

Universidad del Bío-Bío

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental

Profesor Patrocinante: Pedro Cisterna Osorio.

**“DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD AMBIENTAL Y
PROPUESTA DE RECUPERACIÓN PARA LA LAGUNA
LO MÉNDEZ”**

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

ENZO NICOLÁS PEÑA LUCO.

Concepción, Septiembre de 2015.-

DIAGNÓSTICO DE LA CALIDAD AMBIENTAL Y PROPUESTA DE RECUPERACIÓN PARA LA LAGUNA LO MÉNDEZ

Autor: Enzo Peña Luco

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

enpena@alumnos.ubiobio.cl

Profesor Patrocinante: Pedro Cisterna Osorio

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

pcisterna@ubiobio.cl

RESUMEN

Las lagunas urbanas son un recurso hídrico muy importante, más si en el gran Concepción existen actualmente 5 de ellas distribuidas a lo largo del territorio. Cuidar de ellas es una tarea de todos, ya que brindan plusvalía y embellecen el lugar. Es por esta razón que el presente proyecto busca la recuperación de una laguna en particular, la laguna Lo Méndez, la cual a lo largo del tiempo ha presentado índices de eutrofización, deteriorando el hábitat del cisne de cuello negro y otras especies más. Se realizó una caracterización tanto de los afluentes como de las aguas presentes en la laguna, los cuales fueron analizados con respecto a la normativa Chilena referente a cuerpos de agua superficiales. Posterior a eso, se evaluaron 5 alternativas de tratamiento de aguas residuales, considerando tecnologías ecológicas y de bajo coste, en base a criterios técnicos, sociales, económicos y medioambientales. Se agregó un valor adimensional a cada parámetro considerando su importancia según las necesidades y requerimientos de la laguna Lo Méndez.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se obtuvo que la mejor alternativa era la implementación de un humedal artificial, el cual fue diseñado de forma preliminar teniendo en cuenta aspectos como sus componentes, sus dimensiones y el rendimiento asociado a los principales parámetros del agua (Fósforo, Nitrógeno, DBO y Coliformes fecales).

Palabras Clave: Laguna urbana, Humedal artificial, Tratamiento de aguas residuales.

13.147 Palabras Texto + 17 Figuras*250 + 15 Tablas*300 = 21.897 Palabras Totales.

ABSTRACT

Urban lagoons are an important water resource, especially if in the great Concepcion there are currently 5 are distributed throughout the territory. Caring for them is a task for everyone as they provide added value and beautify the place. It is for this reason that this project seeks recovery of a lagoon in particular, Lo Mendez lagoon, which over time has presented rates of eutrophication, damaging the habitat of black-necked swans and other species.

A characterization both tributaries as water present in the lagoon was made, which were analyzed with respect to the Chilean regulations relating to surface water. Following that, five alternative wastewater treatment were evaluated, considering ecological and low-cost technologies, based on technical, social, economic and environmental criteria. A dimensionless value for each parameter was added considering its importance according to the needs and requirements of the lagoon The Mendez.

According to the results, it was found that the best alternative was the implementation of an artificial wetland, which was designed preliminarily taking into account aspects such as components, dimensions and performance associated with the main parameters of water (Phosphorus, nitrogen, BOD and fecal coliform).

Keywords: Urban lagoon, artificial wetland, wastewater treatment.

INDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Contexto.....	1
1.2. Justificación del Tema	1
1.3. Alcances.....	1
1.4. Objetivo General	2
1.5. Objetivo Específico	2
CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Objetivo	3
2.2. Método de Búsqueda	3
2.3. Resultados	4
CAPÍTULO III: ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	7
3.1. Hidrología	7
3.1.1. Cuenca Hidrográfica.....	8
3.1.2. Caudal de Diseño.....	8
3.1.2.1. Método Racional	9
3.1.2.2. Coeficiente de Escorrentía	9
3.1.2.3. Tiempo de Concentración	10
3.1.2.4. Curvas IDF.....	11
3.1.3. Balance Hídrico	13
3.1.3.1. Precipitación.....	14
3.1.3.2. Evapotranspiración	14
3.1.3.3. Caudal de Escorrentía	15
3.1.4. Tiempo de Residencia.....	16
3.2. Tratamiento de Agua Residual.....	17

3.2.1.	Alternativas de tratamiento de Aguas Residuales	17
3.2.1.1.	Tratamiento por Lagunaje	17
3.2.1.2.	Biodiscos	17
3.2.1.3.	Filtro Percolador	18
3.2.1.4.	Humedales	18
3.3.	Humedal Artificial	18
3.3.1.	Funciones Básicas	19
3.3.2.	Tipos de Humedal Artificial	19
3.3.3.	Componentes	20
3.3.4.	Modelo de Diseño	20
CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN LAGUNA LO MÉNDEZ		22
4.1.	Ubicación geográfica	22
4.2.	Situación Actual de la Laguna	23
4.2.1.	Contaminación Visual	23
4.2.2.	Zonas Ribereñas	23
4.2.3.	Flora y Fauna	24
4.2.4.	Fuentes Puntuales de la Laguna	25
4.3.	Uso del suelo	26
4.3.1.	Plan Regulador	27
CAPÍTULO V: ESTUDIO DE BASE		28
5.1.	Topografía	28
5.2.	Geomorfología	29
5.2.1.	Morfometría	29
5.2.2.	Batimetría	29
5.3.	Calidad del Agua	30
5.3.1.	Indicadores de Contaminación del Agua	31

5.3.2.	Muestreo Laguna Lo Méndez.....	31
5.3.3.	Muestreo afluentes laguna Lo Méndez	32
5.3.3.1.	Muestreo 2011	33
5.3.3.2.	Muestreo 2015.....	34
5.4.	Hidrología	34
5.4.1.	Plan Maestro de Aguas Lluvia	35
5.4.2.	Cuenca Hidrológica	36
5.4.3.	Balance Hídrico	38
5.4.3.1.	Factores	38
5.4.3.2.	Caudal de Escorrentía	39
5.4.3.3.	Evapotranspiración	40
5.4.3.4.	Estimación balance hídrico	40
5.4.4.	Tiempo de Residencia.....	41
5.4.5.	Caudal de Crecida.....	41
5.4.5.1.	Consideraciones Generales	41
5.4.5.2.	Coeficiente de Escorrentía	42
5.4.5.3.	Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia	43
5.4.5.4.	Tiempo de Concentración	44
5.4.5.5.	Cálculo Caudal de Crecida.....	45
5.4.6.	Caudal de diseño.....	45
CAPÍTULO VI: DIAGNÓSTICO		46
6.1.	Caracterización Limnológica	47
6.2.	Normativa Vigente	48
6.3.	Calidad del Agua para Diferentes Usos.....	48
6.4.	Estado Trófico	49
6.5.	Situación Local.....	50

CAPÍTULO VII: PROPUESTA DE RECUPERACIÓN	51
7.1. Evaluación de Alternativas	51
7.1.1. Criterios de Selección	51
1. Criterios Técnicos.....	52
2. Criterios Económicos.....	52
3. Criterios Medioambientales	52
7.1.2. Orden de Importancia	52
7.1.3. Selección Sistema de Tratamiento.....	53
7.2. Humedal Artificial.....	54
7.2.1. Ubicación	54
7.2.2. Agua residual.....	55
7.2.3. Vegetación.....	55
7.2.4. Rendimiento Asociado.....	55
7.2.5. Pre-Diseño	57
7.3. Trabajos Complementarios	57
7.3.1. Limpieza de Alrededores	58
7.3.2. Remoción de Material Contaminante	58
7.3.3. Propuesta de integración	58
CAPITULO VIII: CONCLUSIONES	59
CAPITULO IX: RECOMENDACIONES	61
CAPITULO X: BIBLIOGRAFIA	62
ANEXO.....	Error! Bookmark not defined.

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Clasificación Material bibliográfico.	5
Figura 2. Primer Mapa Batimétrico, Laguna Lo Méndez (Ramírez 1966).	5
Figura 3. Ubicación Geográfica de la Laguna Lo Méndez.	22
Figura 4. Visualización de especies en la laguna.	24
Figura 5. Flora presente al interior de la laguna Lo Méndez.....	25
Figura 6. Imagen Satelital de la Ubicación Fuentes Puntuales de la Laguna.	26
Figura 7. Zonificación según Plan Regulador de la ciudad de Concepción.	27
Figura 8. Batimetría Laguna Lo Méndez (2011). Fuente: EULA-Chile.-	30
Figura 9. Muestras efluentes laguna Lo Méndez (2015).....	34
Figura 10. Laguna Lo Méndez según PMALL de Concepción.	35
Figura 11. Cuenca Laguna Lo Méndez adjunta al PMALL de Concepción.	37
Figura 12. Precipitación y temperatura media de Concepción.	39
Figura 13. Balance hídrico laguna Lo Méndez.....	40
Figura 14. Curvas IDF con duración mayor a 1 hora.....	44
Figura 15. Curva IDF con duración menor a 1 hora.	44
Figura 16. Rendimiento estimado humedal artificial Lo Méndez.	56
Figura 17. Vista en planta humedal proyectado y post-construcción	57

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Evolución Histórica de las Propiedades Morfométricas, Laguna Lo Méndez.-	6
Tabla 2. Evolución del estado trófico de la Laguna Lo Méndez.....	6
Tabla 3. Descripción Fuentes Puntuales, Laguna Lo Méndez.	26
Tabla 4. Indicadores que Influyen en el Nivel Trófico.	31
Tabla 5. Muestreo año 2011 Laguna Lo Méndez, EULA Chile.....	32
Tabla 6. Muestreo año 2011 Entradas Laguna Lo Méndez, EULA Chile.	33
Tabla 7. Caudales medios de los efluentes de la laguna Lo Méndez.....	33
Tabla 8. Coordenadas entradas y salidas oficiales según PMALL de Concepción.	35
Tabla 9. Coeficientes de duración y frecuencia para la ciudad de Concepción.	43
Tabla 10. Caudal de crecida asociado a diferentes períodos de retorno.	45
Tabla 11. Caracterización Limnológica Laguna Lo Méndez.	47
Tabla 12. Estado trófico según diferentes parámetros.	49
Tabla 13. Estado Trófico de diferentes lagos y lagunas de Chile.....	50
Tabla 14. Asignación de Importancia a Parámetros.	53
Tabla 15. Asignación puntaje a propuesta de recuperación.	53

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto

La ciudad de Concepción, constituida por 5 lagunas urbanas, 2 humedales naturales y los ríos Bío-Bío y Andalién, está emplazado en la región del Bío-Bío. Ha sido conocida a lo largo del tiempo por este rico patrimonio hídrico, tema que hoy en día es motivo de preocupación por el deplorable estado de sus lagunas.

