



Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería en Medioambiente  
Ingeniería Ambiental

**PROPUESTA DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA LA  
DISMINUCIÓN DE LA EUTROFIZACIÓN EN EL ESTERO  
“EL SAUCE”, COMUNA DE VALPARAÍSO, REGIÓN DE  
VALPARAÍSO.**

**TRABAJO DE TÍTULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:  
INGENIERO AMBIENTAL**

**NOEMÍ VALESCA CERDA MENA  
PROFESOR GUÍA: DR. HERNÁN GAETE OLIVARES**

**VALPARAÍSO, CHILE  
2019**

## Resumen

El objetivo del presente trabajo fue proponer un sistema de tratamiento de las aguas del estero “El Sauce”, mediante un humedal artificial para el control de la eutrofización. Para ello, mediante una revisión bibliográfica, se seleccionó el humedal a trabajar. También se determinaron los parámetros de diseños, tales como área superficial, tiempo de retención hidráulica, profundidad, entre otros. Además, se estimaron la factibilidad técnica y los costos de inversión y operación.

Como resultados se obtuvo que el humedal seleccionado correspondió al tipo subsuperficial horizontal, los parámetros estimados de diseño fue de un área de 2798 [m<sup>2</sup>], con un tiempo de residencia de 15 [días], de acuerdo con estos parámetros se espera una remoción del 33% de fósforo, 67% de nitrógeno y 91% DBO. El costo y operación estimado del humedal, de 50 millones y 23 millones respectivamente.

En conclusión, esta propuesta de humedal contribuirá significativamente a la reducción de la eutrofización, la mantención de las funciones los servicios ecosistémicos del estero el “El Sauce”.

# Índice

1. Introducción .....	1
2. Problema.....	3
3. Objetivos .....	4
3.1 Objetivo General .....	4
3.2 Objetivos Específicos .....	4
4. Revisión Bibliográfica .....	5
4.1 Ecosistemas de agua continentales.....	5
4.2 Importancia del uso del agua .....	5
4.3 Problema de contaminación de las aguas .....	6
4.4 Eutrofización .....	7
4.5 Clasificación de los niveles de eutrofización .....	8
4.5.1 Índice de estado trófico.....	8
4.5.2 Clarificación de eutrofia según la guía CONAMA.....	9
4.6 Gestión para disminuir los procesos de Eutrofización .....	10
4.6.1 Utilización de un reactor .....	11
4.6.2 Plantas Acuáticas .....	12
4.6.3 Biorremediación .....	13
4.7 Humedales .....	14
4.7.1 Clasificación de los humedales artificiales .....	17
4.7.2 Ejemplo de humedal artificiales en Chile.....	19
4.8 Antecedentes de área de estudio.....	20
4.8.1 Localidad.....	20
4.8.2 Estero “El Sauce” .....	21

4.8.3 Noticias .....	21
4.8.4 Monitoreo del Estero “El Sauce” .....	22
5. Materiales y métodos .....	25
5.1 Elección del tipo de humedal .....	25
5.1.1 Selección del componente vegetal .....	25
5.2 Diseño de Humedal .....	25
5.3 Factibilidad técnica del Humedal.....	27
5.4 Estimación de costo de construcción y operación.....	28
6. Resultados.....	29
6.1 Determinación del tipo de humedal artificial.....	29
6.1.1 Elección del tipo de vegetación.....	31
6.2 Determinación de los parámetros de diseño del humedal Subsuperficial .....	35
6.2.1 Caracterización y monitoreo .....	35
6.2.2 Balance de materia y energía.....	38
6.3 Determinación de la factibilidad técnica.....	39
6.3.1 Capacidad y ubicación.....	39
6.3.2 Recursos necesarios .....	41
6.3.3 Tiempo de construcción .....	41
6.3.4 Diseño final del humedal .....	42
6.3.5 Permisos y aspectos legales.....	43
6.3.6 Antecedentes legales.....	43
6.3.7 Mantenimiento.....	44
6.4 Determinación de los costos de construcción y operación .....	45
6.4.1 Costo de construcción.....	45

6.4.2 Costo de Operación.....	53
7. Discusión.....	54
8. Conclusión .....	57
9. Referencia bibliográfica .....	58
10. Anexos.....	65

## Índice de Figuras

FIGURA 1: CAMBIO FÍSICOS Y QUÍMICOS, .....	8
FIGURA 2: DESCRIPCIÓN DEL REACTOR POR CARGA SECUENCIAL.....	11
FIGURA 3: HUMEDAL SUBSUPERFICIAL.....	16
FIGURA 4: PROCESOS QUE SE DESARROLLA EN UN HUMEDAL.....	18
FIGURA 5: PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE FOSFORO TOTAL.....	18
FIGURA 6: SITIOS PRIORITARIOS DE LAGUNA VERDE.....	20
FIGURA 7: UBICACIÓN ESTERO "EL SAUCE", LAGUNA VERDE.....	21
FIGURA 8: MAPA DE LAS ESTACIONES MONITOREADAS. ....	23
FIGURA 9: GRAFICA NUTRIENTES. ....	24
FIGURA 10: CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE LOS HUMEDALES.....	29
FIGURA 11: PERFIL FRONTAL DEL HUMEDAL .....	37
FIGURA 12: DIAGRAMA DE FLUJO DEL BALANCE DE MATERIA. ....	38
FIGURA 13: UBICACIÓN DEL HUMEDAL EN LAGUNA.....	40
FIGURA 14: PLANO DE DISEÑO .....	40
FIGURA 15: DISEÑO DEL HUMEDAL VISTA SUPERIOR E INFERIOR.....	42
FIGURA 16: EXCAVACIÓN A CIELO ABIERTO CON MEDIO MECÁNICOS .....	47
FIGURA 17: PLANO DE CASETA DE TRABAJADORES.....	49
FIGURA 18: EJEMPLO DE INSTALACIÓN DE GEOMEMBRANA .....	50
FIGURA 19: COTIZACION 1, FOSA SEPTICA EN EASY .....	65
FIGURA 20: COTIZACIÓN 2, FOSA SÉPTICA EN SODIMAC .....	66
FIGURA 21: COTIZACIÓN DE LA COMPUERTA HIDRÁULICA.....	66
FIGURA 22: COTIZACIÓN DE LA GRAVILLA .....	67
FIGURA 23: COTIZACIÓN DE LA GEOMEMBRANA OPCIÓN 1 .....	68
FIGURA 24: COTIZACIÓN DE LA GEOMEMBRANA OPCIÓN 2 .....	68
FIGURA 25: COTIZACIÓN DE LA ESPECIE "PAPIRO ENANO" OPCIÓN 1 .....	69
FIGURA 26: COTIZACIÓN DE LA ESPECIE "PAPIRO ENANO" OPCIÓN 2 .....	69
FIGURA 27: COTIZACIÓN DE LOS TRABAJOS DE LABORATORIO.....	70

## Índice de Tablas

TABLA 1: CLASIFICACIÓN DE UN CUERPO DE AGUA .....	10
TABLA 2: ESTACIONES UBICADAS POR SECTOR .....	23
TABLA 3: COSTO DE INVERSIÓN DE UNA CELDA DEL HUMEDAL .....	28
TABLA 4: CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL HUMEDAL.....	31
TABLA 5: LISTADO DE ESPECIES PARA LA DEPURACIÓN DE AGUAS. ....	32
TABLA 6: CRITERIOS COMPARATIVOS ENTRE LAS PLANTAS.....	34
TABLA 7: RESULTADOS PARÁMETROS INICIALES .....	35
TABLA 8: REMOCIÓN DE CONTAMINANTE DEL ESTERO “EL SAUCE”. ....	39
TABLA 9 : CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DE CONSTRUCCIÓN .....	41
TABLA 10: PARÁMETROS ENTRADA Y SALIDA DEL HUMEDAL .....	42
TABLA 11: COSTO TOTAL EN TALAR UN ÁRBOL .....	46
TABLA 12: COSTO DE LIMPIEZA POR METRO CUADRADO .....	46
TABLA 13: COTIZACIÓN DEL CERCO PERIMETRAL .....	47
TABLA 14: COSTO DE EXCAVACIÓN PARA 1 M <sup>3</sup> .....	48
TABLA 15: COSTO DE PAVIMENTAR POR METROS CUADRADOS .....	48
TABLA 16: COTIZACIÓN DE LA GEOMEMBRANA .....	49
TABLA 17: COTIZACIÓN DE LA COMPRA Y TRASLADO DE LA GRAVILLA .....	50
TABLA 18: COTIZACIÓN DEL COSTO DE TRABAJO HIDRÁULICO .....	51
TABLA 19: COSTO QUE LLEVARÍA EL SEMBRADO DE LAS PLANTAS ACUÁTICAS.....	51
TABLA 20: RESUMEN DE COSTO CONSTRUCCIÓN DEL HUMEDAL .....	52
TABLA 21: COSTO DE OPERACIÓN AL PRIMER AÑO .....	53

## **1. Introducción**

La vida Humana y sus actividades están estrechamente relacionadas con la disponibilidad de los recursos hídricos. A pesar de los avances tecnológicos, el recurso se encuentra amenazado por la industrialización, deforestación, urbanización descontrolada, el uso agrícola y ganadero. La calidad de las aguas está fuertemente relacionada con la preservación de los ecosistemas, la seguridad alimentaria, la salud humana, reducción de la pobreza, crecimiento económico y el desarrollo social. (Gorito, 2017)

En Chile existe una crisis entorno a los recursos hídricos, la cual debemos entender que llegó para quedarse. Disponer de agua limpia es tal vez uno de lo más grande desafíos que enfrenta hoy gran parte de la humanidad, siendo este uno de los aspectos más críticos relacionados con la seguridad humana ya que afecta la demanda del agua para riego y consumo. (Ministerio de obras públicas, 2014). Esto ha provocado que nuestro país tenga cuerpos de agua que deben ser recuperados. El año 2013 el gobierno declaró 102 comunas en emergencia agrícola, viéndose más afectadas las regiones de O'Higgins, Maule, Valparaíso y Metropolitana. Dicha situación fue provocada por varias temporadas seguidas con déficit hídrico. (Ministerio del Interior, 2014).

Cuando se usan las aguas en forma indirecta como receptoras de desechos de las actividades domésticas, agrícola e industriales, se denomina contaminación de origen antrópico, esta contaminación a degradado la calidad de los cuerpos de agua (Orrego, 2002).

La eutrofización es uno de los problemas ambientales que enfrentan los cuerpos de agua continentales. Este proceso se genera debido al aumento de nutrientes, lo que a su vez provoca aumento de la productividad de estos cuerpos de agua afectado sus funciones y servicios ecosistémicos. (Zaror, 2000). La eutrofización tiene un fuerte

interés en los países desarrollados ya que es uno de los problemas ambientales urgentes de la ecología y en particular la limnología, esto puede ser causado por fertilizantes de la agricultura, ganadería y por fuentes difusas como es el caso de las fosas sépticas (Parra, 1989).

El presente trabajo se centró en el sector de Laguna Verde ubicada en la zona costera sur de la Comuna de Valparaíso. En el cual se realizó una propuesta de trabajo que consistió en el estudio de la factibilidad del uso de herramientas tecnológicas de fácil mantenimiento, bajo costo y ahorro de energía como son los humedales artificiales (Ye *et al.*, 2018) para la disminución de nutrientes Estero "El Sauce", Laguna Verde.

## **2. Problema**

El estero “El Sauce”, es un curso de agua que atraviesa la localidad, desembocando en la playa grande de Laguna Verde. Su grado de contaminación tiene varias consecuencias para los habitantes, ya que aumenta los malos olores, atrayendo plagas de zancudos y mosquitos, provocando la disminución del turismo en la zona. Se destaca además la contaminación de los pozos captadores, debido a que el curso de agua del estero se encuentra a metros de estos (Gallardo *et al.*, 2012).

Es así como el aumento del fósforo y el nitrógeno son los principales causantes de la eutrofización de las aguas del estero, generando el aumento de las plantas acuáticas y proliferaciones de microalgas (Urrutia, 2014). Además, Tobar & Torre (2014), reportan niveles elevados de eutrofización en este lugar, por lo que no cumple con los requisitos de la calidad de agua para diferentes usos según la norma chilena 1333 (1987).

De acuerdo con lo planteado, se hace necesario generar una propuesta de manejo de las cargas de nutrientes y/o disminución de éstos en el estero para un uso sustentable de este recurso acuático. Por lo tanto, es primordial dar solución a esta problemática que ha afectado por años a los habitantes, como es el caso de un humedal artificial buscando con ello, una solución representativa para tratar estas aguas.

## **3. Objetivos**

### ***3.1 Objetivo General***

- Proponer un sistema de tratamiento de las aguas del estero “El Sauce”, mediante un humedal artificial para el control de la eutrofización.

### ***3.2 Objetivos Específicos***

- Seleccionar el tipo de humedal
- Calcular los parámetros de diseño del humedal seleccionado para el control de la eutrofización de las aguas.
- Determinar la factibilidad técnica de la construcción del humedal para el control de los niveles de nutrientes en las aguas.
- Determinar los costos de construcción y operación del humedal diseñado.

## **4. Revisión Bibliográfica**

### **4.1 Ecosistemas de agua continentales**

Son cuerpos de aguas que se encuentran en el interior, cuyas propiedades y usos están sometidos a condiciones de inundación, ya sean permanentes, estacionales o intermitentes. Algunas aguas continentales son ríos, lagos, reservas, humedales y sistemas de interior (Engonjor, 2013). Conforman un recurso esencial para la sustentabilidad de las sociedades humanas, sin embargo, una gran parte de las fuentes ya no provee agua de calidad suficiente para el consumo de los seres vivos y en consecuencia para la calidad del ecosistema (Bertrán *et al.*, 2010).

Estas aguas están bajo un constante estrés, debido a la contaminación y los cambios en los patrones de los usos de la tierra originando una rápida degradación, alterando con ellos los ciclos del agua y la biodiversidad que rodea estos ecosistemas. Por esto es importante poner énfasis en los factores directos e indirectos que no sólo influyen en el ciclo del agua, la biodiversidad, sino que también garantizan la seguridad del agua, alimentos y el sustento de millones de personas (WRM., 2012)

### **4.2 Importancia del uso del agua**

El agua es un elemento esencial para el mantenimiento de la vida de los ecosistemas, es un bien común limitado que cada vez se reduce la disponibilidad de agua limpia, sin embargo, tenemos poca conciencia sobre cuánto dependemos de este elemento para el desarrollo de nuestras vidas. Esto parece simple, pero no se encuentra reflejado ni en el marco normativo ni en las políticas públicas nacionales que hacen referencia al tema (Liberona, 2015).

Debido a la presión antrópica que sufren estos cuerpos de agua ha surgido la necesidad de regular sus usos, de tal forma que estos servicios puedan satisfacer las demandas actuales. En relación a los aspectos normativos el uso del agua resalta en nuestro país el código de agua (Ley 1122, 1981), en el cuál clasifica los derechos del agua en uso consuntivos y los no consuntivos, donde “Derecho de aprovechamiento

consuntivo es aquel que faculta a su titular para consumir totalmente las aguas en cualquier actividad, por otro lado están los derechos no consuntivos es aquel que permite emplear el agua sin consumirla y obliga a restituirla en la forma que lo determine el acto de adquisición o de constitución del derecho” (Ministerio de justicia, 2018). En año 2011 se extrajeron 650 [m<sup>3</sup>/s] para usos consuntivos y 81% destinado para riego.

Para el año 2011, las extracciones totales del agua para usos consuntivos fueron de 650 [m<sup>3</sup> /s], donde el 81% fueron destinados al riego; por otro lado, en el uso no consultivo prioriza las hidroeléctricas utilizando alrededor de 4000 [m<sup>3</sup>/s]. (Ministerio de interior, 2015). En los últimos 30 años la demanda por agua en nuestro país se ha duplicado (DDA., 2015).

Es importante destacar que en Chile se basa en la exportación de materias prima, provenientes del sector minero, dulceacuícola y agroforestal, todos altamente demandantes de agua dulce. (Frene & Andrade, 2014). Del total del agua dulce disponible el 82% es utilizado por el sector agropecuario, 7% industrial, 3% en minería y un 8% en servicios de agua potable y saneamiento. (Undurraga & Estévez, 2015).

