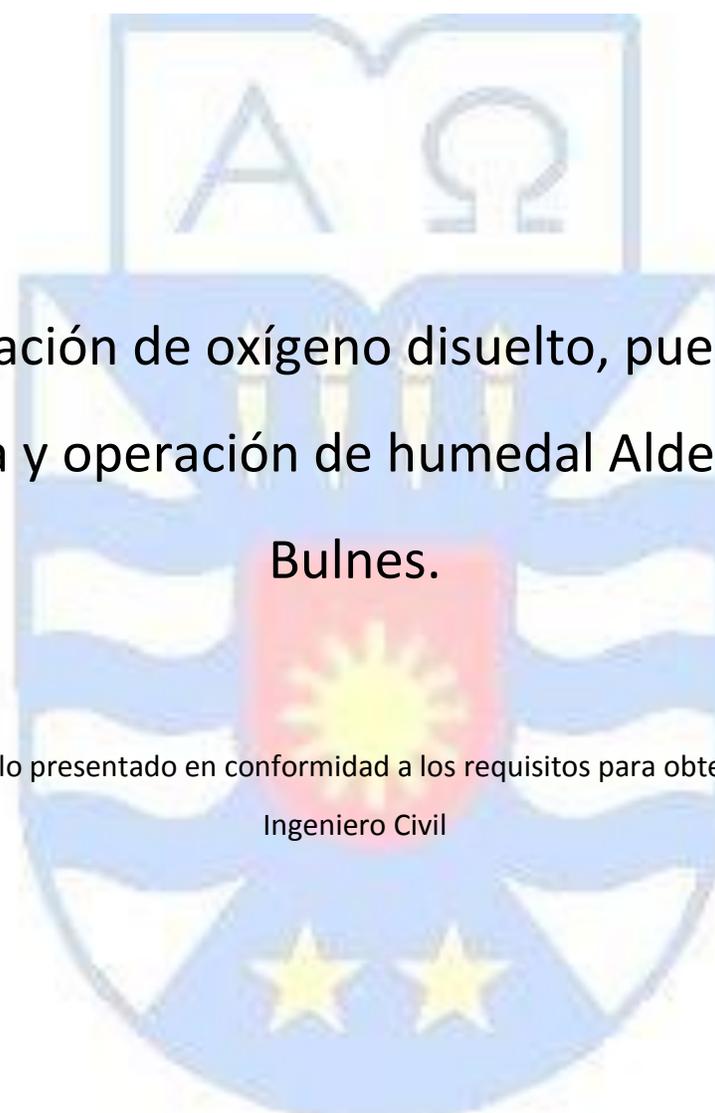


UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Ing. Pedro Cisterna Osorio.



Evaluación de oxígeno disuelto, puesta en
marcha y operación de humedal Aldea S.O.S
Bulnes.

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

NATALIA DEL CARMEN HENRÍQUEZ DURÁN

Concepción, Diciembre 2016

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	4
1. Introducción.....	6
1.1 Justificación.....	7
1.2 Alcance de la investigación.....	7
1.3 Objetivo general.....	8
1.4 Objetivos específicos.....	8
2. Información preliminar.....	9
2.1 Ubicación.....	9
2.2 Descripción de un humedal artificial.....	9
2.3 Descripción de Humedal Bulnes.....	10
2.4 Componentes del humedal artificial de flujo sub superficial.....	11
2.4.1 El Agua.....	11
2.4.2 Vegetación.....	12
2.4.3 Los Microorganismos.....	12
2.4.4 Oxígeno.....	13
2.4.5 Temperatura.....	13
2.4.6 Remoción de materia orgánica.....	14
2.5 Demanda química de oxígeno (DQO).....	14
3. Metodología.....	15
3.1 Sistema de toma de datos.....	15
3.1.1 Zonificación.....	15
3.1.2 Perfiles longitudinales y transversales.....	16
3.1.3 Consideraciones en el diseño.....	17
3.1.4 Dispositivo para la toma de datos en terreno.....	17
3.2 Proceso constructivo e instalación de tubos.....	18
3.3 Equipo de medición de oxígeno disuelto.....	18
3.3.1 Operación de la sonda.....	18
3.4 Análisis de Demanda Química de oxígeno (DQO).....	19
3.4.1 Reactivos DQO.....	19
3.4.2 Reactor térmico.....	20
3.4.3 Fotómetro.....	20
4. Análisis de resultados.....	21
4.1 Oxígeno Disuelto.....	21
4.1.1 Perfil Longitudinal de oxígeno disuelto.....	21
4.1.2 Perfil transversal de oxígeno disuelto.....	23
4.2 Temperatura.....	23
4.2.1 Perfil transversal de temperatura.....	23
4.2.2 Perfil longitudinal de temperatura.....	24
4.3 Demanda química de oxígeno (DQO).....	24
4.3.1 Perfil DQO afluente versus efluente.....	24
4.3.2 Porcentaje de remoción.....	25
5. Conclusiones.....	26

Índice de figuras

Figura 1. Ubicación Aldea S.O.S. Tres Esquinas.	9
Figura 2. Aplicación de un humedal HFSS para tratamiento de aguas residuales domésticas.....	10
Figura 3. Esquema de un humedal HFSS.....	10
Figura 4. Vista en planta humedal Aldea S.O.S. Tres Esquinas.....	11
Figura 5. Corte longitudinal A-A de figura 5.....	11
Figura 6. Espadaña humedal Aldea SOS Bulnes.....	12
Figura 7. Esquema de humedal Aldea SOS Bulnes con dimensiones y asignación de las zonas determinadas para la toma de datos.....	15
Figura 8. Esquema de zonificación por población de plantas.	16
Figura 9. Esquema de asignación de ejes longitudinales y transversales.....	16
Figura 10. (a) Diseño del flujo de agua del dispositivo de medición.....	17
(b) Tubos de PVC interno y externo.....	17
(c) Dispositivo inserto en humedal Bulnes.....	17
Figura 11. Perfil Transversal tubos en terreno.....	18
Figura 12. Medidor de oxígeno disuelto HI98193.....	18
Figura 13. Reactivos marca HANNA HI 93754A-25 y HI 93754B-25.....	19
Figura 14. Reactor térmico.....	20
Figura 15. Fotómetro.....	20
Figura 16. Perfil Oxígeno correspondiente a la primera semana de mediciones.....	21
Figura 17. Perfil Oxígeno correspondiente a la quinta semana de mediciones.	21
Figura 18. Perfil Oxígeno correspondiente a la sexta semana de mediciones.	21
Figura 19. Perfil Oxígeno correspondiente a la séptima semana de mediciones.	22
Figura 20. Perfil Oxígeno correspondiente a la octava semana de mediciones.....	22
Figura 21. Perfil transversal de oxígeno disuelto.....	23
Figura 22. Perfil transversal de temperatura.....	23
Figura 23. Perfil transversal de temperatura.....	24
Figura 24. DQO entrada versus salida para cada semana de estudio.....	24
Figura 25. Porcentaje de remoción para cada semana de estudio.....	25

Evaluación de oxígeno disuelto, puesta en marcha y operación de humedal Aldea S.O.S Bulnes.

Autor: Natalia Del Carmen Henríquez Durán

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

Correo Electrónico: nhenrig@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Ing. Pedro Cisterna Osorio

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

Electrónico: pcisterna@ubiobio.cl

RESUMEN

Esta investigación se desarrolla en el marco de la construcción de un humedal de flujo subsuperficial como sistema de tratamiento para las aguas residuales de la Aldea SOS en Tres Esquinas, comuna de Bulnes. Los humedales artificiales son una solución cada vez más utilizada debido a su bajo costo de inversión, operación y mantenimiento, en comparación con los sistemas convencionales.

El siguiente estudio trata sobre el comportamiento y niveles de oxígeno disuelto en el humedal, esto debido a que las colonias de microorganismos aerobios que se desarrollan en la biopelícula, que son los encargados de realizar el tratamiento biológico, utilizan el oxígeno para la degradación aeróbica de la materia orgánica.

Además se realizó una plantación diferenciada, por lo que se verificó que la densidad de vegetación en el humedal afecta directamente los niveles de oxígeno disuelto.

Y además se vincularon las eficiencias de remoción de carga orgánica medida en por la demanda química de oxígeno, con las mediciones de oxígeno en el humedal.

Palabras claves: Humedal artificial, oxígeno disuelto y remoción de materia orgánica.

Número de palabras: 174

5049Palabras Texto + 25 Tablas/Figuras*250 = 11299

Evaluation of dissolved oxygen, start-up and operation of wetland Aldea SOS Bulnes.

Author: Natalia Del Carmen Henríquez Durán

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bio Bio.

Email: nhenriq@alumnos.ubiobio.cl

Professor Sponsor: Ing. Pedro Osorio Cisterna

Department of Civil and Environmental Engineering, University of Bio Bio.

Email: pcisterna@ubiobio.cl

ABSTRACT

This research is developed within the framework of the construction of a subsurface flow wetland as a treatment system for the wastewater of the SOS Village in Tres Esquinas, commune of Bulnes. Artificial wetlands are an increasingly used solution due to their low investment, operation and maintenance costs compared to conventional systems.

The following study deals with the behavior and levels of dissolved oxygen in the wetland, because the colonies of aerobic microorganisms that develop in the biofilm, which are in charge of performing the biological treatment, use oxygen for the aerobic degradation of the organic matter.

