

UNIVERSIDAD DEL BÍOBÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Ing. Pedro Cisterna Osorio

**FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN
DE LA ESPECIE ZANTEDESCHIA
AETHIOPICA EN HUMEDALES
ARTIFICIALES DE FLUJO
SUBSUPERFICIAL**

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

ERIK ANTONIO YÉVENES DOSQUE

Concepción, 20 Agosto de 2017

INDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1 Justificación del Tema	5
1.2 Alcance la de la Investigación	5
1.3 Objetivo general	5
1.4 Objetivos específicos	5
2. MARCO TEORICO	6
2.1 Aguas residuales	6
2.1.2 Tipos de Tratamiento de Aguas Residuales:	7
2.2 Humedales artificiales:	7
2.3 Componentes y Parámetros de un humedal artificial	9
2.3.1 Aguas Residuales Domésticas	9
2.3.2 Las Plantas	10
2.3.2.1 Especies en estudio	10
2.3.2.1.1 Typha ssp.	11
2.3.2.1.2 Zantedeschia Aethiopica.	11
2.3.3 Oxígeno disuelto.....	12
2.3.4 Microorganismos	12
2.4.1 DQO	13
3. METODOLOGIA.....	14
3.1 Revisión bibliográfica.....	14
3.2 Estudio de humedales	14
3.2.1 Humedal aldea infantil S.O.S Bulnes	14
3.2.1.2 Descripción Humedal aldea infantil S.O.S	15
3.2.2 Humedal domiciliario Coliumo	16
3.2.2.1 Descripción Humedal Domiciliario sector Coliumo	17
3.3 Instalación de la especie Zantedeschia Aethiopica en humedales de estudio	17

3.3.1 Instalación en humedal aldea infantil SOS, Bulnes.....	18
3.3.2 Instalación en humedal Coliumo	19
3.4 Zonificación.....	19
3.4.1 Zonificación Humedal aldea infantil SOS Bulnes.....	20
3.4.2 Zonificación humedal Coliumo	21
3.5 Sistema de toma de datos.....	22
3.5.1 Medidor de oxígeno disuelto y temperatura	23
3.5.2 Tuberías de Registro de Oxígeno Disuelto y Temperatura.	24
3.6 Registro de crecimiento	25
3.7 Análisis de demanda química de oxígeno (DQO)	25
3.7.1 Reactivos DQO;.....	26
3.7.2 Reactor Térmico;	26
3.7.3 Fotómetro:	27
3.7.4 Procedimiento y utilización del equipo	27
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	28
4.1 Oxígeno disuelto.....	28
4.1.1 Oxígeno disuelto vs ejes transversales.	28
4.1.2 Promedio de oxígeno disuelto vs semana, humedal Bulnes:.....	30
4.1.3 Variación Porcentual de OD de Calas respecto a Espadañas	32
4.1.4 Oxígeno Disuelto (OD) en humedal Domiciliario	32
4.2 Evolución y Crecimiento	34
4.2.1 Crecimiento de calas y espadañas:	34
4.3 Temperatura.....	37
4.3.1 Temperatura promedio en humedales artificiales de flujo subsuperficial.....	37
4.4 Eficiencia en la remoción de materia orgánica:.....	39
5. CONCLUSIONES.....	41
6.BIBLIOGRAFÍA.....	43

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Corte humedales contruidos de flujo subsuperficial vertical (VSS) y horizontal (HSS).	8
Figura 2: Aplicación de un humedal de flujo subsuperficial para el Tratamiento de aguas residuales domésticas	9
Figura 3: Características y tecnologías utilizadas en el tratamiento de Aguas Servidas..	9
Figura 4: Ubicación aldea S.O.S, Tres Esquinas	14
Figura 5: Humedal Aldea infantil S.O.S, Tres esquinas.....	15
Figura 6: Ubicación humedal artificial, Sector Coliumo.....	16
Figura 7: Humedal domiciliario de flujo sub superficial sector Coliumo.	17
Figura 8: Zantedeschia Aethiopica en estado natural, humedal sector Chaimavida, Concepción.	18
Figura 9: Extracción de la especie Zantedeschia Aethiopica.	18
Figura 10: Procedimiento instalación de Zantedeschia Aethiopica sobre humedales artificiales de flujo sub superficial.....	19
Figura 12: Perfil longitudinal humedal Bulnes con esquema de especies.....	20
Figura 13: Zonificación Densidad de población humedal Bulnes.....	21
Figura 14: Vista en planta general y zonificación humedal Coliumo	22
Figura 15: Perfil longitudinal humedal Coliumo.....	22
Figura 16: Medidor de oxígeno disuelto modelo HI 98193-Hanna Instruments.....	23
Figura 17: Tuberías de registro de Oxígeno Disuelto	24
Figura 18: Puntos de registro de oxígeno disuelto humedal Bulnes.....	24
Figura 19: Mediciones de altura de plantas in situ.	25
Figura 20: Reactivos Hanna Instruments HI 9354A-25 y HI 9354B-25	26
Figura 21: Reactor Térmico Hanna Instruments	26
Figura 22: Fotómetro Hanna Instruments.....	27
Figura 23: Gráfico de Oxígeno disuelto vs Eje transversal correspondiente a la semana 1, humedal Bulnes.	28

Figura 24: Gráfico de Oxígeno disuelto vs Eje transversal correspondiente a la semana 4, humedal Bulnes.	28
Figura 25: Gráfico de Oxígeno disuelto vs Eje transversal correspondiente a la semana 8, humedal Bulnes	29
Figura 26: Gráfico de Oxígeno disuelto vs Eje transversal correspondiente a la semana 12, humedal Bulnes.	29
Figura 27: Gráfico promedio de Oxígeno disuelto vs Semana, humedal Bulnes.....	30
Figura 28: Promedio de OD entre los ejes “A” y “B” vs Semana, humedal Bulnes.....	31
Figura 29:Gráfico de variación porcentual de Oxígeno disuelto de Calas respecto a Espadañas vs eje transversal,semana 12.....	32
Figura 30: Gráfico de promedio de Oxígeno disuelto vs Semana, humedal Coliumo. ...	33
Figura 31: Crecimiento Typha vs Semana, humedal Bulnes.....	34
Figura 32: Crecimiento Zantedeschia Aethiopica vs Semana, humedal Bulnes.	34
Figura 33: Crecimiento Typha vs Semana, humedal Coliumo.....	35
Figura 34: Crecimiento Zantedeschia Aethiopica vs Semana, humedal Coliumo.	35
Figura 35: Gráfico promedio de Temperatura vs Semana, humedal Bulnes.....	37
Figura 36: Gráfico promedio de Temperatura vs Semana, humedal Coliumo.....	37
Figura 37: Porcentaje de Eficiencia vs Semana, humedal Coliumo.....	39

ANEXOS	44
Anexo A: Tablas de Datos.....	45
Registro de Oxígeno disuelto (OD) por Eje en humedal Bulnes- Medición Semanal (Sn)	45
Promedio de Oxígeno disuelto (OD)- Medición Semanal (Sn).....	47
Registro de Eficiencia - humedal domiciliario Coliumo	47
Registro de Eficiencia - humedal Bulnes	47
Registro de Crecimiento-humedal Bulnes	48
Registro de Crecimiento-humedal domiciliario Coliumo	48
Promedio de Temperaturas Registradas	49
Anexo B: Registro Fotográfico.....	50
humedal Bulnes-Semana 1	50
humedal Bulnes-Semana 4	50
humedal Bulnes-Semana 8	51
humedal Bulnes-Semana 12	51
humedal Coliumo-Semana 1	52
humedal Coliumo-Semana 4	52
humedal Coliumo-Semana 8	53
humedal Coliumo-Semana 12	53

Factibilidad de implementación de la especie *Zantedeschia Aethiopica* en humedales de flujo subsuperficial

Autor: Erik Antonio Yévenes Dosque

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

Correo Electrónico: eryevene@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

En el marco del tratamiento de aguas residuales en sectores rurales se presenta una solución tecnológica viable, con bajo costo de operación y alta eficiencia en la reducción de materia orgánica y en menor medida el abatimiento de nutrientes, correspondiente a humedales artificiales de flujo sub superficial.

En la construcción de humedales artificiales es habitual la utilización de la planta Typha, pese a su amplio uso se considera pertinente evaluar la adición de otras especies, como la *Zantedeschia Aethiopica* con el fin de generar valor paisajístico al diseño mediante la diversidad de especies.

Este estudio se realizó en dos humedales artificiales, ubicados en la Región del Bío-Bío. En ambos humedales se instaló tanto la especie Typha como la *Zantedeschia Aethiopica*, plantas que, a través de sus rizomas o raíces, otorgan oxígeno al sistema por procesos naturales de fotosíntesis.

La siguiente investigación se centra en analizar y comparar los niveles de oxígeno disuelto presentes en el flujo sub superficial de estos humedales, puesto que los microorganismos aeróbicos que se desarrollan en el flujo del humedal dependen del oxígeno para realizar el tratamiento biológico. De esta manera se vinculará la factibilidad del uso de la *Zantedeschia Aethiopica* comparando los niveles de oxígeno disuelto que es capaz de otorgar al sistema respecto a la Typha; además se llevara registro de la evolución de cada especie para establecer relaciones entre su crecimiento y aporte de oxígeno a las tecnologías de humedales artificiales.

en la remoción de materia orgánica medida por la Demanda Química de Oxígeno, con los niveles de oxígeno disuelto.

Palabras clave: Humedal artificial, Typha, Zantedeschia Aethiopica, oxígeno disuelto, tratamiento biológico, remoción de materia orgánica.

Numero de palabras: 238 palabras.

9792 Palabras Texto + 45 Figuras/Tablas*250 = 10417 palabras

Feasibility of implementation of the species *Zantedeschia Aethiopica* in subsurface flow wetlands

Author: Erik Antonio Yévenes Dosque

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

E-mail: eryevene@alumnos.ubiobio.cl

Sponsoring Professor: Ing. Pedro Cisterna Osorio

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

E-mail: pcisterna@ubiobio.cl

ABSTRACT

In the context of wastewater treatment in rural areas, a viable technological solution is presented, with low operating costs and high efficiency in the reduction of organic matter, and to a lesser extent, nutrient depletion, corresponding to artificial sub-surface flow wetlands.

In the construction of artificial wetlands, it is usual to use the *Typha* plant, despite its wide use it is considered relevant to evaluate the addition of other species such as *Zantedeschia Aethiopica* to generate landscape value to the design through the diversity of species.

This study was carried out in two artificial wetlands, located in the Bío-Bío Region. Both *Typha* and *Zantedeschia Aethiopica* were installed in both wetlands, plants that, through their rhizomes or roots, provide oxygen to the system by natural processes of photosynthesis.

The following research focuses on analyzing and comparing the levels of dissolved oxygen present in the sub-surface flow of these wetlands, since the aerobic microorganisms that develop in the flow of the wetland depend on the oxygen to perform the biological treatment. In this way, the feasibility of the use of *Zantedeschia Aethiopica* will be compared by comparing the levels of dissolved oxygen that it is able to grant to the system with respect to the *Typha*; in addition to keeping track of the evolution of each species to establish relationships between their growth and oxygen supply to the technologies of artificial wetlands.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas convencionales para el tratamiento de aguas residuales se basan en soluciones como plantas de lodos activos, tecnologías implementadas en zonas urbanas de alta densidad poblacional que utilizan complejos sistemas y equipos que requieren constante operación humana, lo que se traduce en soluciones de alto costo de inversión y operación, por este motivo nace la necesidad de crear sistemas de tratamiento de aguas residuales acordes a zonas rurales de baja densidad de población, donde las tecnologías antes mencionadas son impertinentes, es así como nacen los humedales artificiales de flujo subsuperficial, una solución simple desde el punto de vista tecnológico, de bajo costo de inversión y operación .

Estos sistemas usan plantas semi acuáticas capaces de suministrar oxígeno a través de sus raíces, oxígeno que a su vez permite el desarrollo bacteriano que es el encargado de llevar a cabo la reducción de materia orgánica. En humedales construidos es habitual el uso de macrófitas emergentes como la *Typha*, pese a su óptimo funcionamiento se hace pertinente evaluar la adición de otras especies.

Esta investigación se centrará en evaluar la factibilidad de implementación de la especie *Zantedeschia Aethiopica* en humedales artificiales para potenciar en esta tecnología los efectos paisajísticos y ambientales que la transforman en una de las mejores soluciones ecológicamente sustentables que existen.

1.1 Justificación del Tema

Los humedales artificiales de flujo sub superficial son una tecnología que usa plantas semi acuáticas para llevar a cabo la reducción de materia orgánica, entre ellas la Typha, especie ampliamente usada por su fácil adaptación a las condiciones de humedad y temperatura presente en humedales y su capacidad de otorgar oxígeno al flujo por medio de sus raíces a través de procesos naturales de fotosíntesis; se considera pertinente evaluar la factibilidad de otras especies de plantas tales como la Zantedeschia Aethiopica con el fin de generar valor ornamental al diseño mediante la diversidad de especies.

1.2 Alcance la de la Investigación

La investigación tiene lugar en el humedal artificial S.O.S del sector Tres Esquinas, Bulnes, y un humedal artificial domiciliario ubicado en Coliumo, Tomé. Ambos humedales usan la especie Typha y posteriormente se agregó la especie Zantedeschia Aethiopica en menor proporción agrupadas en su área, con el fin realizar un análisis comparativo en relación con el aporte de oxígeno de cada especie al flujo del humedal y establecer diferencias en la evolución de la vegetación y su adaptabilidad al entorno del sistema.

1.3 Objetivo general

- Estudiar la factibilidad de la implementación de la especie Zantedeschia Aethiopica en humedales artificiales de flujo subsuperficial comparando su funcionalidad frente a la especie Typha.

1.4 Objetivos específicos

- Revisión bibliográfica acerca de las características de la especie Typha y Zantedeschia Aethiopica en el contexto de humedales artificiales.
- Registrar el desarrollo y crecimiento la especie Typha y Zantedeschia Aethiopica en dos humedales artificiales.
- Comparar los niveles de oxígeno disuelto presentes en el flujo de dos humedales artificiales, como indicador de funcionalidad, en zonas pobladas de Typha y Zantedeschia Aethiopica.
- Estudiar y analizar la adaptabilidad de ambas especies al factor temperatura.
- Estudiar y analizar la eficiencia de dos humedales artificiales que cuentan con la especie Typha y Zantedeschia Aethiopica.

