

UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

Profesor Patrocinante: Dr. Pedro Cisterna Osorio

PROPUESTA DE UN SISTEMA DE DEPURACIÓN NATURAL PARA TRATAR LAS AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNA DE CURARREHUE

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

JAIME MARCELO CAREAU CARIMÁN

Concepción, Marzo 2016

Índice General

Índice de Figuras	3
Índice de Tablas	3
Resumen	4
Abstract	5
1. Introducción	6
1.1 Justificación del problema	7
1.2 Objetivos	8
1.2.1 Objetivo General.....	8
1.2.2 Objetivos Específicos.....	8
2. Marco Teórico	9
2.1 Aguas Residuales	9
2.2 Caracterización de las aguas residuales	10
2.2.1 Parámetros Físicos.....	10
2.2.2 Parámetros Químicos.....	11
2.2.3 Parámetros Bacteriológicos.....	12
2.3 Composición típica del agua residual	12
2.3.1 Caudal y estacionalidad.....	12
2.4 Tratamientos de aguas residuales	13
2.4.1 Lodos Activos.....	13
2.4.2 Lagunaje.....	13
2.4.3 Lombrifiltro.....	14
2.4.4 Lechos de Turba.....	14
2.4.5 Humedal Artificial.....	14
2.5 Humedales Artificiales	14
2.5.1 Tipos de Humedales.....	15
2.5.2 Componentes del Humedal Artificial.....	16
2.5.3 Modelo de Remoción de DBO.....	17
2.5.4 Aspectos Hidráulico.....	18
2.5.5 Aspectos Térmicos.....	19
2.6 Pretratamiento	19
2.7 Tratamiento Primario	21
2.8 Operación y Mantenimiento	22
3. Metodología	23

4. Análisis y Discusión de Resultados	24
4.1 Descripción General Zona de Estudio	24
4.1.1 Ubicación Geográfica.....	24
4.1.2 Población.....	25
4.1.3 Consumo Agua Potable.....	25
4.1.4 Descargas de Agua Residual.....	26
4.1.5 Cuerpo Receptor.....	32
4.2 Criterios Para Selección de Alternativa	34
4.2.1 Aspectos Culturales y Sociales.....	34
4.2.2 Aspectos Económicos.....	34
4.2.3 Aspectos Climáticos.....	35
4.2.4 Aspectos Ambientales y Paisajísticos.....	35
4.2.5 Aspectos de Superficie.....	36
4.3 Selección de Alternativa	37
4.3.1 Cuadro Comparativo.....	37
4.4 Propuestas de Diseño Para la Planta Depuradora	40
4.4.1 Propuesta de diseño 1.....	41
4.4.2 Propuesta de diseño 2.....	42
4.5 Diseño Sistemas de Tratamiento: 4 Humedales Artificiales	44
4.5.1 Información preliminar.....	44
4.5.2 Tratamiento Primario.....	45
4.5.3 Humedal de Flujo Subsuperficial Horizontal.....	45
4.5.4 Ubicación de los Sistemas de Tratamiento.....	48
4.6 Actividades y Presupuesto General	53
5. Conclusiones y Recomendaciones	55
6. Bibliografía	56

Índice de Figuras

Figura N°1, Vista de planta canal de desbaste con reja de finos y rejas de gruesos.....	21
Figura N°2, Esquema longitudinal de fosa séptica para retención de lodos y grasas.....	23
Figura N°3, Ubicación Geográfica de la comuna de Curarrehue.....	25
Figura N°4, Ubicación y distancia de las descargas de alcantarillado.....	28
Figura N°5, Zona urbana y alrededores.....	37
Figura N°6, Propuesta de diseño 1: 1 Humedal Artificial.....	42
Figura N°7, Propuesta de Diseño 2: 4 Humedales Artificiales.....	44
Figura N°8, Vista Longitudinal Humedal Artificial.....	47
Figura N°9, Esquema de colocación de elementos del humedal artificial.....	48
Figura N°10, Ubicación sistema de tratamiento para descarga 1.....	49
Figura N°11, Ubicación Sistema de Tratamiento para descargas 2 y 3.....	50
Figura N°12, Ubicación Sistema de Tratamiento descargas 4 y 5.....	51
Figura N°13, Ubicación Sistema de Tratamiento descargas 6 y 7.....	52
Figura N°14, Presupuesto General Planta de Tratamiento Descentralizada.....	54

Índice de Tablas

Tabla N°1, Parámetros que caracterizan la calidad del agua.....	9
Tabla N°2, Composición típica de los principales parámetros de caracterización de un A.R.....	12
Tabla N°3, Cuadro comparativo entre humedales de flujo subsuperficial y flujo libre.....	16
Tabla N°4, Valores recomendados para el diseño de un canal de desbaste.....	21
Tabla N°5: Valores recomendados para la construcción de fosas sépticas.....	22
Tabla N°6, Población Comuna de Curarrehue.....	26
Tabla N°7, Población según etnia declarada CASEN 2003-2006-2009.....	35
Tabla N°8, Datos de partida para el diseño del tratamiento.....	45
Tabla N°9, Resumen dimensionamiento de fosas sépticas.....	46
Tabla N°10, Resumen de cálculo de dimensiones de los 4 humedales artificiales.....	46
Tabla N°11, Resumen de cálculo de diseño hidráulico.....	47
Tabla N°12, Resumen Presupuesto Total Sistema de Tratamiento Diseñado.....	53

“PROPUESTA DE UN SISTEMA DE DEPURACIÓN NATURAL PARA TRATAR LAS AGUAS RESIDUALES DE LA COMUNA DE CURARREHUE”

Autor: Jaime Marcelo Careau Carimán

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

Correo Electrónico: jcareau@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Dr. Pedro Cisterna Osorio

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

Correo Electrónico: pcisterna@ubiobio.cl

Resumen

Este proyecto estudia las opciones de depuración de aguas residuales existentes para así poder resolver la necesidad de un sistema de tratamiento adecuado para la comuna de Curarrehue, ubicada en la zona cordillerana de la Región de la Araucanía. Aquí existe una problemática ambiental que ha ido aumentando con el paso del tiempo, producto del desarrollo y crecimiento poblacional, los habitantes cada día generan más cantidad de aguas residuales provenientes del uso doméstico de las viviendas, las cuales no pueden ser tratadas y son recolectadas por un sistema de alcantarillado y descargadas en siete zonas del río Trancura, el cual bordea la zona más poblada del pueblo. Esto, además de dañar el medio ambiente, genera una gran amenaza a la población que tiene el riesgo de contraer enfermedades si utilizaran esta agua para fines agropecuarios o turísticos.

La metodología utilizada comienza con un estudio detallado de la bibliografía especializada en el tema, para luego realizar una descripción y recopilación de información sobre la población y características específicas que existen en la comuna, como su clima, cultura y paisajes de la zona. Con esto se establecen ciertos criterios para poder elegir la alternativa de tratamiento más adecuada. Analizados estos criterios se pudo determinar que el sistema que mejor se adecuaba a las características de la zona es el humedal artificial, al ser un sistema de tratamiento natural, flexible, tiene un impacto paisajístico positivo y se integra de mejor forma a estas características particulares de la pequeña población y a sus condiciones climáticas y orográficas que posee.

Definido el sistema para depurar las aguas residuales, se procede a realizar la ingeniería básica del proyecto en base a la información analizada y se proponen dos diseños para el tratamiento del agua residual, eligiendo la propuesta que consiste en cuatro humedales artificiales, se calcula para cada uno de ellos; las dimensiones, cantidad de materiales necesarios para la construcción del humedal de flujo subsuperficial, y la ubicación geográfica de la planta de tratamiento en donde deberá llegar el sistema colectivo de las aguas residuales provenientes de los alcantarillados del pueblo.

Palabras Claves: Aguas residuales, humedal artificial, impacto ambiental

Número de palabras: 11.207 palabras texto + 26 figuras/tablas*250= 18.707

“PROPOSAL FOR NATURAL TREATMENT SYSTEM FOR TREATING WASTEWATER OF THE BOROUGH OF CURARREHUE”

Author: Jaime Marcelo Careau Carimán

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

Email: jcareau@alumnos.ubiobio.cl

Teacher Guide: Pedro Cisterna Osorio

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

Email: pcisterna@ubiobio.cl

Abstract

This project studies debugging options existing wastewater in order to meet the need for a system of appropriate treatment for the commune of Curarrehue, located in the mountainous area of the region of Araucania. Here there is an environmental problem that has been increasing over time, product development and population growth, people every day generate more amount of wastewater from the household of housing, which cannot be treated and are collected by a sewage system and discharged into seven areas of the Trancura river, which borders the town's most populous area. This, in addition to damaging the environment, generates a great threat to the population with the risk of disease if they use this water for agricultural or tourism purposes.

The methodology begins with a detailed study of the specialist in the subject, and then makes a description and gathering information on the population and specific characteristics that exist in the commune, as its climate, culture and scenery of the area bibliography. With this certain criteria in order to choose the most appropriate treatment alternative sets. Analyzed these criteria it was determined that the system best suited to the characteristics of the area is the artificial wetland, as a system of natural, flexible treatment, has a positive impact on landscape and integrates best way to these particular characteristics the small population and its climatic and orographic conditions it has.

It defined the system for treating waste water, proceed to carry out the basic engineering of the project based on the information analyzed and two designs for wastewater treatment are proposed, choosing the proposal consisting of four artificial wetlands, it is calculated for each one of them; size, amount needed for construction of subsurface flow wetland materials, and the geographical location of the treatment plant where should reach the collective system of wastewater from the sewage system in the village.

Keywords: Wastewater, Wetlands, environmental impact

1. Introducción

Es primordial que el agua se conserve en buen estado, ya que es un recurso vital para la biodiversidad de especies, ecosistemas e imprescindible para los seres humanos. Esta conservación de los recursos naturales y seres vivos que existen en nuestro planeta ha ido adquiriendo gran importancia en los últimos años, lo que ha llevado a crear nuevas soluciones para protegerlos y conservarlos. Uno de los recursos que más valor ha adquirido últimamente son las fuentes de agua natural que existen, que tienen como principal problema la contaminación antrópica causada por los habitantes que producto del crecimiento poblacional han ido alterando la calidad de las aguas, lo que causa daños para la biodiversidad de especies del ambiente acuático, y amenazas para la salud de los seres humanos.

El vertimiento de aguas residuales domésticas sin tratar a un cuerpo de agua receptor, como resultado de un proceso, actividad o servicio de una fuente emisora, provoca la contaminación de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas, lo que genera múltiples efectos negativos. El impacto primario es el deterioro de la calidad del agua debido al aporte de materia orgánica, nutrientes (fósforo, nitrógeno), demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), sólidos y bacterias coliformes, lo que puede conducir a la eutrofización del sistema acuático y la inutilidad de los cursos de agua para fines agropecuarios o turísticos. A su vez los cambios en el hábitat acuático por incremento de la turbiedad, tasas de sedimentación y biomasa algal provocan alteraciones en las cadenas tróficas del sistema receptor.

Últimamente, se ha ido tomando conciencia de los daños que como seres humanos hemos ido causando a nuestro entorno y del deterioro ambiental que se ha provocado a nuestro propio hábitat. Por lo que se han desarrollado y adoptado nuevas formas de evolución humana como es el desarrollo sustentable y sostenible en el tiempo, para así poder conservar nuestros recursos naturales para las futuras generaciones. Ejemplo de esto son los tratamientos de aguas residuales y en particular los tratamientos “naturales” que han ido tomando valor en los últimos años, a causa de ser menos costosos y sofisticados en cuanto a operación y mantenimiento que los tratamientos convencionales, y del mínimo consumo de energía que necesitan para funcionar, además de la gran capacidad para depurar las aguas de forma natural ayudan a la conservación del medio ambiente de una forma no invasiva y dándole un mayor valor a la zona.

Este proyecto de título consiste en la propuesta de un sistema natural para abordar el problema de descarga de aguas residuales a través de una tecnología “blanda”, de fácil diseño y de una simplicidad de implementación que lo hacen muy factible, para así enfrentar el problema de disposición de aguas residuales que aumenta día a día en la comuna de Curarrehue en donde se descargan directamente las aguas contaminadas al río Trancura, sin ningún tratamiento previo que disminuya la carga orgánica que estas aguas poseen.

1.1 Justificación del Problema

Curarrehue es una comuna que tiene características específicas y locales, como son sus numerosos recursos naturales y culturales. Su comunidad es principalmente de origen mapuche y las principales actividades económicas son la ganadería, la industria maderera, el turismo y la agricultura en menor escala. Estos aspectos sociales, ecológicos y económicos, así como sus temperaturas extremas en invierno y verano son criterios fundamentales para saber cuál es el tipo de tratamiento más indicado para tratar las aguas residuales que se generan a diario debido a las diferentes actividades antrópicas de los habitantes.

Actualmente en la zona más poblada de la comuna las aguas que son utilizadas para uso doméstico son recolectadas por un sistema de alcantarillado y descargadas directamente al río Trancura, el cual bordea gran parte de las viviendas que conforman el pueblo. Estas descargas sin ningún tipo de tratamiento previo conllevan a la emanación de malos olores, atracción de vectores y la contaminación del entorno natural, impulsando un deterioro ambiental que afecta a toda la biodiversidad de especies que habitan en la zona y a los propios habitantes que tienen la amenaza de contraer enfermedades infectocontagiosas que puede producir las aguas servidas que contienen una gran cantidad de microorganismos patógenos, virus y bacterias perjudiciales para la salud y que afectan la calidad de vida de las personas. Además la contaminación provoca la inutilidad del río, el cual podría ser aprovechado por los pobladores para diversas actividades agrícolas, ganaderas y turísticas.

En la agricultura y ganadería, la sequía en meses de verano es un tema crítico para la comuna, en esta temporada las napas y escorrentías de agua se ven disminuidas por la escasez de lluvias y altas temperaturas, lo que ocasiona la muerte de cultivos, siembras y animales que no tienen agua suficiente para satisfacer sus necesidades. El agua del río podría ser el gran recurso hídrico para poder suplir todas estas carencias de agua, sin embargo al estar contaminada presenta una gran amenaza al utilizarla como agua de riego en cultivos, ya que la presencia de coliformes y organismos patógenos puede infectar los productos que son para el consumo humano. Otro ejemplo son las actividades turísticas y recreativas que podrían aprovecharse en la comuna, específicamente en el río Trancura y alrededores de este, si estuviera libre de las descargas directas de aguas residuales.

Por los aspectos mencionados se crea la necesidad de contar con un sistema de tratamiento que se integre de la mejor forma a las características locales que tiene la comuna, que sea de bajo impacto ambiental, social y económicamente viable, para solucionar el problema presentado y transformar las características iniciales del agua residual a niveles aceptables para cumplir con las normas de vertimiento y de reutilización del agua residual.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General:

- Diseñar un sistema de tratamiento adecuado para resolver el problema de descarga aguas residuales que existe en la comuna de Curarrehue.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- Realizar un diagnóstico comunal para obtener información necesaria para los parámetros de diseño.
- Reunir antecedentes de los sistemas actuales de recolección y disposición de aguas residuales.
- Establecer criterios para la elección de un sistema de tratamiento.
- Comparación entre las posibles alternativas de tratamiento y elegir la solución más adecuada para la zona.
- Realizar ingeniería básica del sistema de tratamiento seleccionado.
- Calcular inversión y costos operativos necesarios para implementar el sistema de tratamiento

2. Marco Teórico

Se realizó una investigación bibliográfica con literatura disponible en bibliotecas universitarias y con documentos digitales obtenidos de la web, para analizar los sistemas de tratamiento factibles de implementar en pequeñas comunidades y las características de los contaminantes más relevantes del agua residual para el diseño del sistema de depuración que sea elegido.