Lo Galindo, Lo Méndez, Lo Custodio, Tres Pascualas y la Laguna Redonda han presentado durante los últimos años niveles tróficos que llaman a la preocupación y el accionar de las entidades pertinentes. En el presente proyecto de título se abordará la laguna Lo Méndez, sus niveles de contaminación y medidas de mitigación.

1.2. Justificación del Tema

Las lagunas urbanas de Concepción constituyen un patrimonio hídrico natural sumamente importante, ya que en ellas se desarrolla un ecosistema único y existe una alta biodiversidad, además, son lugares que invitan a la recreación de la población, el esparcimiento familiar, embellecen la ciudad y le brindan plusvalía al entorno, entre otras cualidades.

En los últimos años se han visto deterioradas por efecto del creciente aumento de la población, sumado a deficientes mantenciones por parte de las entidades correspondientes y malas prácticas como la descarga y acopio de basura o intervenciones físicas, dentro o en los alrededores de éstas. Es por esto que es de vital importancia la necesidad de recuperar y preservar a lo largo del tiempo estos elementos tan importantes tanto para la ciudadanía como para el ecosistema.

1.3. Alcances

El presente proyecto de título busca hacer un diagnóstico de los niveles de contaminación presentes en la laguna Lo Méndez. Mediante una recopilación de antecedentes históricos de las características, propiedades y parámetros que definen a la laguna, se medirá la evolución que ha tenido Lo Méndez a lo largo del tiempo y cómo han influido en la calidad que hoy en día presenta.

En base al nivel trófico que sea determinado se buscará cual será el sistema de tratamiento más adecuado para depurar las aguas, teniendo como base un enfoque ecológico y de bajo coste y maximizando los beneficios para la población y la laguna.

1.4. Objetivo General

- Determinar la calidad de las aguas de la laguna Lo Méndez y proponer, en base a los resultados obtenidos, un sistema de recuperación ambiental.

1.5. Objetivo Específico

- Realizar un levantamiento de todos los afluentes presentes y también de la calidad de las aguas de la laguna Lo Méndez en base a la información existente.
- Analizar la información recopilada en base a la normativa ambiental vigente.
- Evaluar las distintas alternativas de recuperación para lagunas que existen actualmente, considerando aspectos técnicos, sociales y medioambientales.
- Proponer un sistema adecuado de recuperación para la laguna de acuerdo a sus necesidades y requerimientos.

CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La recopilación de información bibliográfica es la primera etapa de este proyecto, esta permitirá obtener información de la laguna, antecedentes teóricos para el cálculo de valores, trabajos realizados en otras localidades y también información complementaria que será importante para realizar este proyecto con éxito.

De esta forma, a continuación se detallará la metodología utilizada para la búsqueda de información así como también los resultados obtenidos, ya sean antecedentes e información histórica, solo referentes a la laguna Lo Méndez. Por último se define que la información teórica recopilada en este capítulo y que permitirá llevar a cabo los cálculos para este proyecto será detallada en el siguiente capítulo.

2.1. Objetivo

El objetivo de la búsqueda de información bibliográfica es crear una base de datos que contenga información histórica relevante referente a la Laguna Lo Méndez así como también de estudios similares realizados en otras lagunas urbanas de Chile y el Mundo e información complementaria que será utilizada para realizar y estimar algunos parámetros relevantes al proyecto.

2.2. Método de Búsqueda

La búsqueda de información bibliográfica se realizó mediante plataformas de información que están a disposición para los alumnos de la Universidad del Bío-Bío. Estas plataformas permitieron obtener información relevante al tema en estudio y la laguna Lo Méndez y antecedentes teóricos referentes al área de hidrología y sistemas de tratamiento de aguas residuales.

- EBSCO
- Scielo
- ISI Web of Science
- ScienceDirect
- Scholar Google

Para la búsqueda de información en las plataformas antes mencionadas fue necesario realizar un listado con palabras claves referentes al tema del proyecto de Título, en donde también se agregó la traducción al inglés para una búsqueda más amplia.

- Laguna Urbana– *Urban Lagoon*
- Lo Méndez – *Lo Mendez*
- Humedal Artificial – *Artificial Wetland*
- Eutrofización – *Eutrophication*
- Calidad del Agua – *Water Quality*
- Hidrología – *Hydrology*
- Cuenca Hidrográfica - *Watershed*
- Sistema de Depuración – *Purification System*
- Tratamiento de Aguas Residuales – *WasterWater Treatment*

2.3. Resultados

Se recopilaron 51 documentos sobre la laguna Lo Méndez, otras lagunas urbanas en el territorio nacional y estudios y tratamientos de depuración de aguas residuales urbanas a nivel internacional. Del material disponible, un 47% corresponden a material nacional, un 30% corresponde a estudios y artículos realizados en España y Estados Unidos, en donde la utilización de humedales artificiales para la depuración de aguas residuales es utilizada con mucha frecuencia, estando a la vanguardia con estas tecnologías verdes.

Se elaboró una base de datos que reúne información desde el año 1966 hasta el último estudio realizado en la laguna el año 2011 por EULA Chile. Basándose en el material recopilado, se considera que existe escasa información científica sobre el cuerpo lacustre. La mayor cantidad de estudios realizados a la laguna datan de la década del 70' y 80'. Posteriormente, se realizaron estudios aislados, dejando un vacío de información hasta hace pocos años atrás.

Tras realizar la búsqueda de información a través de las plataformas antes mencionadas se recopilaron antecedentes y archivos de varios tipos y diferentes países, ésta información fue clasificada de acuerdo a su tipo y procedencia. La figura 1 muestra la clasificación realizada a la información obtenida, en donde existe un predominio de información por parte de España en cuanto a sistemas de depuración ecológicos de agua residual.

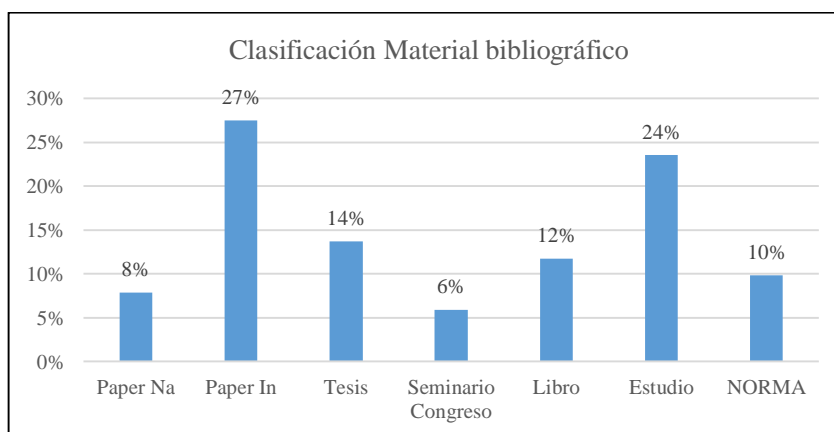


Figura 1. Clasificación Material bibliográfico.

Dentro del material bibliográfico obtenido, se recopiló información relevante a la laguna y estudios que datan desde 1966, año en que Ramírez (Ramírez, 1966) realizó un estudio limnológico en las lagunas Redonda y Lo Méndez. En ese estudio se generó el primer mapa batimétrico de la laguna, el cual caracterizaba el cuerpo lacustre y permitía visualizar las profundidades existentes en ese año. En la figura 2 se presenta la batimetría generada por Ramírez en el año 1966.

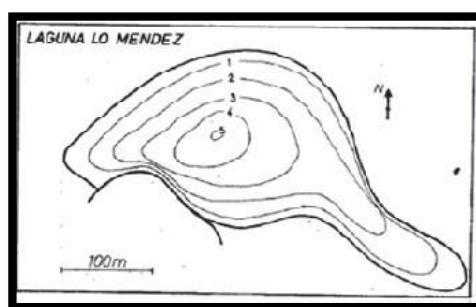


Figura 2. Primer Mapa Batimétrico, Laguna Lo Méndez (Ramírez 1966).

Además del primer mapa batimétrico generado por Ramírez (Ramírez, 1966), desde el año 1976 se empezó a considerar las propiedades morfométricas de la laguna en los estudios que eran realizados en el cuerpo lacustre, año en que Dellarossa y sus colaboradores obtuvieron la primera medición de la superficie de la laguna, siendo en ese entonces de 4,1 ha.

Desde ese año hasta el año 2011, varios autores han generado dentro de sus estudios la caracterización morfométrica de la laguna Lo Méndez. La tabla 1 resume la evolución histórica que han tenido los parámetros morfométricos que definen al cuerpo de agua.

Tabla 1. Evolución Histórica de las Propiedades Morfométricas, Laguna Lo Méndez.-

Año de Publicación	Referencia	Largo Máx. (m)	Ancho Máx. (m)	Perímetro (m)	Área Superficial (ha)	Volumen de Agua (m3)
1966	Ramírez	-	-	-	-	87.000
1976	Dellarossa <i>et al.</i>	-	-	-	4,1	-
1989	Parra <i>et al.</i>	457	196	1.120	-	87.000
2001	PMALL Concepción	-	-	-	5,9	65.000
2006	Valdovinos	457	196	.	5,4	87.000
2010	Acuña	-	-	-	-	87.000
2011	EULA-Chile	379,23	190,36	942,62	4,211	157.800

Fuente: EULA-Chile, 2011.-

Asimismo, desde el año 1976 se ha determinado el estado trófico presente en la laguna Lo Méndez, año en que Dellarossa y sus colaboradores definieron por primera vez a la laguna Lo Méndez con un nivel eutrófico.

A continuación se presenta la evolución del estado trófico en el cuerpo lacustre desde el año 1976 hasta el año 2010 realizado por varios autores.

Tabla 2. Evolución del estado trófico de la Laguna Lo Méndez.

Estado	Dellarossa <i>et al.</i> (1976)	Parra <i>et al.</i> (1989)	Parra (2009)	Acuña (2010)	Díaz (2010)
Oligotrófica					
Mesotrófica					
Eutrófica	X	X	X	X	X
Hipereutrófica					

Fuente: EULA-Chile, 2011.-

De la misma forma, en los estudios realizados a la laguna desde el año 1966, varios autores han realizado mediciones de los factores más influyentes en el estado trófico de la laguna.

Se expone en el anexo A un resumen de la evolución de dichos parámetros a lo largo del tiempo que caracterizan a las aguas de la laguna Lo Méndez. Cabe notar que dicha información fue extraída del estudio realizado por el EULA-Chile a las 5 lagunas urbanas del gran Concepción.

CAPÍTULO III: ANTECEDENTES TEÓRICOS

En el capítulo anterior se dieron a conocer los trabajos realizados para la generación de la base de datos con información útil para el desarrollo de este proyecto. De esta forma, en este acápite se detallará la información teórica que será necesaria para una mejor comprensión de los

Se comenzará exponiendo la información correspondiente a la hidrología, quizás la más relevante para este proyecto ya que en ella se explicaran términos como la cuenca hidrográfica y se presentaran los métodos para el cálculo de caudales de diseño y la estimación del balance hídrico de la cuenca correspondiente a la laguna considerando factores como la precipitación, evaporación y la escorrentía producto de las aguas lluvia.