#### **4.3 Problema de contaminación de las aguas**

Según el informe Evaluaciones del desempeño ambiental Chile en el 2016 la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), señala que en la región central del país es donde existen los principales problemas de contaminación de los cuerpos de aguas. Debido al limitado acceso a plantas de tratamiento de aguas servidas y las grandes erosiones de tierras agrícolas han provocado una acumulación de residuos orgánicos, generando la eutrofización de los estuarios, humedales y los lagos costeros (OCDE., 2016).

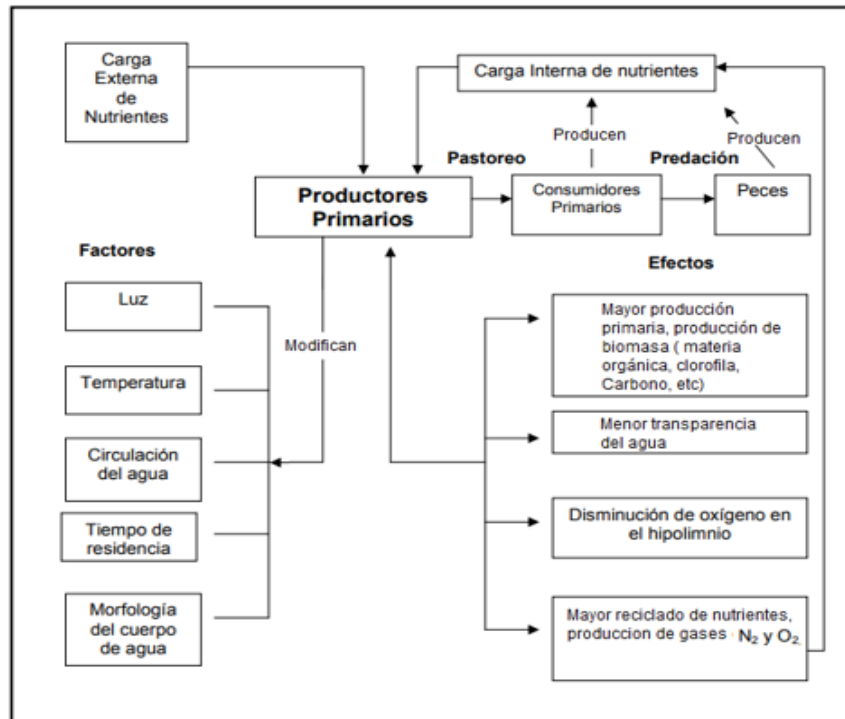
Una gestión eficiente del recurso hídrico es evitar el uso inadecuado del agua, asegurando el acceso del recurso hídrico por parte de la población. Dentro de estos

objetivos incorpora la protección de la calidad de los recursos hídricos reduciendo la contaminación lo máximo posible, ya sea a través de la ejecución de instrumentos para el control y /o desarrollado tecnologías para reducir la contaminación ya existente (Ministerio de obras públicas, 2012).

#### **4.4 Eutrofización**

La eutrofización se caracteriza por la disponibilidad excesiva de factores de la fotosíntesis (fósforo, nitrógeno), que presentan consecuencias como el exceso desarrollo de plantas y algas que constituyen al deterioro de la calidad del agua (Kieffer et al., 2015). El fósforo es el elemento crítico y en periodos de menor escorrentía el mayor aporte es contribuido por el flujo subterráneo, en el caso de periodo de mayor escorrentía superficial estos elementos son incorporados a la carga sedimentaria debido a la erosión de los suelos, aportados por fertilizantes y plaguicidas. Una mayor cantidad de los nutrientes llevara al aumento de la biomasa, con ello una fuerte pérdida de oxígeno y las muertes de especies acuáticas. El fósforo se identifica como el nutriente que limitara la producción de los cuerpos de aguas y junto con el nitrógeno potencian el desarrollo de las proliferaciones de cianofíceas (Espósito *et al.*, 2016).

La eutrofización de los cuerpos de agua es un proceso que puede ser interpretado como el grado de envejecimiento de éstos. La presencia de grandes cantidades de nutrientes (mayoritariamente fósforo y nitrógeno) al agua, actuando como fertilizante, provoca un incremento de la productividad en todos los niveles de la cadena alimentaria, como se observa en la Figura 1 la eutrofización ocasiona un empeoramiento progresivo de las características fisicoquímicas del agua. Asimismo, es un proceso que puede ser irreversible y que se presenta en los ecosistemas acuáticos lenticos como respuesta al incremento abundante en la densidad de las comunidades de fitoplancton (Ramos *et al.*, 2016). Al disminuir la calidad del agua, generan una pérdida del valor del cuerpo de agua, desde el punto vista ecosistémicos como económicos (Henríquez, 2007).



**Figura 1: Cambio Físicos y Químicos**, en la imagen se observa los cambios causados por el proceso de la eutrofización en los cuerpos de aguas. [Fuente: Modificado de Universidad de la Plata, 2012].

## 4.5 Clasificación de los niveles de eutrofización

### 4.5.1 Índice de estado trófico

Carlson (1977) utiliza como variables la profundidad de visión del disco de Secchi y las concentraciones superficiales de fósforo total y clorofila. Este índice reduce el estado trófico de un lago en una escala de 0 a 100, para así clasificar de manera objetivo los términos oligotróficos, mesotrófico y eutrófico (Moreno, 2010).

Índice de Estado Trófico:

$$TSI (\text{disco de Secchi}) = 10 * \left( 2.46 + \left( \frac{3.76 - 1.57 * \ln(DS)}{\ln 2.5} \right) \right) \quad \text{Ecuación 1}$$

$$TSI (Cl) = 10 * \left( 2.46 + \left( \frac{\ln Cl}{\ln 2.5} \right) \right) \quad \text{Ecuación 2}$$

$$TSI (\text{fósforo total}) = 10 * \left( 2.46 + \left( \frac{6.68 + 1.15 \ln PT}{\ln 2.5} \right) \right) \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde

DS: Disco Secchi en [metros]

Cl: Clorofila «a» en superficie [mg/m<sup>3</sup>].

PT: Fosforo total en [mg/l].

Este índice varía de 0 a 100 donde cada intervalo clasifica al cuerpo de agua:

- Menor 30 se clasifica oligotrófico;
- Entre 30-60 mesotrófico,
- Entre 60-90 eutrófico;
- Mayor 90 hipereutrófico

#### 4.5.2 Clarificación de eutrofia según la guía CONAMA

En la Tabla 1 se presenta los rangos de concentraciones de fósforo, nitrógeno, clorofila, entre otros elemento y compuestos para clasificar un cuerpo de agua como eutrófico.

Tabla 1: **Clasificación de un cuerpo de agua**, donde se encuentran los valores máximos y mínimo expresado en concentración. [Fuente CONAMA,2014]

Elementos o compuestos	Unidad	Estado Ultra oligotrófico	Estado Oligotrófico	Estado Mesotrófico
<b>Clorofila a</b>	µg/L	<1	3	15
<b>DBO<sub>5</sub></b>	mg/L	<1	5	20
<b>Fosforo</b>	µg/L	<7.5	10	30
<b>Nitrógeno</b>	µg/L	300	450	750
<b>Productividad primaria</b>	mgC/m <sup>2</sup> año	<30	80	250
<b>Disco Secchi</b>	m	>12	6	3

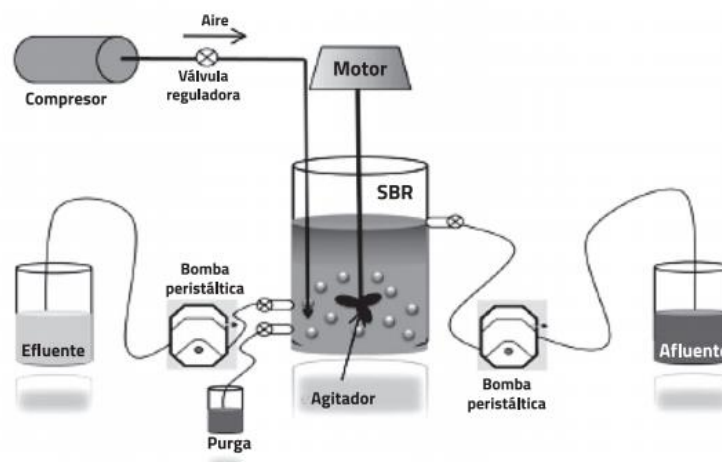
#### 4.6 Gestión para disminuir los procesos de Eutrofización

El tratamiento de aguas residuales (AR) se ha dirigido a la eliminación de materia orgánica y sólidos. A principios de los noventa, se enfocó en la importancia a los efectos negativos que causan en los cuerpos receptores el aumento de los elementos como el nitrógeno y fósforo. Las altas concentraciones de estos nutrientes en las masas de agua traen la eutrofización de lagos y embalses. La presencia de nitrógeno dificulta el uso hídrico, en especial cuando se trata de sistema de potabilización de agua, debido a los altos costos que demanda su tratamiento por el riesgo a la población (Saldarriagada *et al.*, 2011).

En los últimos años ha surgido un especial interés en la búsqueda de alternativas de remoción simultánea de nutrientes (N y P) que dejan como resultado tecnologías convencionales e innovaciones ingenieriles de procesos unitarios, dinámicos y estático.

Los efluentes provenientes del proceso de las actividades antrópicas contienen elevadas concentraciones de materia orgánica, coliformes totales, sólidos suspendidos, grasas, nitrógeno y fósforo, representando una mezcla compleja de proteínas, compuestos orgánicos y grasas. El problema asociado a la presencia de los nutrientes radica ante todo en la eutrofización de corrientes naturales que genera un fuerte impacto ambiental que pone en riesgo la vida en los ecosistemas acuáticos (Ledesma *et al.*, 2013). En la actualidad se ha visto la necesidad de remover simultáneamente la materia orgánica, el nitrógeno y el fósforo en los efluentes,

realizándose exitosamente mediante la aplicación de tratamientos biológicos con sistemas no convencionales de lodos activados, como los reactores por carga secuencial, este proceso se puede observar en la Figura 2, además de ser efectivos en la eliminación simultánea de nutrientes, son más económicos y generan menor cantidad de subproductos que los sistemas biológicos convencionales (Carrasquero *et al.*, 2015).



**Figura 2: Descripción del reactor por carga secuencial,** en el que se observa los procesos del tratamiento del efluente, a través del reactor. [Fuente: Carrasquero, *et al.*, 2015]

Es por esto, que a continuación se nombrarán algunas experiencias realizadas para el tratamiento de agua eutrofizada.

#### 4.6.1 Utilización de un reactor

Los reactores biológicos secuenciales (SBR) son reactores discontinuos en los que el agua residual se mezcla con un lodo biológico en un medio aireado. El proceso combina en un mismo tanque reacción, aeración y clarificación. Algunas ventajas de los SBR son la facilidad para el control de la operación, la buena flexibilidad ante fluctuaciones de caudal y concentración de las aguas residuales, y los buenos

resultados obtenidos en el tratamiento de compuestos refractarios a los sistemas biológicos convencionales (Remtavales, 2006).

Ramos *et al.*, (2017) reporta el uso de un reactor cilíndrico de acrílico con un volumen útil de 10,2 litros, con las correspondientes válvulas y conexiones para la alimentación y descarga del agua residual. Los parámetros fisicoquímicos monitoreados para el reactor como para las muestras tomadas en los diferentes ciclos del tratamiento fueron los siguientes: Demanda Química de Oxígeno, Nitritos, Nitratos, fósforo total, sólidos totales y sólidos suspendidos totales. Los resultados efectuados en el análisis del balance de masas para el reactor, se realizó en un periodo de dos meses y medio, alcanzando una eliminación de materia orgánica, nitrógeno total y fósforo de 97,53%, 63,25% y 34,13%. respectivamente.

Se seleccionó un método adecuado de tratamiento biológico anaeróbico para tratar aguas residuales de manera que puedan ser recicladas y reutilizadas en un determinado proceso, se puede acoplar un sistema de destilación solar aguas debajo de los reactores biológicos. Las aguas residuales entran al reactor desde el fondo y fluyen. Un manto de lodo en suspensión compuesto de gránulos microbianos trata el agua residual a medida que fluye a través de ella. Las bacterias que viven en los lodos descomponen la materia orgánica por digestión anaeróbica y la transforman en biogás (Teicher *et al.*, 2017).

#### 4.6.2 Plantas Acuáticas

Los sistemas que utilizan macrofitas acuáticas constituyen una alternativa de remoción de contaminantes, debido a su elevada capacidad de proliferación y absorción. Entre sus cualidades se encuentran la nula generación de lodos, el bajo costo de construcción y un mantenimiento sencillo, aunque requieren de un adecuado y constante seguimiento; son sistemas flexibles poco susceptibles a cambios de caudal y carga del afluente; la biomasa vegetal actúa como aislante del sedimento, lo que asegura una actividad microbiana en todas las estaciones del año; estos sistemas

incrementan o mantienen la diversidad ambiental de la zona con la creación de hábitat para la fauna; no producen olores y se integran al paisaje (Rodríguez *et al.*, 2007).

Las macrofitas tienen una gran importancia en los sistemas acuáticos, debido a que brindan de forma directa o indirecta alimento y protección para muchos organismos. La *Lema minor* perteneciente a la familia *Lemnáceae* es una especie flotante y de buen crecimiento, pudiendo cubrir la superficie de los cuerpos de agua, e impedir el paso de la luz inhibiendo el crecimiento de otros organismos fotosintéticos, reduciendo las probabilidades de proliferación de algas, evitando así los procesos de eutrofización. (Arroyave, 2004).

Las plantas macrofitas flotantes han demostrado cumplir una función importante en los sistemas de las aguas residuales, ya que son eficientes en la remediación de nutrientes, materias orgánicas y algunas sustancias tóxicas. Esta es utilizada en la zona rural debido a su bajo consumo de energía convencional. Este sistema consiste en adsorber los nutrientes a través de las raíces; en el año 1973 la universidad de Florida estudio la remoción que tenía la *Lemna minor*, concluyendo que para nitrógeno y fósforo removía un 89% y 67%, respectivamente (Maltero & Lara, 2012).

#### 4.6.3 Biorremediación

La biorremediación se ha convertido en una alternativa atractiva y prometedora para la mejora de los compuestos que contaminan el ambiente. El término biorremediación acuñado a principios de la década de los 80, proviene del concepto de remediación que hace referencia a la aplicación de estrategias fisicoquímicas para evitar el daño; basada esencialmente en la capacidad de los organismos vivos para degradar en forma natural ciertos compuestos contaminantes, permitiendo reducir o remover los residuos potencialmente peligrosos presentes en el ambiente. Con relación a otras tecnologías, la biorremediación, suele tener costos más bajos, ocasionando un menor daño ecológico en el proceso (Garzón *et al.*, 2016).

Utilizando el método la biorremediación, con especies bacterianas, se extraerán los fosfatos que causan el problema de la eutrofización, para lograr purificar de manera eficiente el agua, devolviéndola a un estado natural e inocua para el medio ambiente. Frías y Garrido en el 2012 construyeron un modelo a escala de planta de tratamiento, para disminuir la concentración de fosfato, utilizando como principal agente depurador a las bacterias *Pseudomona* sp, *Klebsiella pneumoniae* y *Escherichia Coli*, que luego de hacer su función depuradora son eliminadas por radiación ultravioleta, dejando así el agua limpia y apta para el riego o para el consumo del ganado.

#### **4.7 Humedales**

El mantenimiento de la calidad de las aguas del planeta es un requisito para el progreso sostenible, con el fin de satisfacer las necesidades de los ecosistemas. La eliminación de los contaminantes orgánicos y micro contaminantes, los tratamientos convencionales son insuficientes ya que muchos de estos compuestos son capaces de pasar a través de los procesos de tratamientos, en consecuencia, su introducción en el agua de la superficie receptora constituye una amenaza no sólo a la vida silvestre, sino que también para la salud humana (Gorito et al., 2017). Distintos estudios han buscado desarrollar tecnologías y herramienta para el tratamiento de las aguas residuales, es por esto por lo que los humedales artificiales han sido investigados y se descubrió que son capaz de eliminar diversos contaminantes y nutrientes de las aguas residuales. La eliminación de nutrientes, como nitrógeno y fósforo, en un humedal es principalmente por la actividad biótica. Por consiguiente, la influencia de la temperatura es importante cuando se evalúa la eficiencia de un humedal construido de contaminantes de tratamiento (Jing & Lun, 2004).

