantas, se realizaron mediciones semanales, para establecer la evolución que éstas presentan durante periodo de estudio.

Esta evolución va a depender de ciertos parámetros como el oxígeno disuelto en el área del humedal, ya que ayudará a la remoción de materia orgánica por medio de los microorganismos.

La medición de la altura de las plantas se realizó in situ, por medio de la utilización de una huincha métrica la que se ubicará en la base de la planta para la obtención de su respectiva altura.



26 Agosto 2019



4 Septiembre 2019

3.2. Análisis de Demanda Química de Oxígeno (DQO).

El análisis de DQO del humedal sirve para determinar la eficiencia que éste presenta. Para ello se realizaron muestras semanales en el afluente y efluente de éste mismo, donde posteriormente se trasladaron al laboratorio para su posterior análisis. Los instrumentos necesarios para llevar a cabo el análisis son los siguientes:

3.2.1. Reactivos de DQO.

Reactivos para realizar DQO



Figura 10. Reactivos para análisis de DQO.

Se utilizaron reactivos de DQO HANNA Instruments certificados para realizar las mediciones.

Dado a que los niveles de DQO en la entrada del afluente y la salida del efluente varía producto del proceso de tratamiento de agua residual, existen tres rangos de reactivos que varían según la escala de aplicación. Los distintos rangos corresponden a los siguientes:

- Bajo rango: 0 a 150 mg/L de O_2 .
- Mediano rango: 0 a 1500 mg/L de O_2 o 0 a 1000 mg/L de O_2 .
- Alto rango: 0 a 15000 mg/L de O_2 .

Cabe destacar, que según el tipo de aguas residuales tratadas en el humedal se utilizaron los reactivos de mediano rango para el afluente y reactivos de bajo rango para el efluente.

3.2.2. Reactor térmico.

Para calentar las muestras, se utilizó un Reactor térmico de marca VELP científica, modelo ECO25, el que posee una capacidad de 25 tubos de ensayos. Además, cuenta con temporizador y ajuste de temperatura. Lo anterior mostrado en la siguiente imagen:



Figura 11. Reactor térmico para DQO.

3.2.3. Espectrofotómetro.

Para analizar las muestras de aguas residuales, se utilizó un espectrofotómetro que permite conseguir los valores de DQO para cada muestra obtenida en el rango deseado. Pudiendo ser de rango bajo de 0 a 150 mg/L de O_2 , de rango medio de 0 a 1500 mg/L de O_2



Figura 12. Espectrofotómetro, dispositivos para analizar reactivos de DQO.

3.2.4. Procedimiento.

- Primero se debe extraer las muestras del afluente y efluente del humedal en frascos sellados y conservarlos en refrigerador para no alterar la muestra.
- Luego se preparan las muestras “Zero” para rango bajo y medio, añadiendo con una jeringa 2 ml de agua destilada a un tubo de ensayo de reactivos de DQO para cada rango respectivamente. Además, con una jeringa se agregan 2 ml de la muestra en los reactivos de bajo y mediano rango.
- Posteriormente los tubos de ensayos preparados con el vial y el agua destilada y de la muestra, se introducen en el Reactor térmico, donde serán calentados durante 120 minutos a una temperatura de 150°C. Finalmente se espera 30 minutos antes de retirarlos.
- Una vez finalizado el tiempo en el Reactor térmico, los tubos de ensayos se retiran para dejarlos enfriar.
- Utilizando el espectrofotómetro, se selecciona el rango de la medición que se desea analizar e insertar el tubo de ensayo con la muestra “Zero” para el rango seleccionado para su posterior calibración.
- Ya calibrado según el rango escogido insertar el tubo de ensayo con la muestra para obtener el valor de DQO correspondiente para cada rango.
- Una vez obtenidos los valores de DQO de las muestras de entrada y salida se determina la eficiencia del humedal artificial.

3.3. Análisis de Sólidos Suspendedos Totales.

Para realizar el análisis de sólidos suspendidos totales que presentaron las muestras semanales de agua residual obtenidas en el humedal de Canteras, se necesitan los siguientes implementos:

3.3.1. Filtros de fibra de vidrio:



Figura 13. Filtros de fibra de vidrio para realizar filtración de SST.

3.3.2. Vidrio reloj.



Figura 14. Vidrio Reloj, posa filtro de fibra de vidrio.