In addition, a differentiated plantation was carried out, so it was verified that the density of vegetation in the wetland directly affects dissolved oxygen levels.

In addition, the organic load removal efficiencies measured were measured by chemical oxygen demand, with measurements of oxygen in the wetland.

1. INTRODUCCIÓN.

Esta investigación se desarrolla en el marco de la construcción de un humedal artificial con flujo subsuperficial para tratar las aguas residuales en la Aldea S.O.S Tres Esquinas, comuna de Bulnes.

Llamamos aguas residuales a los líquidos procedentes de la actividad humana, que llevan en su composición gran parte de agua, y que generalmente son vertidos a cursos o a masas de agua continentales o marinas (Seoánez, 1999)

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales habituales, están enfocados a las poblaciones de mayor densidad demográfica, privilegiando la implementación de plantas de lodos activos y en el borde costero emisarios submarinos. Estos sistemas son costosos e injustificados de ejecutar en ciudades pequeñas o comunidades rurales. Frente a esta problemática, el tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales es mucho más efectivo.

La depuración de aguas residuales en estos sistemas se presenta en lo fundamental debido a procesos biológicos asociados a las raíces de las plantas y el medio granular (Kadlec & Knight, 1996). Por tanto contar con elementos de criterio de diseño que permitan entender el comportamiento de los humedales artificiales, es un factor relevante en la selección e implementación de tecnologías alternativas para el tratamiento de las aguas residuales (Montoya, Ceballos, Casas, & Morató, 2010).

En lo referente al humedal construido, las aguas a tratar están destinadas a permanecer debajo de la superficie y circular a través de las raíces y rizomas de las plantas. Debido a que el agua no está expuesta durante el proceso de tratamiento, el riesgo asociado con la exposición de organismos patógenos a humanos y animales se minimiza (Kadlec & Wallace, Treatments wetlands, 2009).

En este estudio se busca analizar el oxígeno disuelto remanente, aportado por la vegetación, y además realizar un seguimiento y control del humedal evaluando los niveles de remoción de nutrientes en el agua residual tratada.

1.1 Justificación.

En los humedales artificiales, son los microorganismos los encargados de realizar el tratamiento biológico.

El oxígeno liberado por las raíces o rizomas de las plantas, desarrolla colonias de microorganismos aerobios. Esta biomasa microbiana consume gran parte del carbono y nutrientes del agua residual.

Por tanto es necesario realizar un estudio sobre el comportamiento y niveles de oxígeno disuelto en el humedal, sectorizando según población de plantas. De esta forma podremos determinar si existe una influencia directa entre la remoción de materia orgánica y oxígeno disuelto remanente suministrado por las plantas.

1.2 Alcance de la Investigación.

El proyecto contempla, luego de la construcción previa del humedal de flujo subsuperficial horizontal ubicado en la Aldea SOS en Tres Esquinas, Bulnes, la medición sistemática de niveles de oxígeno disuelto a lo largo del humedal y toma de muestras en afluente y efluente, lo que permite realizar un análisis comparativo de los rendimientos en la remoción de materia orgánica.

Además de un análisis comparativo de evolución de la vegetación y los niveles de oxígeno disuelto en el humedal.

1.3 Objetivo general.

“Realizar seguimiento y control del Humedal Aldea S.O.S. Tres Esquinas, Bulnes.”

1.4 Objetivos específicos.

- 1. Resumir el estado del arte respecto a humedales artificiales y específicamente al construido en Aldea S.O.S, Bulnes.*
- 2. Analizar los datos obtenidos de oxígeno disuelto y temperatura, longitudinal y transversalmente en el humedal de Aldea SOS, Bulnes.*
- 3. Evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica en términos de la Demanda Química de Oxígeno (DQO).*
- 4. Vincular los resultados obtenidos de oxígeno disuelto con respecto a las eficiencias obtenidas.*

2 INFORMACIÓN PRELIMINAR

2.1 Ubicación.

Aldea S.O.S. ubicado en Tres Esquinas, comuna de Bulnes.

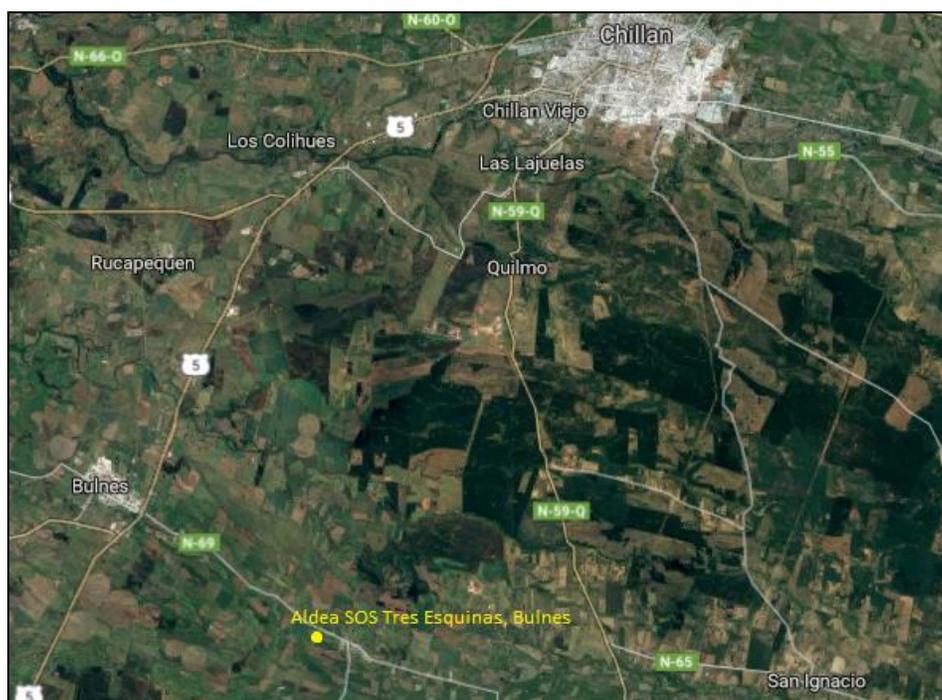


Figura N°1. Ubicación Aldea S.O.S. Tres Esquinas (Fuente: Google)

2.2 Descripción de un humedal artificial.

Los humedales artificiales son sistemas de depuración constituidos por lagunas o canales poco profundos (de menos de 1m) plantados con vegetación propia de las zonas húmedas y en los que los procesos de descontaminación tienen lugar mediante las interacciones entre el agua, el sustrato sólido, los microorganismos, la vegetación e incluso fauna (García & Corzo, 2008).

Con respecto a su construcción varían según su modo hidrológico. Actualmente existe el uso generalizado de tres tipos:

- 1) **Humedal Vertical de Flujo Subsuperficial (VSS)**, distribuyen el agua a través de la superficie de una cama de arena o grava plantada con vegetación propia de humedales naturales. El agua es tratada a medida que percola a través de la zona radicular de la planta.
- 2) **Humedales Horizontal Superficial o de Flujo Libre (HS)**, tienen áreas de agua abiertas y son similares en apariencia a los pantanos naturales.
- 3) **Humedales Horizontales de Flujo Subsuperficial (HFSS)**, típicamente emplean una

cama de grava plantada con vegetación de humedal. El agua fluye por debajo de la superficie de grava y se desplaza horizontalmente por gravedad desde la entrada a la salida (Kadlec & Wallace, 2009).

Los humedales construidos, en particular los de flujo subsuperficial horizontal (HFSS), se han desarrollado prioritariamente para remover materia orgánica de aguas residuales domésticas o de pequeñas comunidades (Kadlec & Knight, 1996).

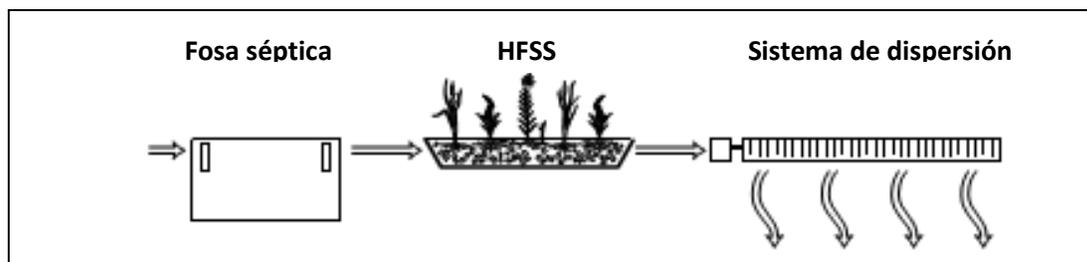


Figura N°2. Aplicación de un humedal HFSS para tratamiento de aguas residuales domésticas (Fuente: Kadlec Wallace, 2009).

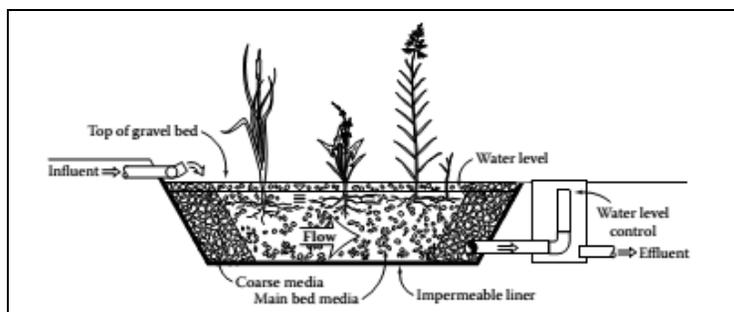


Figura N°3. Esquema de un humedal HFSS (Fuente: Kadlec Wallace, 2009).