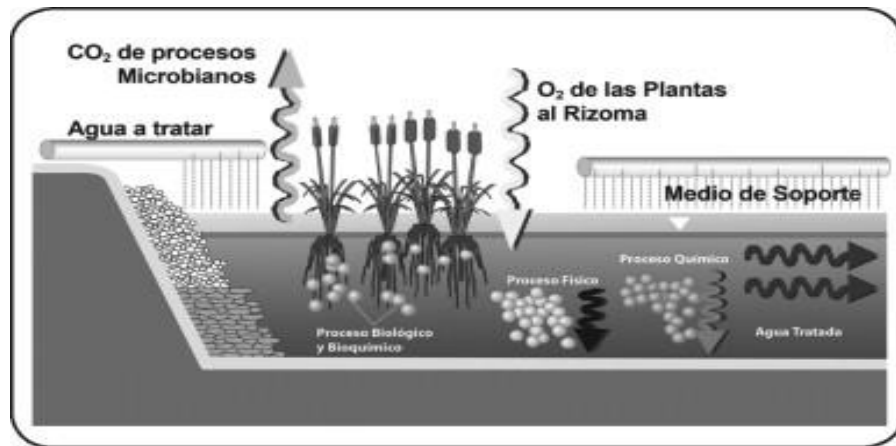
La construcción y operación de un sistema de tratamiento por medio de humedales artificiales que ocupa aproximadamente 1 hectárea de superficie fue diseñado para depurar un promedio de 109 [m<sup>3</sup>/d] de agua. Este sistema consiste en un filtro de agregados calcáreos, un sedimentador, un humedal artificial de flujo subsuperficial (HAFSS), un humedal artificial de flujo superficial (HAFS) y un muro gavión filtrante.

El agua con la que se alimenta al sistema proviene tanto del efluente de la planta de tratamiento convencional de "Tlacos", como de la contenida en el propio lago. Los resultados muestran 80% de reducción en el contenido de contaminantes. Esto representa una calidad de agua tratada superior a la establecida en la norma ambiental para cuerpos acuático con usos recreativos (Luna & Castañeda, 2014).

Los humedales están principalmente compuestos por (Parra & Navarro, 2012):

- Sustrato o material granular: sirve de soporte a la vegetación y permite la fijación de la biopelícula bacteriana que interviene en la mayoría de los procesos de eliminación de contaminantes presentes en las aguas a tratar.
- La vegetación: principalmente compuesta por macrofitas emergentes que contribuyen a la oxigenación del sustrato a nivel de la rizosfera, a la eliminación de nutrientes por absorción/extracción y al desarrollo de la biopelícula bacteriana.
- El agua por tratar o efluente: circula a través del sustrato y la vegetación.
- Los mecanismos por los que este tipo de sistemas son capaces de depurar las aguas residuales se basan en los siguientes principios:
  - ✓ Eliminación de sólidos en suspensión gracias a fenómenos de filtración que tienen lugar entre el sustrato y las raíces.
  - ✓ Eliminación de materia orgánica gracias a la acción de los microorganismos (principalmente bacterias). Los microorganismos que se desarrollan pueden ser aerobios (con O<sub>2</sub>) o anaerobios (sin O<sub>2</sub>).
  - ✓ Eliminación de nitrógeno por acción directa de las plantas, por procesos de nitrificación, desnitrificación desarrollados por los microorganismos antes mencionados.
  - ✓ Eliminación de fósforo principalmente debido a los fenómenos de adsorción sobre los componentes del sustrato.
  - ✓ Eliminación de patógenos mediante la adsorción sobre partículas del sustrato, la toxicidad producida por las raíces de las plantas y la acción depredadora de bacteriófagos y protozoos.

Un humedal artificial (HA) es una ecotecnología que, mediante procesos de biotransformación y mineralización, permite reducir un porcentaje importante de la concentración de carbono, nitrógeno y fósforo. Fundamentan su funcionamiento en la actividad bioquímica de los microorganismos; el aporte de oxígeno proveniente del componente vegetal en interacción con el material de empaque, el cual funciona como soporte tanto para los microorganismos como para el componente vegetal. En la Figura 3 se encuentra los componentes del humedal, tales como el agua a tratar, la gravilla que se empleara como medio filtrante, así como también diferentes especies de plantas. (Luna & Abusta, 2014).



**Figura 3: Humedal Subsuperficial.** Se puede observar los componentes tanto orgánicos como inorgánicos para la construcción de este tipo de humedal. [Fuente: Luna & Abusta, 2014]

Fonseca (2010) describe las principales ventajas de los humedales artificiales:

- La construcción de los humedales puede ser más barata que la de otras opciones de tratamiento
- Usos de procesos naturales.
- La construcción sencilla (se pueden construir con materiales locales), operación y mantenimiento sencillos
- Rentabilidad (bajos costos de operación y mantenimiento)

- El tratamiento por medio de humedales puede resultar económico en comparación con otras opciones si existe un terreno disponible y accesibles.
- Proporcionan numerosos beneficios, además de mejorar la calidad del agua, como el hábitat de la fauna y mejorar la estética de los espacios abiertos.

#### 4.7.1 Clasificación de los humedales artificiales

Existen diferentes tipos de humedales artificiales en función del sentido de circulación del flujo de agua, los cuales se pueden clasificar de las siguientes formas (Parra, 2012):

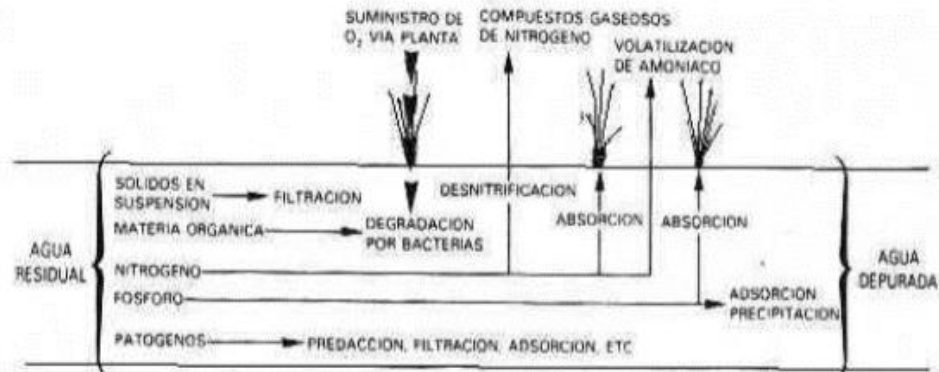
1. **Humedales artificiales de flujo libre o superficial:** el agua circula por sobre el sustrato continuamente. Se favorecen las condiciones aerobias al estar el agua directamente expuesta a la atmósfera. Se emplean para tratar efluentes procedentes de tratamientos secundarios y para crear y restaurar ecosistemas acuáticos.

2. **Humedales artificiales de flujo subsuperficial:** el agua circula a través del sustrato. En la mayoría de los casos se usan para el tratamiento de aguas residuales generadas en núcleos de población de menos de 2000 habitantes. En función del sentido del flujo, pueden ser horizontales o verticales:

- **Vertical:** El agua circula verticalmente a través del sustrato de manera intermitente. Se suelen desarrollar procesos de nitrificación.
- **Horizontal:** El agua circula horizontalmente a través del sustrato de manera continua. Se favorecen las condiciones anaerobias al mantenerse el nivel del agua por debajo del sustrato.

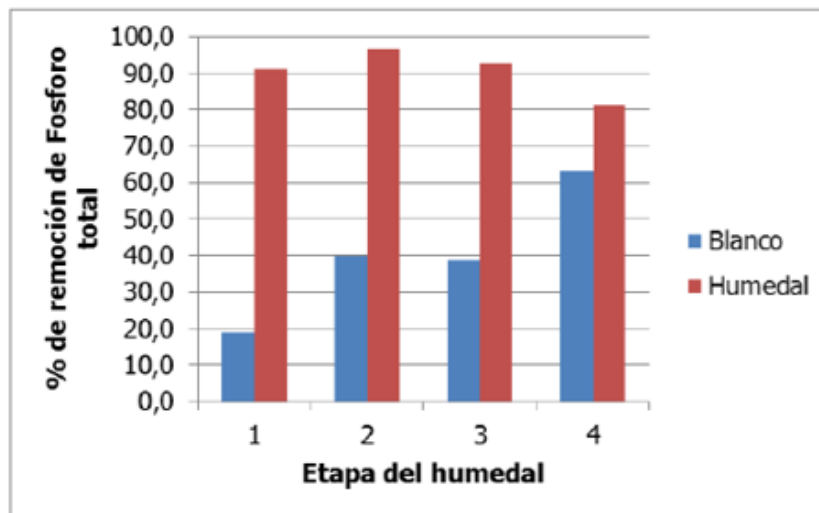
La elección de instalar un tipo de humedal frente a otro radica en la composición de las aguas residuales. En muchas ocasiones se utiliza una combinación de diferentes tipos de humedales. Por ejemplo, si queremos eliminar nitrógeno lo más conveniente sería hacer pasar el agua residual primero por un humedal de flujo subsuperficial vertical (nitrificación) y después por un humedal de flujo subsuperficial horizontal (desnitrificación) (Salas, 2018).

En la Figura 4 se observan como se pueden tratar con efectividad la demanda química de oxígeno (DBQ), solidos suspendidos (SST), fósforo y nitrógeno, así como la concentración de metales, compuestos orgánicos traza y patógenos en los humedales.



**Figura 4: Procesos que se desarrolla en un humedal**, en el cual se desarrollan distintos tratamientos que permiten la depuración del agua residual. [Fuente: Malaver, 2013].

Es así como en las investigaciones realizadas por Malaver (2013), en los humedales sembrados con *Lemna* se pudo detectar una mayor concentración de remoción de fósforo total como se muestra en la Figura 5; ya que la *Lemna* aprovecha casi la totalidad del fósforo presente a lo largo del recorrido del agua residual.



**Figura 5: Porcentaje de remoción de fósforo total**, en los sistemas de humedales utilizando la *Lemna*. [Fuente: Malaver, 2013]

Un estudio realizado en el año 2006 por Espinoza (2014), se determinó que más del 80 % de los humedales artificiales subsuperficial de flujo horizontal existentes en España, usados para el tratamiento de aguas residuales urbanas, construidos entre los años 2000 y 2005, se obtuvieron rendimientos de remoción entre 80 a 95 % para la DBO<sub>5</sub> y 70 a 95 % para sólidos totales, como también valores medios de 52% y 43 % para el nitrógeno y fósforo total, respectivamente.

#### 4.7.2 Ejemplo de humedal artificiales en Chile

El uso de los humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales comenzó al principio del presente siglo. Los humedales se concibieron como importantes purificadores de aguas residuales (Araya, 2012). Esta tecnología ha aumentado el interés a nivel mundial, debido a que posee la propiedad de ser sistemas de amortiguadores, una alta productividad vegetal y alta capacidad de retención y adsorción por medio de procesos físicos, biológicos y químicos permitiendo remover de una manera eficiente los contaminantes principales que inducen a la eutrofización (Rodríguez, 2017).

El proyecto del primer humedal artificial del sur de Chile para el tratamiento de aguas residuales realizado por el académico del Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad del Bío-Bío, Pedro Cisterna, para el Club de Campo Ainahue, ubicado en la comuna de Hualqui, responde a la normativa sanitaria vigente. Este sistema logra reducir los niveles significativos de metales, compuestos orgánicos y patógenos, utilizando un bajo costo de inversión, mantenimiento y mínimo consumo de energía. Este proyecto contó con el aporte de la Secretaria Regional Ministerial de Salud (Parra, 2015).

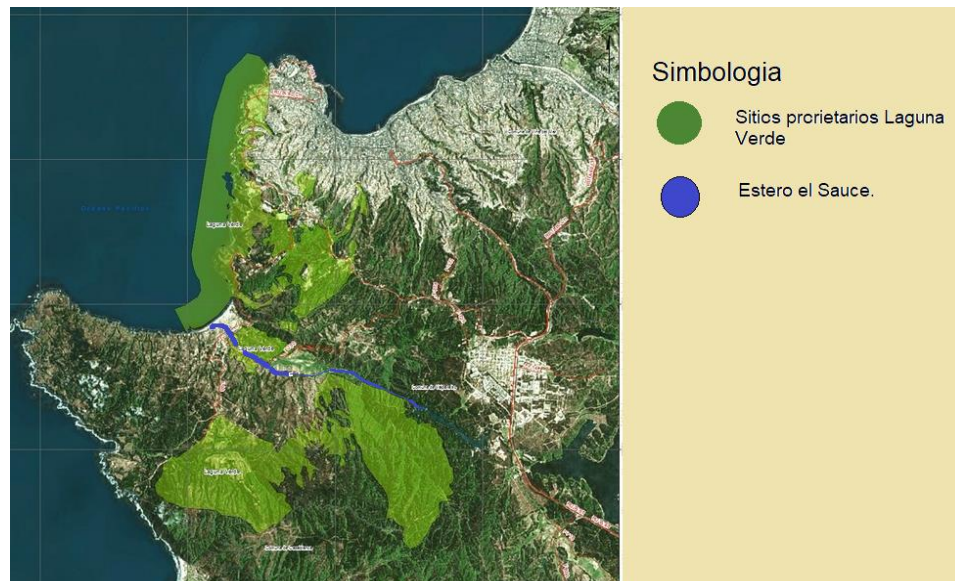
También se puede observar que la escuela “Carlos Ariztía” de la Ligua, desarrollo un humedal artificial, para recuperar tres mil litros de agua diariamente, esto permitirá reutilizar la mitad del agua que consume a día. Este humedal se inauguró el 29 de abril del 2015, posibilita utilizar las aguas residuales para riego. Este proyecto fue

importante frente a la escasez hídrica que se está viviendo en nuestro país, permitirá la mejora de la calidad de vida de las personas, para la comunidad de la Ligua presenta una situación importante en el abastecimiento del agua potable. (FCH., 2015).

## 4.8 Antecedentes de área de estudio

### 4.8.1 Localidad

La localidad de Laguna Verde que conocemos hoy en día fue descubierta a principio del siglo XX, es una bahía y un pequeño poblado rural ubicada al sur 24 [Km] de la ciudad de Valparaíso, perteneciente a la misma comuna y región (Gener, 2005). En la Figura 6 se encuentra los sitios prioritarios, donde en ella se encuentran los Acantilados de Laguna Verde declarado Santuario de la naturaleza (Ministerio del medio ambiente, 2005).



**Figura 6: Sitios Prioritarios de Laguna Verde**, en el cual se observa que los sitios prioritarios se encuentran alrededor del estero “El Sauce”. [Fuente: MMA.2005].



se han detectado múltiples escombros y descargas de terceros, una situación que también contribuye a la contaminación de éste. (Ortiz, 2017).

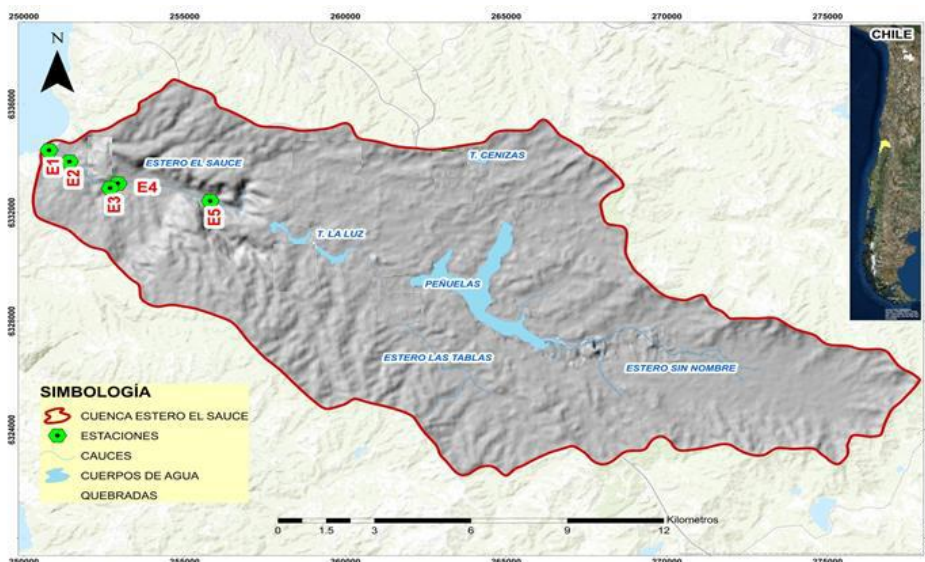
- Debido al mal manejo de la municipalidad de Valparaíso, como de la armada, la gobernación y la intervención de vecinos que se tomaron parte de la ribera del estero “El Sauce”, es necesario proteger al pueblo para contener las crecidas del estero debido a las altas marejadas, inundaciones invernales, así como realizar un proceso de tratamiento de las aguas en el sector. (Chávez, 2016).
- De la Cuadra (2014) realizó una denuncia a la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), debido a la contaminación que se estaba produciendo en el estero, perdiendo con ellos distintas especies de peces, coipos, ranas, aves acuáticas, entre otras; siendo este problema tramitado en el año 2012 pero sin obtener algún resultado.