2.1 Aguas Residuales

Las aguas residuales son una mezcla compleja que contiene agua, mezcla de contaminantes orgánicos e inorgánicos tanto en suspensión como disueltos que implican una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica. (Hernández, 1995)

Se centrará el análisis en las aguas de uso doméstico que corresponde a la fracción más importante de las aguas residuales urbanas, estas por definición corresponden a las aguas utilizadas para la eliminación de excrementos y las que proceden del uso doméstico tales como lavado de ropa, limpieza de la casa, baño etc. En la tabla N° 1 se muestran los parámetros que caracterizan las aguas residuales y se detallarán algunos que son más importantes para el diseño.

Tabla N° 1, Parámetros que caracterizan la calidad del agua

Parámetros Físicos	Parámetros Químicos	Parámetros Bacteriológicos
Temperatura Olor Sabor Color Turbidez Materia en Suspensión Materia Disuelta Total Conductividad Eléctrica Radioactividad	pH Potencial de Oxidación Reducción Alcalinidad Acidez Dureza Cloruros Amoníaco Nitratos Nitritos Oxígeno Disuelto Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) Demanda Química de Oxígeno (DQO) Nitrógeno Kjeldahl	Bacterias Virus Hongos Microalgas Plantas Animales

(Guía ambiental de la UPC, Barcelona 1998)

2.2 Caracterización de las aguas residuales

2.2.1 Parámetros Físicos

- **Color:** El principal efecto derivado de las alteraciones intensas del color de las aguas lo constituye la contaminación estética, aunque puede llegar a afectar también a su potabilidad y a la presencia de muchos seres vivos. Puesto que el color de un agua se deriva de la presencia de determinadas sustancias en ella, si se quiere corregir un problema de este tipo se deben retirar esas sustancias por el sistema de separación que resulte más adecuado. (Seoáñez. 1999)
- **Olor:** La aparición de olores en un agua puede ser debida básicamente a dos factores. En primer lugar puede ser motivo de la presencia de determinadas sustancias y compuestos químicos que tienen olores característicos. En segundo lugar, otra fuente importante de olores en las aguas es la presencia de materia orgánica en proceso de descomposición. (Seoáñez. 1999)
- **Temperatura:** La temperatura a la que se encuentre un agua es un parámetro importante a tener en cuenta, ya que de ella dependen los valores de otros muchos parámetros, como la conductividad eléctrica, el pH, la densidad del agua y el rendimiento de casi todas las reacciones biológicas que se llevan a cabo en el medio acuoso. (Seoáñez. 1999)
- **Sólidos Totales:** Es el contenido total de materia sólida en el agua, comprendiendo tanto materia orgánica como inorgánica, estos sólidos pueden encontrarse como: Sólidos Disueltos, Sólidos en Suspensión, Sólidos Sedimentables y Sólidos no Sedimentables.
 - Sólidos orgánicos: Los componentes orgánicos van a ser oxidados mediante procedimientos biológicos en el seno del agua, requiriendo para ello grandes cantidades de oxígeno. Si no existe ninguna fuente de oxígeno, el proceso recurrirá al elemento que se encuentre libre en el agua, de manera que si ésta no puede suplir este consumo mediante aporte externos, el nivel de oxígeno disuelto descenderá y dará lugar a consecuencias muy negativas. (Seoáñez. 1999)
 - Sólidos inorgánicos: Existen elementos, considerados como nutrientes, como el nitrógeno, el fósforo o el azufre, que están presentes en las aguas residuales urbanas en forma orgánica o inorgánica, como amoníaco, nitritos, nitratos, fosfatos, sulfitos, sulfuros, como sulfatos y también como elementos solubles directamente.

2.2.2 Parámetros Químicos

- **Oxígeno Disuelto (OD):** es un gas que va siendo consumido por la actividad química y biológica. El oxígeno disuelto depende de muchos factores como la temperatura, altitud, movimientos del curso receptor, actividad biológica, actividad química, etc. El control del oxígeno disuelto a lo largo del tiempo, nos suministra una serie de datos fundamentales para el conocimiento del estado de un agua residual. (Seoáñez. 1999)
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Ciertas sustancias presentes en las aguas residuales, al verterse en un curso de agua, captan parte del oxígeno existente debido a la presencia de sustancias químicas reductoras. Estas necesidades de oxígeno al margen de todo proceso biológico, se denomina DQO. (Seoáñez. 1999)
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por el agua residual durante la oxidación (vía biológica) de la materia orgánica biodegradable presente en el agua residual. (Baca, 2012)
La oxidación de las materias orgánicas no es el único fenómeno que tiene lugar en la biodegradación; a ésta se deben añadir la oxidación de los nitritos y la de las sales amoniacales, así como el consumo de oxígeno por los procesos de asimilación y de formación de nuevas células.
- **Nitrógeno:** El nitrógeno puede estar presente en una variedad de formas y requiere una serie de condiciones químicas y ambientales para su remoción. El nitrógeno amoniacal es la forma de nitrógeno más frecuente regulada en el efluente, ya que el amoniaco no ionizado puede ser tóxico para los peces en pequeñas concentraciones y la oxidación del amoniaco en el cauce receptor puede reducir el nivel de oxígeno disuelto. (J. Lara, 1999)
La combinación del nitrógeno orgánico y amoniacal se representa como Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK).
- **Fósforo Total:** Elemento imprescindible para el desarrollo de los microorganismos en las aguas y para el proceso de la depuración biológica. (Baca, 2012)
- **pH:** El control del pH de un agua es muy importante, especialmente en procesos que incluyen un tratamiento biológico. Esto se debe a que los microorganismos que intervienen en estos procesos solo se pueden desarrollar en un medio cuyo pH está comprendido en un intervalo determinado, y por lo tanto si se sale de éste mueren y se interrumpe el tratamiento. (Seoáñez. 1999)
Es necesario controlar el pH para garantizar los procesos biológicos, debiendo encontrarse entre valores de 6,2 y 8,3 para que no se generen problemas de inhibición. (Baca, 2012)

2.2.3 Parámetros Bacteriológicos

Las aguas residuales urbanas contienen gran número de organismos vivos que son los que mantienen la actividad biológica, produciendo fermentaciones, descomposición y degradación de la materia orgánica e inorgánica. El componente biológico es básico en las aguas residuales, habida cuenta de su capacidad metabólica, y, en consecuencia, de su potencialidad de transformación de los restos químicos, orgánicos y físicos. Otro aspecto del componente biológico de las aguas residuales, es la presencia de determinados virus, quienes, aún en muy baja proporción respecto a las bacterias y microorganismos en general, manifiestan enorme peligrosidad desde el punto de vista sanitario. (Seoáñez. 1999)

2.3 Composición típica del agua residual

2.3.1 Caudal y estacionalidad: El conocimiento del volumen de afluente por unidad de tiempo a un sistema de tratamiento de aguas residuales, es un dato fundamental para diseñar y proyectar ese sistema. Por lo que se refiere a las aguas residuales urbanas, existen varios factores orientativos y condicionantes del caudal, como son los siguientes: nivel de vida de la población, hábitos de uso del agua, caudal de agua potable que recibe la población, existencia de algún sistema de control individual, pérdidas de la red de agua potable, pérdidas de la red de colectores de aguas residuales, existencia de redes diferentes o únicas para pluviales y para aguas residuales, estacionalidad, variaciones del caudal a lo largo del día, variaciones del caudal a lo largo de la noche. (Seoáñez. 1999)

Tabla N° 2, Composición típica de los principales parámetros de caracterización de un agua residual.

Componentes	Intervalo de Concentraciones			Unidades
	Fuerte	Media	Débil	
DBO a 20°C	400	220	110	mg/l
DQO	1000	500	250	mg/l
Sólidos Totales	1200	720	350	mg/l
Sólidos Suspendidos	350	220	100	mg/l
Sólidos Disueltos	850	500	250	mg/l
Nitrógeno Total (NKT)	85	40	20	mg/l
Nitrógeno Orgánico	35	15	8	mg/l
Amoniaco	50	25	12	mg/l
Fósforo	15	8	4	mg/l
COT	290	160	80	mg/l

(Fuente: Metcalf and Eddy, Wastewater Engineering, Treatment and Reuse 2003).

2.4 Tecnologías de Tratamiento de Aguas Residuales

Se debe analizar algunas técnicas existentes para depurar las aguas residuales y aplicar los criterios descritos más adelante para escoger la solución más apropiada para la comuna.

2.4.1 Lodos Activos:

Este proceso consiste en generar condiciones favorables para el cultivo y desarrollo de una colonia bacteriana disperso en forma de flóculos denominados fangos activos en un estanque agitado y aireado, que será alimentado en forma continua o discontinua por aguas residuales que en la mayor parte de los casos tienen un alto contenido de materia orgánica.

La agitación del tanque tiene por objeto homogeneizar la mezcla constituida por la colonia bacteriana y el agua residual, evitando sedimentos y zonas de cortocircuito. La aireación, se lleva a cabo para abastecer de oxígeno a las bacterias depuradoras, ya que su metabolismo requiere de éste para llevar a cabo la degradación biológica de la materia orgánica. Es necesario un tiempo mínimo de permanencia del agua residual en este estanque, para que se lleve a cabo el proceso bioquímico donde participan microorganismos, materia orgánica y oxígeno. (W.E.F., 1992)

Una vez finalizado lo anterior el líquido residual que contiene además una parte importante de bacterias es enviado al tanque de decantación secundaria, que tiene por objeto separar el agua depurada de los fangos. Estos últimos se recirculan al reactor biológico, para mantener una concentración suficiente de bacterias depuradoras. El excedente de fangos depositados en el fondo del decantador secundario es evacuado de éste y enviado a un tratamiento de fango.

2.4.2 Lagunaje

El tratamiento por lagunaje de aguas residuales consiste en el almacenamiento de estas durante un tiempo, el que va a depender de la carga aplicada y las condiciones climáticas, de forma que la materia orgánica resulte degradada mediante la actividad de bacterias heterótrofas, presentes en el medio. Puesto que en la depuración por lagunaje no interviene la acción del hombre, el lagunaje es un método biológico natural de tratamiento, basado en los mismos mecanismos por los que tiene lugar la autodepuración de los ríos. Es un tratamiento básicamente aplicado a las aguas residuales urbanas, dado que en este tipo de instalación se lleva a cabo un abatimiento fundamentalmente biológico, lo que se expresa en una reducción considerable de la concentración de coliformes, el lagunaje por ser un método biológico es particularmente sensible a la presencia de tóxicos originados en algunas actividades industriales. Dado que la presencia o ausencia de oxígeno disuelto en las lagunas de estabilización determina qué tipo de mecanismos van a ser responsable de la depuración, los estanques de estabilización suelen clasificarse en aeróbicos, anaerobios y facultativos.

2.4.3 Lombrifiltro

El Lombrifiltro o Sistema Tohá funciona como una caja que contiene una capa de viruta apoyada en un lecho de piedras y un sistema de recolección del agua tratada. La capa de viruta es el sustrato donde se aloja una gran cantidad de lombrices que constituyen la parte fundamental del tratamiento. Por una parte el agua servida es regada por aspersores, mediante un sistema de regadío que atraviesa el lecho filtrante, quedando retenida en él la materia orgánica. Por otra parte los microorganismos presentes en el agua servida son reducidos en su mayoría debido a la acción de sustancias que son generadas por las lombrices y los demás microorganismos consumidores de materia orgánica que viven junto con las lombrices.

Entre las ventajas del sistema destacan la no generación de lodos; producto de la acción permanente de las lombrices el lecho filtrante no se impermeabiliza; posee bajos costos operacionales; produce un subproducto que puede ser utilizado como abono natural (humus de lombriz) y presenta una alta remoción de agentes contaminantes.

2.4.4 Humedal Artificial

La tecnología de humedales artificiales aprovecha la capacidad de depuración de los denominados sistemas de Humedales Naturales y de los sistemas microbiológicos de tratamiento. Utiliza especies vegetales y microorganismos para su funcionamiento y no requiere de la adición de reactivos. Su eficiencia y calidad es exponencial en el tiempo, esto significa que una vez establecidos los microorganismos y las especies vegetales en terreno y adaptados al medio, serán capaces de crecer y desarrollarse por sí solas para degradar los componentes orgánicos presentes de manera eficiente. Este tipo de sistema de tratamiento permite generar aguas tratadas que cumplan con la normativa nacional para descarga. (CONAMA)

De acuerdo al análisis comparativo realizado en el capítulo 3, se opta por los humedales artificiales como la solución de tratamiento a utilizar, por lo que se procede a realizar un estudio más detallado de los componentes y parámetros que involucra este sistema depurador.

2.5 Humedales Artificiales

En los humedales crecen plantas acuáticas emergentes entre las que se encuentran: juncos, eneas, espadañas, entre otras, dichas plantas proporcionan superficie para el crecimiento de los microorganismos y permiten la filtración y adsorción de los contaminantes presentes en el agua residual, además de inhibir el crecimiento de las algas y favorecer la formación de zonas aerobias alrededor de las raíces debido a las características de estas plantas de trastocar el oxígeno desde las hojas hasta las raíces. El sistema de tratamiento a través de humedales artificiales con vegetación proporciona un microentorno ideal para la sedimentación, filtración, adsorción y descomposición bacteriana de los componentes de aguas residuales. (Hernández, 1995)

2.5.1 Tipos de Humedales Artificiales

Existen dos tipos de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de agua residual.

Humedales de Flujo Libre (HFL): Los humedales con flujo libre son estanques o canales en los que la superficie del agua se encuentra expuesta a la atmósfera y las plantas emergentes están enraizadas sobre una capa de suelo generalmente impermeabilizado, para evitar la infiltración al manto freático. Las aguas residuales aplicadas a estos sistemas usualmente son pre- tratadas y la depuración de las mismas se logra al circular el agua a través de los tallos y raíces de las plantas. (Baca, 2012)

Humedales de Flujo Subsuperficial (HFSS): Los humedales de FS son estanques o canales con el fondo generalmente impermeable sobre el cual se coloca un medio poroso que puede ser suelo, arena o grava en el que se siembra las plantas emergentes y donde el nivel de agua se mantiene por debajo de la superficie de grava. (Baca, 2012)

De acuerdo a la dirección del flujo los HFSS se pueden clasificar como humedales de flujo vertical o humedales de flujo horizontal. En los humedales de flujo vertical el agua se vierte desde arriba dosificadamente en intervalos de tiempo y fluye verticalmente hacia abajo por la matriz del filtro. Este sistema de dosificación requiere de ingeniería más compleja y una fuente constante de electricidad. Mientras que en los humedales de flujo horizontal el medio poroso se mantiene saturado y el agua residual entra y sale por los costados del humedal sin requerir equipos mecánicos, gracias a la pendiente de fondo que permite el flujo gravitacional del agua.