El vidrio reloj está hecho preferentemente de un metal-vidrio especial que puede resistir hasta 150°C, es decir, que aguantará hasta dicha temperatura y no sobrepasará sus límites.

3.3.3. Embudo büchner.



Figura 15. Embudo Buchner.

El embudo büchner es un tipo especial de embudo utilizado para la filtración al vacío o filtración a presión asistida. En la zona superior cilíndrica del embudo existe una placa circular que posee un conjunto de perforación.

3.3.4. Bomba de vacío.



Figura 16. Bomba de vacío.

La bomba de vacío es un equipo diseñado para extraer gases del interior de recipientes, redes de tuberías o de cualquier proceso donde se requiera reducir la presión interior de un sistema, a valores inferiores a la atmosférica.

3.3.5. Erlenmeyer con tubuladura lateral.

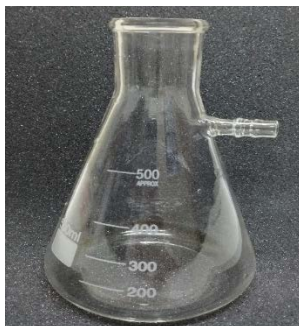


Figura 17. Erlenmeyer con tubuladura lateral.

Es un matraz de Erlenmeyer con la particularidad de contar con un tubo de desprendimiento o tubuladura lateral. Es utilizado para realizar experimentos con agua tales como, destilación, recolección de gases, filtraciones al vacío y otros procesos.

3.3.6. Balanza analítica.



Figura 18. Balanza analítica.

La balanza analítica es una clase de balanza utilizada principalmente para medir pequeñas masas.

Ofrece valores de precisión de lectura de 0,1 μg a 0,1 mg.

3.3.7. Procedimiento.

- Obtención de SST
 1. Secar el filtro en un horno de secado a 103°C – 105°C durante 1 hora. Dejar enfriar a temperatura ambiente y pesar en la balanza analítica posteriormente.
 2. Filtrar una muestra de 100ml usando la bomba de vacío. Usando el filtro preparado en el paso anterior.
 3. Poner cada filtro en su propio vidrio reloj y secar cada uno en un horno a una temperatura de 105°C por 1 hora. Enfriar los filtros
 4. pesarlos. Repetir este paso hasta obtener el peso promedio de SST.
- Calcular los SST

$$SST = \frac{(A-B)}{Vol} \times 1000$$

Donde:

A = Peso después de filtrar en mg.

B = Peso antes de filtrar en mg.

Vol = Volumen de la muestra de agua en ml.

SST = Sólidos suspendidos totales en mg/L.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Análisis de crecimiento.

Durante el periodo de cuatro meses en los que se evaluó el crecimiento de las espadañas presentes en el humedal, se observó poco crecimiento a lo largo de este tiempo hasta que su crecimiento fue nulo. Lo anterior debido a que las espadañas fueron trasplantadas a comienzos del mes de febrero por lo que tuvieron su tiempo de adaptación entrando rápidamente en su periodo de hibernación que se produce en otoño e invierno donde con las bajas temperaturas y los cortos periodos de luz.