2. MARCO TEORICO

2.1 Aguas residuales

Desde el momento en que aparecieron las poblaciones estables, la eliminación de residuos ha representado un problema primordial para las sociedades humanas debido a la necesidad de deshacerse de los desechos originados por la alimentación y las excretas , generando un problema de gestión en las aguas de origen domiciliario , agrícola e industrial .Su alto poder contaminante hace incapaz a los cuerpos receptores la reabsorción y neutralización de la carga contaminante contenida en las aguas residuales de esta índole .

Los problemas causados no son sólo de índole física o estética, sino que trascienden al campo de la sanidad, ya que las comunidades humanas necesitan recurrir a diversos recursos de agua superficiales para su abastecimiento de agua de bebida, y si éstos están contaminados con los productos de desecho humanos o industriales, pueden dar lugar a problemas epidemiológicos graves.

Las aguas residuales se pueden definir como aquellas que, por uso del hombre, representan un peligro y deben ser desechadas, porque contienen gran cantidad de sustancias y/o microorganismos. (Espigares García & Pérez López, 1999).

Dentro de este concepto se incluyen aguas con diversos orígenes:

- *Aguas residuales domésticas o aguas negras*: proceden de las heces y orina humanas, 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 y grasas.
- *Aguas blancas*: pueden ser de procedencia atmosférica (lluvia, nieve o hielo) o del riego y limpieza de calles, parques 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 un tratamiento previo.

2.1.2 Tipos de Tratamiento de Aguas Residuales:

Resulta imperante el tratamiento de aguas residuales a fin de modificar sus características físicas, químicas y biológicas para de esta manera evitar el impacto de su descarga en las masas de agua receptoras. (Espigares García & Pérez López, 1999)

Los sistemas de depuración de aguas residuales son de carácter múltiple, con distintos niveles de tratamiento (Fernández Gonzáles y otros, 2005);

-*Pretratamiento*: Su objetivo es eliminar materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos cuya presencia en el efluente perturba el tratamiento total, perjudicando la eficiencia de equipos e instalaciones.

-*Tratamiento Primario*: Su función es eliminar solo parte de los sólidos en suspensión basados principalmente en sistemas de remoción mecánica.

-*Tratamiento Secundario*: Se basa en el tratamiento biológico con microorganismos aerobios o anaerobios que descomponen la mayor parte de la materia orgánica y nutrientes.

-*Tratamiento Terciario*: Incluye la retención del fósforo y el nitrógeno, además de la eliminación de microorganismos patógenos.

2.2 Humedales artificiales:

Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluente es depurada progresiva y lentamente. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

Los humedales artificiales pueden ser contruidos en base a tres modos hidrológicos, en los que se encuentran;

-*Humedal vertical de flujo subsuperficial (VSS)*: la circulación del agua es de tipo vertical y su aplicación se realiza en pulsos, de manera que no están permanentemente inundados. La profundidad del medio granular varía entre 0,5 y 0,8 m. (Morales, López, Vera, & Vidal, 2013)

-*Humedal horizontal o de flujo libre (HS)*: tienen áreas de agua abiertas y son similares en aspecto a los pantanos naturales.

-*Humedal horizontal de flujo subsuperficial(HSS)*: 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) .La profundidad puede variar entre 0,3 y 1,0 m. Se caracterizan por funcionar permanentemente inundados, con una lámina de agua que se encuentra entre 0,05 y 0,1 m por debajo de la superficie.

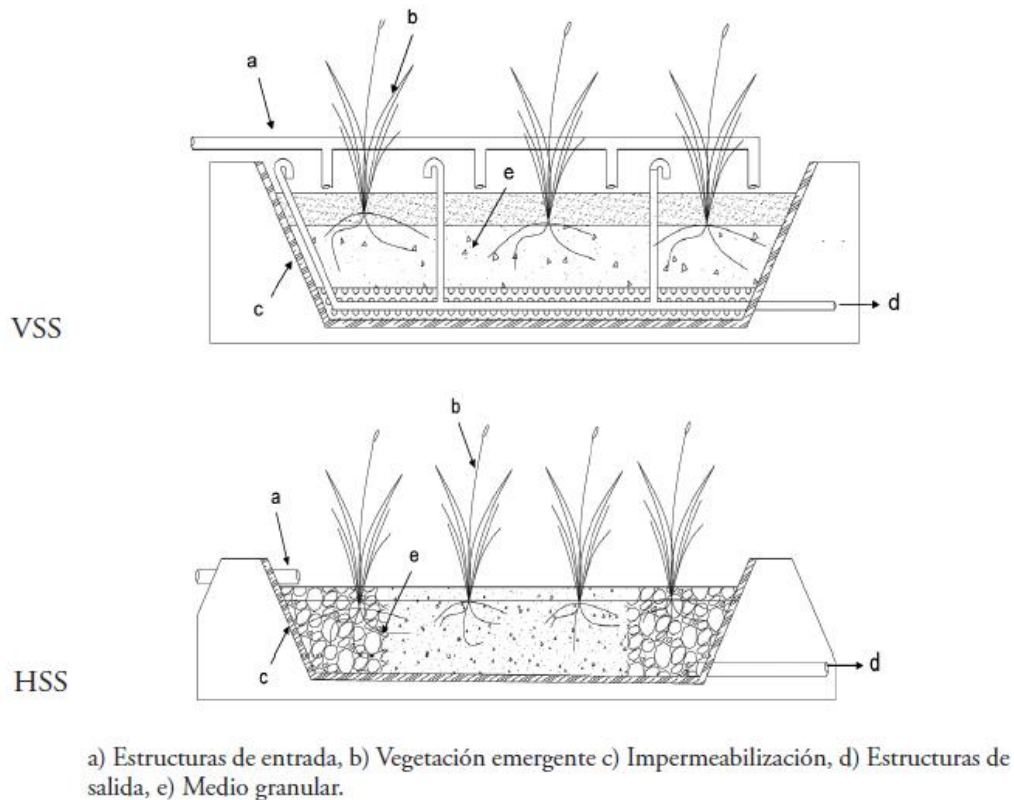


Figura 1: Corte humedales construidos de flujo subsuperficial vertical (VSS) y horizontal (HSS). (Fuente: Morales, López, Vera, & Vidal, 2013)

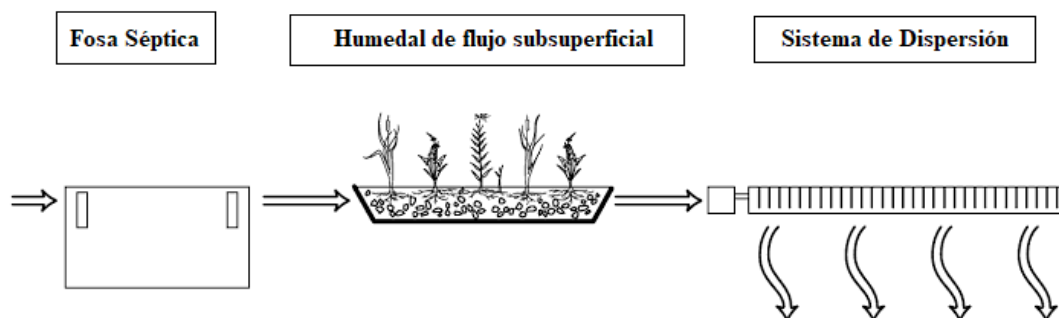


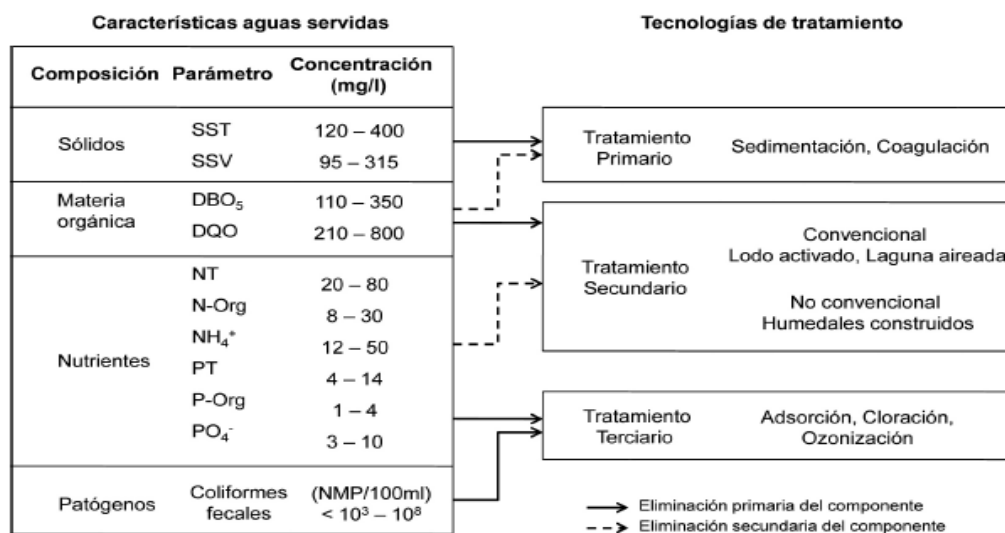
Figura 2: Aplicación de un humedal de flujo subsuperficial para el Tratamiento de aguas residuales domésticas. (Fuente: Kadlec & Wallace, 2009)

2.3 Componentes y Parámetros de un humedal artificial

2.3.1 Aguas Residuales Domésticas

En el contexto de humedales artificiales las aguas residuales generadas son de origen doméstico y aguas blancas.

Las aguas servidas generadas por las comunidades están compuestas principalmente por; solidos suspendidos, materia orgánica, nutrientes y agentes patógenos, cada uno de estos componentes está vinculado a un distinto nivel de tratamiento y tecnologías de aplicación.



Donde: SST: Sólidos suspendidos totales, SSV: Sólidos suspendidos volátiles, DBO₅: Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días, DQO: Demanda Química de Oxígeno, NT: Nitrógeno total, N-Org: Nitrógeno orgánico, NH₄⁺: Amonio, PT: Fósforo total, P-Org: Fósforo orgánico, PO₄⁻: Fosfato, NMP: Número más Probable.

Figura 3: Características y tecnologías utilizadas en el tratamiento de Aguas Servidas (Fuente: Morales, López, Vera, & Vidal, 2013)

2.3.2 Las Plantas

El medio granular no solo permite la filtración del agua residual y la fijación de poblaciones microbianas, sino que también sirve de soporte a la vegetación que se encuentra sobre este material.

La vegetación empleada consta en plantas acuáticas o semi acuáticas emergentes capaces de adaptarse a las condiciones de humedad característico de humedales artificiales cuya funciones son ; promover el asentamiento de sólidos en suspensión , proporcionar una superficie para la formación de biopelículas microbianas (responsables de la reducción de materia orgánica y nutrientes), transportar oxígeno desde la atmosfera a su zona radicular permitiendo la degradación aeróbica debido a la disponibilidad de oxígeno disuelto , proveen hábitats y mejoran estéticamente los lugares donde se implantan. (Morales, López, Vera, & Vidal, 2013)

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) .

Su contribución a la eliminación de nutrientes es modesta cuando se tratan aguas residuales urbanas de tipo medio (eliminan entre un 10% del N y un 20% del P) (García Serrano & Corzo Hernández , 2008)

El desarrollo de raíces es función de la disponibilidad de nutrientes en el agua y de la demanda de nutrientes por parte de la planta. Por consiguiente, la densidad y profundidad del medio filtrante (raíces), depende en gran medida de factores como la calidad del agua. (Martelo & Lara Borreto, 2012)

2.3.2.1 Especies en estudio

Uno de los valores que diferencian a un humedal construido respecto a una tecnología convencional, es el valor estético dado por las plantas. Las plantas utilizadas comúnmente en humedales construidos, corresponde a especies típicas de humedales naturales, como espadaña (*Typha spp.*), caña (*Phragmites spp.*) y junco (*Schoenoplectus spp.*). Sin embargo, estudios recientes han evaluado la posibilidad de sustituir estas especies por macrófitas ornamentales, como son *Zantedeschia Aethiopica*, *Canna spp.* e *Iris spp.* (Morales, López, Vera, & Vidal, 2013)

Para efectos de esta investigación se aplicarán y contrastarán la funcionalidad y adaptabilidad de dos de las especies nombradas anteriormente.

2.3.2.1.1 *Typha ssp.*

Su nombre común es Espadaña; son macrófitas emergentes frecuentemente empleadas en humedales artificiales de flujo subsuperficial, es común encontrarlas en humedales naturales, crecen aproximadamente 2.5 a 3 metros (Buczacki, 1995)

Ubicua en distribución, es capaz de crecer bajo diversas condiciones medio ambientales además de propagarse fácilmente.

Las helófitas más usadas en depuración son *Typha*, *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, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

La profundidad de penetración de sus raíces en el medio granular del humedal son aproximadamente 30 a 40 cm.

2.3.2.1.2 *Zantedeschia Aethiopica*.

Comúnmente son conocidas como Calas; son plantas palustres emergidas que se encuentran en los bordes de los lagos, pantanos, estanques, ríos o en cualquier zona en la que el suelo se mantenga permanentemente húmedo (Benitez Gualdron y otros, 2016) .

Esta planta posee hojas de gran tamaño, de forma lanceolada y de color verde oscuro y posee una llamativa flor blanca en forma de embudo, es capaz de alcanzar los 1.5 m de altura (Sacoto, 2010).

Su aplicación en humedales artificiales tiene fines ornamentales y su factibilidad a este tipo de sistemas se contrastará con el de la *Typha ssp.*

2.3.3 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto es un gas de baja solubilidad en el agua, requerido para la vida acuática aerobia. La solubilidad del oxígeno atmosférico en el agua dulce oscila entre 7 mg/L a 35 °C y 14,6 mg/L a 0 °C para presión de una atmósfera. La baja disponibilidad de oxígeno disuelto (OD) limita la capacidad autopurificadora de los cuerpos de agua y hace necesario el tratamiento de las aguas residuales para su disposición en ríos y embalses, La concentración de saturación de OD es función de la temperatura, de la presión atmosférica y de la salinidad del agua. En general, todo proceso aerobio requiere una concentración de OD mayor de 0,5 mg/L. El suministro de oxígeno y la concentración de OD en tratamientos biológicos aerobios y aguas receptoras de aguas residuales son aspectos de mayor importancia en el diseño, operación y evaluación de plantas de tratamiento de aguas residuales. (Romero, 2004)

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 (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010) , lo que significa que son organismos que pueden vivir y desarrollarse gracias a la presencia de oxígeno, dichos organismos son los responsables de llevar a cabo la reducción de materia orgánica y nutrientes.