Tabla N° 3, Cuadro comparativo entre humedales de flujo subsuperficial y flujo libre

HUMEDAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL(HFSS)	HUMEDAL DE FLUJO LIBRE (HFL)
El lecho de grava tiene mayores tasas de reacción y por lo tanto puede tener un área menor.	Para alcanzar los mismos niveles de rendimiento que el HFSS requiere una mayor superficie para su emplazamiento.
Como el nivel del agua está por debajo de la superficie del medio granular, no está expuesto, con lo que se evitan posibles problemas de mosquitos y emisión de malos olores que se presentan en sistemas de flujo libre.	Al estar el nivel del agua sobre la superficie de terreno es un hábitat atractivo para diversas especies de mosquitos y otros animales que viven en medios acuosos. Además existe mayor posibilidad de generar olores.
No presenta inconvenientes con el acceso a público. Debido a la solidez de su estructura no existe riesgo de accidentes.	Se debe tener un cierre perimetral para evitar accidentes de personas o animales que puedan caer en el humedal.
Se evitan problemas en climas fríos, ya que la capa superficial de grava presta al agua una mayor protección térmica. Además al tener mayor profundidad que los HFL es más difícil la formación de hielo de todo el espesor de agua.	Debido a que la superficie del agua está expuesta a la atmósfera, se puede presentar la formación de hielo, que en el caso extremo puede limitar el flujo de agua causando el fallo del sistema y detención de la actividad biológica.

Dado que el HFSS presenta mayores ventajas que el HFL y se adaptaría de mejor forma al clima y otros aspectos locales relevantes, será elegido como el sistema de depuración de aguas residuales a implementar en la comuna de Curarrehue.

2.5.2 Componentes del Humedal

Agua residual: Corresponde al agua que deshecha la comunidad, una vez que ha sido contaminada por los diferentes usos para los cuales ha sido empleada (Metcalf y Eddy, 1995).

Substratos: Un factor clave en la estimación del comportamiento hidrodinámico, es la conductividad hidráulica y la porosidad que posea el sustrato. Estos parámetros hidrogeológicos, tienen influencia directa con los tiempos de residencia hidráulicos y la calidad del efluente obtenido en el tratamiento. (Kadlec et al, 1996)

En el humedal de flujo subsuperficial, el agua debe fluir únicamente a través del medio filtrante, que sirve para el crecimiento de las bacterias y sostenimiento de las raíces, además de la acumulación de residuos no degradables presentes en las aguas residuales.

Vegetación: La vegetación proporciona superficies para la formación de películas bacterianas, facilita la filtración y la adsorción de los constituyentes del agua residual, permite la transferencia de oxígeno a la columna de agua y controla al crecimiento de algas al limitar la penetración de luz solar. (J. Lara, 1999)

En la construcción de los dos tipos de humedales, es de vital importancia establecer la vegetación con la densidad apropiada. Si están disponibles, deben ser preferidas las plantas locales que estén adaptadas a las condiciones del sitio. Aunque la siembra se puede hacer a partir de semillas, este método requiere bastante tiempo y un control estricto del agua. Adicionalmente, presenta el problema del posible consumo de semilla por parte de los pájaros, por lo que lo más aconsejable es plantar mediante trasplante de rizomas al lecho previamente preparado (J. Lara, 1999)

Microorganismos: En los humedales se desarrollan una gran variedad de organismos que abarcan desde microorganismos como bacterias y protozoos hasta pequeños animales; siendo las bacterias el grupo fundamental en el proceso depurador de las aguas residuales. (Baca, 2012)

La comunidad microbiana de un humedal construido puede ser afectada por sustancias tóxicas, como pesticidas y metales pesados, y debe tenerse cuidado para prevenir que tales sustancias se introduzcan en las cadenas tróficas en concentraciones perjudiciales. (J. Lara, 1999)

Impermeabilización: Un humedal artificial puede necesitar un recubrimiento que selle tanto el fondo como los lados y que, por tanto, prevenga o reduzca la infiltración. Dependiendo del lugar seleccionado, del tipo de suelo, de la profundidad y calidad de las aguas subterráneas, del nivel de tratamiento preliminar y ciertas consideraciones de regulación, puede ser necesario un recubrimiento natural o sintético. (Baca, 2012)

Estructura de entrada y salida: Los dos sistemas, FWS y SFS, requieren condiciones de flujo uniformes para alcanzar los rendimientos esperados. Esto se alcanza en sistemas de pequeño o moderado tamaño con tuberías de recolección perforadas que se extienden a lo ancho de toda la celda, tanto para la entrada como para la salida.

2.5.3 Modelo de remoción de DBO

Las ecuaciones de diseño se han escogido previo estudio de diferentes autores, para el cálculo del área superficial se realiza en función al parámetro contaminante que se desea disminuir o remover, generalmente los diseños se realizan para disminución de la DBO, ya que para modelos de remoción de otros contaminantes las superficies requeridas da valores demasiado grandes.

Cálculo de Área Superficial (A_s):

$$A_s = \frac{Q * \text{LN} \left(\frac{C_0}{C} \right)}{K_T * h * \eta} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Q : Caudal de diseño del humedal ($m^3/\text{día}$)

C_0 : Concentración de DBO efluente (mg/l)

C : Concentración de DBO afluente (mg/l)

K_T : Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura (d^{-1})

h : Profundidad del humedal (m)

η : Porosidad del medio granular (en fracción)

Cálculo de constante de reacción de primer orden:

$$K_T = 1,104 * 1,06^{T_2-20} \quad \text{Ecuación (2)}$$

T_2 = temperatura del agua ($^{\circ}C$)

Cálculo de tiempo de residencia hidráulico:

$$T_{rh} = \frac{V}{Q} = \frac{\eta * A_s * h}{Q} \quad \text{Ecuación (3)}$$

La ecuación (4) se utiliza para calcular directamente el ancho del humedal, compatible con el gradiente hidráulico seleccionado.

$$W = \frac{1}{h} * \left[\frac{Q * A_s}{m * k_s} \right]^{0.5} \quad \text{Ecuación (4)}$$

W : Ancho del humedal (m)

k_s : Conductividad Hidráulica (m/s)

m : Pendiente del fondo del humedal ($\%/100$)

Cálculo de área transversal, A_c (m^2)

$$A_c = W * h \quad \text{Ecuación (5)}$$

Cálculo largo del humedal (L):

$$L = \frac{A_s}{W} \quad \text{Ecuación (6)}$$

2.5.4 Aspectos Hidráulicos

El flujo a través del humedal debe superar la resistencia por fricción del mismo sistema. Esta resistencia se debe principalmente al material granular, a las raíces de las plantas y los sólidos acumulados en la grava. La energía necesaria para superar esta resistencia viene dada por la pérdida de carga entre la entrada y la salida del sistema. Por lo que se debe proveer de una inclinación en el fondo del humedal suficiente para permitir un drenaje completo evitando flujos preferenciales y asegurar que se proporcionan las condiciones hidráulicas necesarias para el correcto flujo del sistema.

Cálculo gradiente Hidráulico, s :

$$s = \frac{m * h}{L} \quad \text{Ecuación (7)}$$

Velocidad de Darcy, v (m/día):

$$v = k_s * s \quad \text{Ecuación (8)}$$

Cálculo de la pérdida de carga:

$$Q = k_s * A_c * \frac{dh}{dL} \quad \text{Ecuación (9)}$$

m : Pendiente de fondo (%)

k_s : Conductividad hidráulica del humedal perpendicular a la dirección del flujo, $\frac{m^3}{m^2 * día}$

A_c : Área de la sección transversal perpendicular a la dirección del flujo, m^2

dh : Pérdida de carga hidráulica a través del material poroso, m

dL : longitud del lecho, m

Para la conductividad hidráulica se utilizará la tabla x del anexo, la cual está influida por diversos factores difíciles de determinar, como los flujos preferenciales, cortocircuitos, extensión de raíces y acumulación de sólidos. Por esto se debe utilizar valores de K_s bastante conservadores para evitar que aflore el flujo a la superficie, fenómeno que afectaría el proceso de depuración.

2.5.5 Aspectos Térmicos

Las condiciones de temperatura en el humedal afectan tanto a las actividades físicas como a las biológicas en el sistema. Las condiciones de bajas temperaturas sostenidas y la formación de hielo resultante, podrían llevar en caso extremo, a la falla física del humedal. Es conocido que las reacciones biológicas responsables de la remoción de DBO, nitrificación y desnitrificación también dependen de la temperatura. No obstante, en muchos casos el rendimiento de remoción de DBO en sistemas de humedales existentes en climas fríos no ha demostrado una relación obvia de dependencia de la temperatura. Esto puede ser causado por el largo tiempo de residencia en estos sistemas tendiente a compensar las bajas relaciones de reacción durante los meses de invierno. (J. Lara, 1999)

Se debe estimar la temperatura del agua en el humedal para un correcto diseño que considere que el rendimiento y la viabilidad de los humedales de flujo subsuperficial en climas muy fríos están influenciados por la formación de hielo en el sistema. En el caso extremo, un humedal de poca profundidad podría congelarse, lo que daría lugar a una detención del proceso. Por esto, se realizará un procedimiento de cálculo, adjunto en el anexo, para estimar la temperatura promedio del agua en el humedal.

2.6 Pretratamiento

El pretratamiento consiste en una serie de operaciones físicas que tiene por objeto la protección de los procesos y operaciones posteriores, a través de la separación de las partículas de gran tamaño y finos orgánicos que arrastra el agua residual.

Se debe preferir en el pretratamiento la utilización de equipos sencillos, evitando los electromecánicos, ya que los humedales artificiales son sistemas de bajo coste y con un mínimo gasto energético.

2.6.1 Rejas de desbaste

Las rejas de desbaste consisten en un conjunto de barras metálicas, paralelas, de sección rectangular, con aberturas de tamaño uniforme y fijadas a un marco metálico que les confiere rigidez. Son colocadas en el principio y final de un canal de hormigón de sección rectangular y situadas transversalmente al flujo, de tal forma que el agua ha de pasar a través de ellas, quedando los sólidos retenidos. Si la velocidad del flujo es muy baja se formarán depósitos en el canal provocando atascos en la parte baja de las barras. Por el contrario si la velocidad es muy alta la retención de sólidos es menor y las turbulencias generadas dificultan la operación de la reja. Los valores recomendados de esta velocidad y otros parámetros fundamentales en el diseño del canal de desbaste se muestran en la tabla N°4.

Para las rejas de desbaste se debe vigilar que no se acumulen muchos sólidos, por lo que se debe limpiar cada cierto tiempo y así evitar que se descompongan los sólidos orgánicos allí retenidos, dando lugar a malos olores.

Tabla N°4, Valores recomendados para el diseño de un canal de desbaste y sus respectivas rejas

Características	Rejas de Gruesos	Reja de Finos
Modo de funcionamiento	Manual	Manual
Anchura de los barrotes (mm)	12-25	6-12
Luz entre barrotes (mm)	50-100	10-25
Pendiente en relación a la vertical (grados)	35-60	
Velocidad de aproximación (m/s)	0,3-0,6	
Pérdida de carga admisible (m)	0,15-0,4	

Fuente: "Wastewater Engineering, Treatment and Reuse" (Metcalf & Eddy)

Debido a que el sistema de alcantarillado es separativo de las aguas lluvias, se considera una velocidad de aproximación de 0,4 (m/s), la que debe ser lo más homogénea posible, ya que, condiciona el tamaño del canal.

$$A = \frac{Q_{max}}{V_{max} * h} * \left(\frac{a + S}{S} \right) + \Delta h \quad \text{Ecuación (10)}$$

A = Anchura del canal (m)

Q_{max} = Caudal máximo $\left(\frac{m^3}{s} \right)$

V_{max} = velocidad máxima en la reja (m/s)

a = anchura de la barras expuestas al agua (m)

S = separación entre barras (m)

Δh = Pérdida de carga provocada por la reja (m)

Con el paso del tiempo la reja sufre una colmatación, lo que implica un aumento en la pérdida de carga. Por lo que, cuando se desea estimar una reja parcialmente colmatada, se debe considerar un factor de colmatación, que es proporcional al porcentaje de reja ocupado.

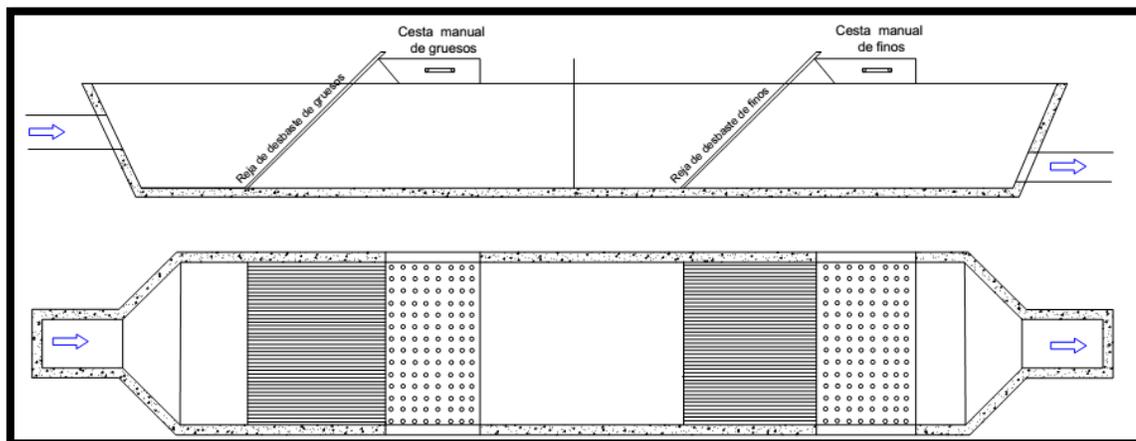


Figura N° 1, Vista de planta canal de desbaste compuesto por reja de finos y rejas de gruesos

2.7 Tratamiento Primario

Las aguas residuales urbanas normalmente tienen una alta concentración de materia en suspensión y particulada, la que debe ser reducida para prevenir la pronta colmatación de los humedales, y así garantizar su buen funcionamiento a largo plazo. Las fosas sépticas permiten que la materia en sólida se acumule en el fondo en forma de lodos que se van descomponiendo por vía anaeróbica. Esto reduce el volumen de lodos gracias a la decantación y digestión por bacterias anaeróbicas, produciéndose gases durante el proceso como el dióxido de carbono, metano y ácido sulfhídrico, que deben ser evacuados a través de chimeneas de ventilación.

Tal como se muestra en la imagen N° 7, en la fosa propuesta se distinguen tres zonas; la inferior destinada a la acumulación de lodos, la central para la fase líquida y una de resguardo donde se acumulan las grasas.