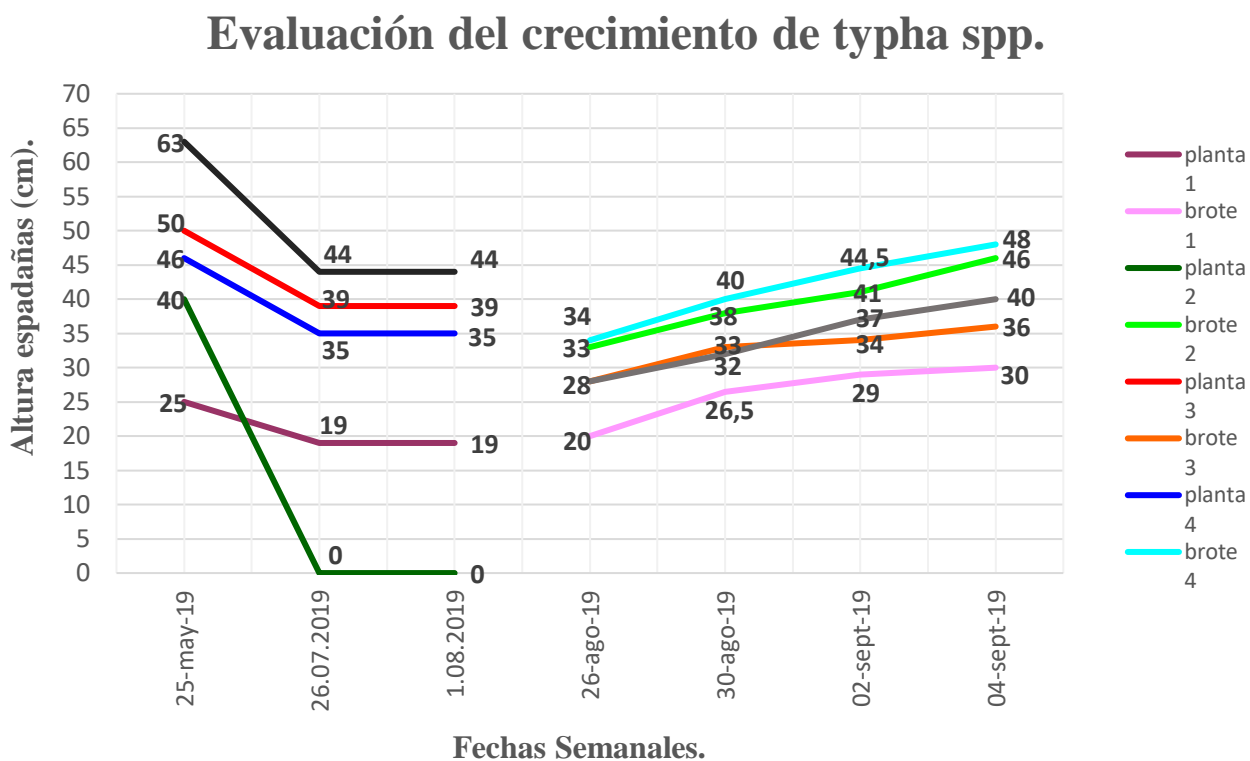


Figura 19. Evaluación del crecimiento de planta typha spp.

Se midió la altura de los brotes de 5 plantas, las que presentaron un crecimiento promedio de 1,2 cm al día y el rango de crecimiento varía entre 1 (cm.) a 1,4 (cm.) al día.

4.2. Eficiencia humedal de Canteras.

Se obtiene la eficiencia que entrega el humedal de canteras, por medio de la obtención de los resultados de DQO obtenidos una vez analizadas las muestras semanales. Al realizar el análisis se obtuvo una diferencia entre el DQO de entrada y el DQO de salida del humedal, ésta diferencia representa la reducción de materia orgánica que presenta el agua residual mientras permanece en el humedal.

Los resultados de la eficiencia que presenta el humedal de Canteras al paso del tiempo, queda representado en el siguiente gráfico:

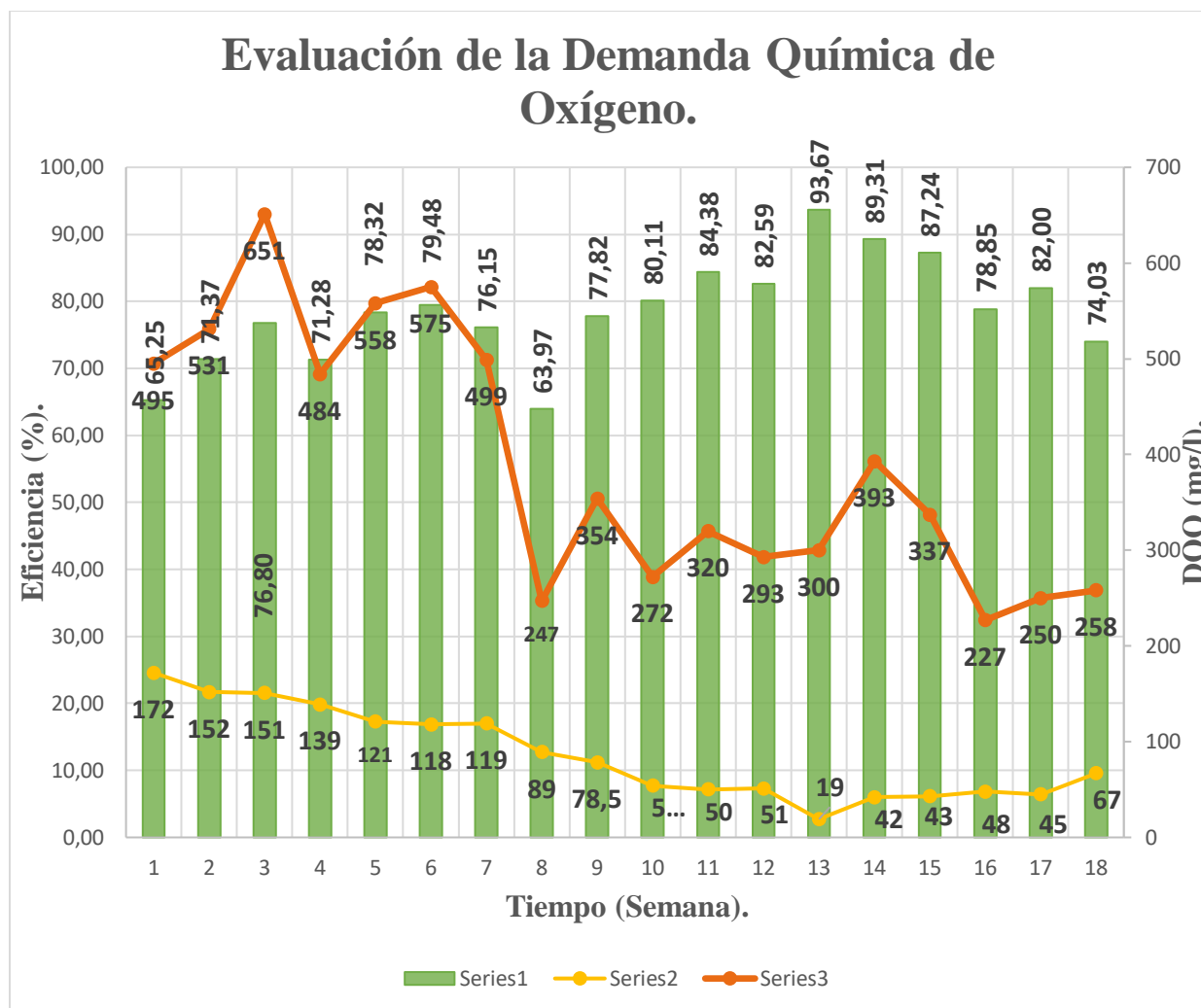


Figura 20. Evaluación de la Demanda Química de Oxígeno.

Por medio de los resultados obtenidos, se valida la implementación de humedales como alternativa para la planta de tratamiento de aguas residuales, lo anterior se identifica por el porcentaje de eficiencia que presenta el humedal; se alcanzan valores entre el 60% y el 94%, donde en promedio las aguas presentan un 78% de remoción promedio de materia orgánica, obteniendo una mayor eficiencia del 93% en la décimo tercera semana de estudio.