2.3.4 Microorganismos

Los microorganismos son los encargados de realizar el tratamiento biológico y por lo tanto descomponer la materia orgánica que ingresa al humedal. Existen los microorganismos aeróbicos y anaeróbicos, los cuales se desarrollarán dependiendo de la profundidad en la que habiten. En la zona superior del humedal donde predomina el oxígeno liberado por las plantas se desarrollarán microorganismos aeróbicos, mientras que en el resto del lecho granular predominarán los microorganismos anaeróbicos. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

Los microorganismos presentes en estas tecnologías descomponen entre un 20 y 30% de los nutrientes (Fernández Gonzáles y otros, 2005) y obtienen eficiencias de hasta un 95% en la reducción de materia orgánica (Morales, López, Vera, & Vidal, 2013).

La Temperatura es un elemento vital para la proliferación bacteriana en humedales artificiales, ya que de estas bacterias es que depende el tratamiento biológico cuyo rango optimo va de los 25 a 35° C, para temperaturas menores a 5°C la actividad bacteriana de inhibe (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

2.4.1 DQO

La materia se puede clasificar en orgánica y no orgánica, biodegradable y no biodegradable respectivamente, medidas por la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO).

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 suele ser alrededor de 0,5, es decir, la DQO suele ser doble que la DBO. Las aguas residuales urbanas presentan valores de DQO que oscilan entre 150 y 800 mg/l. (Fernández Gonzáles y otros, 2005)

Calculo de eficiencia:

En humedales artificiales es importante conocer los porcentajes de remoción de materia orgánica total medida por la DQO, dado que este parámetro nos indicara la eficiencia del sistema. El cálculo asociado es el siguiente:

$$\eta = \frac{(DQOa - DQOe)}{DQOa} * 100$$

Donde:

η : Eficiencia del Humedal medida en porcentaje (%)

$DQOa$: Demanda Química de Oxígeno del Afluyente (entrada) medida en mg/l

$DQOe$: Demanda Química de Oxígeno del Efluyente (salida) medida en mg/l

3. METODOLOGIA

3.1 Revisión bibliográfica

Antes de comenzar con las pruebas y toma de datos es pertinente realizar la revisión bibliográfica acerca de las características de la especie *Typha* y *Zantedeschia Aethiopica* en el contexto de humedales artificiales y su correcta implementación.

3.2 Estudio de humedales

Esta investigación tendrá como foco de estudio dos humedales artificiales ubicados en la región del Bío-Bío, que servirán como punto de observación y registro de datos en un periodo de tiempo aproximado de cuatro meses, con visitas a terreno de forma semanal.

3.2.1 Humedal aldea infantil S.O.S Bulnes

El humedal de la aldea infantil S.O.S Bulnes ha sido foco de investigaciones anteriores donde se determinó que a mayores niveles de oxígeno disuelto en el flujo del humedal se obtienen mayores porcentajes de eficiencia en la remoción de materia orgánica (Henríquez Duran, 2016)

- ubicación:

Aldea infantil S.O.S ubicada en Tres Esquinas, Comuna de Bulnes, región del Bío-Bío.

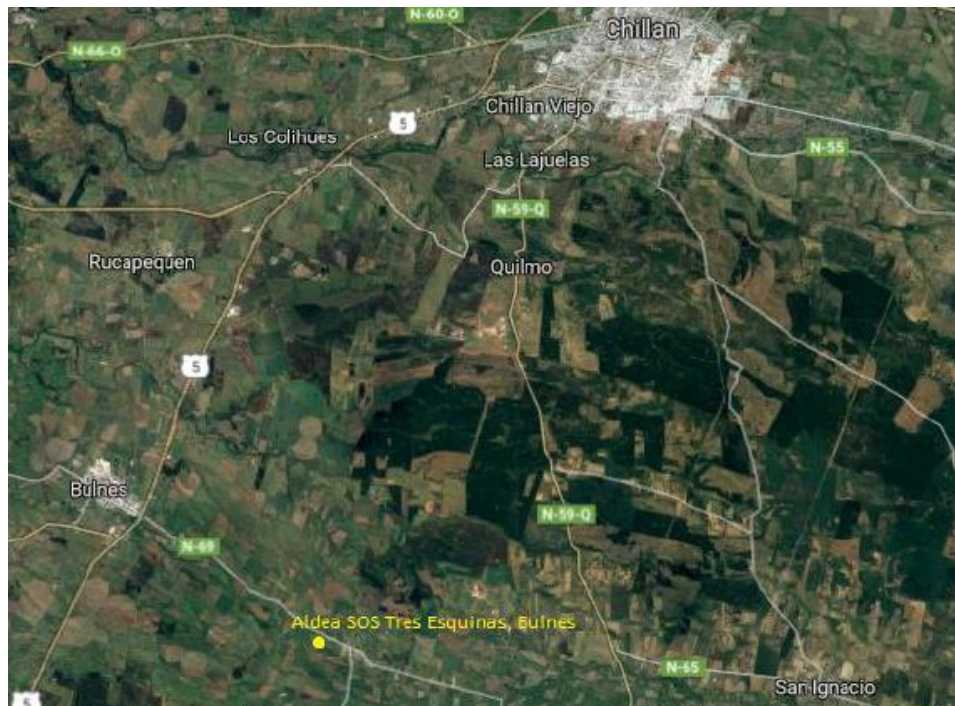


Figura 4: Ubicación aldea S.O.S, Tres Esquinas (Fuente: Google Earth)

3.2.1.2 Descripción Humedal aldea infantil S.O.S

El humedal aldea infantil S.O.S, es un humedal de flujo subsuperficial horizontal que sirve a una comunidad de aproximadamente 100 personas, cuya profundidad va de los 0.3 m a los 0.7 m en la salida, cubierto por una capa de polietileno de alta densidad (HDPE) para impedir la infiltración del flujo al suelo o napa subterránea , sobre este va una capa de arena fina (granulometría menor a 2mm y 5 mm de espesor) cuya función es impedir el punzonamiento con la posterior capa de grava gruesa (granulometría 19 mm) , grava por la cual el flujo es capaz de escurrir libremente desde la entrada a salida del humedal , las dimensiones de largo y ancho son de 23x7 m respectivamente ;



Figura 5: Humedal Aldea infantil S.O.S, Tres esquinas.

3.2.2 Humedal domiciliario Coliumo

El humedal ubicado en Coliumo, es un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal de las mismas características constructivas que el humedal de Aldeas infantiles S.O.S de Bulnes, pero diseñado para servir a 5 personas, solucionando problema de tratamiento de aguas residuales de un domicilio particular.

-ubicación:

Humedal domiciliario ubicado en Coliumo a 10 km de la Comuna de Tomé, región del Bío-Bío.



Figura 6: Ubicación humedal artificial, Sector Coliumo. (Fuente: Google Earth)

3.2.2.1 Descripción Humedal Domiciliario sector Coliumo

El humedal ubicado en Coliumo, es un humedal artificial de flujo subsuperficial de las mismas características constructivas que el humedal de Aldea S.O.S Tres Esquinas, pero diseñado para servir de 5 a 7 personas, solucionando problema de tratamiento de aguas residuales de un domicilio particular.

El humedal domiciliario de Coliumo tiene dimensiones de 1 x 3 m, y una profundidad que va desde los 0.9 a 0.5 m en la salida;



Figura 7: Humedal domiciliario de flujo sub superficial sector Coliumo.

3.3 Instalación de la especie *Zantedeschia Aethiopica* en humedales de estudio

Como primer objetivo se tiene la instalación de la especie *Zantedeschia Aethiopica* en ambos humedales en estudio, los que ya cuentan en su diseño con la especie *Typha*, de esta manera se busca comparar el crecimiento de ambas especies y su aporte de oxígeno disuelto al flujo del humedal.

El procedimiento consta en extraer la especie de una zona donde crezca de forma natural, teniendo sumo cuidado en no cortar la raíz, para luego trasladar los ejemplares hasta el sector del humedal artificial y ejecutar su instalación, como se trata de una especie semi acuática es común encontrarlas en zonas húmedas; canales, riachuelos, humedales naturales, cercanías de ríos etc.



Figura 8: *Zantedeschia Aethiopica* en estado natural, humedal sector Chaimavida, Concepción.



Figura 9: Extracción de la especie *Zantedeschia Aethiopica*.

3.3.1 Instalación en humedal aldea infantil SOS, Bulnes

El procedimiento de la instalación de la especie una vez extraídas de su estado natural al humedal artificial consta en hacer una zanja de entre 20 y 25 cm de profundidad en el área compuesta con grava gruesa , para posteriormente poner la raíz de la planta en la base de la zanja y luego rellenar con la misma grava que se removió inicialmente, de manera de dar firmeza al tallo .Se repite este procedimiento completando la instalación con 50 ejemplares , cubriendo un área correspondiente al 13.66 % del humedal artificial de aldeas infantiles S.O.S

la instalación de la especie *Zantedeschia Aethiopica* tiene lugar 8 semanas después de la instalación de especie *Typha*.



Figura 10: Procedimiento instalación de *Zantedeschia Aethiopica* sobre humedales artificiales de flujo sub superficial

3.3.2 Instalación en humedal Coliumo

Se sigue el mismo procedimiento de instalación que se siguió para el humedal de aldeas infantiles S.O.S (ver Figura 10), instalando 8 ejemplares cubriendo un área correspondiente al 20% del humedal domiciliario del sector Coliumo.

Las correspondientes mediciones de este estudio dan comienzo 12 semanas luego de la instalación de la especie *Typha*.

3.4 Zonificación

Finalizada la instalación de la especie a investigar en ambos humedales, se definen áreas sobre las cuales crecen y se desarrollan ambas plantas, de esta manera será más sencillo identificar de forma visual la evolución que sufre cada especie, además permitirá medir con un dispositivo especial cual es el aporte de oxígeno disuelto sobre aquellas zonas definidas para cada planta.

El dispositivo de medición se trata de un medidor de oxígeno disuelto, el cual opera con una sonda que posee un sensor en su extremo, por lo que estos humedales cuentan con tuberías distribuidas en su área que permiten realizar esta actividad de manera óptima.

En la zonificación se discriminará por densidad de población de plantas, ya que sectores más densos dan como resultado mayores niveles de oxígeno disuelto (Henríquez Duran, 2016) ;

3.4.1 Zonificación Humedal aldea infantil SOS Bulnes

En la zonificación del humedal Bulnes se tiene un sector con la especie *Zantedeschia Aethiopica* que ocupa un área de 22 m² de un total de 166 m² correspondiente al tamaño del humedal completo, aproximadamente cada un tercio del largo se tiene distinta densidad de población para la especie *Typha*;

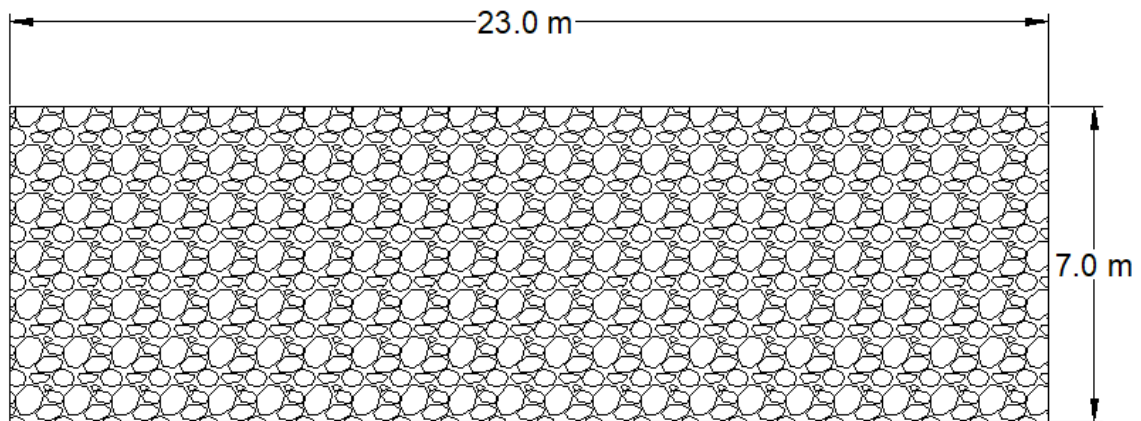


Figura 11: Vista en planta general humedal Bulnes.

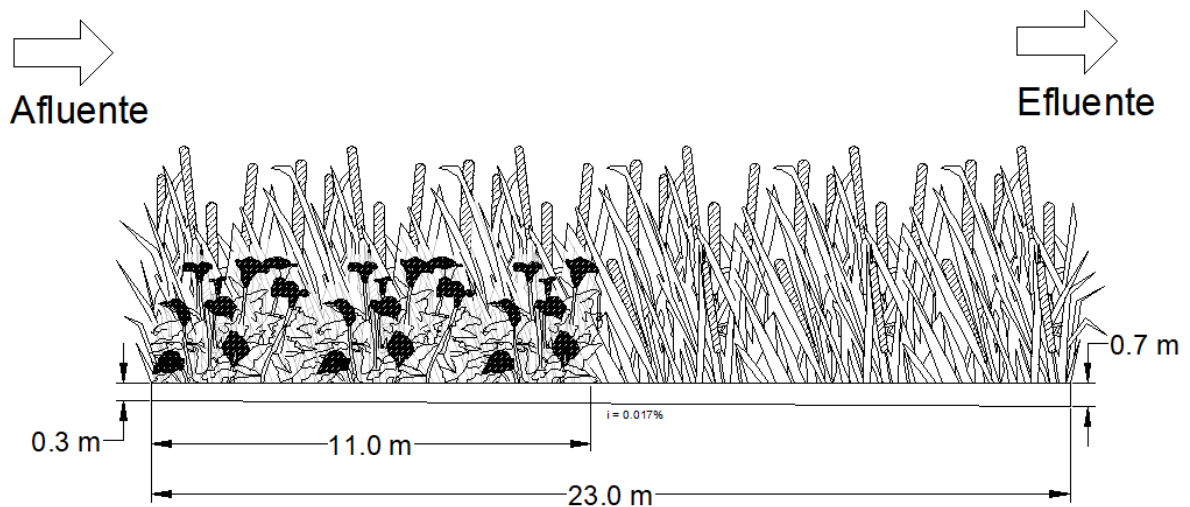


Figura 12: Perfil longitudinal humedal Bulnes con esquema de especies.