Tabla N° 5: valores recomendados para la construcción de fosas sépticas

Parámetro	Valor Recomendado
Profundidad columna de agua (m)	1,2
Resguardo materia flotante (m)	0,3
Velocidad de acumulación de fango (l/hab*día)	0,5
Compartimientos	2
Tiempo de retención (días)	2
Relación Ancho : Largo	4*A>L>2*A

Utilizando los parámetros recomendados de la tabla N° 9 y con la ecuación (2) se puede calcular el volumen de agua de la fosa de sedimentación. Conocido el volumen y la profundidad de la columna de agua se puede calcular el área, el largo y ancho de la fosa.

$$V_{\text{agua}} = T_{\text{rh}} * Q_{\text{med}} \quad \text{ecuación (11)}$$

Para calcular el volumen de lodos, que depende de la velocidad de acumulación y de la periodicidad de vaciado (normalmente 1 año), se debe ocupar la ecuación (3), donde N representa el número de habitantes.

$$V_{\text{lodos}} = v_{\text{acum}} * 365 * P_{\text{vaciado}} * N \quad \text{ecuación (12)}$$

El volumen total de la fosa de sedimentación se obtiene sumando el volumen de agua, el volumen de lodos y el volumen de resguardo, el cuál se calcula a partir de la altura de resguardo. Al existir dos compartimientos, este volumen total se debe dividir, por lo que 2/3 pertenecerán al primer compartimiento, mientras el 1/3 restante corresponde al segundo.

$$V_{\text{Total}} = V_{\text{agua}} + V_{\text{lodos}} + V_{\text{resguardo}} \quad \text{ecuación (13)}$$

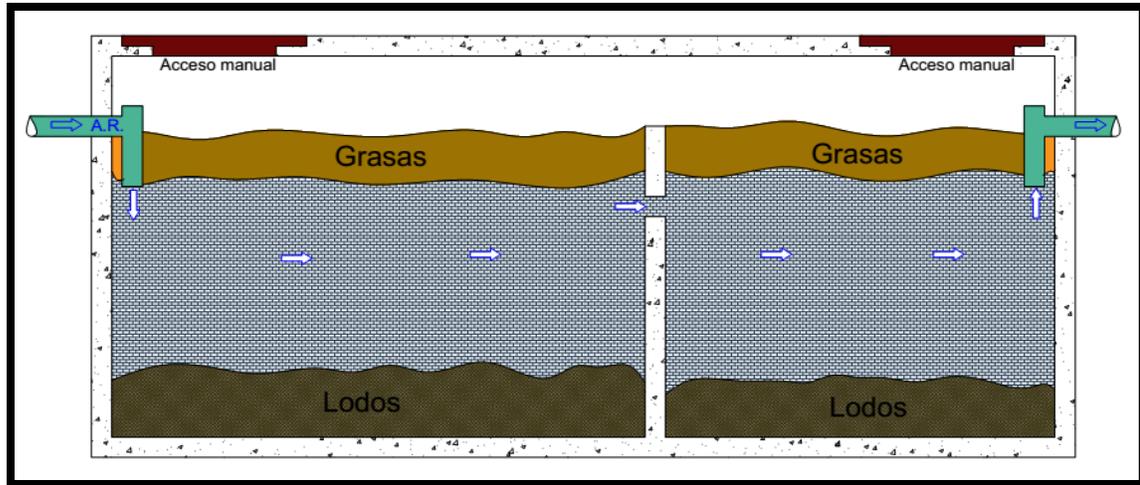


Figura N° 2, Esquema longitudinal de fosa séptica para retención de lodos y grasas

2.8 Operación y Mantenimiento

Para obtener buenos resultados es muy importante operar bien el sistema, con un plan adecuado de operación y mantención. Según Lara (1991), los factores más importantes para el rendimiento del tratamiento son:

- Proporcionar una amplia oportunidad para el contacto del agua con la comunidad microbiana, con la capa de residuos de vegetación y con el sedimento.
- Asegurar que el flujo alcance todas las partes del humedal.
- Mantener un ambiente saludable para los microbios.
- Mantener un crecimiento vigoroso de vegetación.

Se deben verificar periódicamente los flujos y niveles de agua, para ver que no se está desarrollando flujo en la superficie de los HFSS. Además debe inspeccionarse estructuras de control de aguas de forma regular e inmediatamente después de cualquier anomalía de flujo. Los humedales deben verificarse después de subidas importantes de caudal o después de la formación de hielo, ya que pueden afectar el sustrato y particularmente a las estructuras de salida. Cualquier daño, corrosión u obstrucción, debe corregirse lo más pronto posible para prevenir fallos y reparaciones que podrían ser costosos.

El humedal debe controlarse periódicamente para observar las condiciones generales del sitio y para descubrir cambios importantes que puedan ser adversos, como erosión o crecimiento de vegetación indeseable. Cada cierto tiempo se debe realizar la poda de la vegetación, ya que, si no se aplica se encuentra una fracción de la vegetación que se descompone y que permanece como materia orgánica refractaria, que termina formando turba en el humedal.

3. Metodología

Para lograr los objetivos planteados e identificar el problema, se comienza con un levantamiento de información general de la comuna de Curarrehue, del cuerpo receptor de las descargas de agua residual y un levantamiento de los sistemas actuales de recolección y disposición de aguas residuales que posee la zona más poblada de la comuna.

Identificadas las descargas de alcantarillado se hace una estimación del caudal de agua residual que vierte cada una, a través una zonificación con la cantidad de viviendas asociadas a cada tubería de descarga y con una estimación de la dotación diaria de agua potable que existe por habitante.

Se identifican los aspectos y características especiales que existen en la comuna y se establecen criterios para la selección de un sistema de tratamiento de depuración de aguas residuales que más se integre a estos aspectos locales que se presentan. Esta elección se obtiene con un análisis comparativo entre las posibles alternativas planteadas, y para la solución que resulte elegida se desarrollará con mayor detalle un estudio sobre los componentes y parámetros que involucra el sistema depurador.

Elegida la solución a implementar, se plantean propuestas de diseño para tratar las aguas residuales de todas las descargas de forma conjunta o separativa, dependiendo de la separación que existe entre cada descarga, para luego desarrollar la propuesta seleccionada y diseñar las dimensiones, componentes principales que tiene el sistema de tratamiento y la ubicación en donde se emplazará. Además se calculan los costos de económicos de la construcción de la planta de tratamiento.

4. Análisis y Discusión de Resultados

4.1 Descripción General Zona de Estudio

En la primera etapa se realizaron visitas a terreno en la comuna y consultas a las autoridades municipales con el fin de obtener información básica respecto a los sistemas prestadores de servicio de agua potable, identificación de las descargas de aguas residuales junto con la cantidad y ubicación de estas, así como las características del cuerpo receptor de las mismas y otros datos que sean relevantes para el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales que sea elegido.

4.1.1 Ubicación Geográfica

Curarrehue, como se aprecia en la imagen N° 1, es una comuna cordillerana ubicada en la región de la Araucanía, provincia de Cautín, a 141 kilómetros de la capital regional Temuco. Se encuentra entre los 38°55' y los 39°38' de Latitud Sur y los 71°25' y los 71°45' de Longitud Oeste aproximadamente, con una altitud de 390 m.s.n.m. Limita al norte con la comuna de Melipeuco, al este con la república de Argentina, al sur con la comuna de Panguipulli de la región de Los Ríos y al oeste con la comuna de Pucón.

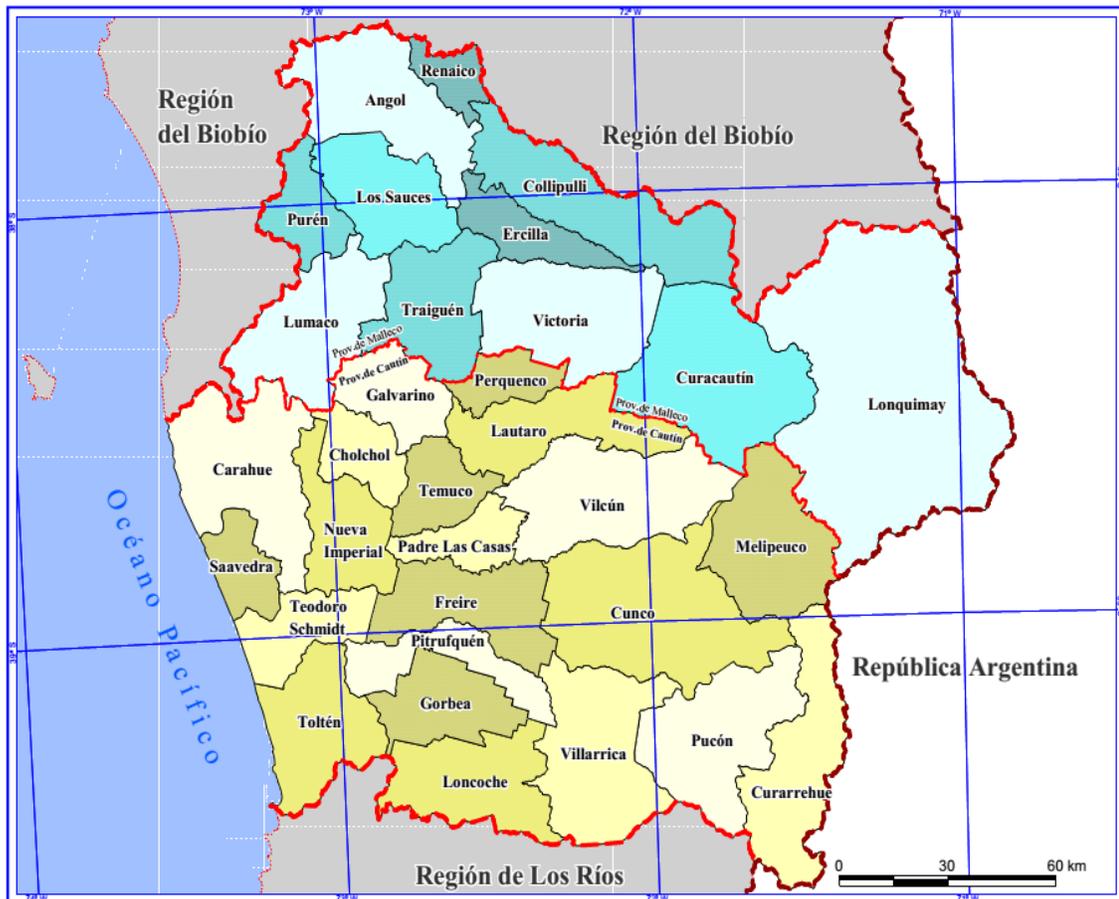


Figura N° 3, Ubicación Geográfica de la comuna de Curarrehue

4.1.2 Población Involucrada

La comuna de Curarrehue tiene en total 7715 habitantes según el censo 2012, de estos, el 70% de los habitantes pertenecen a la zona rural, mientras que el 30% restante pertenecen al centro urbano mayor en donde existe la problemática a tratar. La población total estimada por esta misma fuente para el año 2020 es de 8151 habitantes. Considerando este crecimiento porcentual de la población proyectado entre los años 2012 y 2020, de un 12,61% y 1,45% para la zona urbana y rural, respectivamente, se estimó la población futura para los años 2028 y 2036 la que se muestra en la tabla N° 3.

Se debe considerar la población flotante que existe en temporada de verano a causa de la demanda turística que presenta la zona, la cual, si bien no es tan significativa actualmente, debido a la poca capacidad hotelera de la comuna, se debe tener en consideración el aumento de esta en el futuro.

Tabla N° 6, Población Comuna de Curarrehue

	Censo 1992	Censo 2002	Proyectada 2012	Proyectada 2020	Estimada 2028	Estimada 2036
Área Urbana	1370	1862	2493	2853	3212	3617
Área Rural	4608 (77%)	4922 (73%)	5222 (68%)	5298 (65%)	5375	5453
Total	5978	6784	7715	8151	8587	9070

Fuente: Censo 1992, 2002 y Proyección de Población 2012, 2020, Instituto Nacional de Estadísticas (INE)

4.1.3 Fuentes de Abastecimiento de Agua Potable

El Comité de Agua Potable de Curarrehue es la organización encargada de abastecer a la comuna con el servicio de agua potable y alcantarillado, esta red de distribución de alrededor de 760 arranques domiciliarios sólo alcanza a la zona urbana del pueblo. Mientras el sector rural se abastece a través de vertientes naturales, pozos o camiones aljibes operados por la Municipalidad de Curarrehue.

El agua potable necesaria para el consumo humano se extrae a través de pozos a una profundidad aproximada de 15 metros, esta captación del agua subterránea está ubicada a 25 metros del río Trancura y la misma distancia a una de las descargas de alcantarillado, lo que presenta un riesgo para el agua subterránea debido a la amenaza de infiltración de esta agua residual.

Según información entregada por el Comité de Agua Potable el consumo de agua mensual de la comuna se representa en la gráfica N°1.

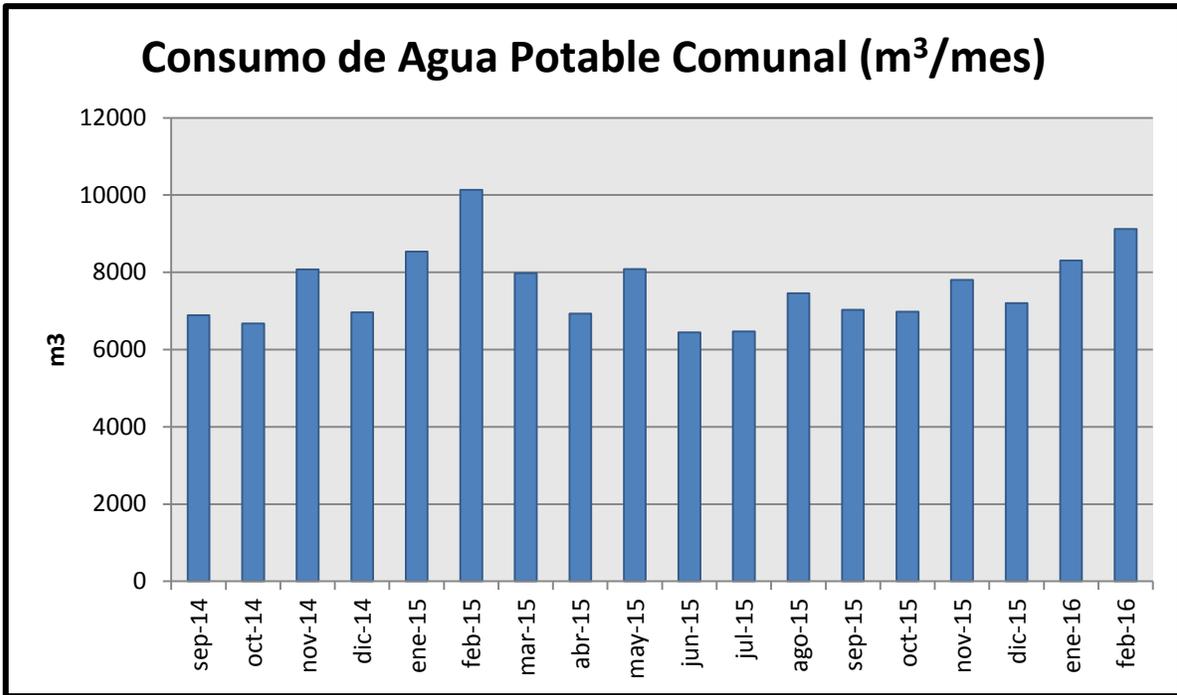


Gráfico Nº 1, Consumo de Agua Potable Comunal.