Por otro lado, se presentara la metodología necesaria para la estimación del balance de nutrientes correspondiente a la laguna lo Méndez, considerando fuentes puntuales y difusas como elementos de aporte de nutrientes. Cabe notar que para este proyecto se consideraran al fosforo y al nitrógeno para el balance de nutrientes.

Finalmente se detallaran la información obtenida referente a los sistemas de tratamiento de aguas residuales, comenzando con la clasificación de los sistemas que fueron considerados para este proyecto que tienen un bajo costo e impacto medioambiental. Por otro lado se exponen algunos parámetros que permitirán realizar una correcta elección del sistema de tratamiento acorde con las características y el entorno de la laguna Lo Méndez.

3.1. Hidrología

La hidrología es uno de los ámbitos más importantes para el estudio de una laguna, aspectos como el caudal de diseño, el tiempo de concentración o la intensidad de la lluvia de diseño, serán abordados a continuación. Mediante la información planteada se pretende introducir en los aspectos teóricos de la hidrología que definen un análisis hidrológico de un cuerpo de agua.

Por otro lado, se consultará la información existente por parte del Ministerios de Vivienda y Urbanismo (MINVU en adelante) y el Ministerio de Obras Públicas (MOP en adelante) para el diseño de elementos hidráulicos y de drenaje necesarios en este proyecto.

3.1.1. Cuenca Hidrográfica

Se debe definir la cuenca hidrográfica con respecto a la Laguna Lo Méndez, ésta debe ser delimitada por las líneas de cumbres, comúnmente llamadas líneas de aguas, las cuales permiten identificar la cuenca teniendo en consideración que las aguas deben desembocar en la laguna, además de las aguas lluvia que son encauzadas a través de la red de colectores definida en el Plan Maestro de Aguas Lluvia de Concepción. Se identifican a continuación las principales características de una cuenca hidrográfica:

- Área de la Cuenca (A): Superficie definida por la línea de división de las aguas hasta un punto determinado de desembocadura de las aguas, en este caso, la Laguna Lo Méndez.
- Perímetro de la Cuenca (P): Longitud del contorno del área de la cuenca hidrográfica.
- Longitud Máxima (L): Es la distancia entre el punto de desagüe y el punto más alejado de la cuenca siguiendo la dirección de drenaje. Es la máxima distancia recorrida por el flujo de agua dentro de la cuenca.
- Coeficiente de compacidad (K_c): Introducido por Gravelius, representa la relación entre el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que la cuenca y se estima a través de la siguiente expresión:

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

- Factor de Forma (K_f): Fue definido por Horton (1945) como el cociente entre la superficie de la cuenca y el cuadrado de su longitud:

$$K_f = \frac{A}{L^2}$$

3.1.2. Caudal de Diseño

Se debe realizar el cálculo del caudal de diseño correspondiente a la cuenca de la laguna para estimar la condición futura de este. De este modo se generará una aproximación de la situación futura del caudal de entrada a la laguna para el correcto diseño de los elementos de drenaje que sean proyectados en la laguna Lo Méndez.

3.1.2.1. Método Racional

Para el cálculo del caudal de diseño de la cuenca de la laguna se propone el método racional, éste método fue propuesto por Mulvaney en 1950 y ha tenido bastante aplicación para estimar el caudal de diseño en cuencas urbanas y rurales pequeñas. Es aquí en donde existen limitaciones, las cuales se presentan a continuación (Manual de carreteras Volumen N°2, 2013):

- Área Cuenca hidrográfica $< 15 \text{ km}^2$
- Cuencas urbanas o rurales con alta impermeabilidad

Teniendo en cuenta lo anterior, y considerando que la cuenca de la laguna Lo Méndez es de tipo urbana con un área superficial menor a 1.500 hectáreas y altamente impermeable debido su alto grado de urbanización, es posible estimar el caudal de diseño para la cuenca hidrográfica mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{C \times i \times A}{3,6}$$

Ecuación 1.

Donde:

- Q = Caudal en m^3/s
- C = Coeficiente de Escorrentía
- i = Intensidad de la lluvia de diseño en mm/hr
- A = Área portante de la cuenca en km^2

3.1.2.2. Coeficiente de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía indica la proporción de la lluvia total que participa directamente en el escurrimiento, el resto de la precipitación queda detenida en las depresiones, moja el suelo, se infiltra o se evapora (MINVU, 2005).

Para la estimación del coeficiente de escorrentía se pueden utilizar dos métodos dependiendo del tipo de zona a estudiar, los cuales se presentan a continuación:

- Zonas Urbanizadas

Para zonas ya urbanizadas se deben utilizar los valores propuestos en el Plan Maestro de Aguas Lluvia respectivo a la zona de estudio. Cabe notar que se pueden obtener valores promedio para zonas amplias en donde éstos no sean representativos del lugar. Los valores propuestos por el Plan Maestro de Aguas Lluvia para zonas urbanizadas se muestran en la Tabla C-1 correspondiente al anexo C de este proyecto.

- Zonas de Nueva Urbanización

Para el caso de las zonas de nuevas urbanizaciones se debe estimar un coeficiente ponderado considerando las superficies presentes según el tipo de ocupación del suelo, estimando cada una de las áreas para los siguientes tipos de ocupación del suelo con los coeficientes de escurrimiento que se presentan en la tabla C-2 del anexo C de este proyecto.

3.1.2.3. Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración se puede definir como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de la superficie de la cuenca contribuyan simultáneamente al caudal recibido en la salida, considerado desde el inicio de una tormenta de intensidad uniforme. Efectivamente, si el tiempo es un poco menor, cuando lleguen las gotas caídas en los puntos más alejados, la superficie próxima a la salida ya no está aportando escorrentía (Sánchez 2012).

Existe un interés práctico en el conocimiento del tiempo de concentración ya que al seleccionar tormentas de duraciones mayores al tiempo de concentración, se asegura que la superficie aportante es la máxima. Por lo tanto, si se considera la intensidad máxima de la tormenta concentrada al inicio, se garantiza la obtención del caudal máximo a la salida, siendo éste relevante para el dimensionamiento de elementos de conducción o transporte (MINVU 2005).

Se recurre a las fórmulas empíricas propuestas por el MINVU considerando la cuenca en estudio como cuenca de tipo urbana y teniendo en cuenta un alto porcentaje de superficie impermeable. Considerando el tipo de escurrimiento, se presentan las siguientes relaciones empíricas:

- Cuencas urbanas relativamente planas, formadas por patios, estacionamientos, parques, techos, calles, etc.

$$T_c = 7 \frac{L^{0,6} n^{0,6}}{I^{0,4} S^{0,3}}$$

Ecuación 2.

- Para cunetas, colectores y cauces en general relativamente anchos.

$$T_c = \frac{1}{60} \left(\frac{L_1 n}{h^{2/3} S^{1/2}} \right)$$

Ecuación 3.

Donde:

- T_c = Tiempo de concentración, en minutos.
- L = Longitud del escurrimiento superficial, en metros.
- L_1 = Longitud del cauce, en metros.
- S = Pendiente, en metros por metro.
- I = Intensidad de la lluvia, en mm/hr .
- h = Altura media del escurrimiento en planos o cauces, en metros.
- n = Coeficiente de rugosidad de Manning de la superficie, según valores de la Tabla C-3 adjunta en el anexo C de este proyecto.

3.1.2.4. Curvas IDF

Las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia representan la variación de la intensidad de la lluvia de distintas duraciones, asociadas a diferentes probabilidades de ocurrencia o período de retorno T , las cuales son necesarias para estimar indirectamente el escurrimiento proveniente de cuencas pequeñas y con alta impermeabilidad en función de la lluvia caída, la cual puede tener una duración de entre 5 minutos a 24 horas. Para determinar estas curvas se necesita contar con registros pluviográficos de lluvia del lugar en estudio y seleccionar la lluvia más intensa de diferentes duraciones en cada año (Santana y Quijada 2007). Cuando no se cuenta con los datos pluviográficos del lugar, las curvas IDF se pueden estimar a través de las siguientes expresiones dependiendo de la duración de la lluvia:

1. Lluvia caída en 24 horas.

$$P_t^T = KCD_t CF_T P_{24}^{10}$$

Ecuación 4.

Donde:

- P_t^T : Precipitación con período de retorno T en años y duración t en horas.
- K es el factor de corrección de la lluvia máxima en 24 horas versus la lluvia máxima diaria (promedio ponderado desde la IV – X región), con $K = 1.1$.
- CD_t : Coeficiente de duración según estación Pluviográfica.
- CF_T : Coeficiente de frecuencia según estación Pluviográfica.
- P_{24}^{10} : Precipitación con período de retorno de 10 años y una duración de 24 horas.

En consecuencia, la lluvia con período de retorno T años y duración t horas puede ser estimada como el producto de 1,1 veces la lluvia diaria con 10 años de período de retorno multiplicada por los coeficientes de duración y frecuencia representativos de la zona de interés (Manual de Carreteras Volumen N°3). La expresión anterior es válida para lluvias de 1 a 24 horas de duración.

2. Lluvia caída con una duración menor a 1 hora (Bell).

$$P_t^T = (0.54t^{0.25} - 0.50)(0.21 \ln T + 0.52)P_1^{10}$$

Ecuación 5.

Donde:

- P_t^T : Precipitación con período de retorno T en años y duración t en horas.
- $\ln T$: Logaritmo natural del período de retorno.
- P_1^{10} : Precipitación para un período de retorno de 10 años y una duración de una hora.
- t: Duración de la lluvia, expresada en minutos.
- T: Período de retorno, expresado en años.

La expresión anterior permite estimar la precipitación para duraciones que fluctúen entre 5 minutos y 2 horas, la cual fue expuesta por Bell (Bell, F.C. 1969. Generalized Rainfall-Duration-Frequency Relationships. Journal of Hydraulics Division of ASCE, 95 N° HY1, 311-327) y corroborada para Chile (Espíldora B. “Estimaciones de Curvas IDF mediante Coeficientes Generalizados”, Coloquio Nacional, Soc. Chilena de Ing. Hidráulica, Santiago. 1971). Una vez determinada la precipitación para una duración de tiempo t y un período de retorno T, el MOP (MOP, 2010) sugiere que la intensidad de la lluvia se calcula mediante la siguiente expresión:

$$I_t^T = \frac{P_t^T}{(t/60)}$$

Ecuación 6.

Donde:

- I_t^T : Intensidad con período de retorno T en años y duración t en horas.
- P_t^T : Precipitación con período de retorno T en años y duración t en horas.
- t: duración de la tormenta, expresada en horas.