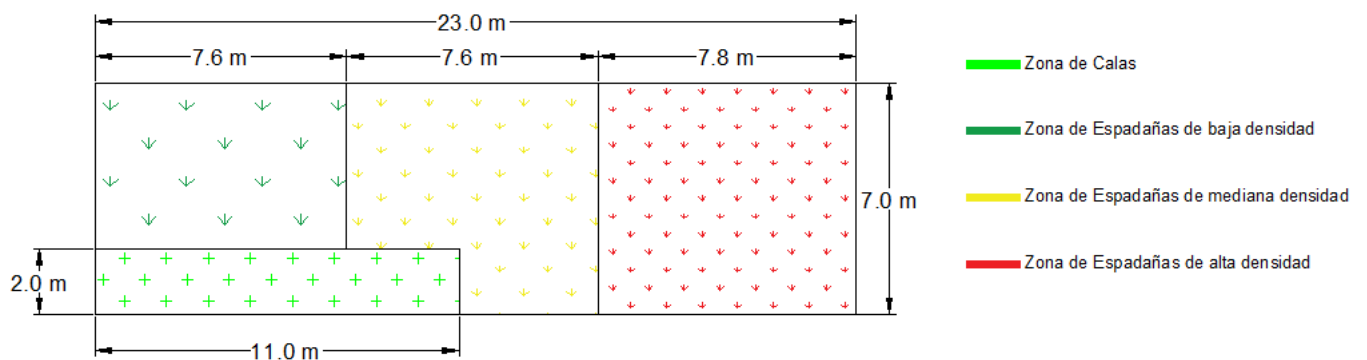


Figura 13: Zonificación Densidad de población humedal Bulnes.

Densidad de población de especies:

- Alta densidad: 8 a 12 plantas por metro cuadrado.
- Mediana Densidad: 6 a 7 plantas por metro cuadrado.
- Baja densidad: 1 a 5 plantas por metro cuadrado.

3.4.2 Zonificación humedal Coliumo

En la zonificación del humedal domiciliario Coliumo se tiene una zona con la especie *Zantedeschia Aethiopica* con un área de 0.6 m^2 de un total de 3 m^2 correspondiente al tamaño del humedal domiciliario completo, al tratarse de un humedal pequeño, no hay una diferencia significativa en cuanto a densidad de cada especie, por lo que este parámetro será despreciado para este humedal, además la poca separación entre ambas plantas dificulta discernir si los parámetros de oxígeno disuelto corresponden a la *Typha* o *Zantedeschia Aethiopica*, por este motivo, este humedal solo será un punto de observación en términos de evolución de cada especie y adaptabilidad al entorno.

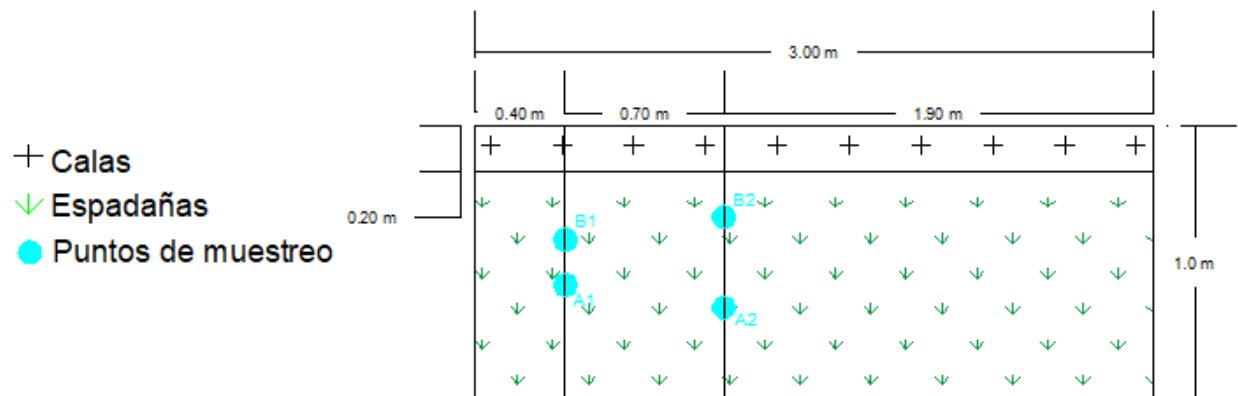


Figura 14: Vista en planta general y zonificación humedal Coliumo

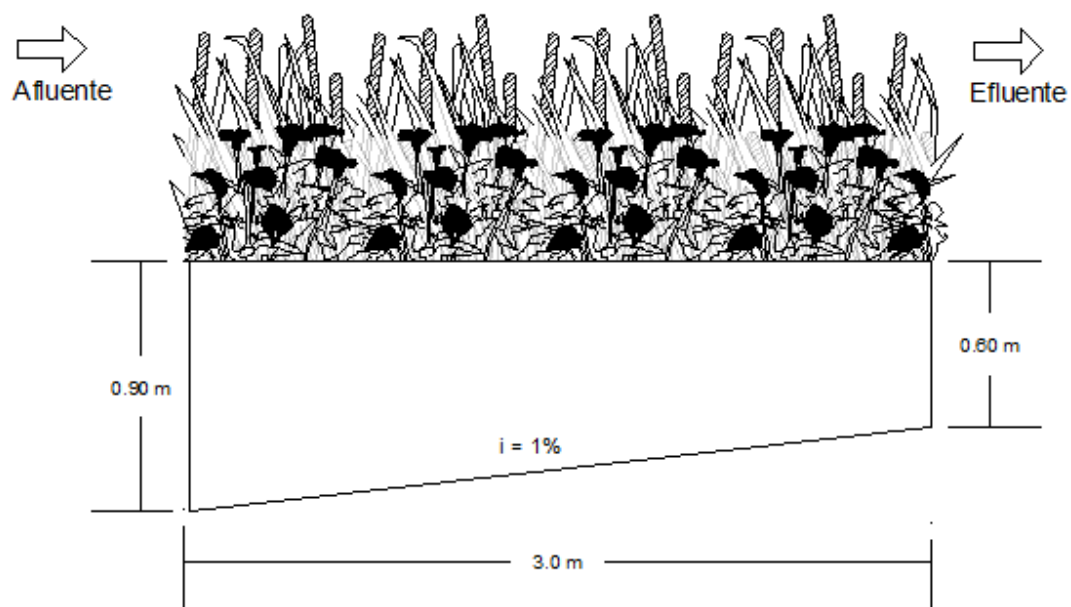


Figura 15: Perfil longitudinal humedal Coliumo

3.5 Sistema de toma de datos

El sistema de toma de datos se basa en un dispositivo especial capaz de almacenar los datos de oxígeno disuelto gracias a su sonda con sensor incorporado, es por esto que ambos humedales cuentan en su diseño con tuberías distribuidas en sus áreas que permiten efectuar los sondeos de forma eficiente y segura.

3.5.1 Medidor de oxígeno disuelto y temperatura

El equipo utilizado es un medidor portátil de oxígeno disuelto marca Hanna Instruments modelo HI 98193, este medidor profesional es compuesto por una sonda que permite registrar el OD (oxígeno disuelto) a través de un sensor el cual también es capaz de registrar temperatura y proyectar estos datos en una pantalla LCD para su fácil lectura, permitiendo almacenar hasta 400 datos, información que puede ser transferida a un ordenador mediante el cable USB HI920015 y el software HI9200.

El dispositivo entrega los datos de oxígeno disuelto en unidades de mg/L y la temperatura en °C. (Medidor OD HI 98193, s.f.)



Figura 16: Medidor de oxígeno disuelto modelo HI 98193, Hanna Instruments

Operación del medidor de oxígeno disuelto HI 98193:

- Encender el medidor de oxígeno disuelto HI 98193 presionando el botón de encendido ubicado en la esquina superior izquierda.
- Insertar la sonda sobre la tubería de muestra que se desea registrar.
- Mover la sonda para cerciorarse que el sensor está completamente sumergido.
- Esperar a que las lecturas de oxígeno disuelto y temperatura se estabilicen.
- Guardar la lectura en la memoria interna del dispositivo presionando el botón “log”.
- Retirar lentamente la sonda para evitar golpes o movimientos bruscos que afecten al sensor.
- Repetir los pasos anteriores para registrar todos los puntos deseados.

3.5.2 Tuberías de Registro de Oxígeno Disuelto y Temperatura.

Los diseños de ambos humedales en estudio cuentan con tuberías de PVC hidráulico de 1 m de largo instalados a una profundidad de 0.4 m aproximadamente, tuberías ubicadas a lo largo de su área, los cuales tienen como única función permitir las mediciones de oxígeno disuelto a través de un dispositivo que aplica sondajes (ver figura 15), este sistema funciona de forma manual ; cada punto de medición se compone por dos tuberías de PVC de distinto diámetro, las que van montadas una sobre otra formando un sistema hermético , se retira la tubería de menor diámetro (30 mm) , que es la que mantiene sellado el sistema mediante un tapón plástico en su extremo , la tubería interna (diámetro 40 mm) cuenta con orificios que facilita la entrada del flujo del humedal y permite el ingreso de la sonda para efectuar la medición.



Figura 17: Tuberías de registro de Oxígeno Disuelto

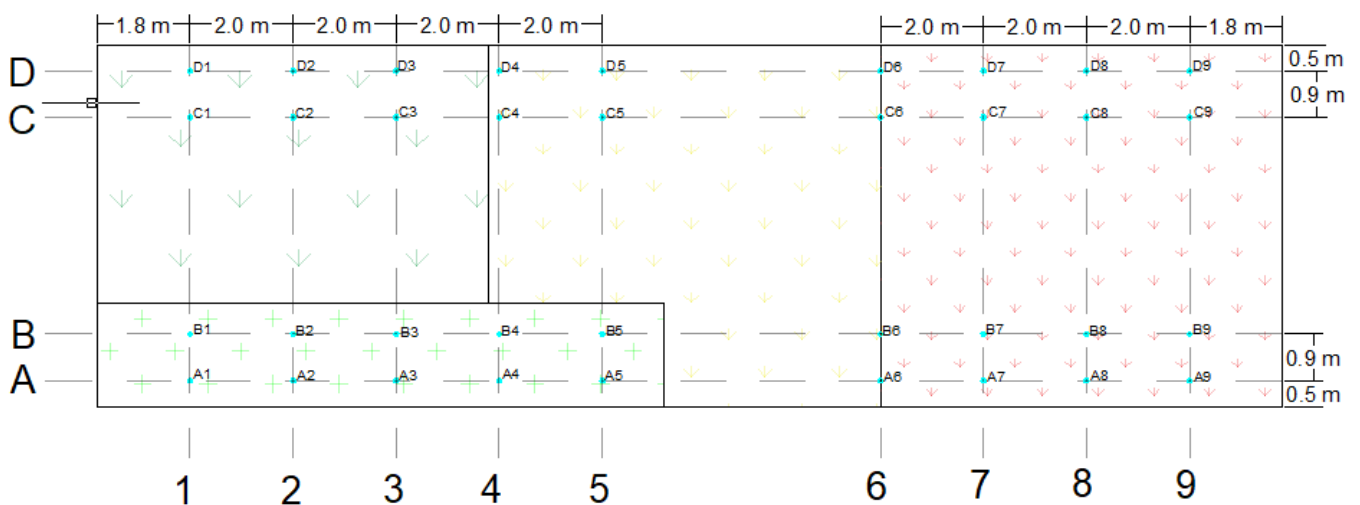


Figura 18: Puntos de registro de oxígeno disuelto humedal Bulnes.

3.6 Registro de crecimiento

Las dos especies de plantas en estudio tienen distintos ciclos de evolución a medida que se desarrollan en el entorno característico de humedales artificiales de flujo sub superficial , por lo que es pertinente realizar un registro de crecimiento semanal basado en un promedio de alturas para cada especie , de manera de lograr obtener un factor de crecimiento vs tiempo asociado a cada planta , proceso de evolución que tiene directa relación con mayores niveles de oxígeno disuelto en el flujo de humedales favoreciendo la proliferación de microorganismos encargados de la remoción de materia orgánica.

El procedimiento consta en mediciones in situ utilizando una huincha metálica o jalón de madera, midiendo la longitud desde la base de la planta en contacto con la grava hasta su extremo o punta, finalmente se registra el dato en una libreta. se repite el procedimiento hasta tener una muestra representativa respecto a la cantidad de plantas, acorde a cada humedal estudiado.



Figura 19: Mediciones de altura de plantas in situ.

3.7 Análisis de demanda química de oxígeno (DQO)

Para obtener los valores de eficiencia de cada humedal se extrajeron muestras del afluente y efluente con el fin de realizar ensayos de laboratorio que permitan registrar la DQO de entrada y salida.

Para testear las muestras es necesario el siguiente equipo:

3.7.1 Reactivos DQO;

Se usaron reactivos DQO Hanna Instruments aplicándose de forma diferenciada para las muestras de entrada y salida, debido a que los niveles de DQO varían dependiendo de la aplicación y puntos de proceso de medición (Reactivos Certificados de DQO , s.f.) pre y post tratamiento;

- De rango bajo HI 9354A-25; 0 a 50 (mg/l) de O₂ para las muestras del efluente.
- De rango medio HI 9354B-25; 0 a 1500 (mg/l) de O₂ para las muestras del afluente.



Figura 20: Reactivos Hanna Instruments HI 9354A-25 y HI 9354B-25

3.7.2 Reactor Térmico;

Se utilizó un Reactor Térmico marca Hanna Instruments, que es un calentador con capacidad para 25 de tubos de ensayo que cuenta con un temporizador y ajuste de temperatura.



Figura 21: Reactor Térmico Hanna Instruments

3.7.3 Fotómetro:

Se utilizó un Fotómetro marca Hanna Instruments que permite realizar el análisis de aguas residuales mediante mediciones de DQO para rangos bajos (0 a 50 (mg/l) de O_2), medios (0 a 1500 (mg/l) de O_2) y altos (0 a 15000 (mg/l) de O_2).



Figura 22: Fotómetro Hanna Instruments.