4.3. Análisis de Sólidos Suspendedos Totales.

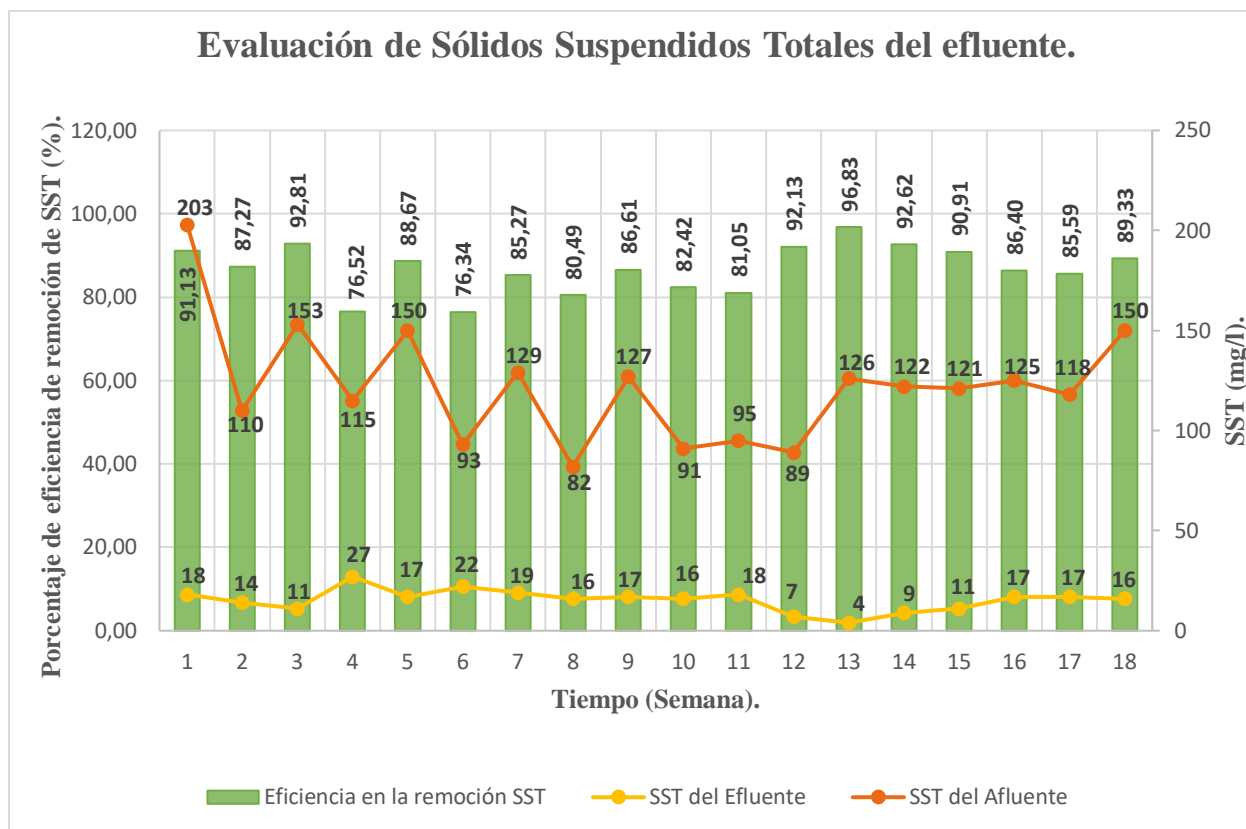


Figura 21. Evaluación de Sólidos Suspendedos Totales del efluente.

De acuerdo a los análisis de sólidos suspendidos totales realizados al agua residual del humedal de Canteras semanalmente, y según los resultados obtenidos y representados en el gráfico (Figura 18), se determina la eficacia en la remoción de sólidos suspendidos generada en la zona de estudio. Con respecto a la eficiencia, se puede decir los excelentes resultados que éste posee debido al gran porcentaje de remoción de SST que se produce en el interior del humedal, obteniendo resultados sobre el 75% de eficiencia. Los mayores valores de eficiencia producidos en las semanas de análisis se produjeron en la décima tercera semana donde se obtuvo una eficiencia del 96%, en que los SST de Afluencia fueron de 126 (mg/l) disminuyendo a 4 (mg/l) en el Efluente, seguidos por la tercera y décimo primera semana, donde se alcanzan valores del 92% de remoción de SST,

donde los valores de SST del Afluente corresponden al 153 (mg/l) y de 89 (mg/l) respectivamente, en los que se produce una disminución alcanzando SST del Efluente de 11 (mg/l) y de 7 (mg/l) respectivamente, siendo estos últimos los menores valores de sólidos en el efluente.

Si bien en el Afluente la cantidad de sólidos es grande para una zona rural, estos se ven disminuidos en gran medida, donde dos de las muestras semanales presentan valores de SST entre 30 (mg/l) y 20 (mg/l) y el resto de las muestras presentan una concentración menor a 20 (mg/l) en el Efluente.

Se calculó el valor porcentual promedio del resultado de las remociones obtenidas semanalmente, la cual se obtuvo una eficiencia promedio de remoción de SST del 86%. En los que cuatro semanas presentaron un porcentaje de remoción de sólidos mayor al 90%, siete muestras presentan una disminución en su concentración de SST entre el rango del 90% - 80% de eficiencia y dos semanas en los que la eficiencia varió entre el 80% y 75%.

La sedimentación producida en el interior del humedal se ve favorecida por la baja velocidad del flujo que es alcanzado por la obstrucción que produce el sustrato utilizado al agua residual al comenzar a infiltrarse al comienzo del humedal.