2.3 Descripción de Humedal Bulnes.

El humedal de Aldea SOS Bulnes es un humedal artificial de flujo sub superficial (HFSS), el cual consiste en una excavación tipo zanja en el suelo que va desde los 0.42 a 0.56 m de profundidad, cubierto con polietileno de alta densidad, para evitar la contaminación del suelo y la napa subterránea.

Para proteger el material aislante, del punzonamiento que genera la grava sobre la geomembrana, se dispone una capa de arena gruesa de granulometría menor a 2 [mm], de 0.05 [m] de espesor, el volumen estimado sobre el fondo del humedal es de aproximadamente 8.05 [m³]. Sobre esta cama de arena, se rellena con grava gruesa de granulometría 19 [mm], la elección de este material se debe principalmente a su alta conductividad hidráulica. Para calcular el volumen dispuesto de grava se considera una altura promedio de 0.49 [m]. Así el volumen estimado de relleno con grava en el humedal es de 78.89 [m³].

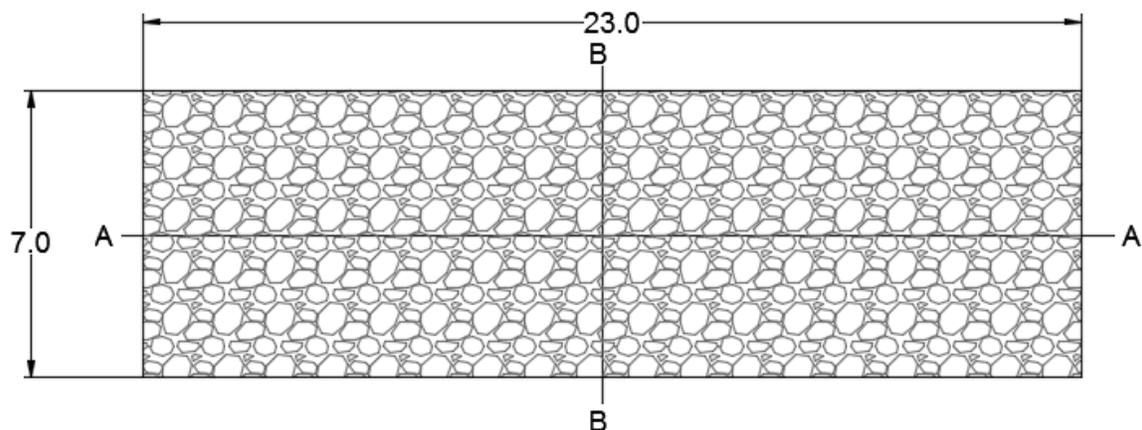


Figura N°4. Vista en planta humedal Aldea S.O.S. Tres Esquinas (Unidades en metros).

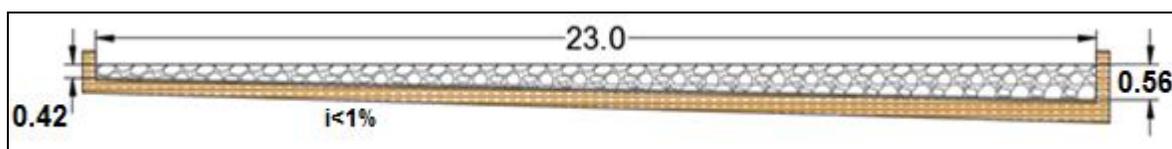


Figura N°5. Corte longitudinal A-A de figura 5 (Unidades en metros).

2.4 Componentes del humedal artificial de flujo sub superficial.

2.4.1 El Agua

El agua que circula es la encargada de transportar los contaminantes a través del sustrato y de la vegetación.

Las aguas residuales urbanas más típicas tienen componentes normalmente separables o biodegradables, como sólidos, materia orgánica, aceites y grasas, y no suelen presentar sustancias peligrosas. Los volúmenes generados por habitante son variables dependiendo del tamaño de la población y época del año.

Las aguas residuales provienen principalmente de uso doméstico, y se pueden subdividir en aguas de cocina, con sales, materia orgánica y sólidos, aguas de baño, con jabones y productos de limpieza y aguas de lavado (Fernández, Beascochea, Muñoz, & Curt, 2001).

Los caudales de aguas residuales de los pequeños núcleos de población se caracterizan por presentar grandes variaciones horarias, diarias e incluso mensuales o estacionales (García & Corzo, 2008).

El caudal para el humedal artificial de Aldea SOS Bulnes, se estimó para 100 personas con una dotación de $150 \text{ l} \cdot \text{hab} / \text{día}$.

2.4.2 Vegetación

Sobre el material filtrante, que sirve de soporte para la vegetación y permite la fijación de población microbiana, se encuentran las plantas.

La vegetación que se emplea en este tipo de humedales es la misma que coloniza los humedales naturales, plantas acuáticas que se desarrollan en aguas poco profundas, arraigadas al subsuelo.

La principal especie en el humedal Aldea SOS de Bulnes, es la Espadaña (*Typha* spp.), planta comúnmente utilizada en humedales construidos. Macrófita emergente adaptada para crecer en suelos saturados de agua o sumergidos (Kadlec & Wallace, *Treatments wetlands*, 2009), poseen un sistema radicular arraigado en el fondo del humedal, y estructura vegetativa que emerge por encima de la lámina de agua (Fernández, Beascochea, Muñoz, & Curt, 2001).

Las macrófitas juegan un papel importante en el flujo de energía y los ciclos de nutrientes en los sistemas lacustres. Durante la fotosíntesis son capaces de incorporar energía en forma de materia orgánica y durante este proceso toman nutrientes del agua y de manera importante fósforo y nitrógeno (Wetzel, 1981).



Figura N°6. Espadaña humedal Aldea SOS Bulnes.

2.4.3 Los 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. En el resto del lecho granular predominan los microorganismos anaerobios (Delgadillo, Camancho, Perez, & Andrade, 2010).

Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes y elementos traza y la desinfección (Arias, 2004).

2.4.4 El oxígeno

El consumo de oxígeno en los humedales es debido principalmente a los siguientes cuatro procesos: la demanda por parte de los sedimentos existentes, las necesidades para la respiración de los microorganismos y plantas que habitan el humedal y las demandas bioquímicas correspondientes a los compuestos disueltos carbonosos y nitrogenados (Píriz, 2000). Para hacer frente a estas demandas de oxígeno los humedales tienen dos mecanismos: la transferencia de oxígeno desde la atmósfera a su interior y la transferencia de oxígeno en el propio lecho (Arias, 2004).

En un suelo saturado los poros existentes están ocupados por el agua, la cual tiene un bajo coeficiente de difusión de oxígeno. Esto produce que este tipo de suelos tengan condiciones anaerobias por lo que las plantas que crecen en ellos se ven obligadas a obtener oxígeno de las partes aéreas y distribuirlo por toda la planta mediante el mecanismo de transporte interno a través de los tallos (Brix, 1994). Esta capacidad de transporte interno se manifiesta en las especies vegetales plantadas usualmente en los humedales construidos de flujo subsuperficial (Arias, 2004).

De esta forma, el oxígeno es transferido a los humedales artificiales principalmente por medio de los rizomas de las plantas y la diferencia de concentración entre el agua presente en el medio de soporte y el rizoma.

2.4.5 Temperatura

Este parámetro es importante en el tratamiento de aguas residuales ya que muchos procesos biológicos dependen de la temperatura.

Asimismo, es determinante para el desarrollo de la actividad bacteriana, cuyo rango óptimo se encuentra entre 25 °C a 35 °C. Cuando la temperatura se acerca a los 50 °C los procesos de digestión aerobia y nitrificación bacteriana se detienen; por otro lado, cuando la temperatura es menor a 5 °C la actividad microbiana se inhibe (Delgadillo, Camancho, Perez, & Andrade, 2010).

La temperatura se determina en la zona de muestreo mediante termómetros.

2.4.6 Remoción de materia orgánica

Los procesos que conducen a la remoción de la materia orgánica son de dos tipos: físicos y biológicos, ambos estrechamente inter-relacionados.

Los procesos físicos conducen a la separación de los sólidos suspendidos, por floculación y sedimentación de estas partículas.

Por otra parte, en los procesos biológicos intervienen organismos vivos e influyen de manera drástica factores como la disponibilidad de oxígeno, el pH del medio y la temperatura. En estos procesos pueden ocurrir reacciones de oxidación/reducción, hidrólisis y fotólisis, que conducen a la biodegradación de la materia orgánica (Fernández, Beascochea, Muñoz, & Curt, 2001).

2.5 Demanda química de oxígeno (DQO).

La DQO es una medida aproximada del contenido de materia biodegradable y no biodegradable de una muestra de agua. En las pruebas de DQO se acelera artificialmente la biodegradación que realizarán los microorganismos, mediante un proceso de oxidación forzada, utilizando oxidantes químicos y métodos estandarizados, que tienen por objeto garantizar la reproducibilidad y comparabilidad de las mediciones (APHA, 1992).