3.7.4 Procedimiento y utilización del equipo

- Extraer las muestras del afluyente y efluente del humedal en frascos sellados, conservarlas refrigeradas para no alterar la muestra.
- Utilizando una jeringa, se extraen 2 ml de muestra y se depositan en los reactivos según el rango correspondiente, se agita 2 o 3 veces para mezclar el reactivo. Adicionalmente se preparan muestras Zero para rangos medios y bajos usando 2 ml de agua destilada.
- Los tubos de ensayo que contienen la mezcla del reactivo y la muestra son depositados en los viales del reactor térmico a una temperatura de 150° C por 120 minutos, finalmente se esperan aproximadamente 30 minutos antes de retirarlos.
- Utilizando el fotómetro se selecciona el rango que se desea ensayar y se inserta la muestra Zero correspondiente para realizar la calibración.
- Una vez calibrado, se procede a insertar los tubos de ensayo que contienen la muestra para finalmente obtener el valor de DQO correspondiente a cada rango.
- Con los datos de DQO de entrada y salida se calcula manualmente la eficiencia del humedal artificial.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1 Oxígeno disuelto

4.1.1 Oxígeno disuelto vs ejes transversales.

Los siguientes gráficos están basados en la zonificación y puntos de registro definidos anteriormente (ver Figura 13 y 18);

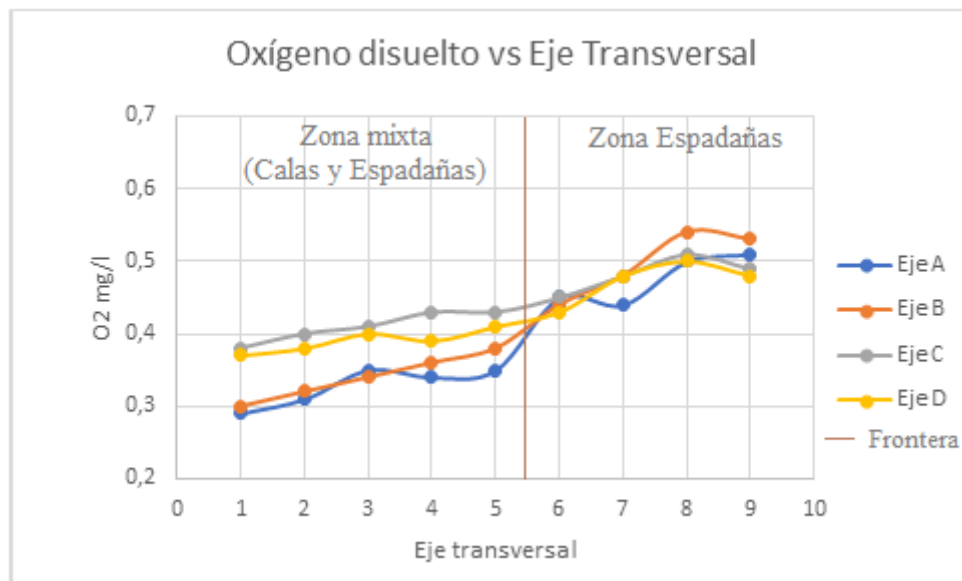


Figura 23: Gráfico de Oxígeno disuelto vs Eje transversal correspondiente a la semana 1, humedal Bulnes.

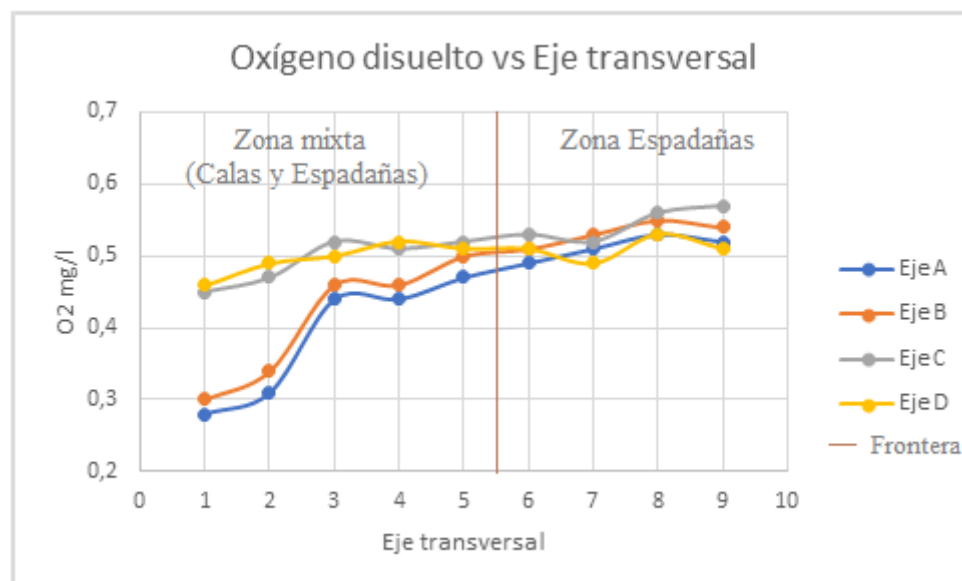


Figura 24: Gráfico de Oxígeno disuelto vs Eje transversal correspondiente a la semana 4, humedal Bulnes.

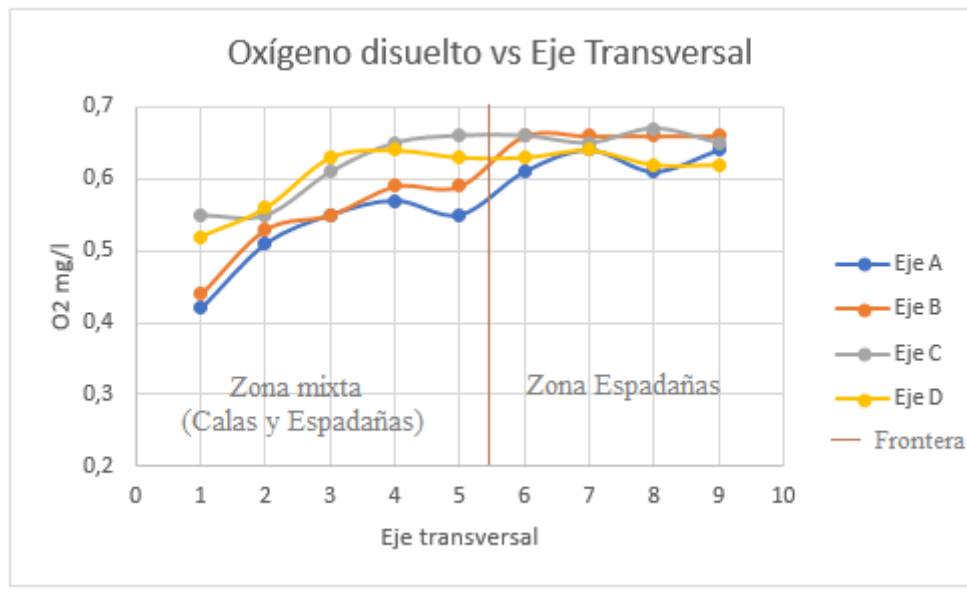


Figura 25: Gráfico de Oxígeno disuelto vs Eje transversal correspondiente a la semana 8, humedal Bulnes

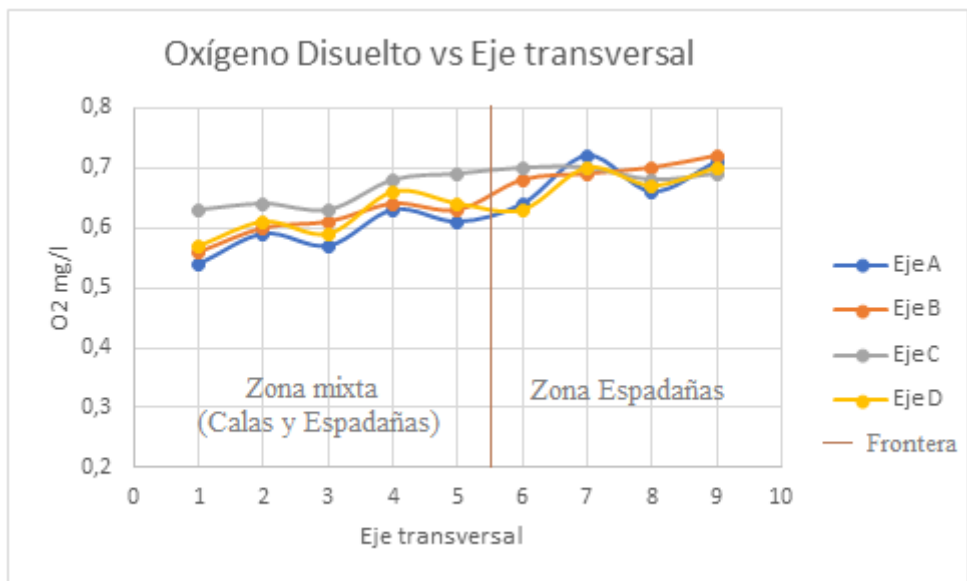


Figura 26: Gráfico de Oxígeno disuelto vs Eje transversal correspondiente a la semana 12, humedal Bulnes.

La zonificación correspondiente a la especie *Zantedeschia Aethiopica* tiene su frontera luego del eje transversal 5, para los ejes longitudinales A y B del humedal Bulnes

4.1.2 Promedio de oxígeno disuelto vs semana, humedal Bulnes:

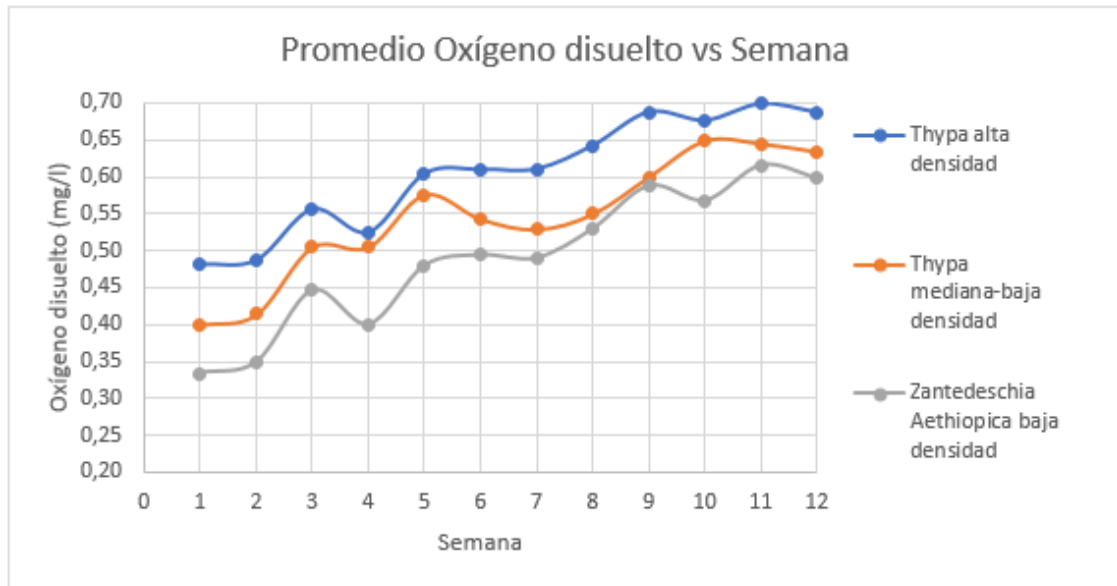


Figura 27: Gráfico promedio de Oxígeno disuelto vs Semana, humedal Bulnes.

Para el gráfico de la primera semana se puede apreciar que los niveles de oxígeno disuelto asociados a la Typha son superiores a los de la Zantedeschia Aethiopica, la razón es que la Typha lleva 8 semanas de evolución y crecimiento versus 1 semana de la Cala, además se puede observar que el crecimiento exponencial de los niveles de oxígeno a lo largo del humedal es coincidente con los niveles de densidad de población de ambas especies, concentrándose los valores más altos en el último tercio del humedal (zona delimitada entre el eje 6 y 9).

De forma práctica se estimó que un valor óptimo de oxígeno disuelto esta aproximadamente en el rango de los 0,55 a 0,65 mg/l, valor que es alcanzado por ambas especies dentro de la semana 8 y 12, esta afirmación tiene sustento en que es el rango de oxígeno disuelto que se registra para un sector de espadañas densamente poblado y en etapa de madurez (5 meses de crecimiento en humedales artificiales), alcanzando los 2,2 a 2,7 metros (Morales, López, Vera, & Vidal, 2013), por ende, será el parámetro de funcionalidad para la Cala.

Los días lluviosos correspondientes a las semanas 3, 9, 11 y 12 entregaron como resultado mayores niveles de oxígeno disuelto de manera global en el humedal de flujo sub superficial debido a la mayor concentración de agua lluvia sobre el humedal que trae consigo una mayor cantidad de oxígeno disuelto (6 a 8 mg/l) respecto a la del agua residual.

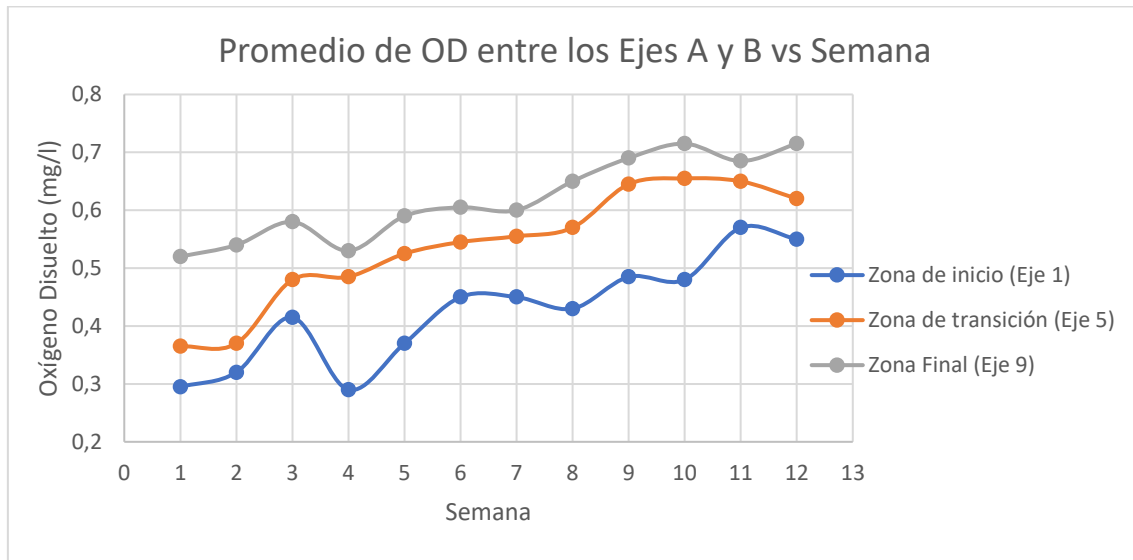


Figura 28: Promedio de OD entre los ejes “A” y “B” vs Semana, humedal Bulnes.

El hemisferio derecho del humedal Bulnes (Ejes A y B) corresponde al sector del humedal donde se encuentra la zona con Calas, delimitada por la zona de inicio (Eje 1) y zona de transición (Eje 5), para luego dar lugar a la zona de Espadañas en el resto del largo donde se encuentran los últimos puntos de registro de OD (Eje 9), describiendo de esta manera puntos críticos del humedal que permiten visualizar de forma más acotada los registros de OD en el flujo que muestran la tendencia de aumento en las concentraciones para las distintas zonas en cada semana, es importante destacar que los valores de OD ascienden de menor a mayor para las zonas de inicio, transición y final respectivamente, mostrando la leve superioridad de poder oxigenante de la espadaña sobre la cala.