3.1.3. Balance Hídrico

Se considera al balance hídrico como el equilibrio entre las variables de entrada, las variables de salida y las variaciones del sistema considerado. Conforme al principio de conservación de masa, se aplica la ecuación de transporte de Reynolds para unidad de masa ($\beta=1$):

$$\frac{dM}{dt} = \iiint_{\forall.C} \rho * d\forall + \oint_{S.C} \rho * V * ds$$

Donde:

- M: Masa total del sistema.
- $\forall.C$: Volumen de control.
- S.C: Superficie o fronteras del volumen de control.
- $V * ds$: Flujo a través de la superficie.

Si la masa total del sistema M permanece invariable en el tiempo para un determinado volumen de control, la ecuación general del balance hidrológico es ($\rho=cte.$):

$$\frac{dS}{dt} = I - O$$

Donde:

- dS/dt : Variación de volumen de almacenamiento en el tiempo.
- I: Flujos de entrada al volumen de control.
- O: Flujos de salida del volumen de control.

Considerando una condición de régimen ($Q=I$) se tiene para un balance superficial:

$$P + Q_{entrada} + Q_{salida} + E = \Delta S_s$$

Ecuación 7.

3.1.3.1. Precipitación

La precipitación es el término que se refiere a todas las formas de humedades emanadas de la atmósfera y depositadas en la superficie terrestre, tales como lluvia, granizo, rocío o nieve (Santana y Quijada, 2007) y puede ser considerada uno de los factores más importantes en el balance hídrico (Khosravi *et al.*, 2013). Los valores de precipitación serán proporcionados por la dirección general de aguas (DGA en adelante) referentes a la ciudad de Concepción.

3.1.3.2. Evapotranspiración

La evapotranspiración (ET en adelante) es el proceso mediante el cual la superficie terrestre devuelve a la atmósfera en forma de vapor el agua que ha precipitado sobre ella a través de dos procesos: uno eminentemente físico como es la evaporación directa de la humedad del suelo y de las láminas de agua y de la transpiración, proceso biológico físico realizado por las plantas (Sánchez, 2001).

La ET representativa de una región geográfica puede ser expresada como evapotranspiración potencial (ET_p), o como evapotranspiración de referencia (ET_o), que es la forma utilizada actualmente (Trezza, 2008). La fórmula de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) para evaluar la ET_p necesita solamente datos de temperatura y radiación solar, simplificando de esta forma la estimación de este parámetro a partir de la siguiente expresión:

$$ET_p = 0,0135(t_{med} + 17,78) \times R_s$$

Ecuación 8.

Donde:

- ET_p : Evapotranspiración potencia diaria, en *mm/día*.
- t_{med} : Temperatura media, °C.
- R_s : Radiación solar incidente, convertida en *mm/día*.

Para obtener la radiación solar incidente, Samani (Samani, 2000) propone la siguiente formula:

$$R_s = R_0 * KT * (t_{m\acute{a}x} - t_{m\acute{i}n})^{0,5}$$

Ecuación 9.

Donde:

- R_s : Radiación solar incidente, convertida en *mm/día*.
- R_0 : Radiación solar extraterrestre, tabulada.
- KT : Coeficiente adimensional
- $t_{m\acute{a}x}$: Temperatura diaria máxima, en °C.
- $t_{m\acute{i}n}$: Temperatura diaria mínima, en °C.

Para el coeficiente KT , Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) recomienda $KT = 0,162$ para regiones interiores y $KT = 0,19$ para regiones costeras. Para evaluar la radiación solar extraterrestre, R_0 , se utilizaron las tablas adjuntas en el anexo de este proyecto, las cuales fueron propuestas por Allen y sus colaboradores (Allen et al., 1998).

3.1.3.3. Caudal de Escorrentía

El caudal de escorrentía es el caudal resultante de la escorrentía superficial, la cual se produce cuando la intensidad de la lluvia es mayor que la capacidad de infiltración del suelo o la superficie. De esta forma, una parte de la precipitación será encauzada a través de la pendiente de la cuenca hasta desembocar en un cuerpo de agua (Khosravi *et al.*, 2013). La determinación de la escorrentía como resultado de la precipitación es uno de los factores más importantes en el análisis de recursos hidrológicos (Horvat & Rubinic, 2006; Khosravi *et al.*, 2013).

Actualmente existen varios métodos que permiten estimar la relación entre la escorrentía superficial y la precipitación, estas relaciones suponen que la cantidad de escorrentía que fluye desde todos los puntos de la cuenca hasta un punto de concentración es la diferencia entre la precipitación y la escasez de flujo superficial anual (Khosravi *et al.*, 2013). Para este proyecto se utilizará la siguiente formula desarrollada por Turc (Turc, 1954) para cuencas con un área menor a 300 km^2 en base al resultado de 254 cuencas con diferentes climas y condiciones climáticas:

$$D = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P}{LT}\right)^2}}$$

Ecuación 10.

Con

$$LT = 300 + 25T + 0,05T^3$$

$$R = P - D$$

Donde:

- P : Precipitación anual, en cm .
- T : Temperatura media, en $^{\circ}C$.
- D : escasez de flujo superficial, en cm .
- R : Escorrentía superficial anual, en cm .

3.1.4. Tiempo de Residencia

El tiempo de residencia es el tiempo promedio que una partícula de agua permanece dentro de un sistema de almacenamiento (Santana y Quijada, 2007). Es decir, es el tiempo necesario para que un cuerpo de agua renueve la totalidad de sus aguas, el cual puede ser estimado teóricamente a partir de la siguiente relación:

$$T_R = \frac{V_{laguna}}{Q_s}$$

Ecuación 11.

Donde:

- T_R : Tiempo de residencia, en días.
- V_{laguna} : Volumen de la laguna, en m^3 .
- Q_s : Caudal de salida, en $m^3/día$.

3.2. Tratamiento de Agua Residual

En la actualidad existen muchos métodos que permiten tratar aguas residuales provenientes de aguas lluvia y por la generación de residuos domésticos producto de la actividad humana. El objetivo es mitigar o eliminar los contaminantes que son atraídos por las aguas lluvias que son encauzadas a la laguna, perjudicando y deteriorando el cuerpo de agua y el entorno (Llanos, 2013). Para este proyecto en particular, se pretende generar una solución que cause el menor impacto en el medioambiente en donde se emplaza el cuerpo de agua, considerando la utilización de tecnologías ecológicas y de bajo costo.

3.2.1. Alternativas de tratamiento de Aguas Residuales

A modo de presentación, se exponen a continuación varias alternativas convencionales que permiten el tratamiento de las aguas residuales, las cuales serán evaluadas en los próximos capítulos para determinar cuál es la opción que más se acomoda con las necesidades tanto de los afluentes como del entorno de la laguna Lo Méndez.

3.2.1.1. Tratamiento por Lagunaje

Los sistemas de lagunaje consisten en embalses construidos a una profundidad variable que favorece la acción de microorganismos tales como bacterias, protozoos, algas, etc. y necesitan una gran superficie de terreno, reteniendo el agua residual el tiempo suficiente para que se lleve a cabo el proceso de purificación natural, proporcionando así el grado de tratamiento necesario (Llanos, 2013). Son una opción tecnológica para el tratamiento de aguas residuales urbanas, pero que dentro de sus principales limitaciones son al costo y la disponibilidad de terreno (Colombo, 2015)

3.2.1.2. Biodiscos

Los biodiscos se integran dentro de los procesos biológicos convencionales, el proceso es válido como elemento reductor de la materia orgánica, como elemento de nitrificación y elemento de desnitrificación (Llanos, 2013). El agua residual comienza a distribuirse, generando una biomasa que se encuentra fija en la superficie de discos, los cuales están dispuestos en serie, girando a una baja velocidad (1,5 rpm) y sumergiéndose parcialmente en el agua un 40% (Ramalho, 1996).

3.2.1.3. Filtro Percolador

El filtro percolador consiste en un relleno cubierto de limo biológico por medio del cual el agua residual es percolada. Su estructura está formada por lechos que van de 1 a 12 m de profundidad, entre los que se pueden encontrar los rellenos de roca, clinker o materiales sintéticos (nombres comerciales: Surfpac, Flocor, Actifil) (Ramalho, 1996; Llanos, 2013). Sin embargo, existen ciertas características que diferencian a estos tipos de lechos, por ejemplo, los lechos rellenos de roca, clinkers u otros materiales similares no pueden sobrepasar profundidades de 1 a 2,5 m; mientras que los lechos de materiales sintéticos pueden soportar profundidades entre 6 y 12 m (Ramalho, 1996).

3.2.1.4. Humedales

Los humedales son áreas que se encuentran saturadas por aguas superficiales o subterráneas con una frecuencia y duración tales, que sean suficientes para mantener condiciones saturadas. Suelen tener aguas con profundidades menores a 90 cm con plantas emergentes como espadañas, carrizos y juncos (Lara, 1999). En dichas áreas se desarrolla un ecosistema compuesto por suelo, agua, vegetación, microorganismos e invertebrados acuáticos (Llanos, 2013), reuniendo ciertas características biológicas, físicas y químicas que le confieren un elevado potencial auto depurador (Colombo, 2015).

3.3. Humedal Artificial

Los humedales artificiales o humedales construidos son sistemas complejos e integrados en los que tienen lugar interacciones entre el agua, plantas, animales, microorganismos, energía solar, suelo y aire; con el propósito de mejorar la calidad del agua residual y proveer un mejoramiento ambiental (EPA USA, 2000; Hoffmann *et al.*, 2011; Colombo, 2015).

Como se mencionó anteriormente, los humedales son sistemas de tratamiento poco profundos, con profundidades de entre 0,6 y 0,9 metros, en donde se desarrolla un ecosistema compuesto por varios elementos, en donde los contaminantes son eliminados a través de procesos que incluyen sedimentación, degradación microbiana, acción de plantas, absorción, reacciones químicas y volatilización (Llanos, 2013).

Los humedales construidos o también llamados zonas húmedas buscan imitar las condiciones óptimas de tratamiento de aguas residuales que se pueden encontrar en un humedal natural, pero tienen la capacidad de poder ser construidos prácticamente en cualquier lugar (de Azcoitia, 2008).

La importancia y trascendencia de los humedales artificiales radica fundamentalmente en que son una alternativa viable y sustentable para la depuración de aguas residuales de tipo industrial, agropecuaria y domésticas. Su implementación tiene un menor costo en comparación con los sistemas de tratamiento convencional, son amigables con el entorno paisajístico, no generan subproductos nocivos y se adaptan a las condiciones tanto climáticas como urbanas (Luna y Aburto, 2014).

3.3.1. Funciones Básicas

Principalmente, existen tres funciones básicas que hacen que los humedales tengan un atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales (Lara, 1999; Moncada, 2011), estas son:

- Establecer y fijar físicamente los contaminantes entre la superficie del suelo y la materia orgánica.
- Utilizar y transformar los elementos presentes en el agua residual a través de los microorganismos.
- Lograr niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo energético, bajos trabajos de mantención y bajos costos de construcción.