A continuación se incorporó un gráfico de caja y bigote para la eficiencias de las variables de DQO y SST para visualizar de mejor forma la dispersión y simetría de los datos.

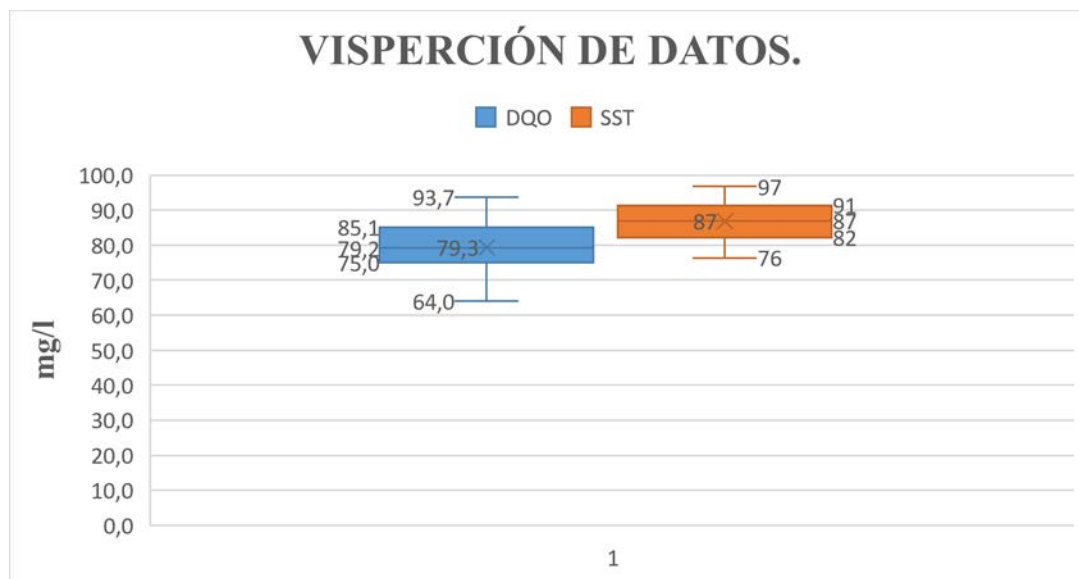


Figura 22. Evaluación de dispersión de datos.

A partir del gráfico anterior se puede medir la dispersión de las variables de DQO y SST, de las que se obtuvo una mayor dispersión en los datos de eficiencia semanal de la variable de DQO con respecto a la de SST, esto con relación a la amplitud del rango de DQO, donde se observa una mayor longitud entre el dato de menor y mayor valor. Al contrario, con las eficiencias semanales de SST, donde presenta una menor longitud entre sus datos, quedando representado en la amplitud del bigote de esta variable, él que muestra una mayor concentración de datos.

5. CONCLUSIÓN

Durante los últimos 10 días de evaluación en que la temperatura ha sido mayor, los brotes presentaron crecimiento promedio de 1,2 (cm.).

La remoción de los SST presentes en el afluente del humedal es la esperada para la tecnología, alcanzando una remoción de SST media de 86,8%, un valor máximo del 96,8% en la eficiencia de remoción, y un mínimo de 76,34%.

La eficiencia promedio de remoción de DQO fue un 78,5%, partiendo inicialmente con un valor 63,97% y llegando a un 93,67%, incremento que se debe al nivel de desarrollo progresivo de las plantas

Para finalizar se establece que los resultados y las evaluaciones esperadas en los primeros meses son completamente satisfactorias, debido al buen funcionamiento que este humedal ha presentado. Por lo que se recomienda el uso y el aumento de esta tecnología como alternativa a las plantas de tratamiento para comunidades rurales.

6. BIBLIOGRAFÍA

(s.f.).

Alarcón Herrera, M. T., Zurita Martínez, F., Lara Borrero, J., & Vidal, G. (2018). *Humedal de tratamientos; alternativa de saneamiento de aguas residuales*. Bogotá.

de Miguel Beascochea, E., de Miguel Muñoz, J., Curt Fernández de la Mora, M., & Fernández González, J. (2005). *Manual de Fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*. Madrid.

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba.

Espigares García, M., & Pérez López, J. (1999). *Aguas Residuales Composición. en estudio Sanitario del agua*. Granada.