4.1.4 Descargas de Alcantarillado

El agua residual generada es conducida a través de la red de alcantarillado en dirección inversa al flujo del río Trancura, esto a causa de la orografía que presenta la zona. Como se observa en la imagen Nº 2, en la actualidad existen 7 puntos de vertido de aguas residuales en distintas zonas del río Trancura, estas descargas están conectadas a través de la red de alcantarillado que tiene la comuna que consiste en un sistema separativo que es sólo para dirigir las aguas de uso doméstico, mientras las escorrentías de aguas lluvias actualmente poseen una red colectora precaria que circula el agua para evacuarlas en canales o esteros afluentes del río Trancura.

Se realiza una zonificación de las descargas con la cantidad de viviendas estimada que están conectadas a cada una de ellas. Esta estimación se hace en base al plano de alcantarillado facilitado por la municipalidad de Curarrehue y que se adjunta en los anexos de este informe.

Distancia Entre Descargas de Alcantarillado

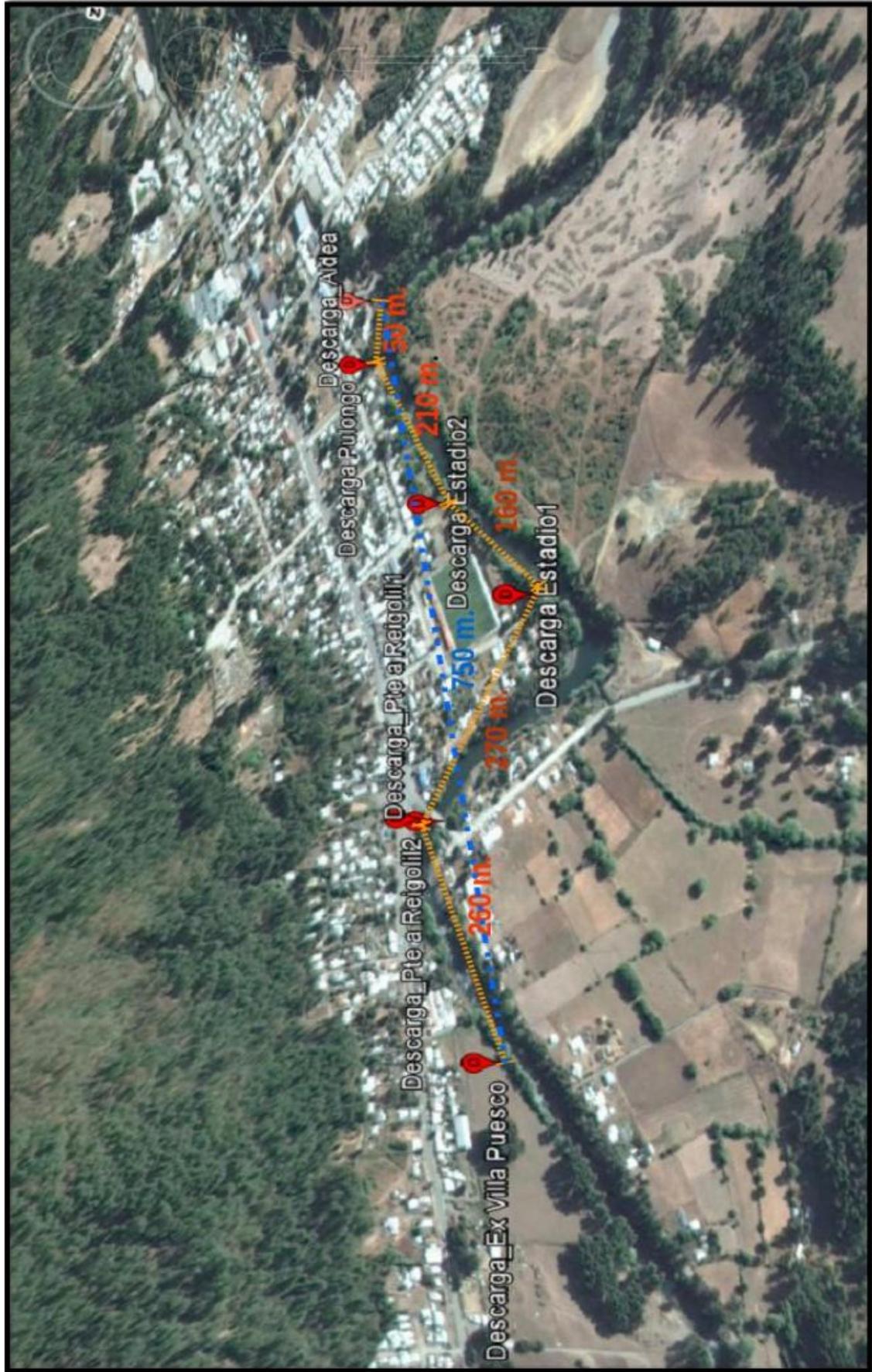
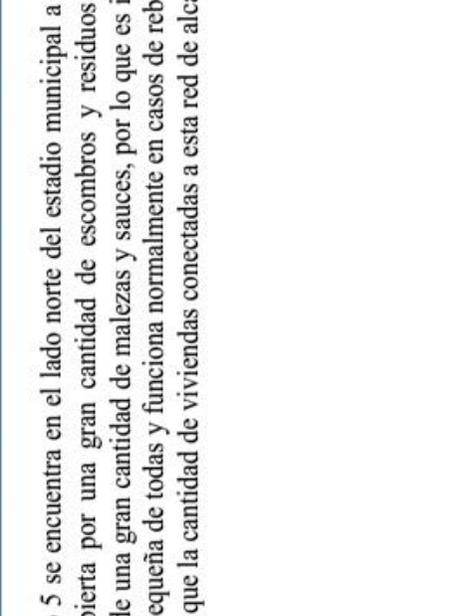
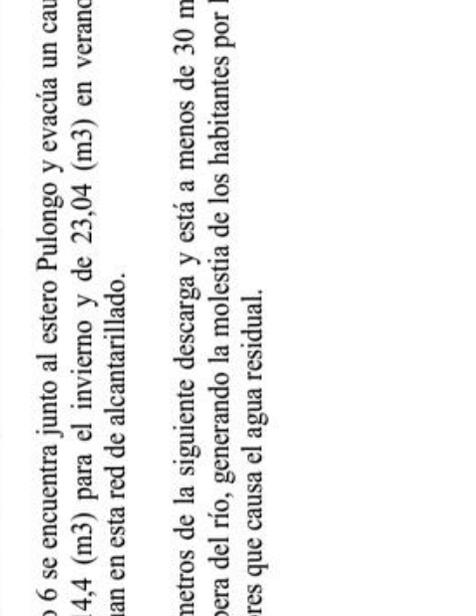


Figura N° 4, Ubicación y distancia de las descargas de alcantarillado

Descarga	Diámetro tubo (mm)	Cota tubo (m)	Nº de casas conectadas	Dotación A.P. (lt/hab-día)	Q Máx. A.R. (m3/día)
<p data-bbox="332 178 365 220">5</p> 	200	385,8	20	120	7,68
<p data-bbox="402 520 1019 779">La descarga número 5 se encuentra en el lado norte del estadio municipal a 210 metros de la siguiente descarga y está cubierta por una gran cantidad de escombros y residuos sólidos que desechan los habitantes, además de una gran cantidad de malezas y sauces, por lo que es imposible visualizarla. Esta descarga es la más pequeña de todas y funciona normalmente en casos de rebalse de la tubería principal, por lo que se estima que la cantidad de viviendas conectadas a esta red de alcantarillado no supera las 30 casas.</p>					
<p data-bbox="885 178 917 220">6</p> 	200	385,4	65	120	24,96
<p data-bbox="954 520 1507 779">La descarga número 6 se encuentra junto al estero Pulongo y evacúa un caudal diario de agua residual que se estima en 14,4 (m3) para el invierno y de 23,04 (m3) en verano, de aproximadamente 60 viviendas que evacuan en esta red de alcantarillado.</p> <p data-bbox="954 779 1507 1108">Se encuentra a 50 metros de la siguiente descarga y está a menos de 30 metros de algunas viviendas construidas en la ribera del río, generando la molestia de los habitantes por la alta emanación de olores y atracción de vectores que causa el agua residual.</p>					

Descarga	Diámetro tubo (mm)	Cota tubo (msnm)	Nº de casas conectadas	Dotación A.P. (lt/hab-día)	Q Máx. A.R. (m ³ /día)
7	200	387,3	250	120	96

La descarga número 7 se encuentra solo a 50 metros río abajo de la sexta descarga y es la última del sistema. De acuerdo al plano de alcantarillado municipal se estima que unas 250 casas están conectadas a esta red que se ubica al lado de la aldea Intercultural Trawupeyüm, centro cultural y social de gran demanda turística durante el año.

Villa/Población	Casas	Habitantes
Antu Mapu	75	300
Entre cerros	60	240
Puesco	35	140
Otros	80	320

El total de habitantes asociados a la séptima descarga es de 1000 habitantes. Considerando la dotación máxima de agua potable en meses de verano de 120 (lt/hab-día) el caudal generado de A.R. es de 96 (m³/día). Mientras que en invierno con una dotación de 75 (lt/hab-día) se producen 60 (m³/día) de A.R.



4.1.5 Cuerpo Receptor: Río Trancura

Los ríos tienen la capacidad de asimilar cierta cantidad de residuos antes de que los efectos negativos de la contaminación sean apreciables. Cuanto más caudalosos, rápidos y más asilados estén los cursos de agua y no hayan sido utilizados, más capaces son de tolerar una cantidad mayor de aguas residuales; pero una cantidad excesiva de cualquier tipo de contaminante produce daños a todo el sistema. (Suárez, 2008)

El cuerpo receptor del vertido de aguas residuales es el río Trancura, y se hace necesario conocer las caudales que presenta el curso fluvial en las distintas estaciones del año para poder una orientación de la capacidad de dilución que posee. De acuerdo a la información fluviométrica consultada en la Dirección General de Aguas (DGA), se tiene, que en años húmedos los mayores caudales ocurren entre mayo y julio, producto de lluvias invernales. Hacia los meses de primavera las caudales disminuyen gradualmente, manteniendo valores considerables, producto de la leve influencia nival, para finalmente caer durante los meses de enero a marzo. En los años secos los mayores caudales se observan entre junio y octubre, mientras que los menores ocurren entre diciembre y mayo.

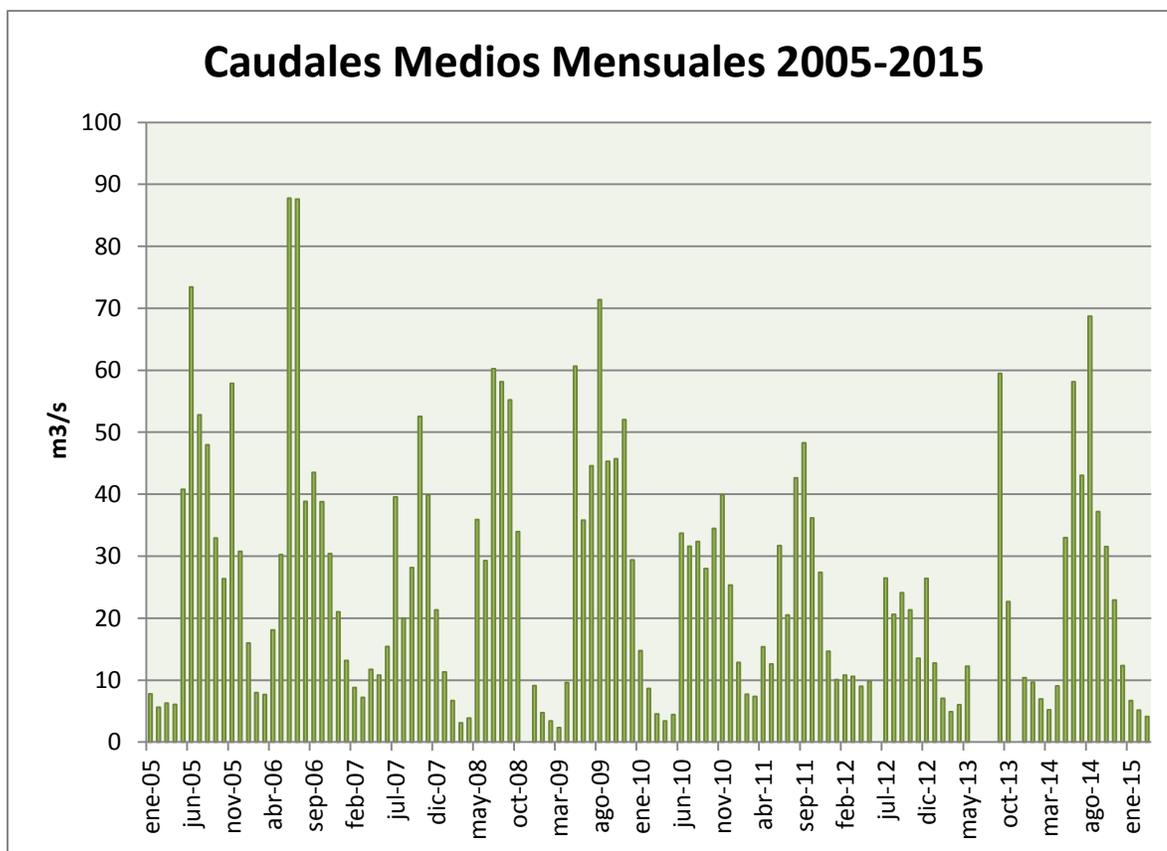


Gráfico N° 2, Caudales Medios Mensuales (2005-2015) Comuna de Curarrehue. (DGA)

Cuando se registran los menores caudales del río Trancura durante los meses enero a marzo, es precisamente donde se generan una mayor cantidad de aguas residuales producto del aumento de población turística. Debido a la escasez de precipitaciones y altas temperaturas los caudales mínimos diarios registrados en estos meses de verano están bajo los 5 (m^3/s) y el río alcanza su menor capacidad de dilución de contaminantes.

Para los meses de invierno, donde hay menor generación de aguas residuales, los caudales que se registran en el río pueden superar los 200 (m^3/s) en jornadas de intensas lluvias, y tienen un promedio mensual sobre los 50 (m^3/s), logrando así tener una gran capacidad para tolerar las descargas de aguas residuales.

El D.S. 90 establece en la Tabla N° 1 que los Límites Máximos Permitidos Para Descargas de Residuos Líquidos en Cuerpos de Agua Fluviales pueden ser modificados de acuerdo a la capacidad de dilución del cuerpo receptor, incrementando las concentraciones establecidas en la Tabla N°1. Debido a las variaciones estacionales de los caudales que presenta el río Trancura es difícil establecer una tasa de dilución constante, por lo que se trabajará con los límites que establece la primera tabla y se asegurará que en el peor de los casos, cuando el río tiene su mínimo caudal, la disposición de agua residual este dentro de los valores establecidos por la norma.