4.1.3 Variación Porcentual de OD de Calas respecto a Espadañas

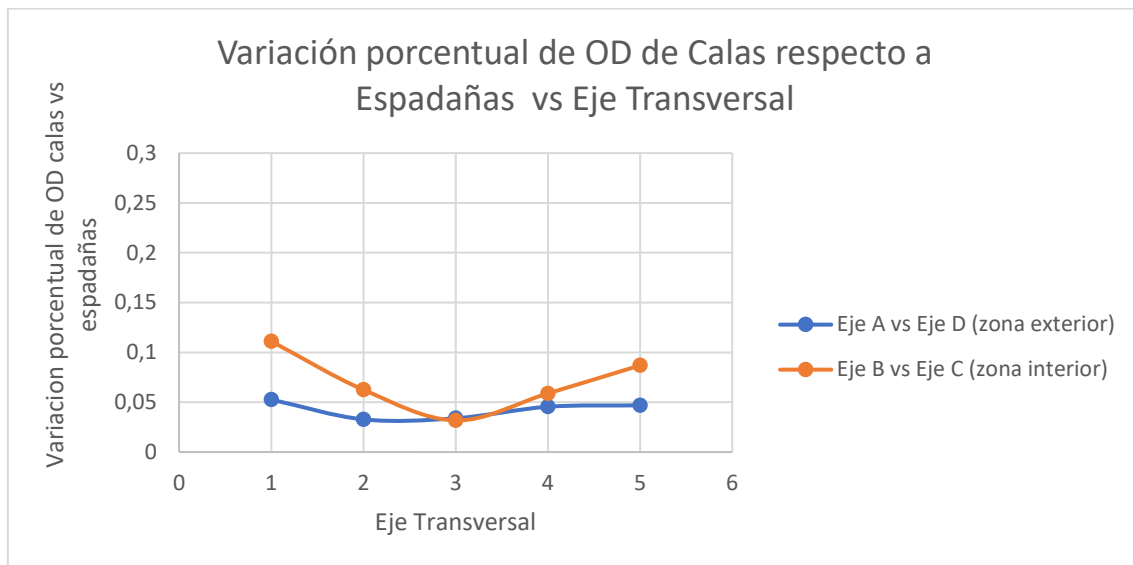


Figura 29: Grafico de variación porcentual de Oxígeno disuelto de Calas respecto a Espadañas vs eje transversal correspondiente a la semana 12.

Para la última semana de medición se compararon los ejes longitudinales del humedal de las zonas exteriores e interiores y se determinó que la variación porcentual de las cantidades de oxígeno disuelto registrado para la especie *Zantedeschia Aethiopica* es apenas un 5% menor al aporte de la especie *Typha* para la zona exterior y apenas un 11% menor para la zona interior, antecedentes que permiten afirmar que la Cala alcanza valores aceptables y marginalmente menores que la *Typha* en relación al aporte de oxígeno disuelto al humedal de flujo sub superficial, parámetro a favor de la factibilidad de esta planta.

La tendencia al aumento en las concentraciones de oxígeno disuelto es coincidente con el desarrollo de ambas especies a lo largo del tiempo, registrando valores más altos en cada semana de medición y estabilizándose cerca de la semana número 8, por lo que desprende que luego de 3 a 4 meses de evolución la especie *Zantedeschia Aethiopica* comienza a otorgar cantidades de oxígeno disuelto aceptables al sistema de humedales artificiales de flujo sub superficial, sin embargo se trata de una especie de raíz poco profunda (0.2 m de profundidad) y su influencia real en el aporte de oxígeno podría no ser muy significativo frente a la *Typha*, cuya profundidad de raíz es de 0.3 a 0.4 m (Lara Borrero, 1999), además tratándose de un flujo en movimiento y dispersión, los valores de oxígeno disuelto registrados en la zona Calas podrían verse afectados por el radio de influencia de la espadaña y su mayor densidad de población en ambos humedales.

Por lo expuesto anteriormente las Calas proporcionarían una zona de aerobia pequeña comparada con la espadaña, por lo que no sería factible su utilización en humedales construidos puesto que es más provechoso la utilización de espadaña desde el punto de vista de su capacidad de otorgar mayores concentraciones de OD y a mayor alcance, sin embargo, en consideración del positivo impacto paisajístico de la Cala y su aporte en el mejoramiento del entorno sobre las tecnologías de humedales, se recomienda la aplicación en conjunto de ambas especies en humedales construidos, utilizando en mayor proporción la espadaña para no perjudicar la función oxigenadora que cumplen las plantas en su conjunto.

4.1.4 Oxígeno Disuelto (OD) en humedal Domiciliario

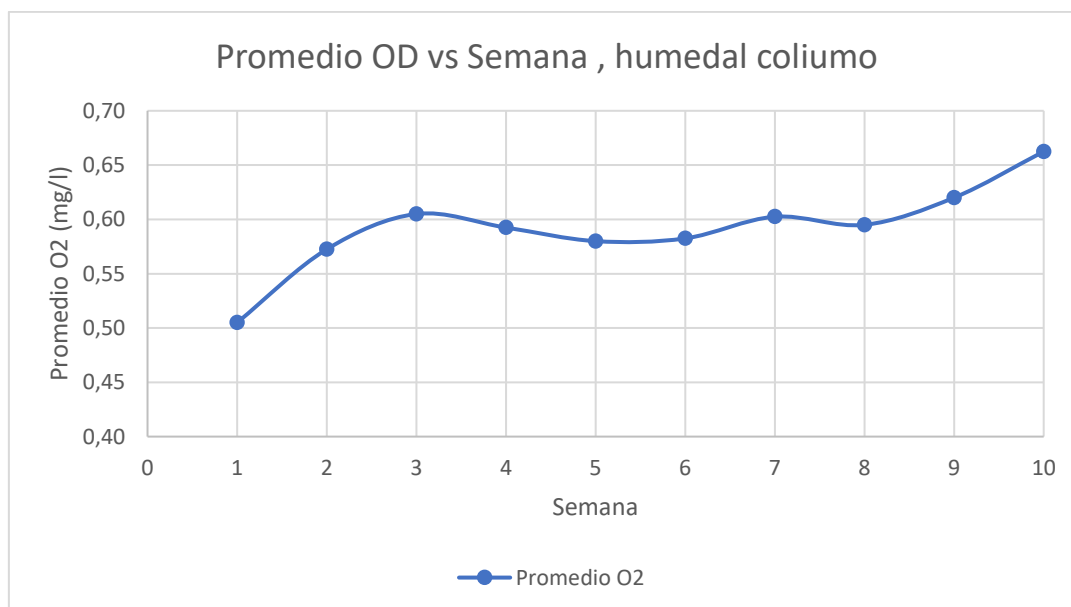


Figura 30: Grafico de promedio de Oxígeno disuelto vs Semana, humedal Coliumo.

El humedal domiciliario de flujo subsuperficial de Coliumo también mostro resultados aceptables de oxígeno disuelto cerca de la semana numero 3 puesto que la especie Typha ya se encontraba en etapa de madurez (alta densidad de población y altura mayor a 2.2 m), como se mencionó anteriormente por lo pequeño de este humedal no fue posible discernir el aporte de oxigeno de la Cala por la poca separación entre ambas especies en el área del humedal.

Los valores de oxigeno fueron aumentando semana a semana alcanzando un máximo promedio que bordea los 0.65 mg/l en la última medición, también se pudo observar que

en semanas de lluvia se registran mayores niveles de oxígeno disuelto, como ocurre en la semana número 3, 9 y 10.

4.2 Evolución y Crecimiento

4.2.1 Crecimiento de calas y espadañas:

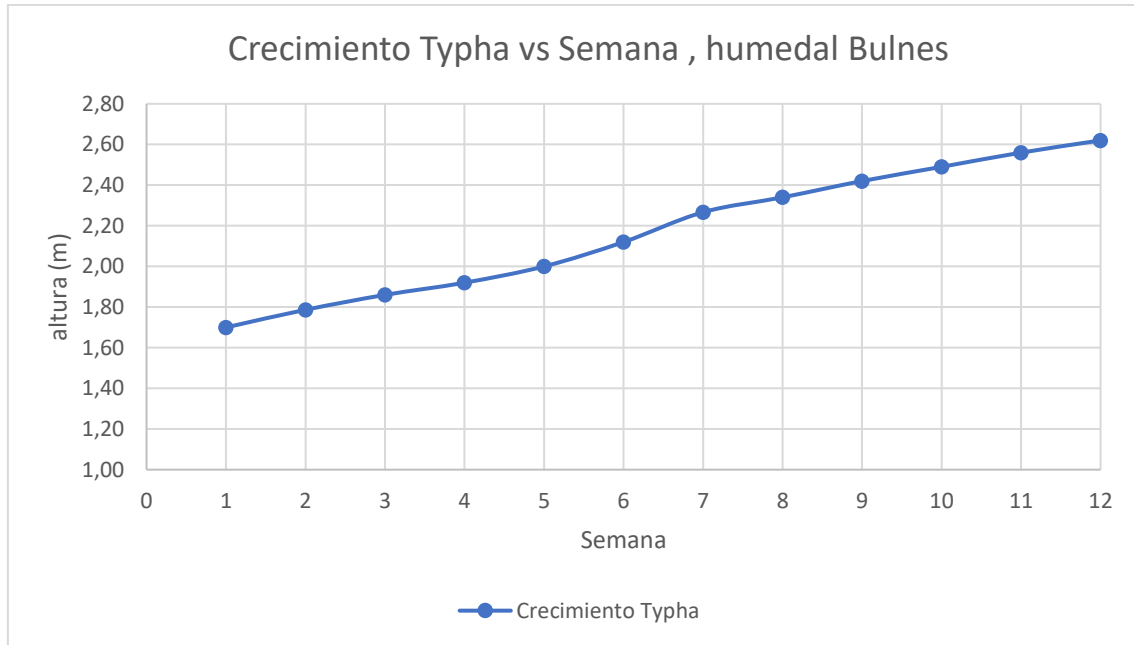


Figura 31: Crecimiento Typha vs Semana, humedal Bulnes.

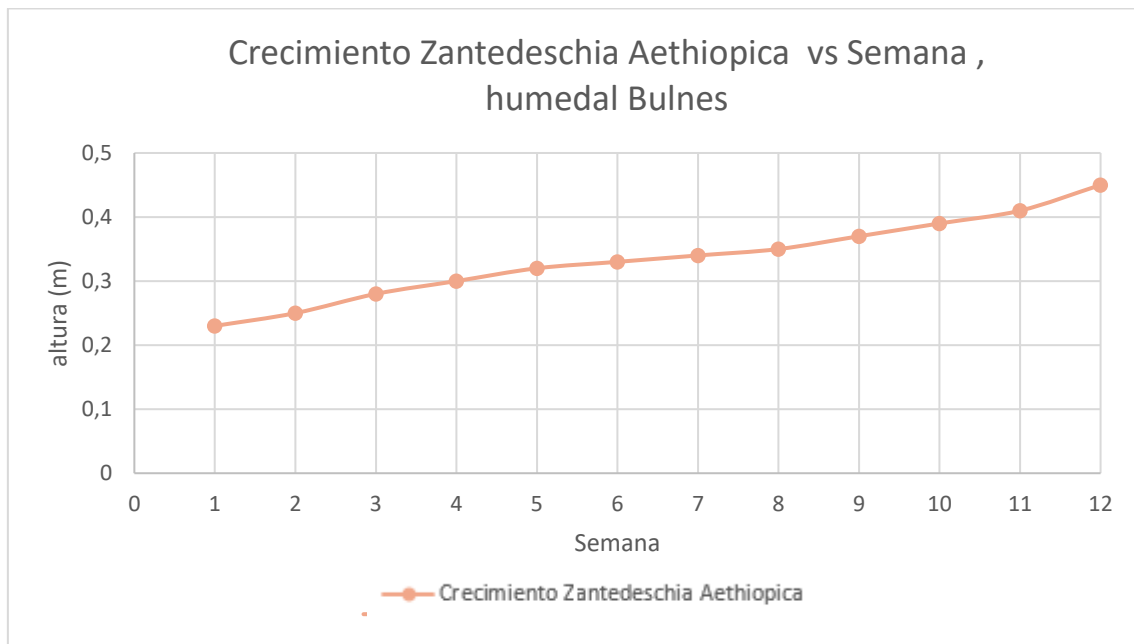


Figura 32: Crecimiento Zantedeschia Aethiopica vs Semana, humedal Bulnes.

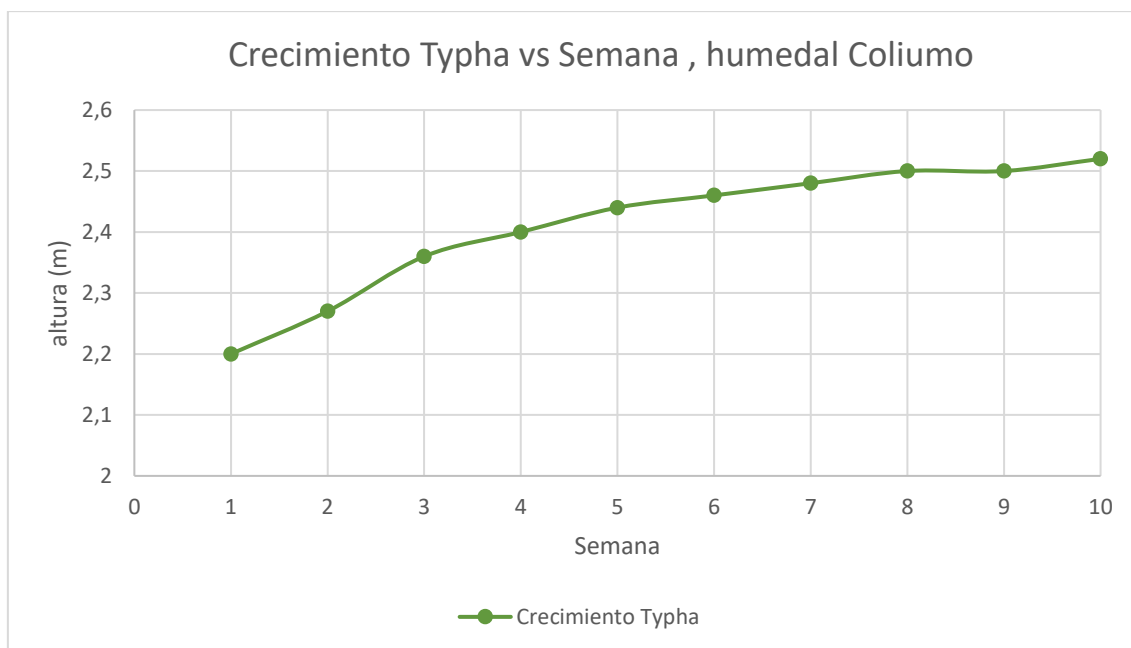


Figura 33: Crecimiento Typha vs Semana, humedal Coliumo.