3.3.2. Tipos de Humedal Artificial

Actualmente existen dos tipos de humedales artificiales desarrollados para el tratamiento de aguas residuales, sistemas a flujo libre (FLS en adelante) y sistemas de flujo subsuperficial (FSS en adelante), los cuales se diferencian según su sistema de circulación de las aguas aplicadas (Seoáñez, 2005). En el capítulo D del anexo de este proyecto se presentan las principales características.

- Humedal artificial de flujo libre superficial
- Humedal artificial de flujo subsuperficial
 - Flujo horizontal
 - Flujo vertical

3.3.3. Componentes

Los humedales construidos consisten en el correcto diseño de una cubeta que contiene agua, sustrato, y la mayoría normalmente, plantas emergentes. Estos componentes pueden manipularse durante la construcción del humedal. Otros componentes importantes de los humedales, como son las comunidades de microorganismos y los invertebrados acuáticos, se desarrollan naturalmente con el tiempo (Lara, 1999). A continuación se presentan los principales componentes de los humedales artificiales. Cabe notar que la descripción de cada componente se encuentra en el capítulo D del anexo de este proyecto.

- Agua
- Substratos
- Vegetación
- Microorganismos
- Animales
- Realce de la estética y el paisaje

3.3.4. Modelo de Diseño

Para el diseño de humedales construidos, estos pueden ser considerados como reactores biológicos, y su rendimiento puede ser estimado mediante una cinética de primer orden de flujo a pistón para la remoción de los contaminantes (Lara, 1999; EPA USA, 2000; Mena *et al.*, 2008). Se utilizara el modelo presentado por la EPA de Estados Unidos el año 1993 para el diseño de humedales artificiales y utilizado por Lara (Lara, 1999) y Mena y sus colaboradores (Mena *et al.*, 2008), la cual utiliza la ecuación básica de los reactores de flujo a pistón:

$$C_e/C_a = e^{(-k_T*t_{RH})} \quad (1)$$

Donde:

- C_e : Concentración del parámetro en el efluente, en mg/L .
- C_a : Concentración del parámetro en el afluente, en mg/L .
- k_T : Constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura, en $día^{-1}$.
- t_{RH} : Tiempo de retención hidráulico, en $días$.

Por otro lado, el tiempo de retención hidráulico se puede determinar aplicando la siguiente ecuación:

$$t_{RH} = \frac{L * W * y * \varepsilon}{Q_a} \quad (2)$$

Donde:

- L : Largo del Humedal, en m .
- W : Ancho del Humedal, en m .
- y : Profundidad del Humedal, en m .
- ε : Porosidad o espacio disponible para el flujo del agua a través del humedal, adimensional.
- Q_a : Caudal del afluente, en $m^3/día$.

Finalmente, si se reemplaza la ecuación del tiempo de retención hidráulica (2) en la ecuación (1), se obtiene la siguiente fórmula que permite determinar el diseño de humedales artificiales:

$$A_s = \frac{Q_a * \ln(C_e/C_a)}{k_T * y * \varepsilon}$$

Ecuación 12.

Donde A_s corresponde al área superficial del humedal estimada a partir del largo y ancho del humedal ($L * W$). De esta forma se puede estimar la superficie necesaria del humedal en base a los rendimientos esperados para los diferentes parámetros.

CAPÍTULO IV: CARACTERIZACIÓN LAGUNA LO MÉNDEZ

Este capítulo abordará la caracterización de la laguna Lo Méndez, esto es, se definirán y describirán las principales características que hacen de la laguna un lugar único. Primero que todo se realizará una breve descripción de la ubicación de este cuerpo de agua según las coordenadas UTM.

A continuación se expondrán las condiciones que actualmente presenta la laguna, considerando aspectos con el grado de contaminación visual en la laguna y sus alrededores, se darán a conocer las principales especies acuáticas y aves que usan a la laguna como su hábitat así como también la flora predominante. Finalmente se analizará el Plan regulador de la comuna de Concepción para consultar las zonas presentes en los alrededores de la laguna según el uso actual y futuro del suelo. Esto se realizará en conjunto con el acápite de hidrología ya que solo se considerara las zonas contenidas en la cuenca de la laguna Lo Méndez.

4.1. Ubicación geográfica

De tipo circular-ovalada, la Laguna Lo Méndez pertenece al grupo de las 5 lagunas urbanas de la comuna de Concepción y se originó hace unos 8.000 a 6.400 años atrás debido a un proceso de tipo Fluvial-Eólico. Está situada al norte de la ciudad, en el límite de la comuna e inicio de la autopista que une Concepción y Talcahuano, en el sector de Barrio Norte. Está inmersa en un valle perpendicular a la serranía baja que se extiende entre el cerro Chepe y los cerros situados al noreste de la Laguna Lo Galindo. Lo Méndez está localizada en la zona 18 H del *Datum WGS84* (World Geodetic System del año 1984) y con coordenadas 673855,05 m E y 5925457,42 m S. La figura 3 muestra la imagen satelital de la laguna desde el programa computacional *Google Earth*.



Figura 3. Ubicación Geográfica de la Laguna Lo Méndez.

4.2. Situación Actual de la Laguna

Actualmente deteriorada por el pasar de los años, la Laguna Lo Méndez ha sufrido las consecuencias de un acelerado crecimiento poblacional en donde la demanda por terrenos va en aumento, generando de esta forma un incremento en los desechos habitacionales de los cuales muchos de ellos son vertidos en la laguna. Producto de la poca responsabilidad ambiental y nulo respeto hacia el medioambiente, provocan un daño severo hacia éste cuerpo lacustre, reflejándose hoy en día en un alto nivel trófico presente en la laguna. Se expone a continuación la situación actual que presenta este cuerpo de agua y sus alrededores.

4.2.1. Contaminación Visual

Se logró evidenciar durante las salidas a terreno realizadas en los meses de Abril, Mayo y Junio, el evidente estado de eutrofización presente en la laguna, las cuales fueron capturadas en las visitas y deja en evidencia lo antes comentado (Figura E-1 del anexo E), en donde personal de la municipalidad realiza labores de limpieza de algas crecidas en la zona costera de la laguna.

Cabe mencionar que durante la extracción de las algas desde la laguna, se constató un evidente olor a putrefacción, esto producto de los alto índices de nutrientes y contaminantes presentes en el cuerpo de agua. Además, se constató en el lugar una alta presencia de residuos sólidos en suspensión, en su mayoría envases de alcohol, ya sea vidrio, plástico, cartón o latas de cerveza, los cuales fueron localizados en las cercanías de la ribera sur de la laguna.

4.2.2. Zonas Ribereñas

Como se mencionó anteriormente, la laguna Lo Méndez está emplazada en sector Barrio Norte, a su alrededor se encuentra un barrio residencial y al norte cruza la autopista que une la ciudad de Concepción con el puerto de Talcahuano. Al suroeste de la laguna, se encuentra una pequeña cancha de futbolito, únicamente delimitada por los arcos y a los pies del cerro Chacabuco. La ribera aledaña a la cancha presenta abundante contaminación, material suspendido e incluso estancado en las zonas de baja profundidad. La zona este de la laguna está rodeada por abundante vegetación la cual presenta una mantención periódica posiblemente por parte de la municipalidad.

Continuando hacia el norte de la laguna se emplaza una pequeña plaza algo descuidada por la comunidad y personal de la municipalidad. A un costado de la plaza se encuentran dos zonas con elementos que permiten el esparcimiento y la ejercitación de los residentes de la población. (Figura E-2 del anexo E)

A partir de las imágenes adjuntas y las visitas a terreno realizadas, se constató que la zona norte de la laguna presenta mayor cuidado de sus áreas verdes, la zona sur está bastante descuidada y presenta gran presencia de desechos, dando a entender la poca conciencia de la población al igual que la poca preocupación por parte del ente municipal por recuperar las zonas costeras al cuerpo lacustre.

4.2.3. Flora y Fauna

Se confirmó en terreno el deplorable estado del que ha sido el hábitat del cisne de cuello negro, sobre todo se expone la situación existente en la zona norte de la laguna, específicamente donde está ubicado el colector N°75 según el PMALL de Concepción que encauza las aguas provenientes del sector sur del barrio residencial Lomas de San Andrés (Figura E-3 del anexo E).

Se presume que existe una gran descarga de nutrientes, ya que la población presenta índices socioeconómicos más altos que el sector Barrio Norte, y también de material sedimentario que es descargado en la zona norte de la laguna y que provoca un daño inminente en el hábitat del cisne de cuello negro, el que se ha visto reflejado en el florecimiento de plantas acuáticas características de altos niveles de eutrofización que dañan y altera el ecosistema de esta especie animal. Durante el mes de Agosto la población del lugar fue testigo del nacimiento de varias crías de esta especie, dejando entrever que se debe actuar con responsabilidad y rapidez para preservar esta especie que embellece y da vida a la laguna (Figura 4).



Figura 4. Visualización de especies en la laguna.

La laguna Lo Méndez también es el hábitat de algunas aves. El año 2002, González (2002) registró en su estudio a 9 especies diferentes de aves, dentro de las cuales durante las salidas a terreno al lugar se evidenciaron 4: *Rollandia rolland*, *Ardea alba*, *Cistothorus platensis*, *Phalacrocorax brasilianus*. Por otro lado, en la laguna se han reportado dos floraciones o blooms de microalgas (EULA-Chile 2011), la primera tuvo lugar en el año 1976 y la segunda en el año 1980. Durante la primera floración hubo un aumento de tres especies de microalgas: *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flosaquae* y *Melosira granulata*. Para el año 1980 la floración fue ocasionada por *Microcystis aeruginosa*.

Con respecto a la flora presente en la laguna, se identificaron 2 especies que abundan las aguas de este cuerpo lacustre. *Juncus Maritimus* y *Hydrocotyle Ranunculoides* son plantas acuáticas que están presentes al interior de la laguna. Llama la atención la segunda especie ya que ésta se caracteriza por hábitats con aguas estancadas o poco flujo y ambientes ricos en nutrientes, siendo un bioindicador de materia orgánica que puede llegar a crecer 25 cm por día, siendo conocida por arrasar con especies nativas y peces que habitan los lagos del oeste de Alemania (Hilt *et al.*, 2006). En la figura 5 se aprecia a las dos especies de plantas habitando las aguas de la laguna.



Figura 5. Flora presente al interior de la laguna Lo Méndez.

4.2.4. Fuentes Puntuales de la Laguna

Las fuentes puntuales son aquellas que descargan directamente en el cuerpo lacustre, éstas provienen del encauzamiento de las aguas lluvias hacia la laguna proveniente de los sectores residenciales aledaños a ésta. Se considera también la descarga que es vertida por la laguna lo Méndez hacia la laguna Lo Galindo en la zona sureste. Se muestra en la figura 6 una imagen satelital con la ubicación aproximada de los puntos de descarga puntuales hacia la laguna Lo Méndez como también el antes mencionado encauzamiento de las aguas del cuerpo lacustre hacia la laguna Lo Galindo.