4.2 Criterios Para la Elección de Alternativa

Se deben establecer ciertos criterios que permitan elegir el sistema de tratamiento que más se adecue a la zona, de acuerdo a los aspectos más relevantes que se presentan, como el ambiental, cultural, económico y superficiales.

4.2.1 Aspectos Culturales y Sociales

La población de Curarrehue, tal como se muestra en la tabla N° 5, es principalmente de origen mapuche, quienes siguen las tradiciones y costumbres típicas de su pueblo. Además gran parte de la comuna son territorios que pertenecen a las comunidades mapuches, las cuales utilizan estos terrenos con fines ceremoniales y los protegen de ciertas actividades y sistemas tecnológicos que puedan afectar su equilibrio cultural, patrimonial y ambiental.

Es por esto que se requiere un sistema de tratamiento de aguas residuales natural, sin impactos paisajísticos, no invasivo y en un lugar adecuado donde no genere efectos sobre la población y posible actuación sobre el sistema.

Tabla N° 7, Población según etnia declarada CASEN 2003-2006-2009

Etnia	Cantidad de Personas			% Según Territorio (2009)	
	2003	2006	2009	Comuna	Región
Atacameño	0	0	0	0	0
Aymara	64	12	0	0	0
Mapuche	3452	4557	4932	67	30
Rapanui	8	0	0	0	0
Otras	3068	2683	2467	33	70
Total	6592	7252	7399	100	100

Fuente: Encuesta de Caracterización Socioeconómica nacional (CASEN), MIDESO.

4.2.2 Aspectos Económicos

Curarrehue se encuentra dentro de las comunas con menores ingresos a nivel nacional, esto se puede observar a diario por las condiciones de pobreza extrema y falta de necesidades básicas que tienen las personas tanto en la zona urbana como en la rural. Esta falta de recursos económicos ha impedido la construcción de sistemas convencionales de tratamiento, los cuales tienen elevados costos económicos de construcción y mantenimiento. Es por esto que se debe buscar una solución no convencional totalmente acorde con las condiciones económicas de la comunidad, que sea más económica en su construcción, operación, mantenimiento y que requiera de un mínimo consumo energético en cada una de estas etapas.

4.2.3 Aspectos Climáticos

El clima de la comuna de Curarrehue está determinado, básicamente, por su ubicación geográfica y su proximidad a la cordillera. La zona presenta un clima lluvioso en temporadas de invierno en donde se producen grandes precipitaciones en forma permanente lo que conlleva a gran aumento de caudal del río Trancura y los afluentes que llegan a este. Los grandes volúmenes de flujo que generan las lluvias causan inundaciones en distintas zonas de la comuna. Existen años en donde las temperaturas descienden lo suficiente para crear grandes nevazones que cubren la mayor parte de la comuna durante varios días y se registran temperaturas bajo los 0°C.

En el otro extremo, existen años en donde en los meses de verano se presentan temperaturas extremas sobre los 30°C y escasas de precipitaciones, lo que ocasiona sequías en la comuna y disminución de las fuentes de agua superficiales y subterráneas.

Estos climas extremos que se presentan tanto en invierno como en verano generan grandes gradientes de temperatura y cambios en los niveles del río Trancura. Este aspecto es fundamental a la hora de elegir una alternativa de tratamiento, ya que los rendimientos y capacidad de remoción de contaminantes se ve afectado fuertemente por estas variaciones de temperatura y niveles de agua, llegando incluso a destruir algunos sistemas de tratamiento.

4.2.4 Aspectos Ambientales y Paisajísticos

La mayor parte del territorio comunal es de gran valor ambiental debido a sus bosques nativos y recursos naturales propios de la zona, posee reservas y parques nacionales que se encuentran protegidos con el fin de cuidar la diversidad de fauna y flora única que tiene la comuna.

Es por esto que se debe elegir una planta de tratamiento que no solamente disminuya el daño ambiental que existe actualmente en río Trancura, también debe ser un sistema de tratamiento que sea de bajo impactos ambientales y con el mínimo impacto visual para no afectar el paisaje y así se integre de un modo no invasivo al medio, con el fin de mantener o aumentar la riqueza natural.

4.2.5 Aspectos de Superficie

La superficie total de la comuna es de 1171 km², de los cuales la mayor parte está compuesta por bosques nativos y áreas silvestres destinadas a la alimentación de animales. Tan solo 2 km² corresponden a las viviendas de la zona urbana donde se encuentra el problema a tratar. Esta zona como se observa en la imagen N°2 está rodeada de terrenos no urbanizados que se utilizan para agricultura y ganadería. Por la existencia de esta gran superficie disponible que presenta la zona, los requerimientos de espacio para proponer una alternativa de tratamiento que demande mayores dimensiones para su construcción no representan un impedimento. Sin embargo, hay que tener presente que al ser una comuna cordillerana existen también grandes desniveles de terreno con lomajes ondulados y pendientes pronunciadas. Además la poca existencia de terrenos municipales implica la compra de terrenos privados, lo que aumenta los costos económicos del proyecto.



Figura N° 5, Zona urbana y alrededores

4.3 Selección de Alternativa

4.3.1 Cuadro Comparativo de Alternativas de Solución:

Analizados los diferentes sistemas de tratamiento propuestos y de acuerdo a los criterios que se deben cumplir, se realiza una comparación entre cada alternativa propuesta, concluyendo que la solución de tratamiento para depurar las aguas residuales más adecuado para la comuna de Curarrehue es el Humedal Artificial, ya que es la alternativa que más se adapta a las características especiales que tiene la comuna, logrando ser un sistema que se integra de gran forma al entorno natural que tiene la zona y a sus aspectos sociales y culturales. Además de ser un tratamiento “blando” con el medio ambiente, es económicamente viable, tanto en la etapa constructiva, operacional y de mantenimiento debido al bajo consumo energético y mínimo requerimiento de personal especializado. La construcción puede ser perfectamente realizada por mano de obra local y existe la posibilidad de ajustar la planta de tratamiento a las necesidades requeridas mediante el diseño. La vida útil de este sistema según la bibliografía estudiada es de 20 años.

Para ubicar una depuradora de estas características se debe disponer de una superficie de terreno suficientemente extensa. Al no existir suficientes terrenos municipales para el emplazamiento de todas las obras, se debe considerar la compra de terrenos particulares en el presupuesto del proyecto, lo que encarecerá los costos económicos. Este aspecto es crítico para la instalación de los humedales artificiales. Sin embargo, estos gastos iniciales sensiblemente mayores se pueden compensar en la etapa de explotación que no requiere gasto energético, un mínimo mantenimiento requerido que puede ser realizado por personal local y a la aminoración de la gestión de lodos que tiene volúmenes mínimos en comparación a los sistemas convencionales, los cuales, debido a la gran intensidad de las reacciones, al funcionar con aireación prolongada, mezclas mecánicas, gran variedad de productos químicos y uso intensivo de energía logra que estos sistemas sean más compactos que los sistemas en donde el proceso se desarrolla de forma natural.

La ventaja de los humedales artificiales al tener grandes dimensiones, es que pueden funcionar como estanques de regulación, de tal manera que las variaciones de caudal y de carga orgánica no les afecta. Lo que es de suma importancia en esta comuna, ya que se puede lograr una buena aceptación en temporadas invernales donde ocurren grandes precipitaciones.

Este sistema natural al integrarse de gran forma al medio ambiente tiene la capacidad de potenciar el turismo rural a causa de ser un tratamiento de depuración en equilibrio con el entorno ambiental y social. Logrando así mejorar, no tan solo la calidad de las aguas, sino también, mejorar la calidad de vida de la comunidad de una manera no invasiva y respetando las tradiciones culturales que tienen los habitantes de tan bella comuna.

	Lodos Activados	Lombrifiltro	Lagunaje	Humedal Artificial
				
	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de olores alta. • Intensivo en energía, produce impactos sonoros. • Tarifa de tratamiento alta. 	<ul style="list-style-type: none"> • No genera Olores • Obtención de Humus de Lombriz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de olores alta • Proliferación de mosquitos • Contratación de mano de obra local para la construcción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Contratación de mano de obra local para la construcción y mantenimiento • Potenciación del turismo rural, producto de un sistema de depuración en equilibrio con el entorno. • Obtención de materias primas • Sin generación de olores
<p>Calidad de las Aguas</p> <p>Impacto Ambiental</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vertido de acuerdo con las normas vigentes. • Impacto paisajístico negativo, por la estructura principal y la necesidad de contar con red eléctrica. • Uso de productos químicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vertido de acuerdo con las normas vigentes. • Impacto paisajístico negativo. • Atracción de aves • Sin productos químicos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vertido de acuerdo con las normas vigentes. • Impacto visual positivo. • Proporcionan redes tróficas y gran biodiversidad de seres vivos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vertidos de acuerdo con las normas vigentes. • Impacto paisajístico positivo con integración total en el paisaje. • Potenciación de ecosistemas existentes y creación de nuevos, aumentando el valor ambiental de la zona. • Sin productos químicos.
<p>Inversión Línea de Tratamiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de inversión elevado • Necesidad de red eléctrica en el emplazamiento de la depuradora. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coste inversión medio. • No necesita tratamiento primario. 	<ul style="list-style-type: none"> • Coste inversión bajo. • No requiere de tratamiento primario. 	<ul style="list-style-type: none"> • Costo de inversión bajo • Al existir terrenos municipales se pueden reducir costes iniciales. • Necesita Pretratamiento. • Bajos costos de operación y mantenimiento.
Criterios Sociales y Culturales				
Criterios Ambientales y paisajísticos				
Criterios Económicos				

<p>Costes de Explotación</p>	<ul style="list-style-type: none"> Gastos de operación en consumo eléctrico e inyección de oxígeno. Producción de fangos alta. Se deben utilizar productos químicos. 	<ul style="list-style-type: none"> Bajos costos de operación y mantenimiento. Aireación natural por el movimiento constante de lombrices que aseguran la permeabilidad del filtro. Lodos se transforman en humus de lombriz. 	<ul style="list-style-type: none"> Bajos costos de operación y mantenimiento. Aireación por parte de las algas y contacto de la superficie con la atmósfera. Sin producción de lodos. 	<ul style="list-style-type: none"> Mínimo coste de mantenimiento Nulo consumo energético, las plantas proporcionan la aireación a través de las raíces. Sin requerimiento de personal cualificado. Menor producción de fangos
<p>Criterios Climáticos</p>				
<p>Aspectos térmicos y pluviales</p>	<ul style="list-style-type: none"> Disminuye capacidad de remoción. No deben existir cambios bruscos de temperatura. 	<ul style="list-style-type: none"> Bajo rendimiento en climas fríos. Necesidad de proteger el lecho de las precipitaciones y nevazones. 	<ul style="list-style-type: none"> Disminuye capacidad de remoción. Difícil adaptación a cambios climáticos. Gran capacidad de amortiguación a grandes precipitaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> El humedal de flujo subsuperficial posee una capa de grava superficial que sirve de protección térmica. Tiene capacidad de amortiguar altas precipitaciones.
<p>Criterios Técnicos</p>				
<p>Etapas de construcción</p>	<ul style="list-style-type: none"> Necesidad de personal especializado para la construcción y operación del sistema. Requiere suministro de electricidad Mínima necesidad de espacio su emplazamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> Necesidad de personal especializado para la construcción Requiere grandes volúmenes de reactor para su implementación Requiere de un proceso de adaptación 	<ul style="list-style-type: none"> Construcción y operación sencilla, realizable por mano de obra local. Gran necesidad de terrenos disponibles para su emplazamiento. Existen terrenos llanos para poder construir. 	<ul style="list-style-type: none"> Construcción perfectamente realizable por mano de obra local. Requiere de un proceso de adaptación Flexibilidad para ajustar la planta de tratamiento a las necesidades requeridas. Existencia de terrenos planos, suficientemente extensos para ubicar la depuradora que requiere de gran espacio.
<p>Etapas de mantenimiento</p>	<ul style="list-style-type: none"> 20 años de vida útil Necesidad de técnicos especializados. 	<ul style="list-style-type: none"> 20 años de vida útil No resiste períodos sin alimentación. 	<ul style="list-style-type: none"> 20 años de vida útil. No requiere de personal especializado 	<ul style="list-style-type: none"> Vida útil 20 años. No requiere de personal especializado
<p>Eficiencia</p>				
<p>DBO</p>	<p>60-80%</p>	<p>90-95%</p>	<p>75-85%</p>	<p>85-95%</p>
<p>SST</p>	<p>70-90%</p>	<p>85-95%</p>	<p>80-90%</p>	<p>85-90%</p>
<p>NTK</p>	<p>30-60%</p>	<p>60-70%</p>	<p>35-45%</p>	<p>20-40%</p>
<p>P</p>	<p>10-30%</p>	<p>50-60%</p>	<p>10-20%</p>	<p>15-30%</p>

4.4 Propuestas de Diseño Para la Planta Depuradora

Se analizan dos propuestas de diseño para la construcción del sistema de tratamiento. Estas propuestas son trabajadas en base al sistema actual de alcantarillado, y contemplan las siete descargas existentes, las cuales serán tratadas en grupos o individualmente de acuerdo a la distancia entre cada una de ellas.

Para la elección de una propuesta de diseño se debe tener en consideración algunos aspectos relevantes como las barreras físicas que pudieran existir, incluyendo las de índole natural, como las que se refieren a infraestructuras. Estas barreras pueden condicionar el trazado de colectores y ubicación de las instalaciones, a causa de cauces fluviales, paso de cadenas montañosas o carreteras.

La ubicación del sistema de tratamiento debe ser en un lugar donde exista el espacio suficiente para todos los elementos del proyecto y además debe estar lejos de las viviendas del pueblo, para que no afecte a las personas y cumpla con las normas vigentes.

Es necesario realizar el reconocimiento y evaluación del terreno donde se emplazará la planta de tratamiento. Esta visita al terreno es de suma importancia y necesaria para poder conocer las características propias del terreno y adecuar el diseño a las condiciones reales del lugar. Aspectos sencillos como la pendiente, la disponibilidad de superficie, acceso para maquinaria, uso de suelo, averiguar si la zona es susceptible a inundaciones, entre otros aspectos, serán definitivos para adecuar el diseño y garantizar el éxito de su implementación.

Para realizar un diseño preliminar se consideró un total de 3000 habitantes que al tener un consumo diario de agua potable de 120 litros cada uno, generarán alrededor de 288 m³/día de agua residual.

4.4.1 Propuesta de Diseño 1: 1 Humedal Artificial

Como se observa en la imagen N° 6, la planta de tratamiento consiste en un solo humedal artificial para tratar la totalidad de las aguas de la población. Ésta agua residual sería recolectada por un emisario que dirige las aguas de cada descarga al punto de emplazamiento de la depuradora, ubicado aguas abajo del río Trancura, donde actualmente se encuentra “Cancha el Bosque”, terreno municipal en el que se realizan actividades costumbristas y deportivas. Aquí el agua residual pasará por un pretratamiento, tratamiento primario y un tratamiento secundario, para luego descargar el agua tratada en el río Trancura.