La DQO se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en [mg/L]. Cuanto mayor es la DQO, más contaminante es la muestra.

3 METODOLOGÍA.

A continuación, se describe la metodología y consideraciones utilizadas para la toma de datos en terreno. Las mediciones se realizaron durante un periodo de 8 semanas, y se realizaron muestreo de niveles de oxígeno disuelto y temperatura, toma de muestras de afluente y efluente y registro fotográfico del crecimiento de las plantas al interior del humedal Aldea SOS Bulnes.

3.1 Sistema de toma de datos

3.1.1 Zonificación

Preliminarmente se realizó una zonificación del humedal para determinar las ubicaciones de los puntos relevantes que serán los de muestreo. Las dimensiones y detalle de la zonificación se muestran en la figura N°10.

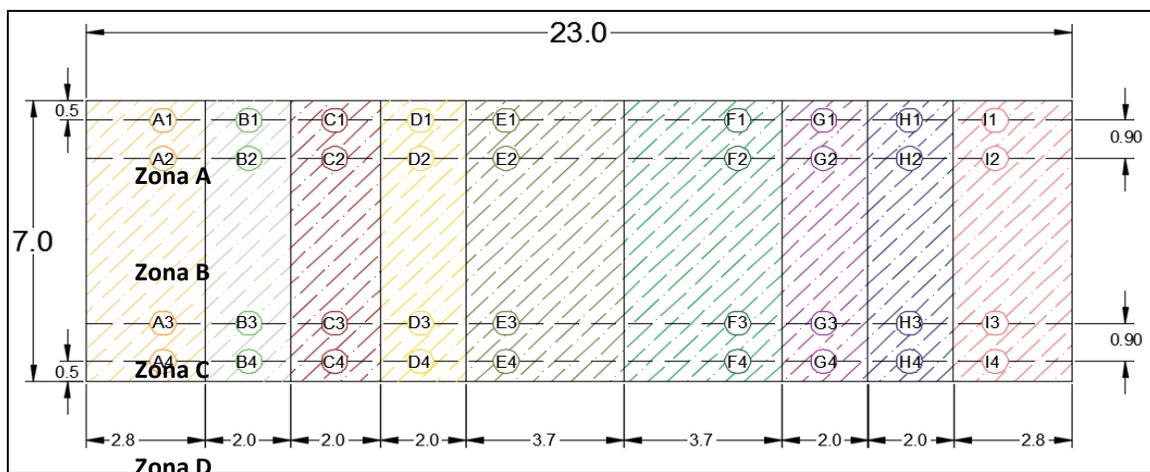


Figura N°7. Esquema de humedal Aldea SOS Bulnes con dimensiones y asignación de las zonas determinadas para la toma de datos.

Zona E

Para determinar esta zonificación, se discriminó por la densificación de vegetación en el humedal como muestra la figura N°8. Esto para determinar si la cantidad de plantas inciden o no en las mediciones de oxígeno disuelto remanente.

Zona G

Zona H

Zona I

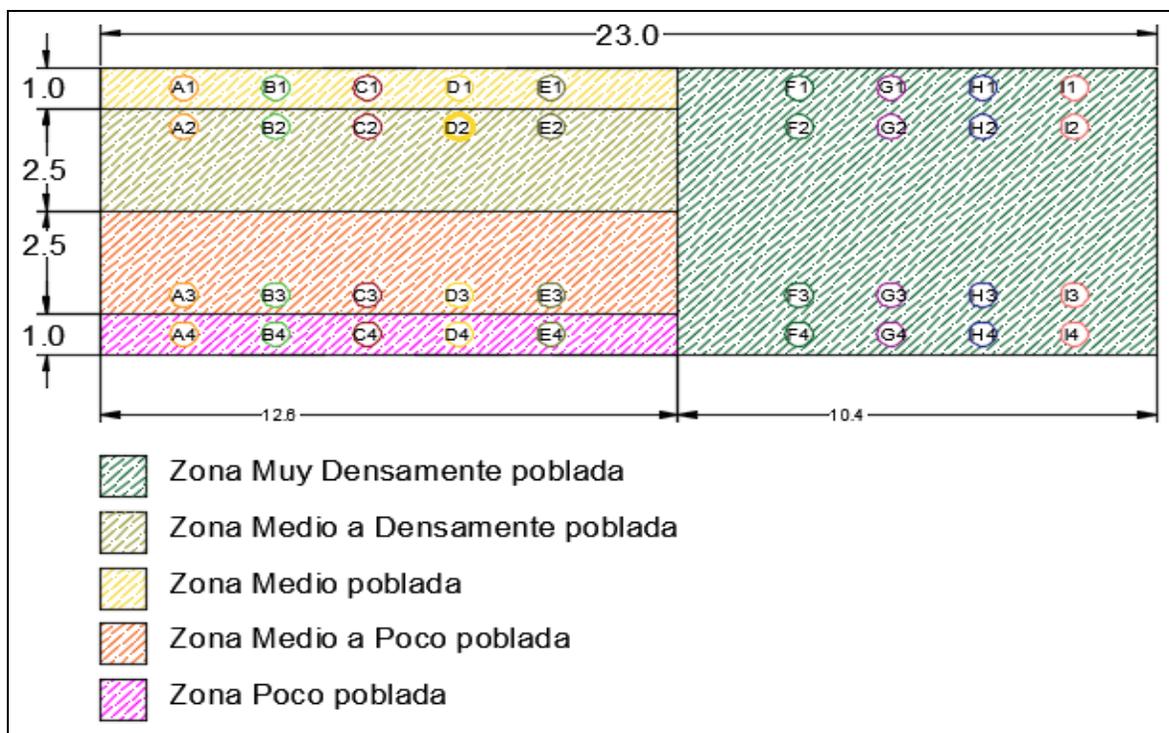


Figura N°8. Esquema de zonificación por población de plantas.

3.1.2 Perfiles longitudinales y transversales

Para realizar las mediciones en terreno fueron insertos 36 tubos de PVC. La distribución de estos se muestran en la figura N°9.

Para realizar una entrega de información más clara y ordenada, se asignaron 4 ejes longitudinales, Eje1, Eje2, Eje3 y Eje4. Del mismo modo se realizó en el plano transversal, para describir los datos en función de las distintas zonas asignadas. Estos fueron asignados por letras desde la A hasta la I, en el sentido del flujo como muestra la figura N°9.

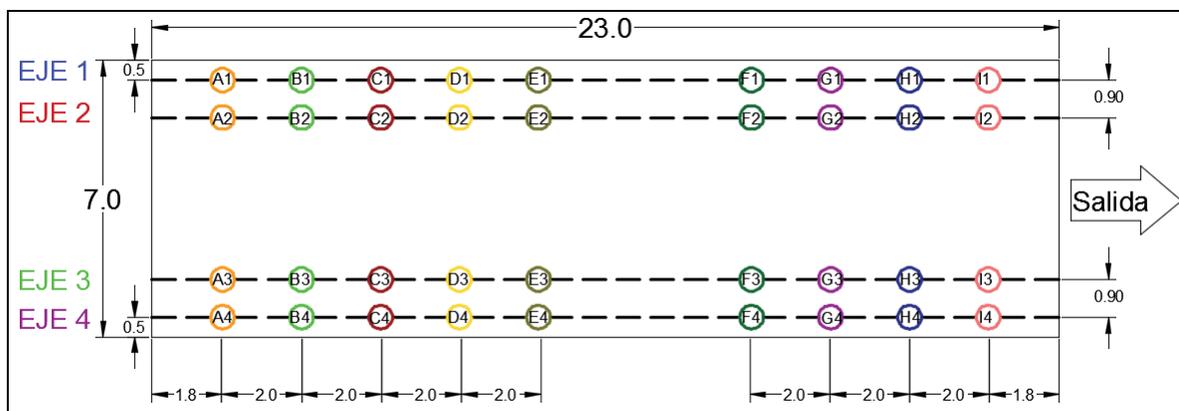


Figura N°9. Esquema de asignación de ejes longitudinales y transversales (dimensiones en metros).

3.1.3 Consideraciones en el diseño

Ha sido necesario tomar algunas consideraciones de diseño previas, con respecto al dispositivo mediante el cual se realizarán las mediciones in situ.

El tubo de PVC quedara inserto de forma permanente en el medio granular, para evitar cambios en el diseño geométrico inicial, ahorro de tiempo y mano de obra para insertar y retirar los tubos. Para evitar tomar muestras de agua estancada o no representativa producto de que el tubo está fijo, se ideó un dispositivo que permita la circulación de agua al interior de éste, de manera tal que al momento de tomar las mediciones, la muestra corresponde realmente a la que transita por el medio filtrante (D'Appollonio, 2015).

3.1.4 Dispositivo para la toma de datos en terreno

Se utilizarán tubos de PVC hidráulico de 1[m] de longitud. Uno es el tubo exterior de PVC de 40 mm, el que va previamente perforado para permitir la entrada y salida de agua, el tubo interior de PVC hidráulico de 32 (mm) irá inserto dentro de éste, pero de forma móvil, tapado herméticamente en la parte inferior para evitar que ingrese agua o algún contaminante que impida el proceso de medición, como se muestra en la figura N° 10b. De esta manera, al retirar el tubo interno, el agua se desplaza para ocupar el espacio antes ocupado por tubo, como se muestra en la figura N°10a.