#### 4.8.4 Monitoreo del Estero “El Sauce”

El estero “Las Cenizas”, ubicado en el sector de Placilla es uno de los cuerpos de agua que alimentan al estero “El Sauce”, además recibe aportes por parte de una microcuenca proveniente desde el vertedero “Los Molles”, ubicada en una cascada de la carretera. El primer monitoreo realizado por Tobar & Torre (2014) en el período estival de 2013 permitió determinar 5 estaciones de monitoreo que se analizaron a lo largo de la escorrentía del estero “El Sauce”. En la Figura 8 se observan las diferentes localizaciones geográficas de cada estación analizada. Y en la Tabla 2 se puede observar las diferentes estaciones de monitoreo por sector, con su respectivo nombre, rótulo (Tobar & Torre, 2014)

Tabla 2: Estaciones ubicadas por sector, con su respectivo nombre, rótulo y coordenadas geográficas.  
 [Fuente: Modificada Tobar & Torre. 2014]

Estación	Rótulo	Tipo de fuente	Norma o Decreto	Uso
Desembocadura	E1	Receptora	NCh1333.Of78	Recreación y estética (Con contacto directo)
Badén	E2		NCh1333.Of78	Recreación y estética (Sin contacto directo)
Antes pie. Los Azules	E3		NCh1333.Of78	Agua para la bebida de animales y Riego
Pto cercano APR	E4		NCh1333.Of78	
Quebradas	E5		NCh1333.Of78/ NCh409	

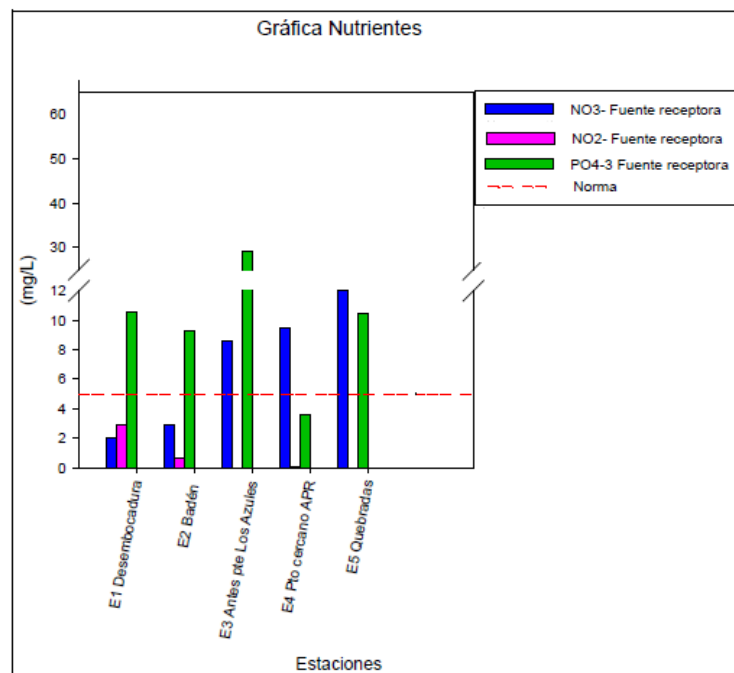


**Figura 8: Mapa de las estaciones monitoreadas.** En la figura se observa la ubicación de cada estación a lo largo de estero “El Sauce”. [Fuente: Modificada Tobar & Torre, 2014].

Los nitritos según las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales, propone un rango aceptable no debe superar los 0,06 mg/L, en lo cual, los valores de nitritos obtenidos en la evaluación ambiental y respecto a la Figura 9 sobrepasan enormemente los rangos máximos exigidos en las estaciones de Badén (E2), desembocadura (E1). En general, las concentraciones de nitrógeno están influenciadas por los aportes de residuales domésticos los cuales contienen altas concentraciones de proteínas, aminoácidos (Tobar & Torre, 2014).

El fósforo es uno de los elementos clave necesarios para el crecimiento de plantas y animales, y en forma elemental es muy tóxico. Los fosfatos [PO<sub>4</sub>-] se forman a partir de este elemento. Su presencia puede provenir de la separación de pesticidas orgánicos que contienen fosfatos.

La Figura 9 indica un alto aporte de fosfato en la mayoría de las estaciones analizadas, sólo 1 de las 5 estaciones cumplen con la norma, las estaciones que presentan una mayor cantidad de fosfato son aquellas que más eutrofizadas se encontraban, y las que presentan un fuerte olor a materia orgánica descompuesta, además, no se evidencia vida acuática en estos sectores.



**Figura 9: Grafica Nutrientes.** Se observa las concentraciones obtenidas en las diferentes estaciones del Estero. [Fuente: Modificada Tobar & Torre, 2014]

## **5. Materiales y métodos**

### **5.1 Elección del tipo de humedal**

A través de fuentes de información escrita perteneciente a los distintos tipos de humedales artificiales existentes como sus diversas características, se realizó una tabla comparativa con los criterios más importantes para el funcionamiento del humedal, para luego seleccionar el tipo de humedal pertinente a los objetivos planteados.

#### **5.1.1 Selección del componente vegetal**

Por medio de la revisión bibliográfica se seleccionó el componente vegetal, para ello se consideró los siguientes criterios:

- Plantas adaptadas a las condiciones locales
- Plantas tolerantes a los contaminantes y a las condiciones hipertróficas (altos contenidos de nutrientes).
- De fácil propagación y rápido crecimiento.
- Alta capacidad de remoción de contaminantes.

### **5.2 Diseño de Humedal**

Durante la etapa de diseño se consideraron los siguientes parámetros: la concentración de los contaminantes presentes en el agua que se pretenda tratar, así como los requerimientos de descarga que se deseen obtener, de tal manera que estas características permitan la elección del diseño que se adecue a las características intrínsecas del lugar.

Para realizar este diseño se recurrió a fuentes bibliográficas para obtener información acerca de la utilización de esta tecnología, la cual hace uso de microorganismos y vegetación que son capaces de descomponer y remover distintos compuestos que conllevan a la eutrofización del cuerpo de agua estudiado.

La metodología para el cálculo del diseño se realizó en base a lo propuesto por Parra (1989) para el diseño del humedal en relación con la remoción del fósforo.

- Área del humedal [As]

$$As = b * \frac{Q}{K_a} * \ln \frac{C_0}{C_1} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

Ka= Constante cinética de primer orden para remoción de fósforo, 2,74 [m/día]

Co= Concentración inicial del contaminante

C1= Concentración final deseada.

b= Factor de conversión 100 [cm/m]

Para la determinación del Ancho, largo y tiempo de residencia se basó en el diseño propuesto por EPA, 1993.

Ancho del humedal [a]:

$$a = \sqrt{\frac{As}{2}} \quad \text{Ecuación 5}$$

- Largo del humedal [L]:

$$L=2*a \quad \text{Ecuación 6}$$

- Para La estimación de Volumen [V]:

$$V = As * h \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

h = Profundidad

- La determinación de tiempo de retención teórico que tendrá el Humedal puede hacerse mediante la expresión (CIH, 2011):

$$THR = \frac{V}{Q} \quad \text{Ecuación 8}$$

Eficiencias de remoción (ER) de los contaminantes fueron calculadas, como el porcentaje de la reducción en la concentración a la entrada y salida del humedal, mediante la siguiente expresión (Córdoba *et al.*, 2015).

$$ER = \left(1 - \frac{c_0}{c_1}\right) * 100 \quad \text{Ecuación 9}$$

### 5.3 Factibilidad técnica del Humedal

Se determinó la factibilidad para saber cuáles son los recursos necesarios para llevar a cabo el correcto diseño del proyecto. Esta factibilidad se basó en 2 aspectos básicos: operativo y económico.

En términos de funcionamiento existen ciertos parámetros considerados de mayor importancia, desde condiciones mínimas de funcionamiento hasta una operación de carácter óptimo. Para el logro de los objetivos propuestos, se trabajó en base al desarrollo de los siguientes puntos (Espinoza, 2017):

- Capacidad y ubicación: Se determinó la ubicación más viable debido al costo de construcción por [m<sup>2</sup>]. Esta variable implica una debilidad importante de los humedales artificiales frente a otros sistemas de tratamiento sobre todo en zonas urbanas.
- Tiempo de construcción: Se estimó el tiempo requerido para la construcción del humedal para la realización de cada actividad y calendarización del proyecto.
- Recursos: Se estimó los recursos mínimos necesarios para poder ejecutar este diseño.

- Permisos aspectos legales: Se identificaron los permisos necesarios para una construcción de humedal artificial, para ello se realizaron reuniones con encargados de concesiones y la Dirección General de Agua (DGA)-

#### 5.4 Estimación de costo de construcción y operación

Realizar una estimación de la inversión es de gran importancia y de utilidad, ya que prevé situaciones futuras con la información existente. La información financiera del sistema va a hacer referencia a analizar principalmente la construcción del humedal, determinado los costos que se generan por los diferentes recursos, maquinaria, mano de obra, entre otros (Castro & Torre, 2014).

Los costos de inversión para el humedal se obtuvieron a través de cotizaciones para cada actividad en las distintas etapas de construcción, para estas cotizaciones se enviaron correo, llamadas telefónicas a distintas empresas y también se buscó en página web los precios actualmente del mercado. Finalmente hacer una comparación del costó unitario con el tamaño del proyecto requeridos, se realizó como se muestra en el ejemplo de la Tabla 3 la cuál presenta un resumen de los costos para una celda de 1.200 [m<sup>2</sup>] en el manual de la Agencia de Protección de Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA., 2000).

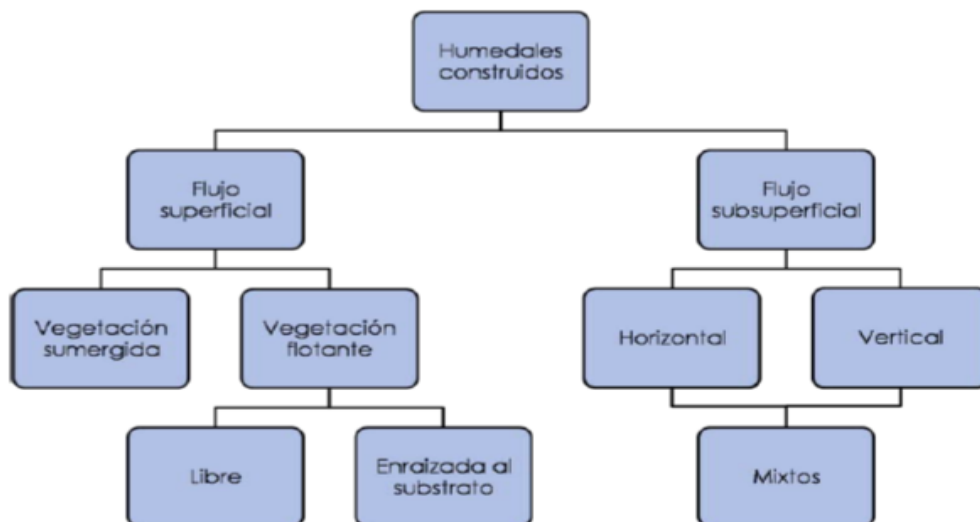
Tabla 3: Costo de inversión de una celda del humedal [Fuente: EPA, 2000]

Elemento	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo (USD)
Movimiento de tierra	1.200 [m <sup>2</sup> ]	2,5	3.046
Recubrimiento	1.200 [m <sup>2</sup> ]	2,1	2.492
Medio grava/suelo	1.200 [m <sup>2</sup> ]	10,9	13.117
Estructura de entrada y descarga	1.200 [m <sup>2</sup> ]	1,3	1.532
Costos de Ingeniería	1.200 [m <sup>2</sup> ]	0,7	834
Total			21.022

## 6. Resultados

### 6.1 Determinación del tipo de humedal artificial

En un humedal artificial se desarrollan diferentes mecanismos de remoción de contaminantes del agua residual. Evidentemente tiene lugar a un amplio rango de procesos biológicos, químicos y físicos. Las plantas depuradoras de aguas residuales urbanas se han diseñado típicamente para eliminar materia en suspensión y materia orgánica. Existen diferentes sistemas para clasificar a los humedales (Figura 10), sin embargo, todos ellos toman en consideración tres criterios: el tipo de vegetación presente, el tipo de flujo y la dirección de este (Mendoza & Ramos, 2012).



**Figura 10: Clasificación de los sistemas de los humedales.** Tipos de H.A según el tipo de flujo a utilizar. [Fuente: Mendoza & Ramos, 2012]

La elección del tipo de humedal se determinó revisando distintas referencias bibliográficas, destacados sus características principales. A continuación, se menciona algunas características de los humedales artificiales mencionados por distintos autores:

- Araya (2012) describe que los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, la materia orgánica en suspensión disminuye su concentración en forma exponencial hasta alcanzar un 90% de remoción.

- Heike et al. (2011) Indica que los humedales artificiales subsuperficial son diseñados para eliminar componentes como materia orgánica, sólidos suspendidos totales, nutrientes (nitrógeno y fosforo), patógenos, metales pesados y otros contaminantes presentes en las aguas residuales.
- Antón (2017) hace referencia a los tiempos hidráulicos que van variando según el componente principal a remover, como es el caso de la materia orgánica oscilan entre 2 y 5 días, mientras que para la eliminación de compuestos nitrogenados deben ser superior a 7 días.
- Rodriguez (2017) describe que los humedales superficiales se utilizan principalmente para el tratamiento de las aguas, restauración de ecosistema. Por otro lado, los humedales subsuperficiales se utilizan habitualmente en la depuración de aguas generadas en poblaciones de menor a 2000 habitantes, cabe destacar que al circular el agua desaparece el riesgo de aparición de olores y mosquitos.
- Romero (2015) realiza un estudio entre los tipos de humedales artificiales existentes, concluye que la remoción de fosforo en los distintos humedales del lago Taihu, donde el superficial remueve un 36% en cambio el subsuperficial un 64%.

En la Tabla 4 se presenta una comparación del principal funcionamiento entre estos dos tipos de humedales artificiales (Delgadillo *et al.*,2010).

Tabla 4: Criterios de selección del humedal [Fuente: Delgadillo *et al.*,2010]







<b>Criterios</b>	<b>Flujo superficial</b>	<b>Flujo Subsuperficial</b>
<b>Tratamiento</b>	Tratamiento de flujos secundarios	Tratamiento de flujos primarios
<b>Carga orgánica</b>	Baja carga	Alta carga
<b>Presencia de olor</b>	Si	No
<b>Insectos</b>	Si	No
<b>Protecciones térmicas</b>	Mala, las bajas temperatura afectan a los procesos	Buena, por la protección que ejerce la vegetación y el flujo subterráneo.
<b>Superficie</b>	Gran superficie	Menor superficie
<b>Costo</b>	Menor gasto	Mayor
<b>Usos generales</b>	Restauración y creación de nuevos Ecosistema	Tratamiento principal de las aguas residuales.

Debido a que la localidad de Laguna Verde no cuenta con un sistema de alcantarillado, se considera el humedal de flujo subsuperficial como él más adecuado a la situación. A pesar de que este humedal tiene un mayor costo de inversión, debido a los materiales requerido por la construcción del medio filtrante, tiene la ventaja ya que no da problemas de olores y requiere una menor área, siendo este último unos de los principales problemas de la construcción de un humedal artificial.

#### 6.1.1 Elección del tipo de vegetación

Dentro de la investigación realizada se encontraron distintas plantas más comunes para la depuración de aguas residuales. En la Tabla 5 se presenta un listado con algunas de estas especies.

Tabla 5: Listado de especies para la depuración de aguas.