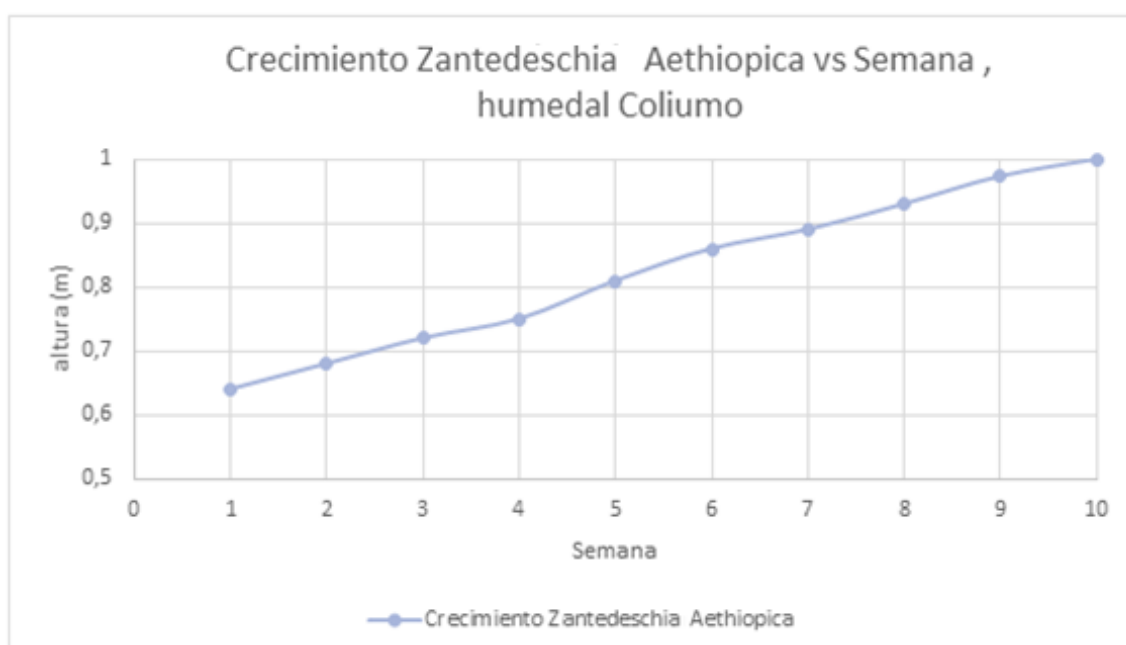


Figura 34: Crecimiento Zantedeschia Aethiopica vs Semana, humedal Coliumo.

Los gráficos de crecimiento nos indican la altura en metros que alcanzan ambas especies en cada semana de medición, registros que sirven como indicador de la respuesta física que sufren las plantas al interior del humedal y que básicamente muestran que la especie efectivamente sobrevive, se adapta y desarrolla en dicho entorno de manera satisfactoria, además nos permite estimar cuanto tiempo tarda cada especie en alcanzar una etapa de madurez; la *Thypha* tardo aproximadamente 5 meses en alcanzar una altura de 2.2 metros en el humedal Bulnes, mientras que la *Zantedeschia Aethiopica* registro alturas de 1 m en aproximadamente 7 meses dentro del humedal Coliumo, como se observa en los gráficos son crecimientos con forma lineal sin saltos significativos en cada semana.

El desarrollo de ambas especies respecto al crecimiento es coincidente con mayores niveles de oxígeno disuelto en el flujo del humedal, registrando valores en el rango de 0.55 a 0.65 mg/lit en 4 meses para la espadaña cuando esta alcanza los 2.2 m de altura. Si bien los registros de oxígeno disuelto de las calas podrían verse afectados por el aporte de oxígeno disuelto de la espadaña, está también alcanzo este rango para los 0.45 cm de altura en el mes 4, por lo que es posible afirmar que el crecimiento de cada especie hasta alcanzar su estado de madurez está relacionado al aporte de mayores cantidades de oxígeno disuelto a humedales de flujo sub superficial, las plantas con mayor cantidad de superficie de hojas demandan más cantidad de energía solar y de dióxido de carbono para de esta manera producir más oxígeno durante la fotosíntesis (Hickman, s.f.) pero en general la cantidad de oxígeno aportado por la planta depende de muchos factores: de la especie, del tamaño, de la época del año, de la edad de la planta, de las condiciones ambientales y del entorno, y de las condiciones oxidativas de las raíces (Mena Sanz, 2008).

4.3 Temperatura

4.3.1 Temperatura promedio en humedales artificiales de flujo subsuperficial;

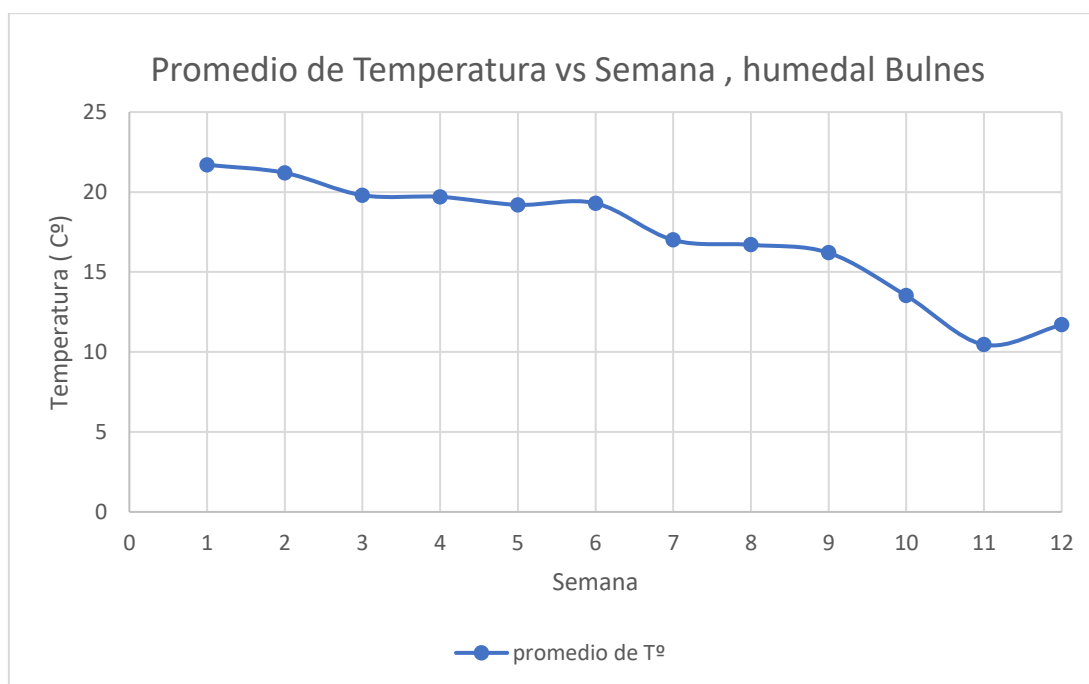


Figura 35: Gráfico promedio de Temperatura vs Semana, humedal Bulnes.

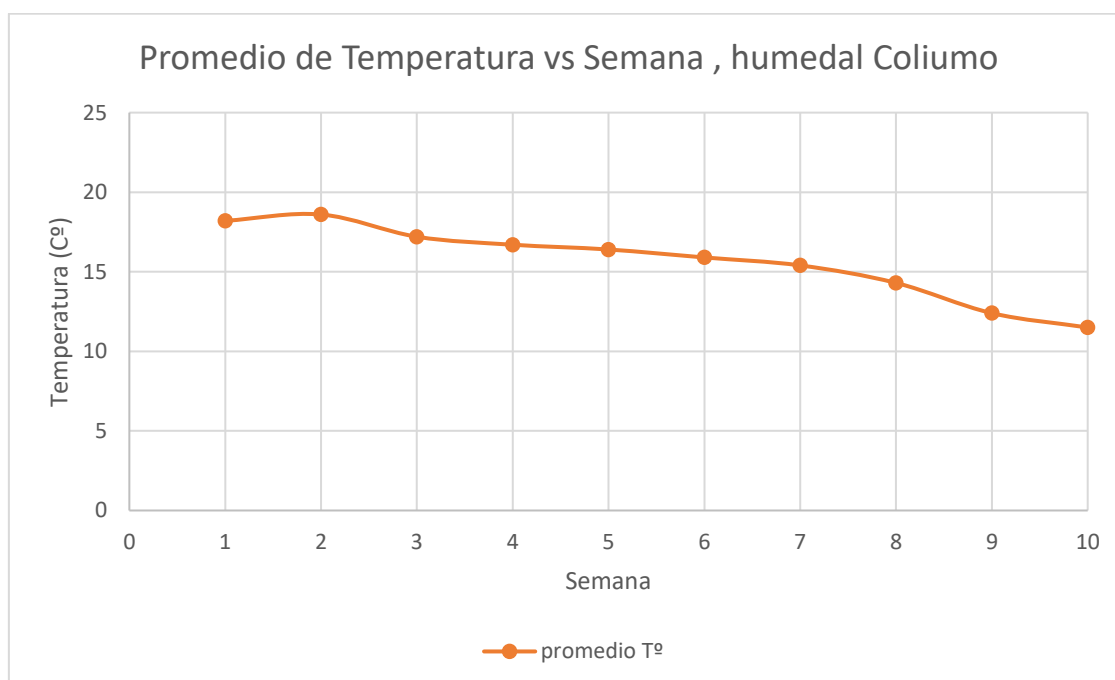


Figura 36: Gráfico promedio de Temperatura vs Semana, humedal Coliumo.

En general las temperaturas medidas a lo largo del humedal son de distribución uniforme sin grandes variaciones respecto al promedio (aproximadamente $\pm 2^{\circ}\text{C}$), temperaturas que van decayendo cada semana en la transición verano a invierno (meses de marzo a junio) debido al cambio climático característico de cada estación donde la temperatura promedio anual del aire en la región del Bío-Bío es de 14°C la cual oscila entre los 8.6°C en el mes de julio y 18.4°C en enero. (Reporte Climático año 2016 Volumen 2, 2016)

Si bien las temperaturas no entran en el rango óptimo (25 a 35°C), tampoco lo hacen el rango indeseado (menor a 5°C), lo que en la práctica significa que podrían haber variaciones en los porcentajes de eficiencia asociados al desarrollo de la actividad bacteriana por el factor temperatura, sin embargo, los humedales artificiales estudiados registran eficiencias típicas superiores al 70%, lo que quiere decir que en general son sistemas que toleran las altas y bajas de temperatura a las que son sometidas.

Así como las bacterias, las plantas también deben sobrevivir y desarrollarse para ciertos rangos de temperatura; la *Zantedeschia Aethiopica* crece condiciones de temperaturas entre 12 y 25°C (Sacoto, 2010) mientras que la *Typha* logra desarrollarse a temperaturas entre 10 y 30°C (Morales y otros, 2013), tolerando temperaturas hasta los -10 y -20°C respectivamente (Buczacki, 1995), rangos admisibles en contraste a los registrados en ambos humedales (21.7 a 10.46°C) permitiendo el desarrollo y evolución de ambas especies.

En general, tomando en cuenta los gráficos de temperatura y oxígeno disuelto, se observa que a medida que desciende la temperatura promedio en el flujo del humedal registrada en cada semana, aumentan las concentraciones de oxígeno disuelto, la razón a este fenómeno se basa en que la solubilidad del oxígeno atmosférico en el agua dulce oscila entre 7 mg/L a 35°C y $14,6\text{ mg/L}$ a 0°C para presión de una atmósfera (Romero, 2004), por lo que se puede desprender que el oxígeno disuelto es más soluble a menores niveles de temperaturas.

4.4 Eficiencia en la remoción de materia orgánica:

Se calculó la eficiencia en la remoción de materia orgánica para cada semana en ambos humedales en estudio, obteniéndose los siguientes resultados:

4.4.1 Eficiencia de humedales artificiales vs semana;

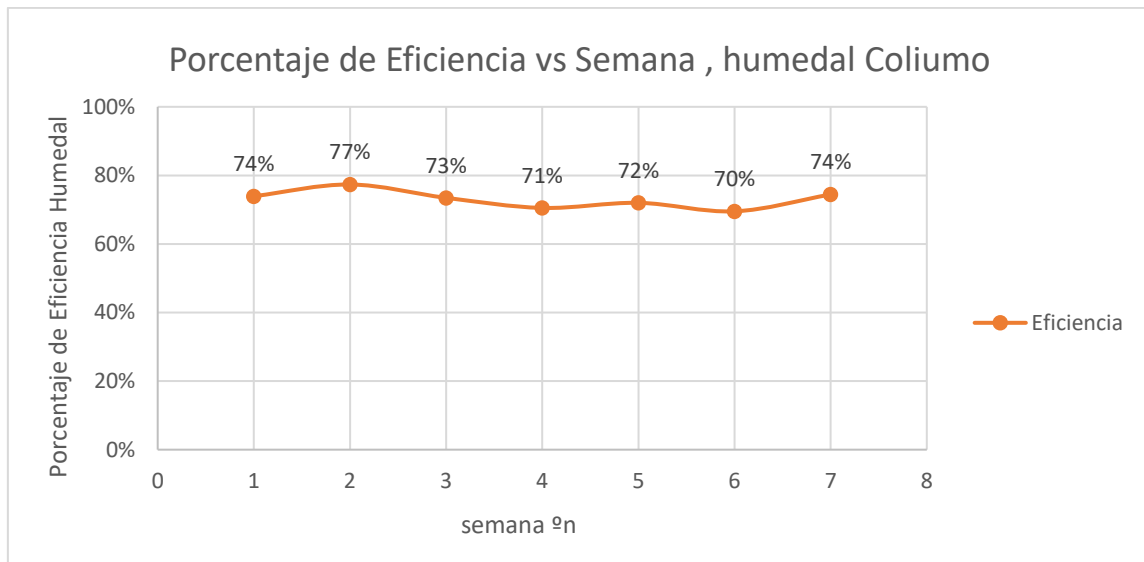


Figura 37: Porcentaje de Eficiencia vs Semana, humedal Coliumo.