Gerba, C., Thurston, J., Falabi, J., Watt, P., & Karpiscak, M. (1999). *Optimization of artificial wetlands design for removal of indicator microorganisms and pathogenic protozoa*.

hoffmann, h., Platzer, C., Von Muench, E., & Winker, M. (2011). *Tecnology review of constructed wetlands. subsurface slow for greywater and domestic wastewater treatment*.

Lara Borrero, J. (1999). *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*. Barcelona.

Martin Martínez, I. (1989). *Depuración de aguas con plantas emergentes*. Madrid.

Mena Sanz, J. (2008). *Depuración de aguas residuales con humedales artificiales. Ventajas de los sistemas híbridos*. CONAMA.

Morales, G., López, D., Vera, I., & Vidal, G. (2013). *Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidas en aguas servidas*. Concepción.

Rabat Blanquez, J. (2016). *Análisis de los modelos de diseños de los sistemas naturales de depuración*.

Reactivos Certificados de DQO. (s.f.). obtenido de hanna Instruments. Obtenido de <http://www.hannachile.com/productos/producto/1129>

Rivas Hernández, A. (s.f.). *Humedales Introducción a la tecnología*.

Vymazal, J., Greenway, M., Tonderski, K., Brix, H., & Mander, U. (2006). *Wetlands and Natural Resource Management*.

7. ANEXOS

Anexo A. Tablas de datos

Tabla 1

Eficiencia semanal del Humedal Canteras con sus DQO respectivos.

Semana	Afluente (mg/l)	Efluente (mg/l)	Eficiencia (%)
1	495	172	65,25
2	531	152	71,37
3	651	151	76,8
4	484	139	71,28
5	558	121	78,32
6	575	118	79,48
7	499	119	76,15
8	247	89	63,97
9	354	78,5	77,82
10	272	54,1	80,11
11	320	50	84,38
12	293	51	82,59
13	300	19	93,67
14	393	42	89,31
15	337	43	87,24
16	227	48	78,85
17	250	45	82,00
18	258	67	74,03

Tabla 2

Valores obtenidos para la determinación de los SST del Afluente, según las muestras semanales del Humedal Canteras.

Semana	B (mg/l)	A (mg/l)	V. muestra (ml)	SST (mg/l)
1	51636,1	51656,4	100	203
2	49687,3	49705,1	100	178
3	47738,5	47753,8	100	153
4	47096,7	47108,2	100	115
5	50469,4	50484,4	100	150
6	50995,1	51004,4	100	93
7	47013,7	47026,6	100	129
8	48169,2	48177,4	100	82
9	50782,3	50795,0	100	127
10	50955,4	50964,4	100	91
11	50857,34	508664	100	90
12	50759,3	50768,2	100	89
13	46971,0	46983,6	100	126
14	446985,5	46997,7	100	122
15	50397,8	50409,9	100	121
16	52634,1	51646,6	100	125
17	47109,1	47120,9	100	118
18	50398,8	50413,8	100	150

Tabla 3

Valores obtenidos para la determinación de los SST del Efluente, según las muestras semanales del Humedal Canteras.

Semana	B (mg/l)	A (mg/l)	V. muestra (ml)	SST (mg/l)
1	47015,7	47017,5	100	18
2	48682	48683,4	100	14
3	50348,2	50349,3	100	11
4	50466,9	50469,6	100	27
5	48168,6	48170,3	100	17
6	47104,5	47106,7	100	22
7	47751,2	47752,1	100	19
8	47142,6	47144,2	100	16
9	50775,2	50776,9	100	17
10	51664,7	51666,3	100	16
11	50986,6	50987,8	100	12
12	50308,5	50309,2	100	7
13	47683,3	47683,7	100	4
14	50744,3	50745,2	100	9
15	50945,2	50946,3	100	11
16	47072,2	47073,9	100	17
17	49136,5	48138,2	100	17
18	50288,2	50289,8	100	16

Tabla 4
Porcentaje de remoción de Sólidos Suspendidos Totales.