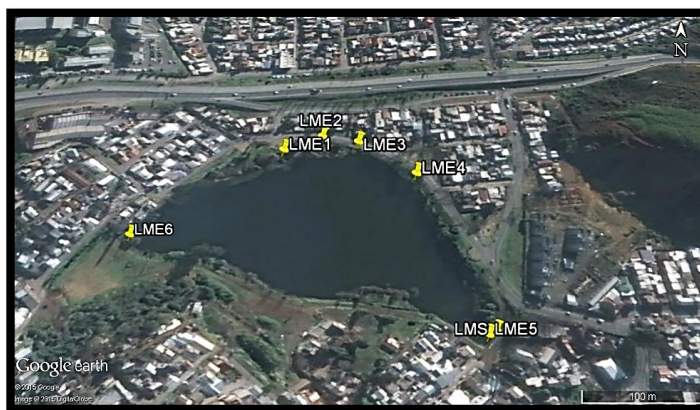


Figura 6. Imagen Satelital de la Ubicación Fuentes Puntuales de la Laguna.

Se describe a la vez, las coordenadas correspondientes a cada una de las descargas que posee la laguna según el sistema UTM Datum WGS84 para la zona 18H a la cual pertenece la laguna, las cuales son detalladas en la tabla 3 que se muestra a continuación:

Tabla 3. Descripción Fuentes Puntuales, Laguna Lo Méndez.

ID	Sentido de la Descarga	Descripción	Coordenadas UTM WGS84 18H	
			E (m)	S (m)
LME1	Entrada	Entrada de Aguas Lluvia	673813.00	5925531.00
LME2	Entrada	Entrada de Aguas Lluvia	673855.89	5925550.75
LME3	Entrada	Entrada de Aguas Lluvia	673895.64	5925541.62
LME4	Entrada	Entrada de Aguas Lluvia	673956.92	5925496.02
LME5	Entrada	Entrada de Aguas Lluvia	674006.30	5925311.78
LME6	Entrada	Entrada de Aguas Lluvia	673671.00	5925418.00
LMS	Salida	Salida de Aguas de la Laguna	674013.06	5925315.22

4.3. Uso del suelo

La laguna Lo Méndez se emplaza en el sector Santa Sabina. Con una superficie aproximada de 78 ha, el uso del suelo es de preferencia habitacional y en un menor grado destinado para áreas verdes (MOP 2001). El entorno de la laguna se encuentra constituido principalmente por áreas verdes y jardines, los cuales se encuentran rodeados por estacionamientos, calles y viviendas.

Al sur se ubica el cerro Chacabuco y al norte el sector Santa Sabina queda delimitado por el cerro Lo Galindo. A partir de imágenes satelitales y visitas a terreno, se identificaron los siguientes usos del suelo:

- Área verde sin mantención (cerros aledaños)
- Área verde con mantención (zonas ribereñas)
- Terreno Urbanizado (calles, viviendas, etc.)

4.3.1. Plan Regulador

El plan regulador es un instrumento constituido por un conjunto de normas sobre adecuadas condiciones de higiene y seguridad en los edificios y espacios urbanos, y de comodidad en la relación funcional entre las zonas habitacionales, de trabajo, equipamiento y esparcimiento (Art. N°41, Ley General de Urbanismo y Construcción). Esta herramienta permite la planificación de una ciudad para los próximos años, en donde el uso del suelo es clasificado por zonas. Se observa en la figura 7 que los suelos proyectados por el plan regulador de la ciudad de Concepción coinciden con la situación actual del entorno de la laguna, en donde se mantienen las zonas de áreas verdes y protección ecológica.

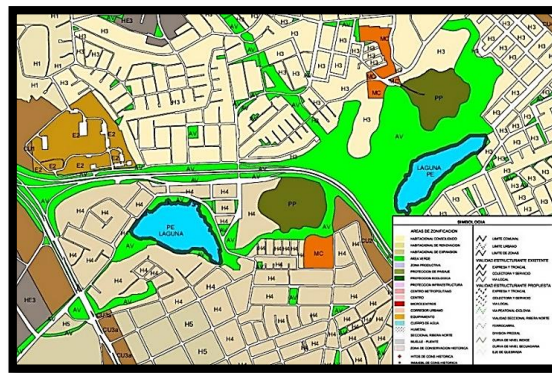


Figura 7. Zonificación según Plan Regulador de la ciudad de Concepción.

La imagen visualiza la zonificación realizada por el Plan regulador para la ciudad de Concepción, en él, se identifican las siguientes zonas según el uso de suelo para las zonas dentro del sector Santa Sabina:

- Habitacional Consolidado (H1, H3, H4)
- Áreas verdes (AV)
- Protección de Paisaje (PP)
- Protección Ecológica (PE), corresponde a la laguna Lo Méndez.
- Equipamiento

CAPÍTULO V: ESTUDIO DE BASE

En este capítulo se desarrollarán los elementos complementarios que permitirán cumplir con los objetivos planteados para este proyecto. Como primer elemento complementario se adjunta la topografía del lugar, la cual permitirá conocer con mayor exactitud el relieve presente en el lugar y además la estimación de las propiedades morfométricas de la laguna como el largo máximo o el perímetro del espejo de agua.

Por otro lado, en este capítulo también se incluyen los trabajos de muestreo realizados a los efluentes de la laguna Lo Méndez así como también el último muestreo realizado tanto a la laguna como a las fuentes puntuales, los cuales permitirán generar una caracterización limnológica mas adelante y determinar el estado trófico que presenta la laguna, además del análisis comparativo con la normativa vigente para determinar si estos cumplen con los requerimientos establecidos.

Los aspectos relacionados con la hidrología también serán analizados en este capítulo, tales como el plan maestro de aguas lluvia de la ciudad de Concepción, se determinara la cuenca correspondiente a la laguna y sus propiedades.

Tanto el caudal medio de entrada como el caudal de crecida serán calculados a continuación, así como también se realizara el balance hídrico considerando a la laguna Lo Méndez como volumen de control, teniendo en cuenta parámetros como la precipitación, la evapotranspiración y la escorrentía.

5.1. Topografía

Se procedió a realizar un levantamiento topográfico con el objetivo de describir y determinar el terreno en donde se emplaza la laguna Lo Méndez. De esta forma, la topografía permitió caracterizar la laguna y su entorno de manera de tener una mayor precisión del relieve presente en el sector de Santa Sabina. Por otro lado, durante la topografía se consideró el espejo de agua correspondiente a la laguna con el fin de estimar las propiedades morfométricas tales como su área superficial y sus dimensiones como el largo promedio y el ancho máximo.

Finalmente se consideró la topografía para determinar la cantidad de superficie disponible para la proyección del sistema de tratamiento así como también de la distribución de su relieve.

5.2. Geomorfología

Realizar un análisis geomorfológico es muy importante, ya que mediante este estudio se determinan las propiedades morfométricas y batimétricas de la laguna, esto es, área superficial, profundidad o volumen acumulado, entre otras. De esta forma se conocerá con un alto grado de certeza, todas las características de la laguna que son relevantes para un análisis hidrológico que será realizado más adelante.

5.2.1. Morfometría

La morfometría es el estudio o análisis cuantitativo de la forma y tamaño de los objetos. Si se aplica esta definición al estudio de la laguna se podría decir que en este capítulo se busca determinar de forma cuantitativa las características o propiedades físicas que definen al cuerpo de agua. De esta forma se puede definir, por ejemplo, el largo y ancho de la laguna así como también el área superficial y el volumen que ésta posee.

Considerando esto, este análisis cuantitativo permite caracterizar la laguna en cuanto a sus propiedades físicas y permitirá realizar un análisis hidrológico posterior, con el fin de determinar parámetros asociados a la hidrología que serán relevantes para este proyecto. A través de la topografía generada a la laguna Lo Méndez y sus alrededores, se logró determinar las principales propiedades morfométricas que definen este cuerpo de agua.

Mediante el programa computacional AutoCAD Civil 3d fueron cargados los datos obtenidos por la estación total en el lugar, de esta forma, se estimaron los valores de los parámetros morfométricos referentes al espejo de agua, obteniéndose un área superficial de 4,113 hectáreas y con un perímetro aproximado de 904 metros. Por otro lado, la laguna posee un largo máximo de 337 metros y su espesor máximo es de 172 metros aproximadamente.

5.2.2. Batimetría

La batimetría es el estudio del fondo marino, en donde en este caso en particular sería el estudio de las profundidades de la laguna Lo Méndez, esta información es presentada mediante cartas o mapas batimétricos. Cabe notar que tanto las características morfométricas como las batimétricas corresponden a parte de la información necesaria para llevar a cabo el balance hídrico de la cuenca

correspondiente a la laguna Lo Méndez así como también parámetros asociados a la hidrología como por ejemplo el tiempo de residencia. Para el mapa batimétrico se procedió a compartir la información entregada por el laboratorio de la Universidad de Concepción EULA-Chile, el cual desarrolló el año 2011 un estudio de las lagunas de Concepción. Se considera que no deberían existir mayores fluctuaciones en cuanto a las profundidades estudiadas ese año, por lo que se expone en la figura 8 el mapa batimétrico.



Figura 8. Batimetría Laguna Lo Méndez (2011). Fuente: EULA-Chile.-

Se aprecia en la imagen que las zonas de mayor profundidad pertenecen al sector centro-oeste de la laguna, presentando profundidades máximas entre 6,4 – 6,5 m aproximadamente, valor que disminuye de forma constante hacia las zonas costeras de la laguna. Por otro lado, se estimó en dicho estudio que la profundidad media de la laguna era de aproximadamente 1,7 metros.

5.3. Calidad del Agua

La calidad del agua es el factor más relevante a la hora de determinar el nivel trófico de un cuerpo de agua, ya que son los contaminantes presentes en ella los que van deteriorando la calidad y aumentando los niveles tróficos. Cabe mencionar que es muy importante definir los parámetros que tienen mayor incidencia en el nivel trófico, esto porque cada elemento afecta en distintas proporciones al agua. Mediante un muestreo realizado a la laguna y a los efluentes se pretende determinar, en base a la bibliografía recopilada, el nivel trófico que presenta la laguna y si los efluentes cumplen con la norma Chilena establecida.

5.3.1. Indicadores de Contaminación del Agua

Existen muchos elementos que están presentes en el agua y que modifican de alguna u otra manera sus propiedades y alteran la calidad que naturalmente posee. Pero no todos permiten cuantificar el nivel de contaminación presente, Seoáñez (Seoáñez, 2005) expone una serie de indicadores de tipo físico-químico y orgánico que influyen en el nivel trófico de un cuerpo de agua, en este caso, la laguna Lo Méndez, los cuales se presentan en la tabla 4.