La gran limitante para llevar a cabo esta propuesta es el elevado costo económico que conlleva la instalación de una red colectora que pase por cada una de las descargas de alcantarillado y se una a ellas para dirigir el agua residual hacia el punto donde se construirá la planta de tratamiento. Debido a la gran separación que existe entre las descargas, este diseño resulta ser más costoso y difícil de ejecutar, por lo que se descarta esta primera opción.

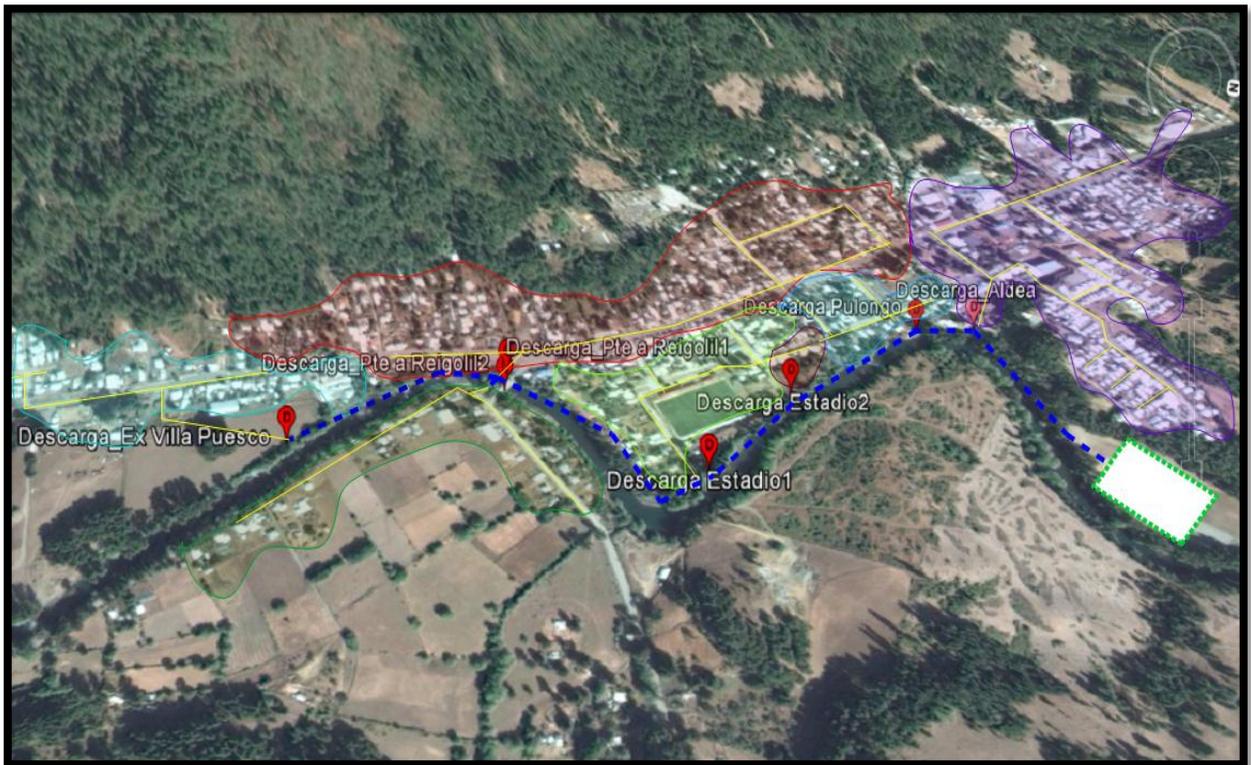


Figura N° 6, Propuesta de diseño 1: 1 Humedal Artificial.

4.4.2 Propuesta de Diseño 2: 4 Humedales Artificiales, Gestión Descentralizada

La segunda opción analizada para la construcción del sistema depurador consiste en una gestión descentralizada con cuatro humedales artificiales ubicados en zonas diferentes con la finalidad de ser conectados a las descargas de alcantarillado que resulten más cercanas, ya que la gran distancia que separa las descargas más alejadas implica altos costos en la construcción del emisario de las aguas sucias y existe la dificultad de unir cada descarga al colector debido a que estas se encuentran a diferentes alturas.

Se propone trabajar las descargas de agua residual de acuerdo a la figura N°7, en donde se aprecia la ubicación para cada sistema de tratamiento, los que estarán compuesto por rejillas de desbaste, fosa séptica y humedal artificial

Algunas limitantes que tiene este diseño es la necesidad de comprar terrenos particulares que elevarán el costo del proyecto. Pero no todas las plantas de tratamiento requieren este costo extra, ya que dos se proyectan en terrenos municipales, una ubicada en “Cancha el Bosque”, de tal forma que no afecte a las actividades costumbristas y deportivas que realizan, mientras que la otra estación depuradora se emplazaría detrás del estadio municipal, en donde existe un espacio de terreno disponible, que si bien es inundable, esto no afectaría al humedal artificial y se puede tener una evacuación directa desde la fosa séptica al río que en meses de invierno al llevar un mayor caudal tiene una mayor capacidad de dilución y oxigenación, logrando amortiguar perfectamente la descarga de A.R.



Figura N°7, Propuesta de Diseño 2: 4 Humedales Artificiales

4.5 Diseño Planta de Tratamiento: 4 Humedales Artificiales

El proceso de depuración se divide en tres etapas claramente diferenciables: pretratamiento, tratamiento primario y el tratamiento secundario que corresponde al de humedal artificial.

El pretratamiento y el tratamiento primario son tratamientos previos cuyo objetivo principal consiste en eliminar o reducir la presencia de los materiales más gruesos que obturan y desgastan tuberías, canales, y que pueden colmatar tempranamente el humedal.

4.5.1 Información Preliminar

Considerando que las aguas residuales que llegarán a la planta de tratamiento son netamente domésticas las concentraciones de contaminantes estarán en un rango medio según los valores típicos mostrados en la tabla N° 8. Se diseñará considerando un caudal total de 353 m³/día, con una temperatura del agua estimada en 9,5 °C, este valor se comprueba en los cálculos del anexo B.

Tabla N°8, Datos de partida para el diseño del tratamiento

Datos	Valor
Habitantes considerados	3680
Dotación (lt/hab/día)	120
Factor de recuperación	0,8
Generación agua residual (m ³ /día)	353,28
Generación agua residual (m ³ /s)	0,0041
DBO afluente (mg/l)	220
DBO efluente (mg/l)	35
SST afluente (mg/l)	220
NTK afluente (mg/l)	40
P afluente (mg/l)	8
Temperatura agua en la entrada (°C)	9,5

El diseño se realiza para cumplir con las normas de vertido establecidas por el D.S.90 en la Tabla N°1, y no se considera la capacidad de dilución del cuerpo receptor, por lo que existirá siempre una holgura respecto de los límites máximos permitidos para el vertido de aguas residuales.

4.5.2 Dimensiones Fosa Séptica

Los cálculos realizados para el dimensionamiento de las cuatro fosas sépticas se resumen en la tabla N° 9.

Tabla N° 9, Resumen Dimensionamiento de Fosas Sépticas

	Tiempo de residencia (días)	Caudal A.R. (m ³ /d)	Volumen total (m ³)	Profundidad (m)	Área (m ²)	Largo (m)	Ancho (m)
Fosa 1	1	38,4	111,61	1,5	62	11,2	5,6
Fosa 2	1	134,4	390,63	1,5	217,02	20,8	10,4
Fosa 3	1	46,08	133,93	1,5	74,41	12,2	6,1
Fosa 4	1	134,4	390,63	1,5	217,02	20,8	10,4

4.5.3 Tratamiento Secundario: Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal

Los aspectos más importantes a tener en cuenta para la construcción de humedales son, básicamente, la impermeabilización de la capa subsuperficial de terreno, la selección y colocación del medio granular, el establecimiento de la vegetación, y por ultimo las estructuras de entrada y salida.

Los valores obtenidos de los cálculos realizados para el dimensionamiento de cada humedal artificial y diseño hidráulico se resumen en la tabla N° 10 y N° 11, respectivamente.

Tabla N° 10, Resumen de cálculo de dimensiones de los 4 humedales artificiales

	Caudal (m ³ /d)	T _{rh} (d)	Profundidad (m)	Área (m ²)	Largo (m)	Ancho (m)
Humedal 1	38,4	2,5	0,65	395,08	28	15
Humedal 2	134,4	2,5	0,65	1382,8	56	25
Humedal 3	46,08	2,5	0,65	474	28	18
Humedal 4	134,4	2,5	0,65	1382,8	56	25

Tabla N° 11, Resumen de cálculo de diseño hidráulico.

	Caudal (m ³ /d)	Pendiente del fondo (%)	Gradiente hidráulico (m/m)	Velocidad de Darcy (m/d)	Pérdida de carga (m)
Humedal 1	38,4	0,7	0,031	0,0025	0,0084
Humedal 2	134,4	2	0,053	0,0043	0,029
Humedal 3	46,08	1	0,037	0,0030	0,010
Humedal 4	134,4	2	0,053	0,0043	0,029

El sistema de entrada debe estar diseñado de manera que el flujo afluyente fluya uniformemente distribuido a lo ancho de la zona de entrada del humedal por medio de una tubería perforada posicionada perpendicular al eje longitudinal del humedal. Este dispositivo debe estar sujeto para evitar la concentración de agua en un solo lugar, y que no sufra deslizamientos al recibir agua a presión. El equipo de salida consta de tuberías perforadas y sumergidas en el fondo del lecho que captan de manera uniforme el caudal de salida.

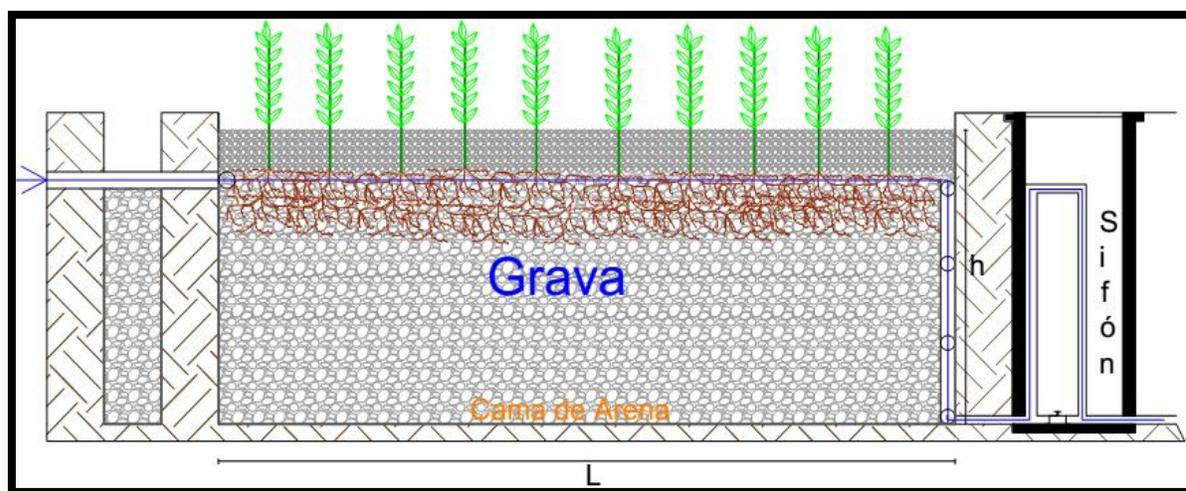


Figura N° 8, Vista Longitudinal Humedal Artificial

La estructura de salida del humedal se debe conectar a una cámara sifón que permita la regulación del agua tratada, este sifón se encuentra a la misma altura de la última fila del dispositivo de salida. La existencia de válvulas permite mantener el nivel del agua dentro del humedal a la altura de los dispositivos de salida, logrando que estos actúen a la vez en el tratamiento de forma efectiva en todos sus puntos.

Se debe considerar al momento de construir el humedal la seguridad de que en ningún caso se infiltre agua contaminada hacia el subsuelo y las fuentes de agua subterránea. La alternativa propuesta de material para evitar esta amenaza es una geomembrana de HDPE, la cual se instala en el humedal artificial con un método de anclaje a través de canales laterales como se muestra en la figura 9.

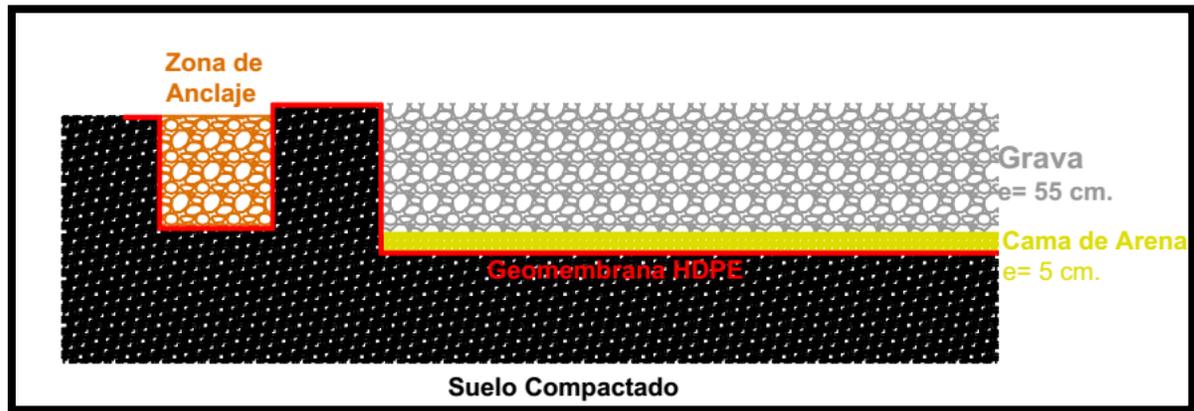


Figura N°9, Esquema de colocación de elementos del humedal artificial

Como material filtrante se propone utilizar grava de granulometría < 19 [mm] sobre el suelo impermeabilizado hasta una altura de 60 cm., de tal forma que sirva como base para las raíces de la vegetación. Antes de esto, con el fin de proteger la geomembrana de posibles rasgaduras y punzonamiento que genera la grava que será agregada posteriormente, se debe colocar una cama de arena de unos 5 cm. de espesor y granulometría < 2 mm, tal como se indica en la figura 9.

El tipo de plantas a utilizar son juncos del tipo *Scirpus Robustus* de la familia Ciperáceas, los cuales crecen en grupos y es una especie adaptada al clima y ambiente que existe en la zona. La mayoría de las especies tienen un crecimiento moderado y pueden lograr un buen rendimiento en alrededor de un año con separaciones de aprox. 0,3 [m]. Pueden alcanzar a penetrar en la grava entre 0,6 [m] a 0,8 [m]. Se espera un aumento de la cantidad de plantas que terminarán por rellenar el humedal y aumentarán la cantidad de raíces que mejorarán el rendimiento del humedal.

4.5.4 Ubicación de los Sistemas de Tratamiento

En este capítulo se detalla la ubicación para cada sistema de tratamiento de acuerdo a la propuesta 2, que consiste en tratar las descargas individualmente u unidas según la separación que existe entre cada una de ellas.