Nombre Común	Nombre Científico	Imagen	Referencias
<b>Pasto Alemán</b>	<i>Echinochloa polystachya</i>		Gualán <i>et al.</i> , 2016
<b>Espadaña</b>	Typha		Parra, 2015
<b>Lirio Amarillo</b>	<i>Iris Pseudacorus</i>		Granados, 2018
<b>Totora</b>	<i>Scirpus spp</i>		Delgadillo, 2010
<b>Carrizo</b>	<i>Phragmites spp</i>		Lara, 1999
<b>Papiro Enano</b>	<i>Cyperus Haspan</i>		Granado, 2018

Existen una amplia gama de plantas, y algunas no fueron contabilizada en este listado, debido a que no se encontraba información accesible, las plantas que fueron seleccionadas se repetían en distintos estudios que fueron usado para el tratamiento de las aguas residuales.

Para seleccionar las especies vegetales se debe tener en cuenta su adaptabilidad al clima local, tolerancia a la concentración de contaminantes y factibilidad de manejo. Por lo que se realizó un cuadro comparativo (Tabla 6) entre las distintas especies nombrada anteriormente, con algunas de sus características.

Dadas las características del lugar estudiado, presentado en la Tabla 7 los rangos de temperatura y pH promedio, se descartaron las otras especies dejando a la Espadaña y el Papiro Enano que cumplen con los requisitos para el sistema de tratamiento esperado. Entre ambas especies seleccionada se escogió el Papiro Enano ya que es una planta que realiza un mayor porcentaje de remoción, muy resistente a diferentes temperaturas, fácil de cultivar, no suele afectarse por plagas por lo que no requiere de muchos cuidados.

Tabla 6: Criterios comparativos entre las plantas.

<b>Criterios</b>	<b>Pasto Alemán</b>	<b>Espadaña</b>	<b>Lirio Amarillo</b>	<b>Totora</b>	<b>Carrizo</b>	<b>Papiro Enano</b>
<b>Tolerante a temperatura ambiente</b>	No tolera sequias	10- 30	No tolera temperaturas bajas	18- 27 [°C]	12 – 23 [°C]	10 - 25 [°C]
<b>Rango de pH</b>	4 – 8	4 -10	Bajo pH	4-9	2 - 8	6 – 8,5
<b>Fácil propagación y crecimiento</b>	Produce poca semilla, la floración empieza al final de lluvias y la propagación vegetativa es fácil.	Crece bajo diversas condiciones medio ambientales	El lirio amarillo es fácil de cultivar porque soporta todos los climas. Especies vulnerable a los gasterópodos como los caracoles y las babosas, que devoran sus flores; en caso de invasión hay que utilizar un producto especial que los eliminan.	Crecen en aguas costeras interiores.	No crecen en aguas acidas	Crece de forma rápida con condiciones adecuadas, ya que no soporta las heladas.
<b>Disponibilidad en Chile</b>	SI	Origen en México	SI	SI	-	Si
<b>Remocion de contaminante</b>	Degrada el crudo derramado por la agricultura y suelos contaminados con petróleo.	Tiene potencial pequeño de remoción de N y P por la vía de la poda y cosecha.	Tiene flores altamente resistentes	Cromo, Níquel, zinc y fósforo en el sedimento	Recomendable para flujo subsuperficial	Remueve entre un 14 y 71 % de fosforo
<b>Altura crecimiento</b>	1,50 [m]	Hasta 2,5 [m]	Hasta 1 [m]	3 a 5 [m]	40 [cm]	Alcanza un 1 [m]

## **6.2 Determinación de los parámetros de diseño del humedal Subsuperficial**

### **6.2.1 Caracterización y monitoreo**

Torres y Tobar en el 2014 realizaron el monitoreo de las aguas con el propósito de conocer la calidad del agua del Estero y en base a esas concentraciones se realizaron el correspondiente diseño, para que la solución plateada sea efectiva. En la Tabla 7 se encuentran los parámetros de las 5 estaciones monitoreadas a lo largo del estero “El Sauce.”

Tabla 7: Resultados parámetros iniciales (Fuente: Modificada Torre & Tobar, 2014)

Parámetro	Unidad	Valor experimental
Temperatura Ambiente	°C	10- 22
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH	8,5
Conductividad	μS/cm	>1.500
Oxido disuelto	mg/l	12
DBO <sub>5</sub>	mg/l	190
Fosfatos	μg/l	600
Nitrato	μg/l	54.100
Coliforme	NMP/100 ml	15.000

Una de las causas de los niveles del fósforo presente en la laguna, es por su poco movimiento y la presencia de vegetación, estando estrechamente relacionado con la demanda bioquímica de oxígeno, por lo que es primordial que el humedal remueva la mayor cantidad de estos contaminantes.

A continuación, se presenta el cálculo completo, con el que se determinó las características y dimensiones del humedal artificial subsuperficial horizontal a través de las fórmulas presentadas en el capítulo de la metodología de diseño del humedal.

1) Área Superficial [As]:

$$As = \frac{Q}{K_a} * \ln \frac{C_0}{C_1}$$

$$As = \frac{109 \left[ \frac{m^3}{d} \right]}{2,74 \left[ \frac{cm}{d} \right]} * \ln \frac{0,6 \left[ \frac{mg}{L} \right]}{0,3 \left[ \frac{mg}{L} \right]} * 100 \left[ \frac{cm}{m} \right]$$

$$As = 2.798,26 [m^2]$$

2) Ancho [a]:

$$a = \sqrt{\frac{As}{2}}$$

$$a = \sqrt{\frac{2.757,41}{2}}$$

$$a = 37,40 [m]$$

5) Largo [L]:

$$L = 2 * a$$

$$L = 2 * 37,40 [m]$$

$$L = 74,81 [m]$$

6) Volumen [V]:

$$V = As * h$$

$$V = 2.757,41 [m^2] * 0,6 [m]$$

$$V = 1.678,95 [m^3]$$

7) Tiempo de residencia Hidráulico [THR]:

$$THR = \frac{V}{Q}$$

$$THR = \frac{1.678,95 [m^3]}{109 \left[ \frac{m^3}{d} \right]}$$

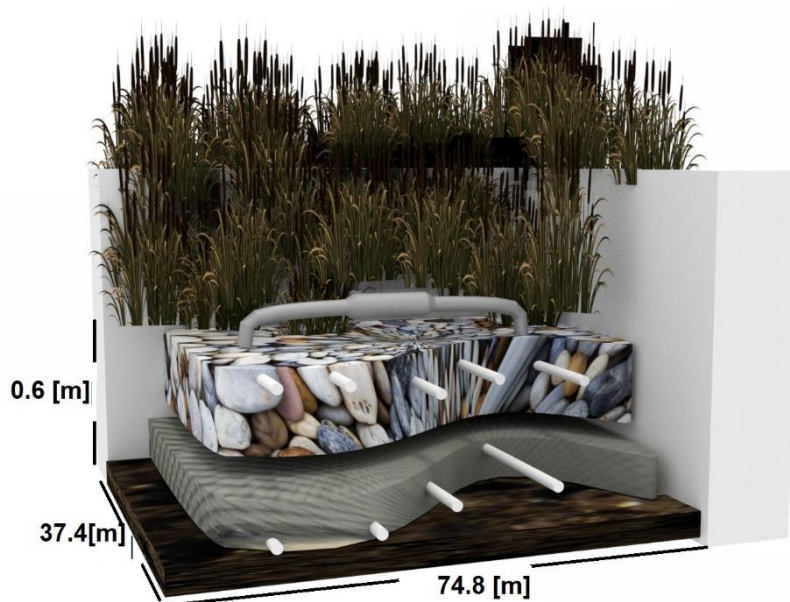
$$\text{THR} = 15,4 \text{ [día]}$$

8] Eficiencia de remoción del fósforo [ER]:

$$ER = \left(1 - \frac{c_1}{c_0}\right) * 100$$
$$ER = \left(1 - \frac{0,3 \left[\frac{mg}{L}\right]}{0,6 \left[\frac{mg}{L}\right]}\right) * 100$$

$$ER = 50\%$$

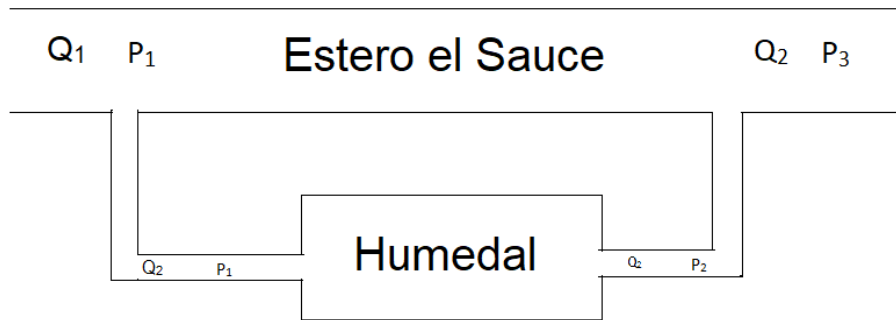
El diseño del humedal subsuperficial horizontal se puede apreciar en la Figura 11 en el cual se observan los principales parámetros de diseño (largo, ancho y alto). Para este tipo de humedal la profundidad del lecho va desde 0,45 a 1 [m] y pendiente de 0 a 0,5%, es por esto la pendiente será de 0,5%. Además las medidas del canal de ingreso y salida será de 0,6 [m] de ancho y 0,3 [m] de profundidad.



**Figura 11: Perfil frontal del humedal.** En la figura se observa las partes de un humedal diseñado y sus respectivas dimensiones.

### 6.2.2 Balance de materia y energía

Se realizó un balance de materia para cuantificar la remoción de los contaminantes presentes en el estero a través del humedal, para ello se comparó la concentración de los componentes a la entrada y salida del humedal. En la Figura 12 se muestra el diagrama de flujo de los componentes a través del humedal y en la Tabla 8 los resultados obtenidos de remoción de cada componente.



**Figura 12: Diagrama de flujo del balance de materia.**

$$P_1 (Q_1 - Q_2) + P_2 * Q_2 = Q_1 * P_3 \quad \text{Ecuación 5: Balance general de materia}$$

Donde

$P_1$ = Concentración del componente presente en el estero [mg/L]

$Q_1$ = Caudal del Estero "El Sauce" [m<sup>3</sup>/día]

$Q_2$ = Caudal de entrada al humedal [m<sup>3</sup>/ día]

$P_2$ = Concentración a la salida del humedal [mg/L]

$P_3$ = Concentración final presente en el estero "El Sauce" [mg/L]

Tabla 8: Remoción de contaminante del estero “El Sauce”.

Contaminantes	Estimación de concentración inicial [P <sub>1</sub> ] [mg/L]	Estimación de concentración salida del humedal [P <sub>2</sub> ] [mg/L]	Porcentaje de remoción del humedal [ %]	Concentración final [P <sub>3</sub> ] [mg/L]	Porcentaje de remoción [%]
Fosfato	0,6	0,3	50	0,4	<b>33</b>
Nitrato	54,1	27,05	50	17,91	<b>67</b>
DBO	190	24,37	87,174	16,14	<b>91,50</b>

### **6.3 Determinación de la factibilidad técnica**

Se seleccionó un humedal de flujo subsuperficial horizontal para tener una mayor facilidad de construcción y requerir de una menor inversión. Lo que le da un mayor acceso de implementación incluso a personas de bajos recursos.

En términos de funcionamientos existen diferentes parámetros considerados de mayores importancias para alcanzar, desde condiciones mínima de funcionamiento hasta una operación de carácter óptimos (Espinosa.2017), dichos parámetros son:

#### **6.3.1 Capacidad y ubicación**

Determinar el tamaño del humedal se realizó de acuerdo con el cálculo del diseño propuesto por Espinosa (2014) y Pérez (2009). Una vez obtenidas las dimensiones, se realizó la búsqueda de la ubicación del humedal a diseñar y así poder realizar de mejor forma el tratamiento de las aguas del estero “El sauce”. En la Figura 13 se muestra la ubicación de humedal diseñado y en la **Figura 13** Figura 14 el plano de diseño de la planta.

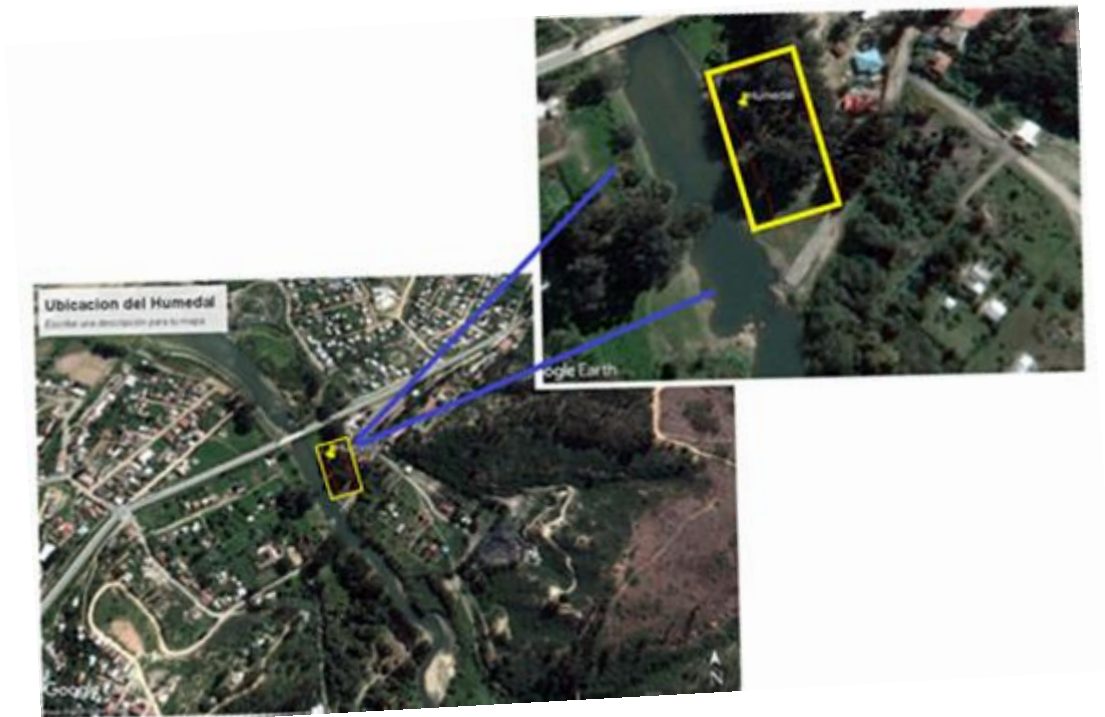


Figura 13: Ubicación del humedal en Laguna.

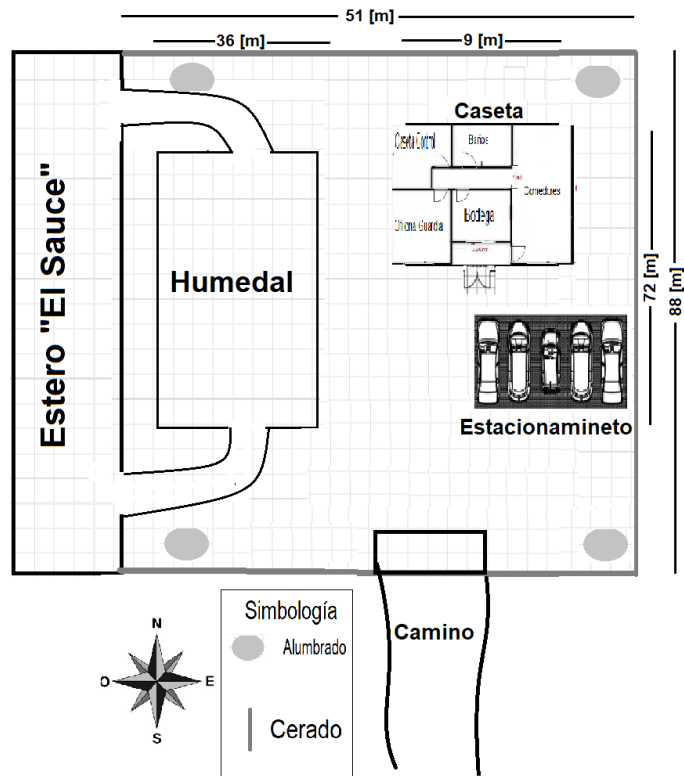


Figura 14: Plano de diseño

### 6.3.2 Recursos necesarios

Para la implementación del humedal se realiza la compra de materiales geotextil, grava fina y gruesa, malla metálica, tubería PVC y plantas acuáticas (Papiro enano). También fue necesario evaluar el caudal mínimo requerido para movilizar buena parte de la masa de agua que contiene la laguna. Para ello, se estimó el volumen aproximado de agua que contiene la laguna y el caudal necesario para garantizar la aireación en su totalidad (Figuroa *et al.*, 2015). Además de realizar diferentes cotizaciones con el fin de tener en cuenta los costos de cada etapa de construcción del humedal.