Figura N°10. (a) Diseño del flujo de agua del dispositivo de medición (Fuente: Dappollonio, 2015). (b) Tubos de PVC interno y externo (Fuente: Dappollonio, 2015). (c) Dispositivo inserto en humedal Bulnes (Fuente: propia).

3.2 Proceso constructivo e instalación de tubos

- Cortar 72 tubos de 1 [m] de longitud, 36 tubos de diámetro 40 [mm] y 36 tubos de diámetro 32 [mm].
- Perforar el tubo de 40 [mm], espaciado de 3 [cm]. Una longitud de 45 [cm].
- Insertar tapón de goma dentro del tubo de 32 [mm].

Los tubos fueron insertos 40 [cm] bajo la superficie, todos con igual profundidad como se muestra en la figura N° 10.

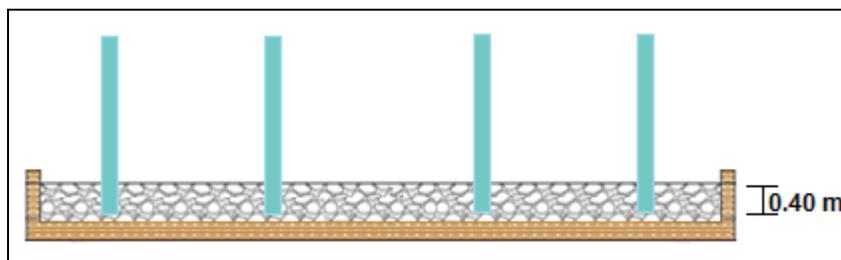


Figura N°11. Perfil Transversal tubos en terreno.

3.3 Equipo de medición de oxígeno disuelto

Se utilizó un medidor de oxígeno disuelto portátil HI 98193, el cual es un microprocesador robusto, portátil e impermeable, diseñado para aplicaciones demandantes y pantalla gráfica de LCD para fácil lectura en exteriores con luz solar y áreas con baja luz gracias a que posee retroiluminación.

Para mediciones de oxígeno disuelto (OD), viene con una sonda polarográfica. El sistema exhibe la temperatura en °C y en °F y OD en [mg/L] y en porcentaje de saturación.

La característica de registro a demanda del HI98193 I permite al usuario almacenar hasta 400 lecturas. Esta información puede ser transferida al PC con el cable USB HI920015 y el Software HI92000.



Figura N°12. Medidor de oxígeno disuelto HI98193.

3.3.1 Operación de la sonda

Procedimiento de medición:

1. Insertar la sonda en la muestra que se medirá.
2. Revolver o mover continuamente la sonda a través de la muestra.

3. Permita que las lecturas de temperatura y oxígeno disuelto se estabilicen (una vez que el reloj de arena que aparece en pantalla desaparezca).
4. Observe/Registre las lecturas (para almacenar dato registrado presionar “log”).
5. Si es posible, enjuague la sonda con agua limpia después de cada uso.

La medición se realizó en los 36 puntos para la obtención de datos y fue realizada en base al manual del equipo (HI98193).

3.4 Análisis de Demanda Química de oxígeno (DQO)

Para realizar este análisis, primero se debieron extraer muestras de afluyente y efluente del humedal Bulnes. Estas deben permanecer refrigeradas para una mejor conservación.

Para testear las muestras se debe contar con reactivos certificados de DQO.

3.4.1 Reactivos DQO.

Se utilizaron reactivos HANNA DQO, estos son seguros para los operadores y el medio ambiente. Los viales y las tapas se han diseñado para evitar derrames accidentales de reactivos. Debido a los reactivos predosificados la cantidad de químicos se reduce al mínimo.

Como los niveles de DQO varían dependiendo de la aplicación y puntos de proceso de medición, se utilizaron reactivos para cubrir dos rangos:

- Bajo rango (HI 93754A-25): de 0 a 150 [mg/L] de O₂, para las muestras del efluente (salida).
- Mediano rango (HI 93754B-25): de 0 a 1500 [mg/L] de O₂, para las muestras del afluyente (entrada).



Figura N°13. Reactivos marca HANNA HI 93754A-25 y HI 93754B-25.

El procedimiento a seguir para testear las muestras es el siguiente:

1. Extraer 2[ml] con una jeringa e introducirlo al vial del reactivo correspondiente con un ángulo de 45°.
2. Mezclar el vial 2 veces y reservar.

Se debe repetir esto con cada una de las muestras y además realizar una muestra Zero con agua destilada para cada reactivo, bajo y medio.

3.4.2 Reactor térmico

Se utilizó un reactor térmico marca Hanna, que es un calentador de tubos fácil de usar. Está equipado con ajustes de temperatura y tiempo predefinidos. Posee capacidad para 25 viales.

Las muestras, ya en los viales, se colocan en el reactor térmico durante 120 minutos a una temperatura de 150°C.

Terminado este proceso, se debe esperar 20 minutos antes de retirar los viales.



Figura N°14. Reactor térmico

3.4.3 Fotómetro

Se utilizó un fotómetro marca Hanna, que es un instrumento robusto y práctico de usar en campo, que permite realizar medidas precisas y al mismo tiempo veloces. Es calibrable por el usuario en cualquier punto del rango de medida de turbidez y puede memorizar hasta 25 muestras.



Figura N°15. Fotómetro

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1 Oxígeno Disuelto

4.1.1 Perfil Longitudinal de oxígeno disuelto.

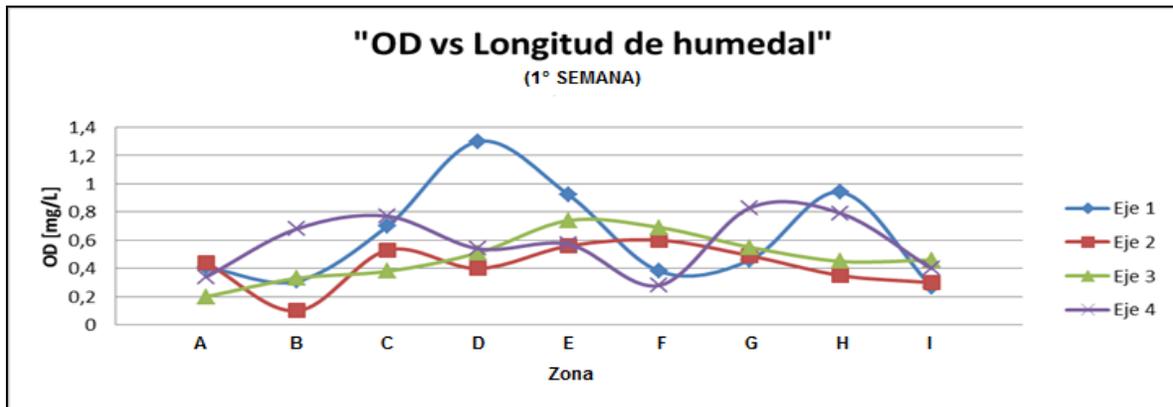


Figura N°16. Perfil Oxígeno correspondiente a la primera semana de mediciones.

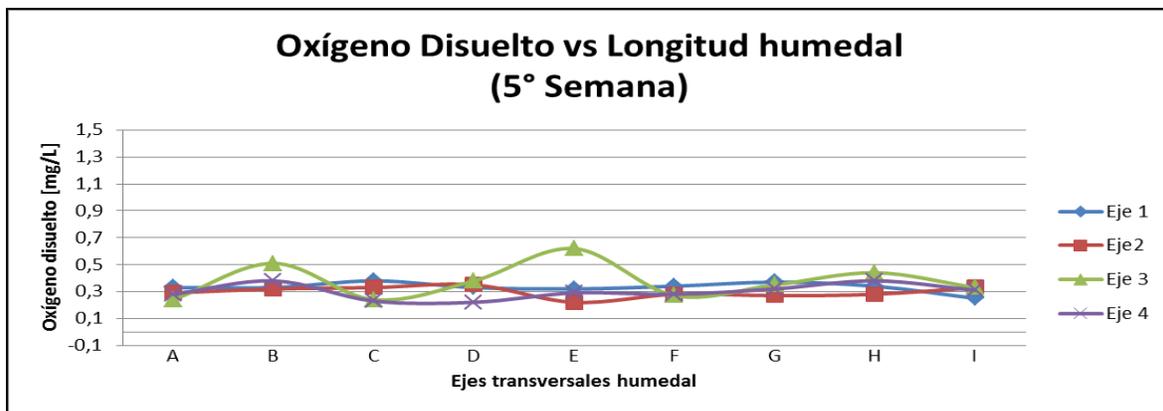


Figura N°17. Perfil Oxígeno correspondiente a la quinta semana de mediciones.