Tabla 4. Indicadores que Influyen en el Nivel Trófico.

Indicadores físico-químicos	Indicadores de contaminación orgánica
Sólidos en Suspensión	Demanda Biológica de Oxígeno
Color	Demanda Química de Oxígeno
Turbidez	Nitrógeno Total
Temperatura	Fósforo Total
pH	Coliformes Fecales
Conductividad Eléctrica	Sodio
Transparencia	Potasio

Si bien existen muchos otros elementos que contaminan el agua y deterioran su calidad, éstos son los principales elementos que bajo ciertas concentraciones generan un daño tanto para los cuerpos de agua como para las especies que los habitan. Cabe notar que los indicadores expuestos anteriormente alteran de alguna u otra forma la calidad del agua, pero no todos son considerados para la estimación del nivel trófico en base a la bibliografía existente.

5.3.2. Muestreo Laguna Lo Méndez

El año 2011 se realizó un estudio de las 5 lagunas urbanas de la ciudad de Concepción por parte del laboratorio de la Universidad de Concepción EULA-Chile. En dicho estudio se realizó un muestreo de la laguna Lo Méndez considerando cuatro estaciones de muestreo distribuidas estratégicamente. En base a ese muestreo, se exponen los principales elementos presentes en el agua de la laguna considerando diferentes profundidades (Tabla 5).

Tabla 5. Muestreo año 2011 Laguna Lo Méndez, EULA Chile.

Parámetros	Unidad de Medida	UBICACIÓN MUESTREO		
		Superficie	Medio	Fondo
Transparencia		1,44		
Temperatura (°C)	°C	17,45	13,30	15,62
Turbidez	NTU	9,28	12,83	15,83
Conductividad	µS/cm	278,00	218,00	259,33
Sólidos Suspendidos Totales	Mg/L	9,33	-	18,78
Sólidos Disueltos	mg/L	169,50		163,00
Color Verdadero	Pt/Co	18,50	9,00	23,25
pH		7,78	7,60	7,53
Alcalinidad	mg CaCO ₃ /L	90,88	83,00	96,50
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	102,17		99,86
Oxígeno Disuelto	mg/L	8,56	8,03	5,91
DBO ₅	mg O ₂ /L	5,65	15,80	8,82
DQO	mg O ₂ /L	19,01	33,20	24,32
Fósforo Total	mg P/L	0,07	0,14	0,08
Nitrógeno Total	mg N/L	0,95	1,34	1,25
Sodio	mg/L	22,59		22,64
Potasio	mg/L	2,77		2,90
Calcio	mg/L	23,53		23,50
Magnesio Total	mg/L	10,23	9,24	10,10
Grasas y Aceites	mg/L	272,16		<5
Clorofila a	µg/L	31,95	20,93	51,03
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	1008,00	659,00	194,00
Coliformes Totales	NMP/100 mL	1872,00	2323,00	213,00
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	4,50	200,00	45,00
Enterococcus	UFC/100 mL	10,00	1300,00	91,00

Nota: Los valores presentados anteriormente corresponden al promedio de las cuatro estaciones ubicadas en la laguna, considerando la superficie, la profundidad media y el fondo del cuerpo de agua.

5.3.3. Muestreo afluentes laguna Lo Méndez

Otro factor importante dentro de este análisis es el agua que ingresa a la laguna a través de las fuentes puntuales previamente identificadas, ya que estas provienen de su cuenca, en donde muchas veces se generan arrastres de sedimentos e incluso hay veces en que existen descargas clandestinas de aguas residuales hacia la red de colectores. Es por esta razón que a continuación se expone el análisis realizado a los efluentes de la laguna Lo Méndez.

5.3.3.1. Muestreo 2011

Al igual que para el muestreo realizado el año 2011 por el EULA-Chile para las aguas de la laguna, se realizó un muestreo a las fuentes puntuales que aportaban agua a la laguna . De esta forma se caracterizaron las entradas en 3 ocasiones, en donde se analizaron los resultados obtenidos para los principales parámetros que alteran la calidad del agua. El primer muestreo se realizó en condición seca (sin lluvia) a la entrada LME1 y los muestreos realizados el 15 de julio y el 2 de septiembre fueron tomados con presencia de lluvia a las entradas LME1, LME3, LME4 y LME5 (Tabla N°6).

Tabla 6. Muestreo año 2011 Entradas Laguna Lo Méndez, EULA Chile.

Fecha	19-05-2011		15-07-2011		02-09-2011		
Estación	LME1	LME1	LME3	LME4	LME1	LME3	LME5
Temperatura (°C)	-	-	-	-	12,7	12,4	12,2
pH	-	-	-	-	7,02	5,56	5,86
Conductividad (µS/cm)	-	153,6	141,1	71,7	128,6	105	189,2
Turbidez (NTU)	-	148,7	-	-	129,67	373,3	29,23
Turbidez Laboratorio (NTU)	-	214	221	36	112	204	33
Alcalinidad (mg CaCO3/L)	44	46	44	20	65	79	30
Oxígeno Disuelto (mg/L)	-	11,5	14,6	12	-	-	-
DBO5 (mg O2/L)	5,7	7,9	6,9	3	6,6	8,8	5
DQO (mg O2/L)	21,4	87	70	19,4	28	39	20
Nitrógeno Total (mg N/L)	2,68	2,79	3,74	1,12	1,02	1,55	0,6
Fósforo Total (mg P/L)	0,4	0,78	1,03	0,22	0,31	0,5	0,21
Detergentes (mg SAMM/L)	-	<0,1	<0,1	<0,1	-	-	-
Grasas y Aceites (mg/L)	<5	<5	5,7	7,3	6	7,9	48,6
Coliformes Fecales (NMP/100mL)	>1.600	110.000	70.000	13.000	54.000	35.000	54.000
Coliformes Totales (NMP/100mL)	>1.600	350.000	280.000	79.000	160.000	160.000	1.600.000
Coliformes Fecales (UFC/100mL)	-	35.000	90.000	26.000	9.500	-	-
Enterococcus (UFC/100mL)	-	57.000	138.000	50.000	64.000	-	-
Índice Coli/ Enterococcus	-	0,61	0,65	0,52	0,14	-	-

En el muestreo del año 2011 se realizaron mediciones de caudales a los efluentes que presentaban aportes hacia la laguna en condición de lluvia (Tabla 7).

Tabla 7. Caudales medios de los efluentes de la laguna Lo Méndez.

Estación	Caudal (L/s)	Precipitación (mm)
LME1 - Colector N°75	233,55	
LME3 - Colector N°74	40,74	2,56
LME5	0,09	

5.3.3.2. Muestreo 2015

Asimismo, en el mes de agosto del presente año se realizó una campaña de muestreo a los efluentes de la laguna Lo Méndez considerando una condición de lluvia y no lluvia. Cabe notar que por problemas técnicos no se pudo realizar el análisis de las muestras, pero sí durante el muestreo se corroboró el análisis hecho el años 2011, en donde existe una clara diferencia en la transparencia del agua y de material en suspensión, concluyendo que en condición de lluvia se generan arrastres de sedimentos al parecer desde el cerro Lo Galindo y encauzados a través de la red de colectores (Figura 9). Por otro lado, durante la toma de muestras con presencia de lluvia se percibió un fuerte hedor del agua que ingresaba a la laguna, corroborando los elevados valores de coliformes fecales medidos el año 2011. De esta forma, y considerando los resultados del año 2011, se considera que existen descargas ilegales de aguas servidas hacia la red de colectores y encauzadas hacia la laguna.



Figura 9. Muestras efluentes laguna Lo Méndez (2015).

5.4. Hidrología

En este capítulo se analizará todo lo relacionado con la hidrología de la laguna Lo Méndez, aspectos como la cuenca hidrográfica e hidrológica, el Plan Maestro de Aguas lluvia de Concepción, o las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (curvas IDF) serán abordadas con detalle en el presente capítulo. De esta manera se busca determinar todos los parámetros relacionados con la hidrología que permiten realizar una caracterización del cuerpo lacustre y poder conocer con mayor precisión el comportamiento de la laguna y su entorno.

La precipitación también es parte importante de este capítulo, ya que es el agua de lluvia la que es encauzada por los colectores expuestos en el Plan Maestro de Aguas Lluvia y es la responsable del arrastre de sedimentos y nutrientes hacia la laguna.

5.4.1. Plan Maestro de Aguas Lluvia

El principal instrumento de planificación a nivel urbano es el Plan Maestro de Aguas Lluvias, estudio que lleva a cabo la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH en adelante), donde se desarrolla un diagnóstico de la infraestructura de evacuación de aguas lluvias existente en las ciudades y se planifican soluciones para evitar inundaciones en ellas. Además, estos estudios definen las redes primarias de cada ciudad que serán competencia del MOP.

La DOH a través del Ministerio de Obras Públicas proporcionó mediante el formato digital el Plan Maestro de Aguas Lluvia para la ciudad de Concepción correspondiente al año 2001 y el cual se encuentra vigente para el año 2015. Dentro de la información entregada por la DOH, se realizó un análisis para determinar las entradas y salidas oficiales de la laguna y la distribución de los colectores de aguas lluvia (Tabla 8).

Tabla 8. Coordenadas entradas y salidas oficiales según PMALL de Concepción.

ID	Descripción PMALL Concepción	Descripción	Coordenadas UTM WGS84 18H	
			E (m)	S (m)
LME1	Colector N°75	Entrada de Aguas Lluvia	673813.00	5925531.00
LME2	Canal de Regadío	Entrada de Aguas Lluvia	673855.89	5925550.75
LME3	Colector N°74	Entrada de Aguas Lluvia	673895.64	5925541.62
LME5	Canal de Regadío	Entrada de Aguas Lluvia	674006.30	5925311.78
LME6	Canal de Regadío	Entrada de Aguas Lluvia	673671.00	5925418.00
LMS	Colector N°104	Salida de Aguas de la Laguna	674013.06	5925315.22

Además, se presenta a continuación la visualización de los efluentes correspondientes a la laguna Lo Méndez que están definidos en el PMALL de la ciudad de Concepción y adjuntos en la plancheta de catastro N°3B.

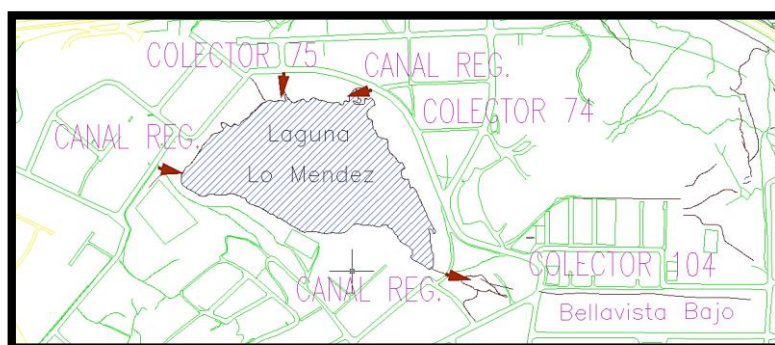


Figura 10. Laguna Lo Méndez según PMALL de Concepción.