### 6.3.3 Tiempo de construcción

En el cronograma de actividades visualizado en la Tabla 9, se encuentran los pasos a seguir para la construcción del humedal (Figuroa *et al.*, 2015).

Tabla 9 : Cronograma de actividades de construcción

<b>Nombre de la actividad</b>	<b>Mes 1</b>	<b>Mes 2</b>	<b>Mes 3</b>	<b>Mes 4</b>	<b>Mes 5</b>	<b>Mes 6</b>
Excavación para obtener las dimensiones requeridas	X					
Instalación de la geomembrana, cámaras de inspección y tuberías		X				
Construcción de las paredes externas del humedal con la grava gruesa			X			
Incorporación del material (arena y grava)				X		
Siembra de plantas acuáticas				X		
Desviación del cauce del flujo de agua					X	
Recuperación de condiciones iniciales del terreno						X

### 6.3.4 Diseño final del humedal

En la Figura 15 se visualiza cómo será el humedal con sus respectivos materiales de construcción y forma de diseño. En la Tabla 10 se encuentran los parámetros de entrada y salida del diseño del humedal.

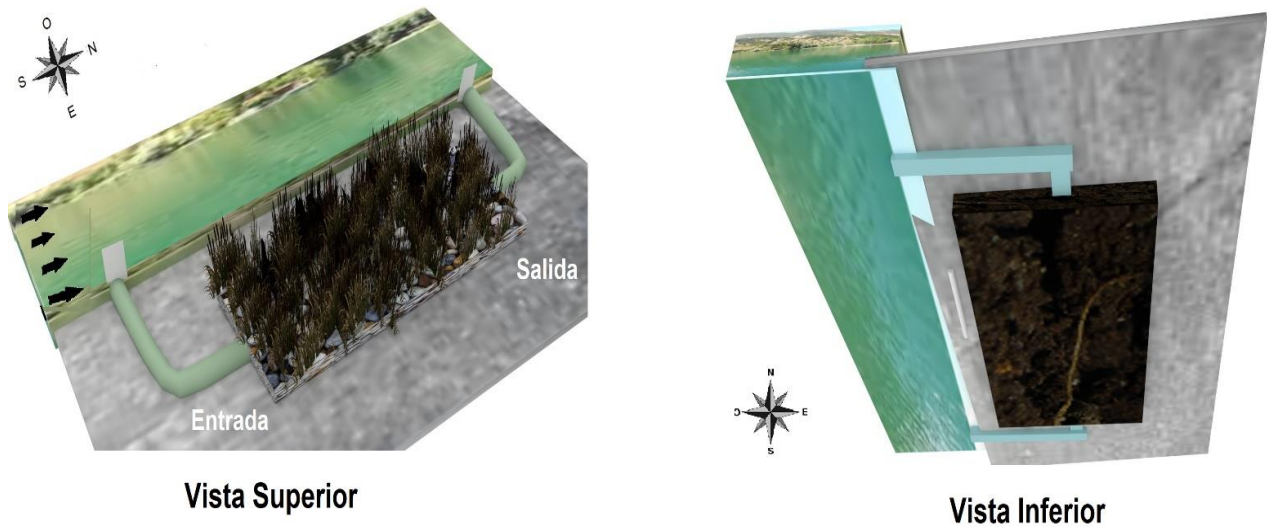


Figura 15: Diseño del humedal vista superior e inferior.

Tabla 10: Parámetros entrada y salida del humedal

Parámetro	Entrada	Salida
Cauda [Q]	109 [m <sup>3</sup> /día]	109 [m <sup>3</sup> /día]
Fosforo	0,6[mg/l]	0,3 [mg/l]
Nitrógeno	54.1 [mg/l]	27, 05 [mg/l]
DBO	190 [mg/l]	24,37 [mg/l]

### 6.3.5 Permisos y aspectos legales

La obtención de estos permisos se realizará a través de la Dirección general de aguas (2018), para poder obtener agua del estero se necesitará los siguientes documentos:

- Fotocopia de la cédula de identidad vigente del solicitante (una copia).
- Un plano de la ubicación.
- Dos ejemplares de la solicitud de aprovechamiento (dirigida al Director General de Aguas) que incluya:
  - Individualización del solicitante: nombre completo, RUT, dirección, correo electrónico, teléfono, etc.
  - Caudal máximo que se necesita extraer en un instante dado, expresado en medidas métricas y de tiempo (l/s), y el volumen total anual que se desea extraer desde el acuífero, expresado en metros cúbicos.
  - Uso que se le dará a las aguas solicitadas.
  - El o los puntos donde se desea captar el agua (donde se localiza el pozo) expresados en coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), utilizando datum WGS84.
  - La forma o el modo de extraer el agua, la que generalmente será por elevación mecánica.
  - Carácter del derecho, de uso consuntivo o no consuntivo y de ejercicio permanente, continuo o discontinuo o alternado con otras personas. Si se trata de derecho no consuntivo es necesario indicar el punto de restitución de las aguas, la distancia entre punto de captación y restitución, y el desnivel entre éstos.

### 6.3.6 Antecedentes legales

Copia del registro de inscripción de la propiedad en el Conservador de Bienes Raíces, con certificación de dominio vigente, con una antigüedad máxima de 60 días (original o copia autorizada ante notario).

### 6.3.7 Mantenimiento

En la operación de los humedales para su correcto mantenimiento es necesario realizar monitoreo del sitio, esta actividad incluye uniformidad del agua de flujo de entrada y salida, los cambios significativos en el nivel del agua deben ser controlados inmediatamente para que no se presenten fisuras en los rebordes del sistema que contiene el humedal y no haya daños como resultado de tormentas. Un mantenimiento adecuado de las conexiones de entrada y salida aseguran que las estructuras no se obstruyan, garantizando el nivel y el flujo del agua. Asociado a las actividades de mantenimiento de obstrucción se incluyen remoción física de basuras o desechos de la sedimentación, lavado, control de olor, animales (EPA, 2000). Para los humedales artificiales de tratamiento de agua residual, es importante monitorear mensualmente los parámetros de Demanda bioquímica de oxígeno, nutrientes. Para poder realizar una correcta operación del humedal, se necesitarán dos trabajadores que trabajen por turno, y dos guardias para turnos de noche, además para realizar el control de las aguas a la salida del humedal, en el primer año de funcionamiento se realizaran monitoreo cada dos meses, pasado el año de funcionamiento se realizaran en un plazo mayor a dos meses. Las especies se pueden revisar anualmente. Todo esto se debe realizar para demostrar que el humedal está funcionando.

## **6.4 Determinación de los costó de construcción y operación**

### **6.4.1 Costo de construcción**

Los principales costos de inversión fueron cotizaciones obtenidas del CYPE ingeniero (2018), el cual es una completa herramienta informática que permite a los arquitectos, ingenieros y responsables de los proyectos obtener precios (para obra nueva, rehabilitación y espacios urbanos) con las previsiones de costos ajustados a la realidad, y facilitar la elaboración de una documentación de proyecto de calidad (completa, consistente y con información técnica vinculada a cada unidad de obra), estos costos se detallan en cada una de las etapas de la fase de construcción del humedal. También se realizaron distintas cotizaciones de los principales materiales necesarios en el cual se encuentra en los *Anexos 10*.

### **Preparación del terreno**

Esta etapa incluye la limpieza de terreno, la cual es uno de los trabajos por lo que se inicia la obra de construcción, que consiste en eliminar todo tipo de escombros ya sea basura, vegetación, troncos, metales pesados, existente a fin de poder realizar de mejor manera los trabajos para la construcción del humedal. Esta limpieza incluye mano de obra, maquinarias, herramientas, retiro de basura y escombros. A continuación, se nombran las actividades que están involucrada en la preparación del terreno.

- **Talado de árboles:** Antes del inicio de esta actividad se comprobará la posible existencia de elementos enterrados, redes de servicio o cualquier tipo de instalaciones que puedan resultar afectadas por las obras a iniciar. Luego comienza el talado de árbol, mayor de 60 cm de diámetro de tronco, con motosierra y camión con cesta. Incluso extracción de tocón y raíces con posterior relleno y compactación del hueco con tierra de la propia excavación, troceado de ramas, retirada de restos y desechos, y carga a camión, para su correcto presupuesto se medirá el número de unidades realmente ejecutada según las especificaciones del proyecto. En la Tabla 11 se encuentra el costo de las herramientas y personal necesarios para talar una unidad de árbol.

Tabla 11: Costo total en talar un árbol de tronco mayor a 60 cm de diámetro. [Fuente: CYPE ingeniero,2018]

Unidad	Descripción	Precio unitario CPL
1 árbol	Motosierra a gasolina, de 50 cm de espada y 2 kW de potencia.	1.376,01
	Camión con cesta elevadora de brazo articulado de 16 m de altura máxima de trabajo y 260 kg de carga máxima.	5.247.,84
	Retroexcavadora hidráulica sobre neumáticos, de 105 kW.	6.283,06
	Rodillo vibrante de guiado manual, de 700 kg, anchura de trabajo 70 cm	2.705,32
	Maestro 1ª jardinero	7.279,74
	Ayudante jardinero	5.360,42
	Total	28.252,39

- Limpieza de terreno: Esta actividad involucra el despeje del terreno, con medios mecánicos. Se incluyen los trabajos para retirar pequeñas plantas, malezas madera caída, escombros, basura; es decir la nivelación del terreno considerando una profundidad mínima de 25 [cm], esto incluye el transporte de la maquinaria, retirada de los materiales excavados y carga de camión. En la Tabla 12 se muestra los costos asociados a esta actividad.

Tabla 12: Costo de limpieza por metro cuadrado. [Fuente: CYPE ingeniero, 2018]

Unidad	Descripción	Precio unitario CPL
m <sup>2</sup>	Pala cargadora sobre neumáticos de 120 kW/1,9 m <sup>3</sup> .	500
	Jornal construcción.	1.500
	Total	2.000

- Cerco perimetral: Para este trabajo se buscó distintos valores por metro cuadrado en internet y comunicándose con empresas que realizan esta actividad. En la Tabla 13 se encuentra la cotización para instalar un cerco perimetral; dentro de este servicio de cercado incluye el traslado del total de los materiales, trazado de línea del cerco, excavaciones para instalación de pilares, elaboración de hormigón en obra, empotramiento de postes, instalación de mallas y hebras de alambre de púas; altura total aproximada del cerco compuesto entre 1,5 y 1,55 [m]

Tabla 13: Cotización del cerco perimetral

Unidad	Descripción	Precio unitario CPL
m	Cierre perimetral	1.300
	Jornal construcción.	500
	Maquinaria	100
	Total	1.900

### **Construcción del humedal**

En esta etapa se llevarán a cabo dos actividades:

- **Construcción del humedal:** Esta actividad consiste en realizar la excavación de la piscina con un ancho y largo de 37,40 [m] y 74,81 [m] respectivamente y los canales de entrada y salida de las aguas del humedal. En la Figura 16 Se muestra una excavación a cielo abierto como se hará en nuestro diseño y en la
- Tabla 14 están los costó de realizar esta excavación. Este trabajo incluye Excavación de tierras en suelo de arcilla dura con grava compacta, con medios mecánicos, hasta alcanzar la cota de profundidad indicada en el proyecto, extracción de tierras fuera de la excavación, retirada de los materiales excavados y carga a camión.



**Figura 16: Excavación a cielo abierto con medio mecánicos.** [Fuente: CYPE ingeniero, 2018]

Tabla 14: Costo de excavación para 1 [m<sup>3</sup>] [Fuente: CYPE ingeniero, 2018]

Unidad	Descripción	Precio unitario CPL
m <sup>3</sup>	Retroexcavadora sobre neumáticos, de 85 kW, con martillo rompedor.	3.500,19
	Jornal construcción.	380,93
	Camión basculante de 12 t de carga, de 162 kW	432
	Total	3.881,12

- Pavimento del terreno: Este trabajo consiste en colocar cemento por todo alrededor del humedal, para que en abundantes lluvias no deteriore el terreno. En la Tabla 15 se resumen los costos por metro cuadrado.

Tabla 15: Costo de pavimentar por metros cuadrados

Unidad	Descripción	Precio unitario CPL
1 m <sup>2</sup>	Fibras de polipropileno, para prevenir fisuras por retracción en rádieles y pisos de hormigón	175,20
	Agua	14,88
	Árido grueso homogeneizado de tamaño máximo 12 [mm].	1,33
	Cemento gris en sacos	2.324,51
	Panel rígido de poliestireno expandido, mecanizado lateral recto, de 30 mm de espesor, resistencia térmica 0,8 m <sup>2</sup> K/W, conductividad	883,4
	Jornal construcción	688,67
	Jornal especializado de construcción.	770,29
	Ayudante construcción	140,80
	Total	5000

### Construcción baños y caseta de control

En esta etapa se cotizo distintas casas prefabricada que tengan espacio para comedores, baños, oficina de control y del guardia, es decir la construcción de la caseta para las necesidades básicas de cada trabajador que estará en la operación del humedal. Esta casa prefabricada tiene un área de 52 [m<sup>2</sup>] con un valor de \$1.650.000, en la Figura 17 se visualiza un plano de esta caseta.





Figura 18: Ejemplo de instalación de geomembrana

### **Instalación de la gravilla**

Para la compra, traslado e instalación se cotizo en una empresa de Áridos Valparaíso, la cual se comunicó por teléfono, solicitando una cotización de la cantidad y materiales requeridos mostrada en la Tabla 17.

Tabla 17: Cotización de la compra y traslado de la gravilla

<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unitario CPL</b>
<b>m<sup>3</sup></b>	Gravilla	1.300
	Camión de traslado	400
	Instalación de la gravilla	500
	Total	2.200

## **Instalación de tuberías y compuerta**

En esta etapa se comprará los materiales necesarios para los trabajos hidráulicos de la construcción del humedal y la cotización de la persona a contratar para realizar la instalación de cada uno de los materiales. En la Tabla 18 se encuentra el costo promedio de esta etapa.

Tabla 18: Cotización del costo de trabajo hidráulico

<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unitario CPL</b>
<b>1 unidad</b>	Tubería	1.200
	Compuerta	1.750.000
	Total	1.751.200

## **Sembrado**

Para esta etapa se cotizó por distintas páginas web los costos de la especie papiro enano. En la Tabla 19 se encuentra los costos de la especie utilizada por unida con su correspondiente plantación, este trabajo consiste que el jardinero trae todas las herramientas para realizar el trabajo de sembrado de cada una de las plantas necesarias para cubrir las dimensiones del humedal.

Tabla 19: Costo que llevaría el sembrado de las plantas acuáticas

<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unitario CPL</b>
<b>1 unidad</b>	Adquisición de planta	2.290
	Plantación	1.000
	Total	3.290

En la Tabla 20 se resumen los costos de cada recurso necesario para la construcción del humedal subsuperficial.

Tabla 20: Resumen de costo construcción del humedal de flujo subsuperficial para 3000[m<sup>2</sup>]

Etapa	Actividad	Unidad	Precio unitario	Cantidad	Valor total en (CPL)
Terreno	Compra de terreno	m <sup>2</sup>	-	3800	7.000.000
Preparación del terreno	Talado de árboles	Unidad	28.252,39	20	565.040
	Limpieza de terreno	m <sup>2</sup>	2.000	3800	7.600.000
	Cerco perimetral	m	1.900	246	467.400
Construcción del humedal	Construcción del humedal	m <sup>2</sup>	3.881,12	3000	11.643.360
	Pavimento del terreno	m <sup>2</sup>	5.000	800	4.000.000
Caseta de control	Construcción	m <sup>2</sup>	-	54	1.650.000
	Fosa séptica	L	-	2.500	305.990
	Tablero de control	Unidad	1	40.000	40.000
	Alumbrado	Unidad		300.000	300.000
Instalación de la geomembrana	Situar Geomembrana	m <sup>2</sup>	2.282	3.000	6.846.400
Instalación de la gravilla	Colocar la gravilla	m <sup>2</sup>	2.200	3000	6.600.000
Instalación de tuberías y compuerta	Instalar de tuberías	Unidad	1200	11	13.200
	Compuerta	Unidad	1.500.000	1	1.750.000
Sembrado	Adquisición de planta	Unidad	2290	250	572.500
	Plantación	Unidad	1000	220	220.00
Total=					\$49.574.498

### 6.4.2 Costo de Operación

Los costos de operación están asociados a la contratación del personal para operación debida del humedal, para ello se debe contratar una persona con el conocimiento necesario en la mantención del humedal, ya sea el control de la compuerta para regular el caudal de entrada y salida, según el caudal que tenga el estero “El Sauce”, una eventual fuga de agua, el monitoreo del cuidado de las plantas. Además de los dos guardias para cubrir los turnos de noches. Por último, se contratará un laboratorio para poder realizar el monitoreo de las aguas de la entrada y salida del humedal y verificar su porcentaje de remoción de los principales contaminantes presente en las aguas servida. Estos costos de operación al primer año se resumen en la Tabla 21 .