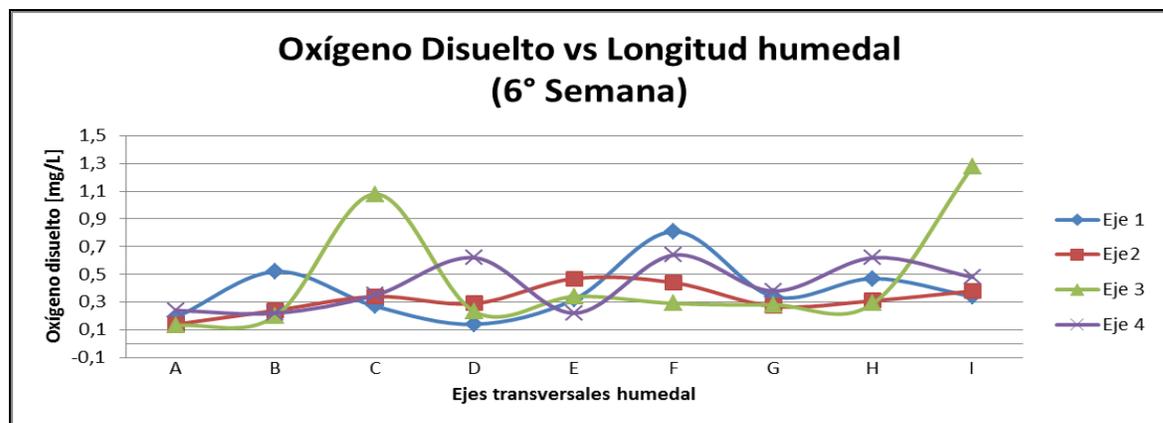


Figura N°18. Perfil Oxígeno correspondiente a la sexta semana de mediciones.

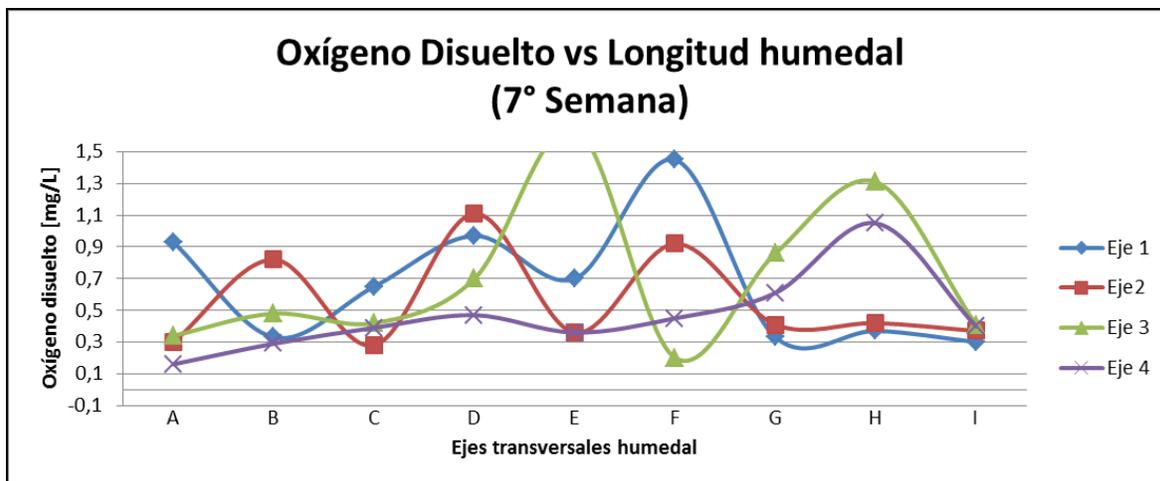


Figura N°19. Perfil Oxígeno correspondiente a la séptima semana de mediciones.

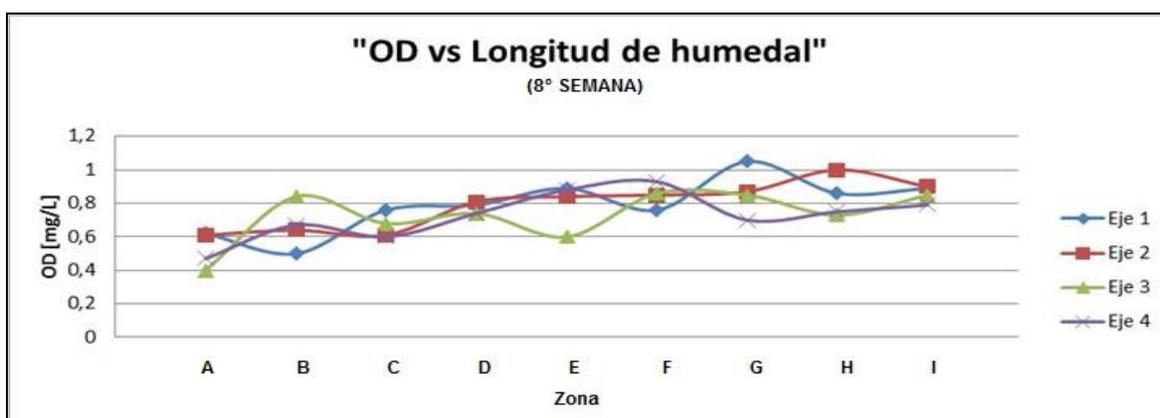


Figura N°20. Perfil Oxígeno correspondiente a la octava semana de mediciones.

Durante la quinta semana de mediciones se encontraron las tendencias más bajas de OD. En cambio, los niveles de OD más altos, pero con mayor dispersión, ocurrieron durante la sexta y séptima semana. Esto debido al sobrecaudal medido en terreno para la sexta semana de **33,998 m3/día** y para la 7° semana de **25,907 m3/día**.

Ya en la octava semana de control, presenta una tendencia clara y similar en los 4 ejes en la longitud del humedal.

Esto debido a la evolución de la vegetación, el humedal se encuentra con mayor consolidación que en sus inicios y la diferenciación por densidad de población es menos notoria, esto gracias a la rápida propagación de la Espadaña.

4.1.2 Perfil transversal de oxígeno disuelto.

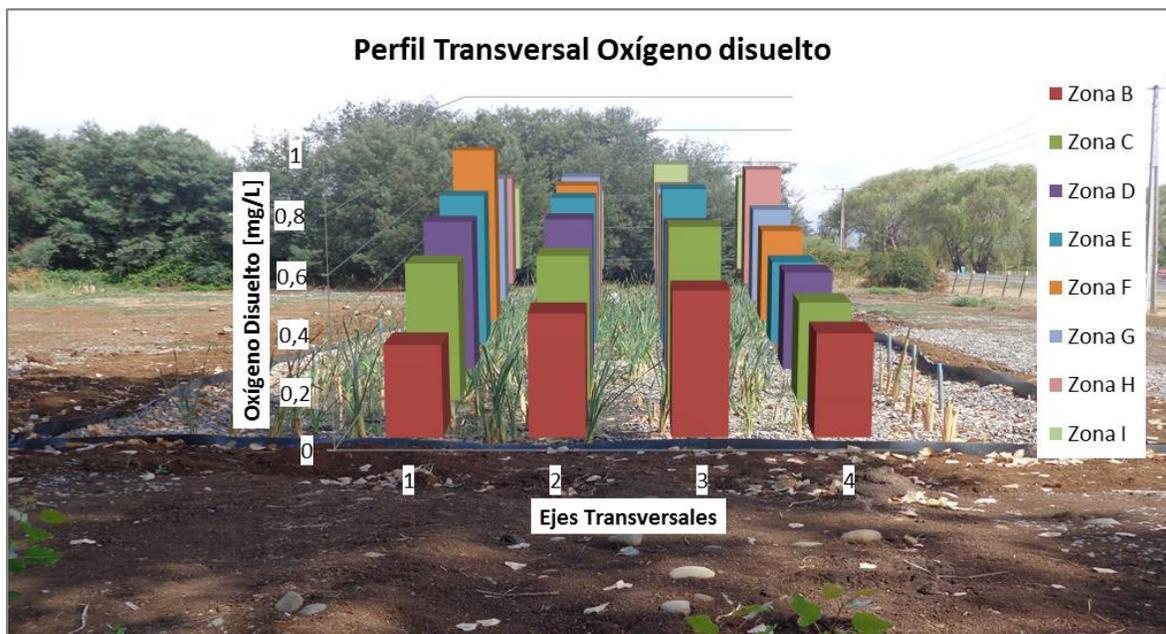


Figura N°21. Perfil transversal de oxígeno disuelto.

Si analizamos el gráfico de la figura 16 con respecto a la zonificación dada por la densidad de plantas, el eje que tiende a concentraciones de oxígeno disuelto menores a 0,4 [mg/L] es el Eje4. Esto coincide con la zona poco poblada del humedal.

4.2 Temperatura

4.2.1 Perfil longitudinal de temperatura.

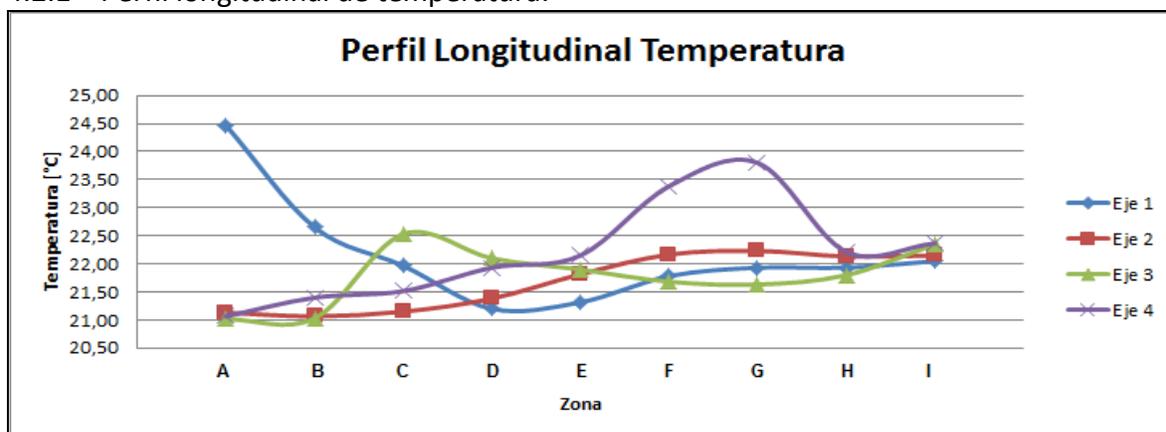


Figura N°22. Perfil transversal de temperatura.