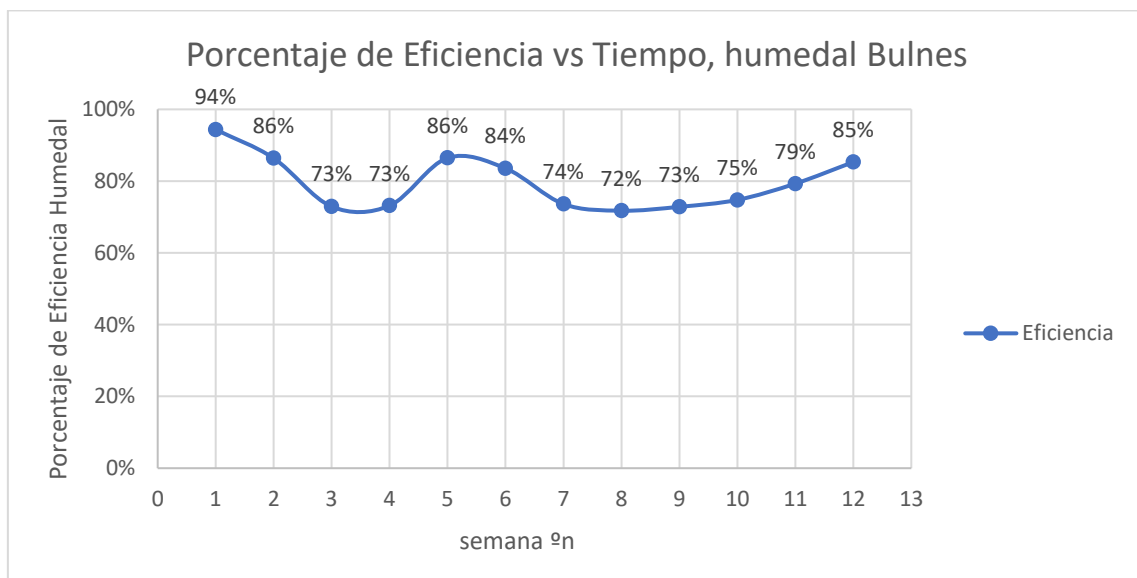


Figura 38: Porcentaje de Eficiencia vs Semana, humedal Bulnes.

A partir del registro de porcentaje de remoción para ambos humedales se verifica la alta eficiencia de estas tecnologías; obteniendo un promedio del 73% y 80% para los humedales de Coliumo y Bulnes respectivamente, valores que fluctúan en el rango del 70% al 94%.

Se comprueba que ocupando un área en un rango del 13 a 20% con la adición de *Zantedeschia Aethiopica* no se afecta la eficiencia del sistema global.

5. CONCLUSIONES

En relación con el aporte de oxígeno disuelto de ambas especies en humedales de flujo sub superficial;

Se considera un rango óptimo de aporte de oxígeno disuelto de 0.55 a 0.65 mg/l, rango que es alcanzado por una zona densamente poblada de espadañas en etapa de madurez.

Zonas con mayor densidad de población de plantas registran mayores niveles de oxígeno disuelto.

Mayores niveles de evolución y crecimiento registran mayores niveles de oxígeno disuelto.

La Espadaña alcanza la etapa de madurez aproximadamente a los 5 meses mientras que la Cala lo alcanza en 6 a 7 meses.

Los efectos de las lluvias sobre humedales artificiales provocan ligeros aumentos en las concentraciones de oxígeno disuelto.

Se recomienda el uso de *Zantedeschia Aethiopica* en humedales construidos para potenciar los aspectos paisajísticos de estas tecnologías, limitando su implementación en un rango del 13 al 20% del área en planta de humedales, para así no afectar la capacidad oxigenadora del conjunto de especies utilizadas.

En relación con la temperatura:

Ambas especies tienen tolerancia a las temperaturas registradas en el flujo de los humedales estudiados, en consecuencia, se adaptan y desarrollan de manera satisfactoria en el entorno de humedales artificiales de flujo sub superficial.

Menores temperaturas en el flujo del humedal registran mayores concentraciones de oxígeno disuelto.

Con relación a la eficiencia:

Se alcanzaron porcentajes de eficiencia que fluctúan entre el 70 y 94 % comprobándose que la adición de *Zantedeschia Aethiopica* en un rango del 13 al 20 % del área de humedales no compromete ni afecta la eficiencia global del sistema.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Arroyo Troncoso, M. (2016). *Evolucion de un humedal familiar de flujo sub superficial que trata aguas servidas*. Concepción.
- Benitez Gualdron, E., Granados Padilla, B., Roa Cruz, M., Rodriguez, S., & Vargas Becerra, A. (2016). *Plantas Acuaticas (macrófitas) Como Bioindicadores de la Calidad del Agua del Caño Palomero de Yopal*. Yopal.
- Buczacki, S. (1995). *Plantas Acuáticas*. Gran Bretaña: Tursen Hermann Blume Ediciones.
- 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. A. (1999). Aguas Residuales Composición. En *Estudio Sanitario del Agua* (págs. 323-346). Granada: Universidad de Granada.
- Fernández Gonzáles, J., de Miguel Beascochea, E., de Miguel Muñoz, J., & Fernández de la Mora, D. C. (2005). *Manual de Fitodepuración filtros de macrofitas en flotación*. Madrid.
- García Serrano, J., & Corzo Hernández , A. (2008). *Depuracion Con Humedales Construidos*. Catalunya.
- Henríquez Duran, N. D. (2016). *Evaluacion de Oxigeno disuelto , puesta en marcha y operacion de Humedal Aldea S.O.S Bulnes*. Concepcion.
- Hickman, S. (s.f.). <http://www.ehowenespanol.com>. Obtenido de http://www.ehowenespanol.com/plantas-proveen-mayor-oxigeno-sobre_110977/
- Kadlec, R. H., & Wallace, S. D. (2009). *Treatment Weetlands*. Taylor & Francis Group.
- Lara Borrero, J. A. (1999). *Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales*. Barcelona.
- Martelo, J., & Lara Borreto, J. A. (2012). *Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte*. Bogotá.
- Medidor OD Hi 98193. (s.f.). Obtenido de Hanna Instruments: <http://www.hannachile.com/productos/producto/1592>

- 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 Contenida en Aguas Servidas*. Concepción.
- Reactivos Certificados de DQO* . (s.f.). Obtenido de Hanna Instruments:
<http://www.hannachile.com/productos/producto/1129>
- Reporte Climático año 2016 Volumen 2*. (2016). Obtenido de Dirección Meteorológica de Chile:
<http://archivos.meteochile.gob.cl/portaldmc/meteochile/documentos/reporteanual2016.pdf>
- Romero. (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales Teoría y Principios*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Sacoto, G. (2010). *Respuesta fitotécnica de tres variedades de Zantedeschia aethiopica L. Spreng, a la aplicación de ácido giberélico y fertilización orgánica, en el Quinche, Provincia de Pichincha*.
- Wetzel, R. G. (1981). *Limnología*. Barcelona: Omega.

ANEXOS

Anexo A: Tablas de Datos.

Registro de Oxígeno disuelto (OD) por Eje en humedal Bulnes- Medición Semanal (Sn)

S1	OD mg/l			
EJE	A	B	C	D
1	0,29	0,3	0,38	0,37
2	0,31	0,32	0,4	0,38
3	0,35	0,34	0,41	0,4
4	0,34	0,36	0,43	0,39
5	0,35	0,38	0,43	0,41
6	0,45	0,44	0,45	0,43
7	0,44	0,48	0,48	0,48
8	0,5	0,54	0,51	0,5
9	0,51	0,53	0,49	0,48

S2	OD mg/l			
EJE	A	B	C	D
1	0,31	0,33	0,42	0,4
2	0,29	0,32	0,41	0,38
3	0,39	0,37	0,44	0,41
4	0,38	0,36	0,43	0,42
5	0,36	0,38	0,43	0,4
6	0,45	0,42	0,45	0,43
7	0,44	0,46	0,47	0,49
8	0,5	0,54	0,52	0,51
9	0,53	0,55	0,54	0,5

S3	OD mg/l			
EJE	A	B	C	D
1	0,41	0,42	0,5	0,47
2	0,43	0,44	0,48	0,49
3	0,44	0,45	0,51	0,48
4	0,45	0,46	0,54	0,52
5	0,46	0,5	0,55	0,51
6	0,51	0,53	0,56	0,53
7	0,54	0,57	0,55	0,56
8	0,55	0,6	0,57	0,56
9	0,58	0,58	0,56	0,55

S4	OD mg/l			
EJE	A	B	C	D
1	0,28	0,3	0,45	0,46
2	0,31	0,34	0,47	0,49
3	0,44	0,46	0,52	0,5
4	0,44	0,46	0,51	0,52
5	0,47	0,5	0,52	0,51
6	0,49	0,51	0,53	0,51
7	0,51	0,53	0,52	0,49
8	0,53	0,55	0,56	0,53
9	0,52	0,54	0,57	0,51

S5	OD mg/l			
EJE	A	B	C	D
1	0,36	0,38	0,55	0,53
2	0,45	0,46	0,61	0,56
3	0,53	0,55	0,6	0,62
4	0,52	0,5	0,55	0,56
5	0,49	0,56	0,57	0,61
6	0,55	0,6	0,63	0,64
7	0,56	0,61	0,57	0,61
8	0,61	0,63	0,61	0,6
9	0,59	0,59	0,64	0,63

S6	OD mg/l			
EJE	A	B	C	D
1	0,41	0,49	0,51	0,53
2	0,49	0,48	0,54	0,55
3	0,48	0,49	0,54	0,52
4	0,49	0,52	0,53	0,59
5	0,5	0,59	0,57	0,55
6	0,61	0,64	0,58	0,61
7	0,56	0,61	0,64	0,61
8	0,6	0,6	0,64	0,58
9	0,58	0,63	0,63	0,64

S7	OD mg/l			
EJE	A	B	C	D
1	0,43	0,47	0,51	0,5
2	0,44	0,49	0,54	0,51
3	0,48	0,5	0,53	0,52
4	0,5	0,48	0,53	0,54
5	0,56	0,55	0,56	0,55
6	0,61	0,64	0,58	0,61
7	0,57	0,61	0,64	0,61
8	0,62	0,6	0,64	0,59
9	0,57	0,63	0,63	0,62

S8	OD mg/l			
EJE	A	B	C	D
1	0,42	0,44	0,55	0,52
2	0,51	0,53	0,55	0,56
3	0,55	0,55	0,61	0,63
4	0,57	0,59	0,65	0,64
5	0,55	0,59	0,66	0,63
6	0,61	0,66	0,66	0,63
7	0,64	0,66	0,65	0,64
8	0,61	0,66	0,67	0,62
9	0,64	0,66	0,65	0,62

S9	OD mg/l			
EJE	A	B	C	D
1	0,47	0,5	0,63	0,57
2	0,52	0,55	0,64	0,61
3	0,59	0,66	0,7	0,61
4	0,63	0,67	0,68	0,66
5	0,59	0,7	0,74	0,65
6	0,63	0,68	0,7	0,66
7	0,62	0,74	0,7	0,69
8	0,71	0,74	0,7	0,69
9	0,66	0,72	0,69	0,67

S10	OD mg/l			
EJE	A	B	C	D
1	0,45	0,51	0,54	0,52
2	0,52	0,54	0,53	0,53
3	0,56	0,57	0,58	0,55
4	0,63	0,59	0,66	0,59
5	0,65	0,66	0,69	0,64
6	0,68	0,65	0,71	0,63
7	0,65	0,66	0,7	0,67
8	0,64	0,67	0,68	0,66
9	0,71	0,72	0,69	0,7

S11	OD mg/l			
EJE	A	B	C	D
1	0,56	0,58	0,61	0,6
2	0,62	0,6	0,65	0,66
3	0,6	0,63	0,66	0,65
4	0,63	0,64	0,67	0,66
5	0,63	0,67	0,66	0,63
6	0,66	0,72	0,69	0,67
7	0,69	0,74	0,68	0,7
8	0,71	0,7	0,74	0,68
9	0,66	0,71	0,72	0,71

S12	OD mg/l			
EJE	A	B	C	D
1	0,54	0,56	0,63	0,57
2	0,59	0,6	0,64	0,61
3	0,57	0,61	0,63	0,59
4	0,63	0,64	0,68	0,66
5	0,61	0,63	0,69	0,64
6	0,64	0,68	0,7	0,63
7	0,72	0,69	0,7	0,7
8	0,66	0,7	0,68	0,67
9	0,71	0,72	0,69	0,7

Promedio de Oxígeno disuelto (OD)- Medición Semanal (Sn)

Semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Prom. OD mg/L	0,51	0,57	0,61	0,59	0,58	0,58	0,60	0,60	0,62	0,66	0,64	0,65

Registro de Eficiencia - humedal domiciliario Coliumo

Semana	Afluente DQO mg/l	Efluente DQO mg/l	Eficiencia η (%)
1	376	98	74%
2	426	96,5	77%
3	370	98,2	73%
4	292	86,1	71%
5	332	92,96	72%
6	105	32	70%
7	133	34	74%

Registro de Eficiencia - humedal Bulnes

Semana	Afluente DQO mg/l	Efluente DQO mg/l	Eficiencia η (%)
1	112	6,3	94%
2	108	14,7	86%
3	96	26	73%
4	82	22	73%
5	68	9,2	86%
6	73	12	84%
7	58	15,3	74%
8	85	24	72%
9	81	22	73%
10	88	22,2	75%
11	72	14,9	79%
12	94	13,8	85%

Registro de Crecimiento-humedal Bulnes

Semana	Promedio de Crecimiento(m)	
	Espadañas	Calas
1	1,70	0,23
2	1,79	0,25
3	1,86	0,28
4	1,92	0,3
5	2,00	0,32
6	2,12	0,33
7	0,00	0,34
8	2,34	0,35
9	2,42	0,37
10	2,49	0,39
11	2,56	0,41
12	2,62	0,45

Registro de Crecimiento-humedal domiciliario Coliumo

Semana	Promedio de Crecimiento(m)	
	Espadañas	Calas
1	2,2	0,64
2	2,27	0,68
3	2,36	0,72
4	2,4	0,75
5	2,44	0,81
6	2,46	0,86
7	2,48	0,89
8	2,5	0,93
9	2,5	0,97
10	2,52	1

Promedio de Temperaturas Registradas

Semana	Promedio de Temperatura °C	
	Humedal Bulnes	Humedal Coliumo
1	21,7	18,2
2	21,2	18,6
3	19,8	17,2
4	19,7	16,7
5	19,2	16,4
6	19,3	15,9
7	17	15,4
8	16,7	14,3
9	16,2	12,4
10	13,52	11,5
11	10,46	11,3
12	11,7	10,7

Anexo B: Registro Fotográfico.



humedal Bulnes-Semana 1



humedal Bulnes-Semana 4



humedal Bulnes-Semana 8



humedal Bulnes-Semana 12



humedal Coliumo-Semana 1



humedal Coliumo-Semana 4



humedal Coliumo-Semana 8



humedal Coliumo-Semana 12