4.5.4.1 Ubicación Humedal Artificial: descarga 1

La primera descarga, ubicada en la zona sur de la comuna, tiene un caudal de agua residual de aproximadamente 30 (m³/día), que corresponden a unas 75 viviendas. Contemplando el crecimiento poblacional futuro, se diseña para 100 casas equivalentes.

La ubicación de todos los equipos del sistema de depuración se muestran en la imagen N° 10. Este terreno es particular, por lo que se debe sumar a los costos económicos la compra de unos 5000 m² aproximados que se requerirán para el emplazamiento de todos los elementos de la planta.



Figura N°10, Ubicación sistema de tratamiento para descarga 1

4.5.4.2 Ubicación Humedal Artificial: descargas 2 y 3

Ubicadas ambas descargas bajo el Puente Trancura, tienen un caudal total de agua residual de aproximadamente 107,5 (m³/día), que corresponden a unas 280 viviendas. Contemplando el crecimiento poblacional futuro, se diseñará para 350 casas equivalentes

Se proyecta el humedal hacia la zona oeste del pueblo, en un terreno particular, por lo que debe ser incluido en el presupuesto la compra de aproximadamente 10000 m² de superficie.

La evacuación del agua ya tratada se realiza es un estero que existe al costado del humedal proyectado y es efluente del río Trancura.



Figura N° 11, Ubicación Sistema de Tratamiento para descargas 2 y 3

4.5.4.3 Ubicación Humedal Artificial: descargas 4 y 5

Ubicadas en cada extremo del estadio municipal, tienen un caudal total de agua residual de aproximadamente 34,56 (m³/día), que corresponden a unas 90 viviendas. Para diseñar el sistema de tratamiento se considera un crecimiento poblacional menor, debido a que es una zona ocupada casi totalmente, por lo que se consideran 120 casas equivalentes.

El humedal artificial junto a los demás elementos del tratamiento se proyectan para ser construidos detrás del estadio municipal, paralelo al río Trancura. Si bien la zona es susceptible a inundaciones, esta solo afectaría al humedal, el cual tiene la capacidad de amortiguar mayores niveles de agua. Mientras que la fosa séptica debe ser ubicada fuera de esta zona para protegerla de posibles inundaciones que rebalsen el lodo acumulado y generen un problema mayor. Se debe tener un tubo evacuador directo al río del líquido afluente de la fosa en casos de inundación del humedal.



Figura N° 12, Ubicación Sistema de Tratamiento descargas 4 y 5

Para evitar costos mayores en la construcción de un emisario que dirija las aguas residuales de la quinta descarga al punto de tratamiento, se propone conectar esta red de alcantarillado a la red de la cuarta descarga y eliminar el punto actual de vertido.

4.5.4.4 Ubicación Humedal Artificial: descargas 6 y 7

Para las últimas dos descargas del sistema que tienen un caudal total de agua residual de aproximadamente 119,04 (m³/día), que corresponden a unas 310 viviendas, se diseñará contemplando el crecimiento poblacional futuro para 350 casas equivalentes.

Se proyecta este humedal en el sector “Cancha el Bosque”, terreno municipal destinado a fiestas costumbristas, deportivas y recreativas, por lo que se diseña la construcción del sistema de tratamiento a un costado del terreno para no afectar estas actividades. Al no ser un sistema invasivo, el humedal artificial logrará una excelente integración con el entorno.



Figura N° 13, Ubicación Sistema de Tratamiento descargas 6 y 7

4.6 Presupuesto General

El presupuesto para cada uno de los 4 sistemas de tratamiento del proyecto se realiza considerando la construcción de todos los elementos de la línea de tratamiento con sus actividades respectivas, y para el caso de los humedales proyectados para las zona 2 y 4, en terrenos particulares, también se agrega el costo asociado a la compra de estos terrenos.

La construcción de los emisarios de aguas residuales para cada planta de tratamiento propuesta, se hace necesario para cualquier tipo de solución que se quiera implementar con el sistema de alcantarillado actual, por lo que no son considerados en la Tabla N° 12, en donde se resumen los costos económicos necesarios para llevar a cabo el proyecto. Los presupuestos resumidos con mayor detalle en los costos asociados al humedal se muestran en la Figura x, y los costos individualizados de cada Sistema de Tratamiento con sus etapa de depuración se adjuntan en el anexo C de este informe y consideran los costos asociados a estos colectores para dirigir las aguas residuales a cada punto de emplazamiento.

Tabla N° 12, Resumen Presupuesto Total Sistema de Tratamiento Diseñado

Resumen Presupuesto Total	Costo Total (\$)
Planta de Tratamiento 1	\$ 24.269.000
Canal de desbaste	\$ 740.000
Fosa Séptica	\$ 3.627.000
Humedal Artificial	\$ 7.402.000
Compra de terreno	\$ 12.500.000
Planta de Tratamiento 2	\$ 72.049.500
Canal de desbaste	\$ 1.016.000
Fosa Séptica	\$ 10.350.000
Humedal Artificial	\$ 30.683.500
Compra de terreno	\$ 30.000.000
Planta de Tratamiento 3	\$ 17.196.000
Canal de desbaste	\$ 740.000
Fosa Séptica	\$ 4.059.000
Humedal Artificial	\$ 12.397.000
Planta de Tratamiento 4	\$ 42.049.500
Canal de desbaste	\$ 1.016.000
Fosa Séptica	\$ 10.350.000
Humedal Artificial	\$ 30.683.500
Costo Económico Total 4 Humedales Artificiales	\$ 155.564.000

PRESUPUESTO GENERAL PLANTA DE TRATAMIENTO 1					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO (\$)	P. TOTAL (\$)
A	CONSTRUCCIÓN				
A.1	Trabajos Preliminares	-	-	-	\$ 1.900.000
A.2	Pretratamiento: 1 canal de desbaste	-	-	-	\$ 740.000
A.3	Tratamiento primario: 1 Fosa Séptica	-	-	-	\$ 3.627.000
A.4	Tratamiento principal: 1 Humedal Artificial	-	-	-	\$ 7.402.000
A.4.1	Movimiento de tierra y nivelación de terreno	m3	260	\$ 6.000	\$ 1.560.000
A.4.2	Impermeabilización con Membrana HDPE	m2	580	\$ 3.000	\$ 1.740.000
A.4.3	Arena de granulometría < 2mm.	m3	26	\$ 8.000	\$ 208.000
A.4.4	Grava de granulometría <19 mm.	m3	215	\$ 10.000	\$ 2.150.000
A.4.5	Total Red Hidráulica	-	-	-	\$ 184.000
A.4.6	Suministro y transporte de vegetación	m2	390	\$ 4.000	\$ 1.560.000
Total Etapa Constructiva					\$ 13.669.000
B	COMPRA DE TERRENOS	m2	5000	\$ 2.500	\$ 12.500.000
COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO					\$ 26.169.000
C	OPERACIÓN Y MANTENIMEINTO	(\$/Anual)	1	\$ 1.725.000	\$ 1.725.000
PRESUPUESTO GENERAL PLANTA DE TRATAMIENTO 2					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO (\$)	P. TOTAL (\$)
A	CONSTRUCCIÓN				
A.1	Trabajos Preliminares	-	-	-	\$ 4.250.000
A.2	Pretratamiento: 1 canal de desbaste	-	-	-	\$ 1.016.000
A.3	Tratamiento primario: 1 Fosa Séptica	-	-	-	\$ 10.350.000
A.4	Tratamiento principal: 1 Humedal Artificial	-	-	-	\$ 30.683.500
A.4.1	Movimiento de tierra y nivelación de terreno	m3	940	\$ 6.000	\$ 5.640.000
A.4.2	Impermeabilización con Membrana HDPE	m2	2715	\$ 3.000	\$ 8.145.000
A.4.3	Arena de granulometría < 2mm.	m3	129	\$ 8.000	\$ 1.032.000
A.4.4	Grava de granulometría <19 mm.	m3	215	\$ 10.000	\$ 10.038.500
A.4.5	Total Red Hidráulica	-	-	-	\$ 184.000
A.4.6	Suministro y transporte de vegetación	m2	1383	\$ 4.000	\$ 5.532.000
Total Etapa Constructiva					\$ 46.299.500
B	COMPRA DE TERRENOS	m2	10000	\$ 2.500	\$ 25.000.000
COSTO TOTAL DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO					\$ 71.299.500
C	OPERACIÓN Y MANTENIMEINTO	(\$/Anual)	1	\$ 2.221.500	\$ 2.221.500
PRESUPUESTO GENERAL PLANTA DE TRATAMIENTO 3					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO (\$)	P. TOTAL (\$)
A	CONSTRUCCIÓN				
A.1	Trabajos Preliminares	-	-	-	\$ 1.900.000
A.2	Pretratamiento: 1 canal de desbaste	-	-	-	\$ 740.000
A.3	Tratamiento primario: 1 Fosa Séptica	-	-	-	\$ 4.059.000
A.4	Tratamiento principal: 1 Humedal Artificial	-	-	-	\$ 12.397.000
A.4.1	Movimiento de tierra y nivelación de terreno	m3	310	\$ 6.000	\$ 1.860.000
A.4.2	Impermeabilización con Membrana HDPE	m2	1195	\$ 3.000	\$ 3.585.000
A.4.3	Arena de granulometría < 2mm.	m3	55	\$ 8.000	\$ 440.000
A.4.4	Grava de granulometría <19 mm.	m3	430	\$ 10.000	\$ 4.300.000
A.4.5	Total Red Hidráulica	-	-	-	\$ 312.000
A.4.6	Suministro y transporte de vegetación	m2	475	\$ 4.000	\$ 1.900.000
Total Etapa Constructiva					\$ 19.096.000
B	OPERACIÓN Y MANTENIMEINTO	(\$/Anual)	1	\$ 1.857.500	\$ 1.857.500
PRESUPUESTO GENERAL PLANTA DE TRATAMIENTO 4					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO (\$)	P. TOTAL (\$)
A	CONSTRUCCIÓN				
A.1	Trabajos Preliminares	-	-	-	\$ 4.250.000
A.2	Pretratamiento: 1 canal de desbaste	-	-	-	\$ 1.016.000
A.3	Tratamiento primario: 1 Fosa Séptica	-	-	-	\$ 10.350.000
A.4	Tratamiento principal: 1 Humedal Artificial	-	-	-	\$ 30.683.500
A.4.1	Movimiento de tierra y nivelación de terreno	m3	940	\$ 6.000	\$ 5.640.000
A.4.2	Impermeabilización con Membrana HDPE	m2	2715	\$ 3.000	\$ 8.145.000
A.4.3	Arena de granulometría < 2mm.	m3	129	\$ 8.000	\$ 1.032.000
A.4.4	Grava de granulometría <19 mm.	m3	1004	\$ 10.000	\$ 10.038.500
A.4.5	Total Red Hidráulica	-	-	-	\$ 296.000
A.4.6	Suministro y transporte de vegetación	m2	1383	\$ 4.000	\$ 5.532.000
Total Etapa Constructiva					\$ 46.299.500
B	OPERACIÓN Y MANTENIMEINTO	(\$/Anual)	1	\$ 2.221.500	\$ 2.221.500

Figura N° 14, Presupuesto General Planta de Tratamiento Descentralizada

5. Conclusiones

La investigación y recopilación de antecedentes permitió saber que existen una mayor cantidad de viviendas conectadas a los arranques domiciliarios, ya que al no existir factibilidad para una mayor demanda de agua potable, las nuevas viviendas que se han ido construyendo últimamente se conectan de forma irregular a la red de agua existente. Por lo que se consideró el aumento de la población al momento de diseñar el humedal artificial.

La solución de cuatro humedales artificiales para resolver el problema presentado, permite una gestión descentralizada, logrando distribuir el área necesaria para el tratamiento en distintas zonas de la comuna, a donde deben llegar las aguas residuales recolectadas por un emisario que es necesario para cualquier tratamiento que se proponga con el sistema de alcantarillado actual.

La propuesta descentralizada de 4 humedales artificiales tiene un costo económico menor en la construcción del emisario, en comparación a la propuesta de un solo humedal que debe cubrir mayores distancias por el tubo evacuador aumentando los costos. En la solución diseñada de 4 sistemas de tratamiento el costo asociado a estos colectores del agua residual equivale a un 28% del coste económico total del proyecto.

El área total requerida para la construcción del sistema de tratamiento es similar para las dos propuestas realizadas, pero en el caso de los 4 humedales artificiales se puede dividir ésta área y distribuirla en cuatro zonas distintas de la comuna, ocupando terrenos municipales y privados que deben ser gestionados para su futura compra y equivalen a un 16% del costo total del proyecto.

De acuerdo a la propuesta trabajada, se tiene que los humedales de mayores dimensiones, son los proyectados para la zona 2 y 4, que al tener una gran población involucrada requieren de suficiente espacio para emplazar todos los elementos del sistema. Para el cuarto humedal artificial encargado de tratar las descargas 6 y 7, se proyecta en un terreno municipal aledaño al río Trancura. Mientras que en el caso del segundo humedal artificial, proyectado en un terreno particular, se debe gestionar la compra y adquisición de este, haciéndolo ser el más costoso de todos los humedales propuestos en el diseño.

Debido a las grandes precipitaciones de forma permanente que existen en la zona, se generan gran cantidad de escorrentías superficiales de aguas lluvias, por lo que se hace necesario la construcción de un canal perimetral en cada planta de tratamiento con el fin de evacuar las aguas lluvias y evitar la inundación de los componentes del sistema.

De los posibles impactos que se pueden generar, la mayor parte son moderados y aparecen en la etapa de construcción, lo que significa que son de carácter temporal y se puede lograr la recuperación si se han tomado las medidas preventivas adecuadas. También existen un gran número de impactos positivos, tanto para el medio ambiente, la población y el turismo que se verán beneficiados con el desarrollo de este proyecto.

6. Bibliografía

1. Ramalho R.S. (1996). “Tratamiento de Aguas Residuales”.
2. Seoáñez, M. (1999). “Aguas Residuales: Tratamiento por humedales Artificiales”.
3. Hernández, A. (2003). Manual de depuración de Uralita: Sistemas para depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20.000 habitantes.
4. Metcalf & Eddy (2003). “ Wastewater Engineering, Treatment and Reuse”
5. Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., Andrade, M. (2010). “Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.” Centro Andino para la gestión y uso del agua, Bolivia.
6. Lara, J. (1999). “Depuración de aguas residuales municipales mediante humedales artificiales”. Instituto Catalán de Tecnología. Universidad Politécnica de Cataluña, España.
7. Baca, M. (2012). “ Tratamiento de los efluentes domésticos mediante humedales artificiales para el riego de áreas verdes en el distrito de San Juan de Marcona”
8. Reed, SC, Crites R. W, Middlebrooks, (1995). “E.J, natural Systems for waste management and Treatment”, 2a Ed, McGraw-Will, INC New York.
9. Isla de Juana, R. (2005). “Proyectos de plantas de tratamiento de aguas”
10. Ferrer, J. (2008). “Tratamientos Biológicos de aguas residuales”. Universidad Politécnica de Valencia
11. Suárez, J. (2008). “Modelos de Calidad de Aguas”. Universidade da Coruña
12. Water Environment Federation, American Society of Civil Engineers, (1992). “Design of Municipal Wastewater Treatment Plants”