4.2.2 Perfil transversal de temperatura

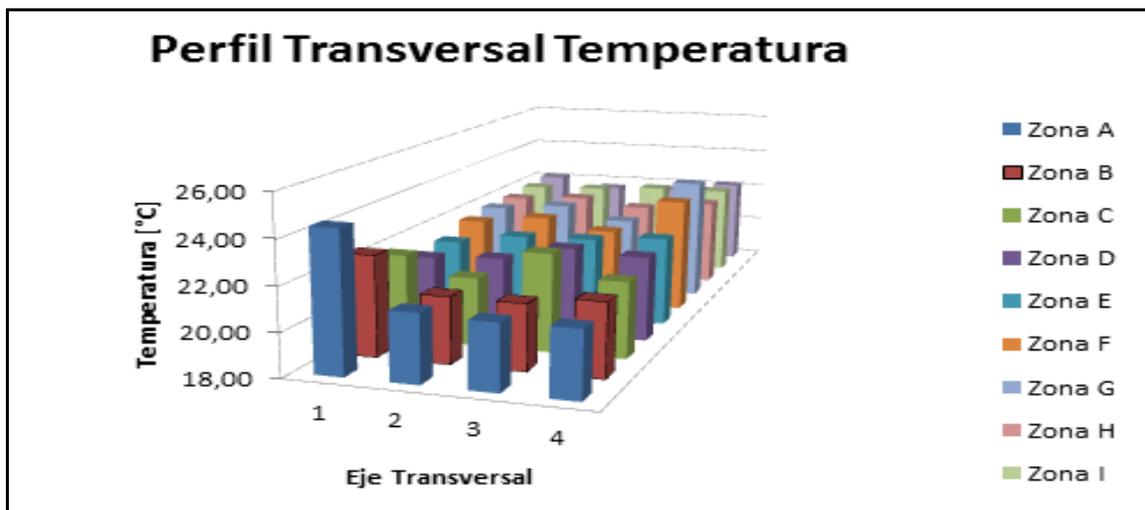


Figura N°23. Perfil transversal de temperatura.

Se observan temperaturas en general tienden a una distribución uniforme, y los casos puntuales que se diferencian, sólo varían en $\pm 2^{\circ}\text{C}$ con respecto al promedio. El pick de 24°C en Eje 1 zona A, puede haber ocurrido debido a que cada día de medición, este fue el primer punto de muestreo. Por tanto la temperatura ambiental puede afectar el termostato del medidor de oxígeno.

4.3 Demanda química de oxígeno (DQO)

4.3.1 Perfil DQO afluente versus efluente.

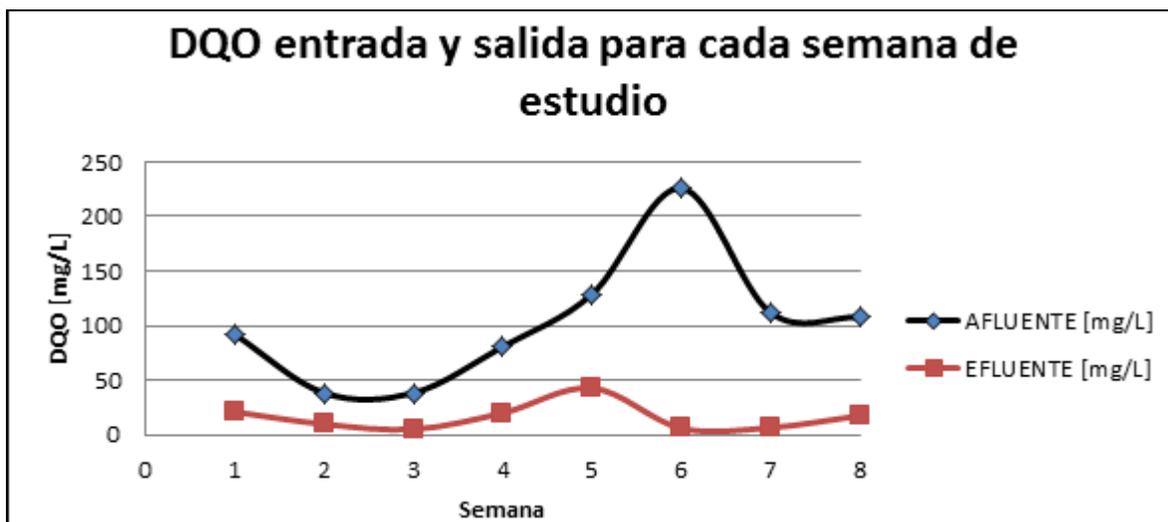


Figura N°24. DQO entrada versus salida para cada semana de estudio.

4.3.2 Porcentaje de remoción

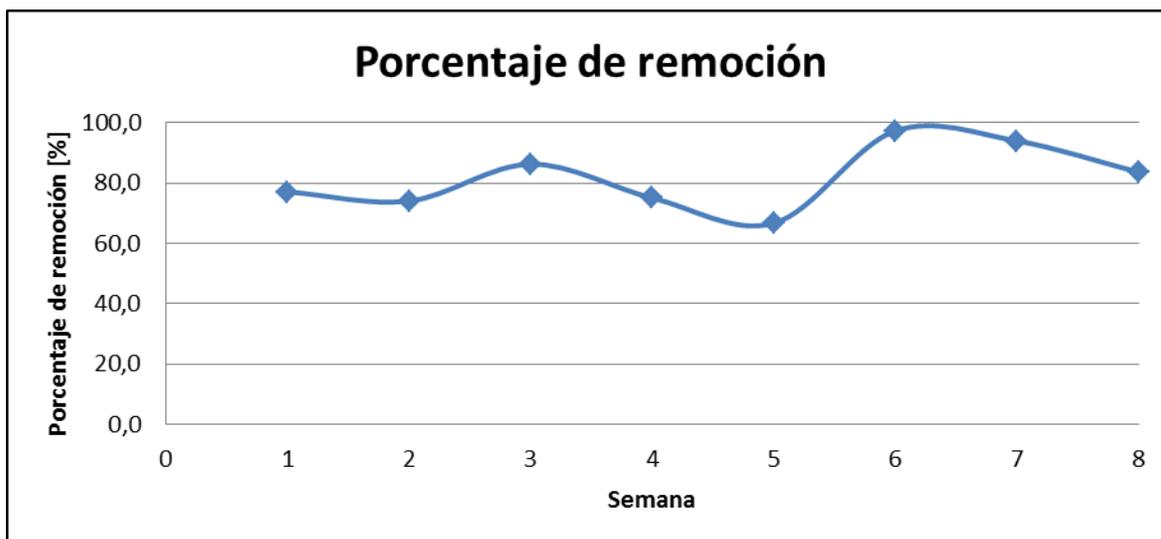


Figura N°25. Porcentaje de remoción para cada semana de estudio.

Los resultados obtenidos en los ensayos de DQO en laboratorio, demuestran que efectivamente el humedal de Aldea S.O.S. Bulnes es efectivo como mecanismo para tratar las aguas residuales de la comunidad, ya que presenta eficiencias de entre un 66% - 97%.

5. CONCLUSIONES

Analizando los resultados obtenidos, podemos afirmar que sí existe una relación entre niveles de oxígeno disuelto en el humedal y las eficiencias en la remoción de materia orgánica.

Mayores niveles de OD, obtuvieron como resultado mejores eficiencias de remoción. Así mismo en el caso contrario, a menores niveles de OD se obtuvieron los rendimientos más deficientes.

El sobrecaudal recibido por el humedal (33,998 y 25,907 m³/día) debido al sobreconsumo de agua potable, generó que al interior de este hubiese niveles de oxígeno mayores, lo que se reflejó además en las eficiencias más óptimas de remoción, 97,3% y 93,9% respectivamente.

Además se puede validar al humedal Bulnes, como un sistema eficiente para tratar las aguas residuales domésticas de la Aldea SOS Bulnes. Esto gracias a que los porcentajes de remoción varían entre un 66,7% y 97,3%.

Además se puede concluir que la densidad de población de vegetación influye en los niveles de oxígeno disuelto.

El eje 4 que estuvo con poca densidad de plantas, presentó las tendencias más bajas en un inicio. Una vez las espadañas se fueron propagando estos niveles de OD se homogeneizaron.