Semana	SST Afluente (mg/l)	SST Efluente (mg/l)	Remoción (%)
1	203	18	91,13
2	110	14	87,27
3	153	11	92,81
4	115	27	76,52
5	150	17	88,67
6	93	22	76,34
7	129	19	85,27
8	82	16	80,49
9	127	17	86,61
10	91	16	82,42
11	95	18	81,05
12	89	7	92,13
13	126	4	96,83
14	122	9	92,62
15	121	11	90,91
16	125	17	86,40
17	118	17	85,59
18	150	16	89,33

Anexo B. Fotografías análisis de Sólidos Suspendedos Totales

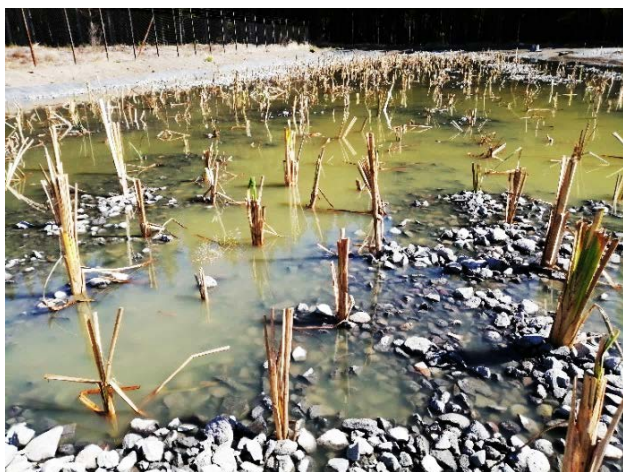


SST del Afluente



SST del Efluente

Anexo C. Fotografías semanales humedal Canteras



Semana 1



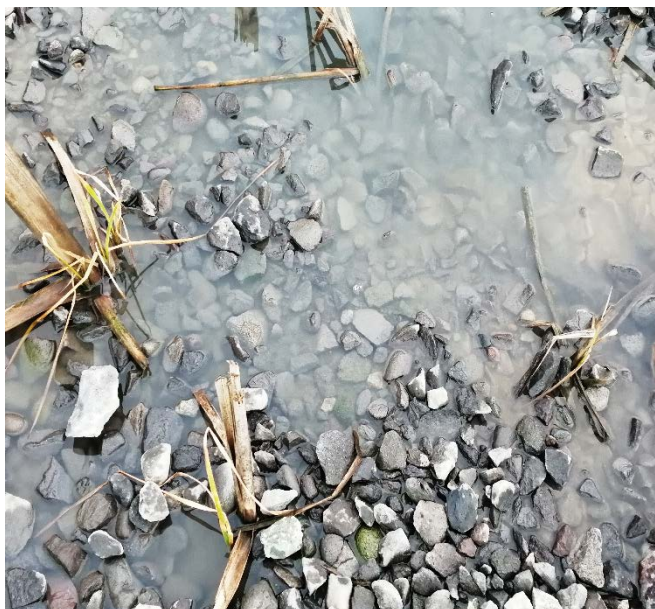
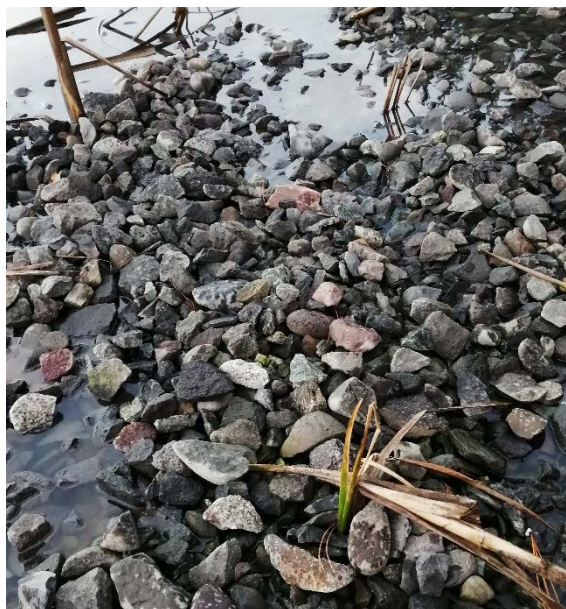
Semana 2



Semana 6



Semana 10



Semana 14



Semana 17

Anexo D. Presencia de arenquimas en espadañas



Anexo E. Fotografías de crecimiento de brotes.



26 Agosto 2019



4 Septiembre 2019



26 Agosto 2019



4 Septiembre 2019