Las tuberías de PVC tienen una vida útil entre 15 a 100 años, según el material que son fabricados. En este diseño las tuberías están en forma subterránea por lo tanto no son afectados por la exposición a la radiación. En el peor de los casos si el proyecto tiene una vida útil de 20 años, habría que cambiar una vez la red de tuberías. Sin embargo, para tener un margen de seguridad, se considera un costo de mantención del 0,5% de la inversión inicial, durante el primer año de operación y posterior y un incremento del 2% respecto al año anterior (Ampuero, 2014).

Tabla 21: Costo de operación al primer año

<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio unitario [mes] CPL</b>	<b>Precio total [año] CPL</b>
<b>1 unidad</b>	Operador	600.000	14.000.000
	Guardia	310.000	7.440.00
	Analista de laboratorio	450.000	2.700.000
	Costo de mantenimiento del 0,5 % de la inversión inicial,	225.000	225.000
	<b>Total</b>		<b>22.065.000</b>

## **7. Discusión**

El humedal seleccionado, fue el subsuperficial, este se caracterizó por el tratamiento de aguas residuales con tratamiento primario (Delgadillo *et al.*, 2010), presentando las ventajas de ser una tecnología más económicas que otro sistema de tratamiento, una construcción sencilla que utiliza procesos naturales para la remoción de los componentes del agua, como es el caso de la vegetación que contribuye a la oxigenación del sustrato, con ello la eliminación de los nutrientes, esto se reduce principalmente por los mecanismos de nitrificación – desnitrificación y precipitación. (Remtavares, 2013).

En la literatura se considera que los humedales son muy eficientes para la remoción de materias orgánicas que no son fáciles de remover con otras tecnologías. Por lo que han sido utilizadas para disminuir la eutrofización de los cuerpos de aguas, ya que remueve gran porcentaje de nitrógeno y en menor cantidad de fósforo, pero los porcentajes de remoción varían entre 25 a 78 %, siendo una manera factible de poder tratar el problema de eutrofización en los cuerpos de aguas. (Malaver, 2013)

En este trabajo, de acuerdo con los parámetros de diseño, la concentración que se obtuvo a la salida del humedal fue de 0,3 [mg/L]. Este valor representa el 50% de la carga de entrada proveniente directamente del estero. Esta remoción se puede considerar adecuada, ya que el trabajo realizado por Pabello y Aburto (2014) realizaron un estudio de la implementación de un humedal subsuperficial para el tratamiento de las aguas eutróficas del lago Bosque de San Juan de Aragón, quien en su diseño mostró que se remueve un 50% con área del humedal subsuperficial de 2600 [m<sup>2</sup>]. Las variaciones de diseño en comparación al presente trabajo, se debe a las diferencias de las características propias del área de estudio como son las condiciones ambientales tal como temperatura ambiente, pH del cuerpo de agua, concentración del fosforo, entre otra. El proponer una mayor remoción implicaría que el área del humedal sea mayor, lo que afectaría su construcción tanto del punto de vista económico como técnico. Otra variable que fue fundamental es el caudal del estero, esto es clave ya que requiere un control de entrada

al humedal determinado con ello los porcentajes de remoción de cada componente a tratar. Se estima que durante la temporada de verano - otoño se esperaría una mayor concentración de fósforo en el estero "El Sauce", lo que estaría asociado a un menor caudal, debido a la disminución de precipitaciones y escorrentía superficial sin embargo esta variación será controlada a través de compuertas, que regulara el caudal de ingreso al humedal, según el caudal actual de estero trabajado, en este sentido el caudal de este trabajo es de 190 [m<sup>3</sup>/día] que es similar al propuesto por el manual de la EPA (1993). Por lo tanto, los parámetros de diseño son los adecuados y rectificadas con los parámetros de diseño de un humedal subsuperficial recomendada por el manual de Delgadillo, *et al* (2010), los cuales cada parámetro obtenido se encontraba dentro los intervalos propuesto por el manual nombrado anteriormente.

El tiempo de residencia hidráulica calculado fue de 15 días, el valor se debe a que con este tiempo se espera lograr la remoción del 30% de fósforo, esto significa en el punto de confluencia a la salida del humedal, con el eje principal del estero las concentraciones serían de 0,43 [mg/L], según Jing, *et al.*, (2014) el tiempo de retención (THR) es el principal factor del control operacional para mejorar la eficiencia de tratamiento de un humedal artificial y poder controlar la tasa de flujos y cargas de masa, por otro lado el tiempo obtenido es concordante con lo que señala Antón (2017), los tiempos típicos para compuestos nitrogenados y fosfato deben superar a 7 días, para así las plantas puedan realizar de manera eficiente la fitodepuración, por lo tanto se demuestra que el valor obtenido está dentro de los valores presentados en diferentes estudios.

Los recursos necesarios para la construcción del humedal diseñado son de fácil acceso, debido a que son materiales que se pueden obtener de forma inmediata. A pesar que la construcción de esta tecnología necesita un amplio terreno, se puede evidenciar que la ubicación seleccionada, es acorde al tamaño requerido tanto para el humedal, como la caseta y terreno necesario para su correcta operación, además cabe destacar que su ubicación se encuentra después de la estación con mayor concentración de fósforo determinada por Torre & Tobar (2014), por ende, reduce de manera más eficiente los niveles de eutrofización del estero "El Sauce". En cuanto a su construcción no necesita

de personal con mayor conocimiento, ya que es un diseño sencillo, según Espinoza (2017) dentro de los requerimientos mínimos señala: un arquitecto, dos jornales, maquinarias de excavación, y dos especialistas para el proceso de termofusión.

Los costos de inversión de este humedal artificial son alrededor de \$ 50.000.000 (cincuenta millones de pesos), para ser un sistema de tratamiento de agua residual para una población menor a tres mil personas, la inversión es baja comparada con otros sistemas de tratamientos, ya que construir una planta de tratamiento para una población mayor o igual a 2500 habitantes, según los proyectos subido al servicio de evaluación ambiental, tiene una inversión de \$160.000.000 (ciento sesenta millones de pesos) (BioFiltro,2016). Bragato (2008) señala que utilizar los humedales artificiales como filtros para la reducción de los contaminantes transportados por el agua, se considera una tecnología de bajo costo y una opción efectiva para la limpieza, mejorando la calidad de las aguas superficiales, de poblaciones pequeñas. A partir de los costos de construcción e inversión, lo más alto son los de construcción ya que este se focaliza en la construcción de la piscina del humedal, esto se explica a través del trabajo que involucra maquinaria, remoción de material, traslados de materiales hacia el humedal y fuera de este, ya que no es un lugar muy cercano, debido a que laguna verde se encuentra a 15 [km] de distancia de Valparaíso. En relación al menor costo será la siembra de la planta, ya que su adquisición e instalación es menor a \$1.000.000 (un millón de pesos). En general los costos van en relación con el tamaño del humedal ya que cada material necesitado debe cubrir todo el humedal.

## **8. Conclusión**

El humedal seleccionado correspondió al de tipo Subsuperficial Horizontal, caracterizado por que no emite olores y tiene una alta capacidad de remoción de nutrientes.

Los principales parámetros de diseño calculado correspondieron al caudal de entrada y salida del sistema de 109 [L/s], con un área superficial de 2798 [m<sup>2</sup>], una profundidad de 0,6 [m] y un tiempo de residencia de 15 [días]. Se estima que la implementación del humedal puede conllevar una remoción del fósforo del 33%, 91% de DBO y 67% nitrógeno, disminuyendo significativamente el proceso de eutrofización.

El humedal subsuperficial propuesto es factible técnica y económicamente en el estero el “El Sauce”, permitiendo una disminución significativa de la eutrofización y mantención de las funciones y servicios ecosistémicos.

Se diseñó una tecnología eficiente para el tratamiento de las aguas del estero “El Sauce”, dando una solución efectiva, económica y a corto plazo, que permitirá reducir los niveles de contaminación de la laguna, para uso recreacional por parte de la población.

## 9. Referencia bibliográfica

AesGener. 2005. Laguna Verde 70 años entregando energía. Pág. 1-25.

Ampuero Aguilar Humberto. 2014. Comparación técnica y económica de dos alternativas para el tratamiento de aguas residuales en piscicultura de recirculación. Universidad Austral. Pág. 70-90.

Antón Débora. 2016. diseño y puesta en funcionamiento de un humedal artificial a escala de laboratorio para el tratamiento de aguas contaminadas. Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente. Pág. 3-10.

Araya Gonzáles F. M. 2012. Alternativas de tratamientos de aguas servidas para núcleos humanos de baja densidad poblacional mediante sistemas híbridos de humedales artificiales. Universidad de Concepción. Pág. 10-25.

Arroyave María del Pilar. 2004. la lenteja de agua (*Lemna minor*): una planta acuática promisoría. revista EIA. Escuela de Ingeniería Antioqno.1. Pág. 33-38.

Bertrán C.-Fernández A.- Fernández E.-Hernández E.-Panza V.-Banús M. 2010. El agua un elixir de vida. "Elemental Watson" la revista N°1. Pág. 6-20.

Bragato Claudia, Brix Hans, Malagoli Mario. 2006. *Accumulation of nutrients and heavy metals in Phragmites australis (Cáv.) Trin. Ex Steudel and Bolboschoenus maritimus (L.) Palla in a constructed wetland of the Venice lagoon watershed. Environmental Pollution 144.* Pág. 967- 975.

Carrasquero Ferrer S. J.- Marquina Gálvez D.C.- Soto López J.G.- Rincón S.V.- Pire Sierra M.C.- Díaz Montiel A.R. 2015. Remoción de nutrientes en aguas residuales de un matadero de reses usando un reactor biológico secuencial. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 25 (2). Pág. 43 – 60.

Chávez Víctor. 2016. La crisis del estero "El Sauce". Diario Kaosenlared. Chile. Pág. 15-75.

CIH. 2011. Metodología para el diseño de humedales con flujo subsuperficial horizontal. Ingeniería Hidráulica y ambiental, VOL. XXXII, No. 1. Pág. 61-70

CYPE Ingenieros. 2018. Software para arquitectura, ingeniería y construcción para la generación de precios de la construcción. < <http://generadorprecios.cype.es/> >

De la cuadra. 2014. Preocupación por contaminación del Estero “El Sauce” en Laguna Verde. Carta al editor futuro renovable.

Delgadillo Oscar, Camacho Alan, Pérez Luis, Andrade Mauricio. 2010. Depuración de aguas residual por medio de humedales artificiales. Centro agua. Pág. 3- 19.

Derecho de aprovechamiento del agua (DDM). 2015. Los pilares de la Política Nacional para los Recursos Hídricos. Revista agua N°1. Pág. 20-25

Engonjor. 2013. Aguas Continentales. Gobierno de Canarias.

EPA.2000. United States Environmental Protección Agency. Costo de inversión de una celda del humedal.

Espinoza Pino Mauricio. 2017. Humedales artificiales en mercado de tratamiento de aguas residuales, análisis de una potencial transición hacia una economía con enfoque circular. universidad técnica Federico Santa María departamento de industrias. Pág. 61- 96.

Espósito M.E- Blanco MdelC. - Sequeira M.E.- Paoloni J.D.- Fernández S.N.- Amiotti N.M.- Díaz S.L. 2016. Contaminación natural (As, F) y eutrofización (N, P) en la cuenca del arroyo El Divisorio, Argentina. Revista internacional de botánica experimental. Pág. 51- 62.

Fonseca Castro Carlos. 2010. Diseño de Humedal Construido para el tratar los lixiviados del Proyecto de Relleno Sanitario de Pococí. Instituto tecnológico de costa rica escuela de ingeniería en construcción. Pág. 6-28

Frene Conget C.- Andrade Araneda P. 2014. Agua en Chile Diagnósticos territoriales y propuestas para enfrentar la crisis hídrica. América Ltda. Pág. 11-40.

FCH (fundación Chile), 2015. Humedal artificial: una innovadora solución para la sequía de la Quinta región. <[www.fch.cl/humedal-artificiao-una-innovadora-solucion-para-la-sequia-de-la-V-region](http://www.fch.cl/humedal-artificiao-una-innovadora-solucion-para-la-sequia-de-la-v-region)>.

Gallardo Carlos - Núñez Leonardo. 2012. Preocupación por contaminación del agua del estero “El Sauce” en Laguna Verde. Soy Chile.

Gorito A. M.- Ribeiro A. R - Almeida CMR - Silva Adri Un MT. 2017. *A review on the application of constructed wetlands for the removal of priority substances and contaminants of emerging concern listed in recently launched EU legislation*. Pág. 5-12.

Gualán Medina, Ramos Campoverde, Galo Enrique, Segundo Daniel. 2016. Evaluación del pasto alemán (*Echinochloa polystachya*) y lenteja de agua (*Lemna minor*) como especies fitorremediadoras para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Chicaña, provincia de Zamora Chinchipe.

Granados Gómez Mildred. 2018. Estudio de factibilidad de la implementación de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en ecosistema de alta montaña en toquilla. Universidad de Colombia. Pág. 24- 30

Heike Hoffmann - Platzner Christoph - Winker Martina - Von Muench Elisabeth. 2011. Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas. Agencia de Cooperación Internacional de Alemania y Programa de Saneamiento Sostenible ECOSAN. Pág. 8-23.

Henríquez Gárate Gabriel. 2007. Uso de la tierra y eutrofización en el humedal el Yali comuna de Santo Domingo. Boletín del Museo Nacional de Historia Natural. Pág. 11

Jing El Shunh- Lin Ying -Feng. 2004. Estacional efecto sobre la eliminación de nitrógeno amoniacal por humedales construidos para tratar el agua contaminada del río del sur de Taiwán. La contaminación del medio ambiente 127. Pág. 291-301.

Kieffer L.- de la Sierra P. M.- Devercelli M.- Luna J.- Claret M.- Leiz, E. 2015. Ensayos en laboratorio para el control de floraciones algales mediante ultrasonido. Ciencia. docencia tecnológica. Vol. 26 N°.50. Pág. 226.

Lara Borrero Jaime. 1999. Depuración de aguas residuales municipales con humedales Artificiales. Universidad Politécnica de Cataluña. Pág. 8 – 15.

Ledesma C.- Bonansea M.- Rodriguez C. M.- Sánchez Delgado A. R. 2013 Determinación de indicadores de eutrofización en el embalse Río Tercero,

Ley 1.222. 1981. Código de aguas; derecho de aprovechamiento de aguas. Legislación de Chile.

Liberona Flavia. 2015. Situación del agua en Chile Pág. 239- 257.

Luna Pabello V.- Aburto Castañeda S. 2014. Sistema de humedales artificiales para el control de la eutrofización del lago del Bosque de San Juan de Aragón. Revista especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 17. Pág. 32-55.

Malaver Moreno Andrés F. 2013. Evaluación de un Humedal artificial de flujo superficial empleando lenteja de agua (*Lemna minor*) para el tratamiento de aguas residuales generadas por la industria de curtiembres. Universidad Bogotá. Pág. 25-36.

Martelo Jorge - Lara Borrero Jaime A. 2012. Macrofitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. Ingeniería y ciencia Vol. 8 número 15. Pág. 221- 243.

Mendoza Ortega Angelo D. – Ramos Escorza Carolina G. 2012. Diseño y construcción a escala piloto de un humedal de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales porcícolas. Apaxtla de Castrejón, Guerrero. Universidad Autónoma de México. Pág. 2-25.

Ministerio de interior. 2014. Análisis de la situación hídrica en Chile, propuestas y políticas. Gobierno de Chile. 2 -17

Ministerio de justicia. 2018. Código del agua decreto con fuerza de ley 1122. Legislación Chilena. Pág. 1-79.

Ministerio de medio ambiente. 2005. Ficha técnica Laguna Verde. Registro Nacional de área protegida o prioritaria.