6. REFERENCIAS

- APHA. (1992). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington D.C.: American Public Health Association.
- Arias, O. (2004). *Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en los humedales construidos de flujo subsuperficial*. Barcelona: Departamento de ingeniería hidráulica, marítima y ambiental, Universitat Politècnica de Catalunya.
- Brix, H. (1994). Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Wat. Sci. Tech.* N°4, 71-78.
- D'Appollonio, C. (2015). *Evaluación térmica y de oxígeno disuelto en el humedal Ainahue en función del dispositivo*. Concepción: Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Bío Bío.
- Delgadillo, O., Camancho, A., Perez, L., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA), Universidad Mayor de San Simón.
- Fernández, J., Beascoechea, E., Muñoz, J., & Curt, M. (2001). *Manual de Fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación*. Universidad politécnica de Madrid.
- García, J., & Corzo, A. (2008). *Depuración con humedales construidos. Guía práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial*. Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental de la Universitat Politècnica de Catalunya.
- Kadlec, R., & Knight, R. (1996). *Treatment Wetlands*. CRC Press/Lewis Publishers.
- Kadlec, R., & Wallace, S. (2009). *Treatments wetlands*. Taylor & Francis Group.
- Montoya, I., Ceballos, L., Casas, J., & Morató, J. (2010). ESTUDIO COMPARATIVO DE LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN HUMEDALES CONSTRUIDOS DE FLUJO HORIZONTAL SUBSUPERFICIAL USANDO TRES ESPECIES DE MACRÓFITAS. *Revista EIA Escuela de ingeniería de Antioquia*.
- Píriz, A. (2000). *Condiciones de óxido-reducción en humedales construidos de flujo subsuperficial*. Barcelona: Departamento de Ingeniería Hidráulica, Marítima y Ambiental (EHMA), Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona (ETSECCPB). Universitat Politècnica de Catalunya.

Seoánez, M. (1999). *Aguas residuales: tratamiento por humedales artificiales*. Mundi Prensa.

Wetzel, R. (1981). *Limnología*. Barcelona: Omega.

7. ANEXOS

Índice general de anexos

7.ANEXOS.....	29
Anexo A: Construcción dispositivo e instalación terreno.....	33
1. Proceso constructivo de inserción de tubos de PVC en humedal Bulnes.....	34
2. Registro fotográfico de crecimiento y densidad de población de espadañas (Typha spp.) en humedal Bulnes.....	35
Anexo B: Detalle tabulación de datos.....	37
1. Oxígeno Disuelto.....	38
1.1 Primera semana de mediciones.....	38
1.2 Tercera semana de mediciones.....	38
1.3 Octava semana de mediciones.....	39
1.4 Valores promedio de oxígeno disuelto.	39
2. Temperatura.	39
3. Demanda química de oxígeno (DQO).	39

Índice de figuras

Figura 1A. Tubos PVC antes de ser insertos en el humedal.....	34
Figura 2A. Detalle de inserción de Tubos PVC en humedal.....	34
Figura 3A. Tubos instalados en el humedal.....	34
Figura 4A. Humedal Bulnes al inicio de las mediciones. (1° SEMANA).....	35
Figura 5A. Humedal Bulnes 3° SEMANA de estudio.....	35
Figura 6A. Humedal Bulnes 5° SEMANA de estudio.....	35
Figura 7A. Humedal Bulnes 7° SEMANA de estudio.....	36
Figura 8A. Humedal Bulnes 8° SEMANA de estudio.....	36

Índice de tablas

Tabla 1B. Perfil longitudinal de oxígeno disuelto 1° SEMANA.....	38
Tabla 2B. Perfil longitudinal de oxígeno disuelto 5° SEMANA.....	38
Tabla 2B. Perfil longitudinal de oxígeno disuelto 6° SEMANA.....	38
Tabla 2B. Perfil longitudinal de oxígeno disuelto 7° SEMANA.....	38
Tabla 3B. Perfil longitudinal de oxígeno disuelto 8° SEMANA.....	39
Tabla 4B. Perfil transversal de oxígeno disuelto.....	39
Tabla 5B. Perfil transversal de temperatura.....	39
Tabla 6B. Valores obtenidos de DQO para las muestras de caudales de entrada y salida.....	40

ANEXO A
Construcción dispositivo e instalación terreno

1. Proceso constructivo de inserción de tubos de PVC en humedal Bulnes.



Figura 1A. Tubos PVC antes de ser insertos en el humedal.



Figura 2A. Detalle de inserción de Tubos PVC en humedal.



Figura 3A. Tubos instalados en el humedal.

2. Registro fotográfico de crecimiento y densidad de población de espadañas (*Typha* spp.) en humedal Bulnes.



Figura 4A. Humedal Bulnes al inicio de las mediciones. (1° SEMANA).



Figura 5A. Humedal Bulnes 3° SEMANA de estudio.



Figura 6A. Humedal Bulnes 5° SEMANA de estudio.



Figura 7A. Humedal Bulnes 7° SEMANA de estudio.



Figura 8A. Humedal Bulnes 8° SEMANA de estudio.

ANEXO B
Detalle tabulación de datos.

1. Oxígeno Disuelto (OD).

1.1 Primera semana de mediciones.

Oxígeno Disuelto [mg/L]									
Zona	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Eje 1	0,41	0,31	0,7	1,3	0,92	0,38	0,46	0,94	0,27
Eje 2	0,44	0,1	0,53	0,4	0,56	0,6	0,49	0,35	0,3
Eje 3	0,2	0,33	0,38	0,51	0,74	0,69	0,55	0,45	0,46
Eje 4	0,34	0,68	0,77	0,54	0,57	0,28	0,83	0,79	0,4

Figura 1B. Perfil longitudinal de oxígeno disuelto 1° SEMANA.

1.2 Quinta semana de mediciones.

Oxígeno Disuelto [mg/L]									
Zona	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Eje 1	0,33	0,33	0,38	0,33	0,32	0,34	0,37	0,34	0,25
Eje 2	0,29	0,32	0,33	0,35	0,22	0,28	0,27	0,28	0,33
Eje 3	0,24	0,51	0,24	0,38	0,62	0,27	0,35	0,44	0,33
Eje 4	0,28	0,38	0,23	0,22	0,29	0,28	0,32	0,38	0,31

Figura 2B. Perfil longitudinal de oxígeno disuelto 5° SEMANA.

1.3 Sexta semana de mediciones.

Oxígeno Disuelto [mg/L]									
Zona	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Eje 1	0,19	0,52	0,27	0,14	0,32	0,81	0,34	0,47	0,34
Eje 2	0,14	0,24	0,34	0,29	0,47	0,44	0,27	0,31	0,38
Eje 3	0,13	0,2	1,08	0,23	0,34	0,29	0,28	0,29	1,28
Eje 4	0,24	0,22	0,35	0,62	0,22	0,64	0,38	0,62	0,48

Figura 3B. Perfil longitudinal de oxígeno disuelto 6° SEMANA.

1.4 Séptima semana de mediciones.

Oxígeno Disuelto [mg/L]									
Zona	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Eje 1	0,93	0,33	0,65	0,97	0,7	1,45	0,33	0,37	0,3
Eje 2	0,3	0,82	0,28	1,11	0,36	0,92	0,41	0,42	0,37
Eje 3	0,34	0,48	0,42	0,7	1,65	0,2	0,86	1,31	0,41
Eje 4	0,16	0,29	0,39	0,47	0,36	0,45	0,61	1,05	0,4

Figura 4B. Perfil longitudinal de oxígeno disuelto 7° SEMANA.

1.5 Octava semana de mediciones.

	Oxígeno Disuelto [mg/L]								
Zona	A	B	C	D	E	F	G	H	I
Eje 1	0,62	0,5	0,76	0,79	0,89	0,76	1,05	0,86	0,89
Eje 2	0,61	0,64	0,61	0,81	0,84	0,85	0,87	1	0,9
Eje 3	0,4	0,84	0,68	0,74	0,6	0,86	0,85	0,73	0,85
Eje 4	0,47	0,67	0,6	0,74	0,88	0,93	0,7	0,75	0,79

Figura 5B. Perfil longitudinal de oxígeno disuelto 8° SEMANA.

1.6 Valores promedio de oxígeno disuelto.

	Oxígeno Disuelto [mg/L]			
Zona	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4
A	0,48	0,45	0,62	0,54
B	0,33	0,44	0,52	0,37
C	0,53	0,56	0,67	0,38
D	0,62	0,63	0,61	0,41
E	0,67	0,66	0,7	0,37
F	0,83	0,66	0,6	0,44
G	0,64	0,65	0,59	0,48
H	0,59	0,56	0,55	0,64
I	0,48	0,45	0,62	0,54

Figura 4B. Perfil transversal de oxígeno disuelto.

2. Temperatura.

	Temperatura [°C]			
Zona	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4
A	24,47	21,13	21,02	21,07
B	22,65	21,07	21,03	21,40
C	21,97	21,15	22,53	21,52
D	21,20	21,38	22,10	21,93
E	21,32	21,82	21,90	22,15
F	21,78	22,17	21,68	23,38
G	21,93	22,23	21,63	23,80
H	21,93	22,13	21,80	22,22
I	22,05	22,15	22,35	22,37
Promedio	22,14	21,69	21,78	22,20

Figura 5B. Perfil transversal de temperatura.

3. Demanda química de oxígeno (DQO).

DQO								
Entrada [mg/L]	92	38,5	38,5	81	129	226	112	108
Salida [mg/L]	21,1	10	5,3	20,2	43	6,2	6,8	17,7
% Remoción	77,1	74,0	86,2	75,1	66,7	97,3	93,9	83,6

Figura 6B. Valores obtenidos de DQO para las muestras de caudales de entrada y salida.