Ministerio de obras públicas. 2012. Estrategia nacional de Recursos Hídricos. Pág. 7-9.

Moreno Arbeláez D. P.- Ramírez Restrepo J. J. 2010. Variación temporal de la condición trófica del lago del parque norte, Medellín, Colombia. Pág. 79.

Organización de las naciones unidas (OCDE). 2016. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. Pág. 3, world Waters.

Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). 2016. Evaluación de desempeño ambiental en Chile. Naciones Unidas. Pág. 17-55

Orrego. 2002. El estado de las aguas terrestres en Chile: cursos y aguas subterráneas. pág. 18.

Ortiz Maximiliano. 2017. Vecinos de Laguna Verde acusan a Esval por contaminación de estero "El Sauce" en Valparaíso. Diario Biobío Chile

Parra Juan Carlos .2015. Académico innova con primer humedal artificial de sur de Chile para el tratamiento de aguas residuales. Universidad de Bio-bio. < <https://www.biobiochile.cl/noticias/2015/02/21/implementan-humedal-artificial-para-tratar-aguas-residuales-en-complejo-turistico-de-hualqui.shtml>>

Parra- Navarra. 2012. Humedales artificiales para la depuración de lixiviados de diferentes orígenes. Revista Aqualia.< <https://www.iagua.es/blogs/carolina-miguel/los-humedales-artificiales-componentes-y-tipos.>>

Parra Oscar. 1989. La eutroficación de la Laguna Grande de San Pedro, Concepción, Chile: un caso de estudio. Amb. y Des., Vol. V- N° 1. Pág. 117-136.

Pérez MA Elena. 2009. Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de Durango. Centro de investigación de materiales avanzados, S.C. Pág. 8-19.

Ramos M.- Muñoz Paredes J.- Saldarriaga Molina J. 2016. Efecto de la secuencia anaeróbica-óxica-anoxia (AOA) en la eliminación de materia orgánica, fósforo y nitrógeno en un SBR modificado a escala de laboratorio. Ingeniería

Remtavares. 2006. Reactores biológicos secuenciales (SBR): una tecnología versátil para el tratamiento de aguas residuales industriales. Madrid Blogs. Revista chilena de ingeniería, vol. 25 N.º 3. Pág. 477- 491.

Remtavares 2013. Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales. Conceptos e historia. El agua. <<http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>.>

Rodríguez De la torre A. 2017. Diseño de un humedal artificial para el municipio arcos de las salinas (Teruel). Universidad Politécnica de Valencia- España. Pág. 14-40.

Rodríguez Gonzales M.R.- Molina Burgos J.- Jácome Burgos A.- Suarez López J. 2017. Humedal de flujo vertical para tratamiento terciario del efluente fisicoquímico de una estación depuradora de aguas residuales domésticas. Ingeniería Investigación y Tecnología, volumen XIV (número 2). Pág. 223- 235.

Rodríguez Sánchez L. M.- Ramos Espinosa M. G.- Martínez Cruz P. 2007. Uso de macrofitas acuáticas en el tratamiento de aguas para el cultivo de maíz y sorgo. Hidrobiológica vol.17 supl.1 México. Pág. 7-15.

Romero Borja Mateu. 2015. Estudio y dimensionado experimental de humedales artificiales para la mejora de la calidad de aguas de cursos fluviales eutrofizados. universidad miguel Hernández de elche. Pág. 17-36.

Saldarriagada J. C - Hoyos D.A. - Correa M.A. 2011. Evaluación de procesos biológicos unitarios en la remoción simultánea de nutrientes para minimizar la eutrofización. Revista EIA, ISSN 1794-1237 Número 15. Pág.129-140

Sala Juan José. 2018. Introducción a los Humedales Artificiales como tratamiento de las aguas residuales. Iagua.

Teichert Sebastián - Carrasco Félix - Platzer Werner. 2017. Estudio de tecnologías de tratamiento de agua residual y concentración en la industria. Centro tecnológico para energía solar. Pág. 3 - 59.

Tobar Tamara - Torre Catalina. 2014. Evaluación de la calidad del agua del estero "El Sauce", laguna verde: impacto y consecuencia, seminario de titulación. Universidad de Playa Ancha. Cap. IV. Pág. 122-124.

Undurraga Vicuña A.- Estévez Valencia C.-. 2016. Chile País de contrastes.

Universidad de la Plata. 2012. Cátedra de Protección y Conservación de la Naturaleza: Eutrofización. Pág. 1.

World Rainforest Movement (WRM). 2012. Aguas Continentales. Pág 2.

Ye Jianfeng- Xu Zuxin - Chen Hao - Wang Liang - Benoit Gaboury. 2018. *Reduction of clog matter in constructed wetlands by metabolism of Eisenia foetida: Process and modeling*. Environmental Pollution Pág. 804.

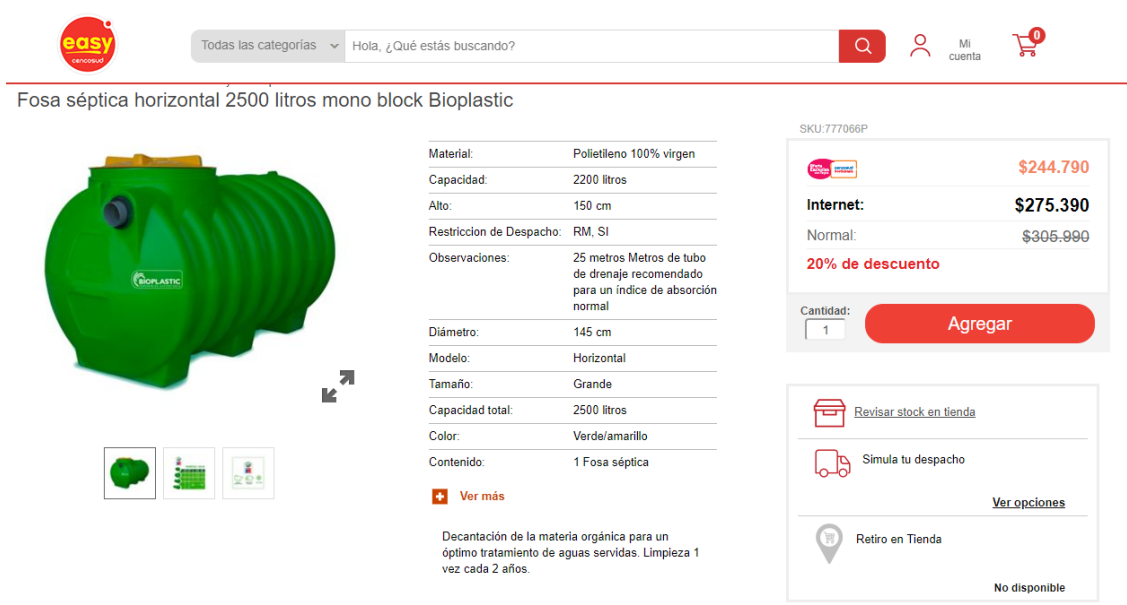
Zaror Claudio. Z. 2000. Introducción a la ingeniería ambiental para la industria de procesos. Universidad de Concepción. Pág. 135- 15

## 10. Anexos

### Anexos 10: Cotizaciones de los principales Materiales y equipos

#### Anexos 10.2: Cotización fosas sépticas

En las Figura 19 y Figura 20, se observan las distintas cotizaciones realizadas, para la compra de las fosas sépticas, donde de las dos mejores opciones elegida se escogió la opción 1



Fosa séptica horizontal 2500 litros mono block Bioplastic

SKU:777066P

Material:	Polietileno 100% virgen
Capacidad:	2200 litros
Alto:	150 cm
Restricción de Despacho:	RM, SI
Observaciones:	25 metros Metros de tubo de drenaje recomendado para un índice de absorción normal
Diámetro:	145 cm
Modelo:	Horizontal
Tamaño:	Grande
Capacidad total:	2500 litros
Color:	Verde/amarillo
Contenido:	1 Fosa séptica

**Internet: \$275.390**  
Normal: \$305.990  
**20% de descuento**

Cantidad:  **Agregar**

[Revisar stock en tienda](#)

[Simula tu despacho](#)

[Ver opciones](#)

[Retiro en Tienda](#)  
No disponible

**Ver más**

Decantación de la materia orgánica para un óptimo tratamiento de aguas servidas. Limpieza 1 vez cada 2 años.

Figura 19: cotizacion 1. Fosa septica en Easy

¿Qué estás buscando?

MODELO: FSH2500 | SKU: 1279289

Imagen

Precio corresponde a tienda: Sodimac Homecenter Cerrillos.  
El precio puede cambiar al modificar la ciudad de despacho o retiro.

**\$ 302.690** C/U  
Acumulas: 2.017 CMR Puntos

Cantidad: 1 [+](#) [-](#) [Agregar al carro](#) [Agregar a mi lista](#)

Calcula el valor de tu cuota CMR	N° de cuotas	Valor cuotas
Costo Total Crédito: \$302.690 CAE: 0.00%	1	\$ 302.690

**Disponibilidad y métodos de entrega**

- Disponible para despacho a domicilio [Simular costo de despacho](#)
- No disponible para retiro en tu tienda seleccionada [Ver tiendas disponibles](#)
- Stock disponible en tiendas [Ver stock](#)

Descripción del producto | Ficha técnica | Comentarios | Productos Complementarios | Productos recomendados

**Figura 20: Cotización 2, fosa séptica en Sodimac**

Anexos 10.3: Cotización de la Compuerta hidráulica

En la Figura 21 se encuentra la cotización de una compuerta hidráulica, con sus respectivas dimensiones, que será utilizada para regular el caudal de entrada del humedal.

Imagen

Nuevo

**Compuerta Para Control De Agua En Obras Hidraulicas**

**US 2500**

Pagá en 1 cuota  
VISA [Más información](#)

Entrega a acordar con el vendedor  
Caballito, Capital Federal  
[Ver costos de envío](#)

Único disponible!

[Comprar ahora](#)

[Compra Protegida](#), recibí el producto que esperabas o te devolvemos tu dinero.

Hola: necesito una compuerta para una toma de agua; las medidas del canal son 0,60 m (ancho) x 0,30 m (alto). Qué precio y plazo de entrega (aproximados) tienen? Gracias

Mira la compuerta que me indicas con volante sobre marco ronda los 2500 dolares. El tema está en que hay que revisar bien como hacer porque cuando son mas anchas que altas puede complicarse la apertura si no es pareja porque se inclina y se trava. 26/2/2018 12:52

**Figura 21: Cotización de la compuerta hidráulica**

#### Anexos10.4: Cotización de la gravilla

En la Figura 22, se encuentra la cotización realizada en la ferretería “PUNTOVIP” donde se encuentra el precio de la gravilla por metros cuadrados.



**Figura 22: Cotización de la gravilla**

#### Anexos 10.5: Cotización de la geomembrana


En la Figura 23 y Figura 24, se encuentra las cotizaciones de la instalación geomembrana, obtenida a través de correo electrónico, con las dimensiones correspondiente del diseño del humedal estudiado.

Cantidad		Unidad Medida	Detalle	VALOR \$	TOTAL NETO \$
3600	M2		SUMINISTRO DE LAMINA GEOMEMBRANA HDPE 1MM.	\$1.350	\$4.860.000
3600	M2		SUMINISTRO DE GEOTEXTIL NO TEJIDO 200GRS.	\$460	\$1.656.000
3600	M2		SERVICIO DE INSTALACION DE GEOEMBRANA Y GEOTEXTIL	\$880	\$3.168.000
1	UN		FLETE DE MATERIALES A OBRA EN VALPARAISO.	\$250.000	\$250.000
			MATERIALES CERTIFICADOS.		
			GARANTIA POR CONCEPTO DE INSTALACION 5 AÑOS.		
			VALIDEZ DE LA OFERTA 5 DIAS HABILES.		
			LOS METROS CUADRADOS INCLUYEN LOS ANCLAJES EN LOS BORDES DEL ACUMULADOR		
				<b>TOTAL NETO \$</b>	<b>\$9.934.000</b>
				<b>19 %IVA \$</b>	<b>\$1.887.460</b>
				<b>TOTAL PRESUPUESTO \$</b>	<b>\$11.821.460</b>

**CONDICIONES DE PAGO:** 60% ANTICIPO CONTRA FACTURA Y SALDO AL TERMINO DE LA INSTALACION

**INFORMACIÓN GENERAL**

Figura 23: Cotización de la geomembrana opción 1



**S & D GEOSOLUCIONES E INGENIERIA**  
.....de la mano con el medio ambiente

S & D Geosoluciones e Ingeniería, provee Geomembranas de polietileno, LDPE, HDPE y PVC Flexible, Geotextiles, para impermeabilizar infraestructuras hidráulicas, así como también contamos con tubos flex y corrugados HDPE, carpas y campamentos completos, vinilona flexible reforzado con poliéster de alta tenacidad, gaviones para muros de Contención y control de erosiones, geo carpetas, Confeción de paneles en Vinilona para decantadores de tratamiento de agua.


Entre nuestros productos tenemos:

- GEOMEMBRANAS HDPE de 0.50mm - 0.75mm - 1.00mm - 1.50mm - 2.00mm
- GEOMEMBRANAS PVC S.30mm - 0.75mm - 1.00mm - 1.50mm - 2.00mm
- GEOTEXTIL NO TEJIDO costuras s/n todas las gramajes 150gr, 200gr, 250gr, 300gr, 350gr, 400gr, 500gr
- GEOMALLAS
- VINILONAS

INSTALACIÓN DE GEOSINTÉTICOS en:

- \* LAGUNAS DE LIQUIDACIÓN
- \* PISCINAS PARA SOLUCIONES
- \* POZAS PARA RELAVES
- \* REVESTIMIENTO PARA ESTANQUES Y CANALES
- \* REVESTIMIENTO ANTIFÚNDICO
- \* ESTANQUES SECUNDARIOS
- \* RESERVORIOS DE AGUA
- \* PEGAMENTO TPE PARA GEOMEMBRANA DE PVC-

Contamos con un amplio stock del producto.  
Contactarnos: RFC: 959288421 - Email: 955323390



Nuevo

**Instalacion Y Venta De Geomembranas, Geomallas, Vinilonas**

S/ 6

12 cuotas de S/ 0<sup>50</sup>

VISA

Más información sobre Mercado Pago

Envío gratis a todo el país  
Lima

Cantidad: 1 unidad (95 disponibles)

**Comprar**

Figura 24: Cotización de la geomembrana opción 2

## Anexos 10. 6: Cotización de la especie "Papiro Enano"

En la Figura 25 y Figura 26, se encuentra las cotizaciones de la compra de la especie a utilizar con disponibilidad en Chile.

¿Qué estás buscando?

**Cyperus spp 0,3 m exterior Las Bandurrias**

SKU: 48800-3 | ★★★★★ | Compartir

● Precio corresponde a tienda: **Sodimac Homecenter Cerrillos**.  
El precio puede cambiar al modificar la ciudad de despacho o retiro.

**\$ 2.290** C/U  
Acumulas: 15 CMR Puntos

Cantidad: 250 + -  
**Agregar al carro** | [Agregar a mi lista](#)

Calcula el valor de tu cuota CMR  
Costo Total Crédito: \$572.500  
CAE: 0.00%

N° de cuotas	Valor cuotas
1 + -	\$ 572.500

**Disponibilidad y métodos de entrega**

- 🚚 Disponible para despacho a domicilio [Simular costo de despacho](#)
- 🏠 No disponible para retiro en tu tienda seleccionada [Ver tiendas disponibles](#)
- 📦 Stock disponible en tiendas [Ver stock](#)

Figura 25: Cotización de la especie "Papiro Enano" Opción 1

Nuevo - 1 vendido

**Papiro Enano**

**\$ 3.000**

🚫 Publicación pausada

**Información sobre el vendedor**

📍 Ubicación  
Santiago, RM (Metropolitana)

127 ventas en los últimos 4 años.

🗨️ Brinda buena atención

🕒 Entrega sus productos a tiempo.

[Ver más datos de este vendedor](#)

Figura 26: Cotización de la especie "Papiro Enano" Opción 2

## Anexos 10.7 : Cotización del trabajo de laboratorio Ambientales

En la

Figura 27, se muestra el precio mensual promedio de los laboristas en Chile, por realizar el monitoreo mensual, de las aguas a tratar del estero “El Sauce”.



**Figura 27: Cotización de los trabajos de laboratorio**