Cabe notar que la entrada de aguas lluvia LME4 no aparece definida en las planchetas adjuntas al PMALL de Concepción. Por otro lado, según la DOH, el Plan Maestro de Aguas Lluvia de Concepción define a la laguna Lo Méndez de la siguiente forma: La laguna Lo Méndez posee una superficie de 59.000 m² y un volumen de 65.000 m³, ocupando aproximadamente el 6,0% del sector hidrológico de Santa Sabina (Sector H). Gracias a su ubicación, actúa como cuerpo receptor de aguas lluvia provenientes de los colectores N°75 y N°74 y en general recibe los aportes del sector Santa Sabina. Además, forma un sistema con la laguna Lo Galindo, pues posee un desagüe conectado a través de una canalización (Colector N°104) a dicho cuerpo de agua. Está emplazada en la zona norte de la ciudad de Concepción, en el sector de Santa Sabina (Sector H). La información topográfica está ubicada en la plancheta de catastro N°3B del PMALL.

5.4.2. Cuenca Hidrológica

Una vez que se ha definido la cuenca hidrográfica así como también las entradas y salidas oficiales que están estipuladas en el PMALL de Concepción, es necesario estimar la cuenca hidrológica de la laguna, cuenca con la cual se debe trabajar para el análisis hidrológico. Entonces, se define la cuenca hidrológica como el área geográfica que está delimitada por las líneas de agua y además se consideran todos los encauzamientos de aguas lluvia que desembocan en el punto de salida, esto es, el área que abarcan todos los colectores de aguas lluvia que canalizan sus descargas hacia la laguna Lo Méndez.

Una vez definida la cuenca hidrológica, se procedió a estudiar las plantillas adjuntas en el Plan Maestro de Aguas Lluvia de la comuna de Concepción con el fin de determinar con mayor detalle los colectores presentes en la cuenca, como se mencionó anteriormente, el colector N°74 y N°75. Ésta información permitió clasificar el área portante de la cuenca que era encauzada hacia el colector N°74, N°75 y el área de la cuenca que tiene un drenaje de forma directa hacia la laguna.

Definido lo anterior, se utilizó la información topográfica adjunta en el Plan Maestro de Aguas Lluvia de Concepción (Plancheta N°3B), la cual se encuentra actualmente vigente y que para éste tipo de análisis no presenta mayor relevancia, esto producto de la influencia que provocó el terremoto ocurrido en la zona centro-sur de Chile el año 2010. Ésta información fue analizada con el programa computacional *ArcMap V10.3* para generar la cuenca asociada a la laguna Lo Méndez. Los resultados fueron exportados a la plantilla original del MOP para su mejor comprensión, como se visualiza en la figura 11.

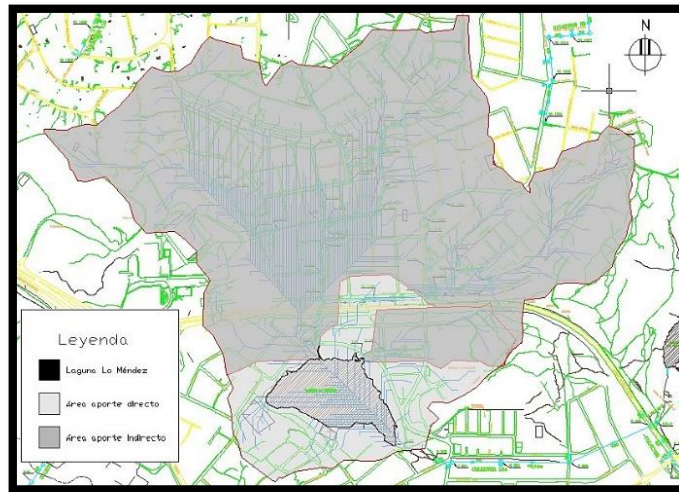


Figura 11. Cuenca Laguna Lo Méndez adjunta al PMALL de Concepción.

Una vez determinada la cuenca de la laguna, se procedió a determinar las principales propiedades morfométricas que caracterizan el área portante del cuerpo de agua, estas son:

- Área cuenca: 85,75 ha
 - Área aporte directo: 12,22 ha
 - Área aporte indirecto: 73,53 ha
- Perímetro: 4,89 km
- Lmax (cauce principal): 1.221 m
- Lb: 774 m
- Pendiente media cauce principal S: 0,041 m/m
- Pendiente media cuenca S: 0,293 m/m
- Coeficiente de compacidad Kc: 1,48
- Coeficiente de forma Kf: 0,604
- Relación área cuenca – área laguna: Rcl=20,36

Con respecto al coeficiente de forma ($K_f=0,604$), Horton (1945) clasifica las cuencas según sea el valor de dicho coeficiente, el cual para este caso en particular es de 0,604, siendo catalogada como una cuenca ensanchada ($0,6 < K_f < 0,8$). Se verifica la clasificación dada la cuenca resultante de la figura 11, teniendo relevancia este coeficiente en el caudal máximo resultante, ya que según Bell (1999) mientras mayor es el coeficiente de forma, es decir, mientras más ensanchada sea la cuenca mayor será el caudal máximo en el punto de desagüe de las aguas de la cuenca.

Por otro lado, el coeficiente de compacidad representa la relación entre el perímetro de la cuenca y el de una circunferencia de igual área, siendo el valor mínimo de K_c igual a 1, el cual corresponde a una cuenca de forma circular. A medida que K_c aumenta, mayor es la irregularidad de la cuenca y su desviación de la forma circular (Guevara y Cartaya, 1991). Con $K_c=1,44$ se considera a la cuenca de la laguna Lo Méndez no-circular y presentando una forma irregular no muy definida.

La relación entre el área de la cuenca y el área de la laguna permite determinar de forma cualitativa la interacción que existe entre la laguna y su cuenca hidrológica. Se puede estimar mediante este coeficiente la influencia que tendrían las aguas provenientes de la cuenca en el cuerpo de agua. Soto y Campos (1995) analizaron el impacto este factor en los cuerpos de agua dependiendo del tamaño de la cuenca, teniendo en cuenta esto y, considerando $Ccl=20,36$, se concluye que la laguna Lo Méndez es muy sensible al comportamiento de su cuenca.

5.4.3. Balance Hídrico

El balance hídrico corresponde al equilibrio entre los aportes y las pérdidas que existen en un sistema de control, es decir, el equilibrio entre las aguas que ingresan a la laguna y las aguas que son evacuadas, ya sea por evaporación o a través del colector N°104. De esta manera, se pretende estimar mediante métodos empíricos los ingresos y egresos correspondientes a la laguna Lo Méndez.

5.4.3.1. Factores

Para estimar el equilibrio de la laguna Lo Méndez se recurrieron a métodos empíricos indirectos que permiten estimar los elementos influyentes en la laguna. De esta forma se definieron 3 factores que influyen en el cálculo de los parámetros asociados al balance hídrico:

1. Ubicación

Para la determinación de la evapotranspiración de referencia según el método de Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985) es necesario estimar la radiación diaria extraterrestre para el lugar en estudio a través de la información tabulada por Allen y sus colaboradores (Allen et al., 1998), la cual depende de la ubicación a estudiar, considerando la latitud y si pertenece al hemisferio norte o sur.

2. Precipitación Media

El principal factor que influye en el balance hídrico es la precipitación, ya que es una parte de la lluvia que cae dentro de la cuenca de la laguna la que genera la escorrentía superficial a través de la hoya hidrográfica y es encauzada tanto de forma directa como a través de la red de colectores. La dirección general de aguas (DGA en adelante) proporciona la precipitación correspondiente a un año promedio, en base a la información histórica, para la ciudad de Concepción. Para esto se consideró la estación pluviográfica “Concepción DGA” por ser la más próxima al sector de Santa Sabina (Coordenadas UTM de 669439 m E y 5921865 m S).

3. Temperatura Media

Otro de los factores importantes es la temperatura media, ya que la temperatura influye tanto en la evapotranspiración como en la escorrentía superficial. La temperatura media correspondiente a la ciudad de Concepción fue proporcionada por la dirección de meteorología de Chile basada en la información histórica. Se adjunta a continuación la información correspondiente a la temperatura y precipitación para un año promedio para la ciudad de Concepción.

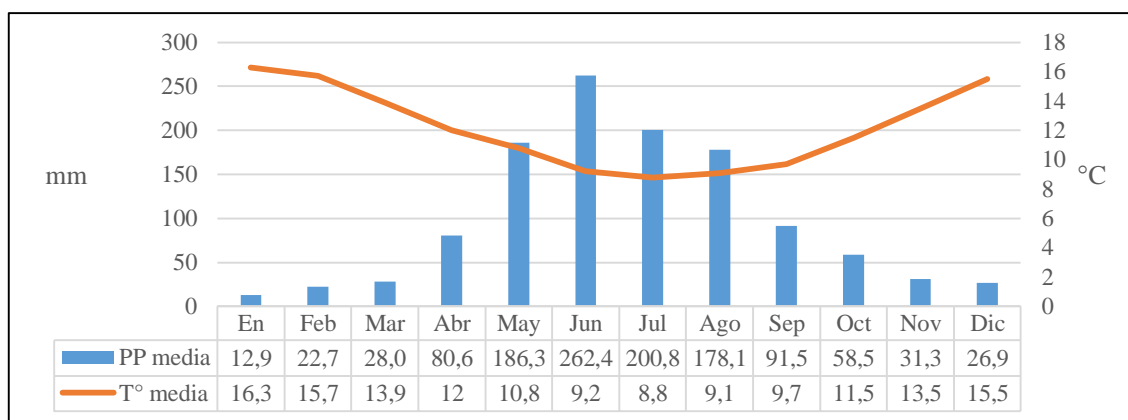


Figura 12. Precipitación y temperatura media de Concepción.

5.4.3.2. Caudal de Escorrentía

El caudal de escorrentía corresponde a un porcentaje de la lluvia caída que escurre a través de la cuenca de la laguna, la cual puede ingresar de forma directa al cuerpo de agua o a través de la red de colectores. Para la estimación del caudal de escorrentía se consideró el método propuesto por Turc (Turc, 1954) para cuencas urbanas con un área menor a 300 km² y siguiente la metodología expuesta en el capítulo 3 del presente proyecto.

5.4.3.3. Evapotranspiración

Para la evapotranspiración se procedió a utilizar el método propuesto por Hargreaves (Hargreaves y Samani, 1985), quien propone la aplicación de un método indirecto para la estimación de la evapotranspiración considerando la precipitación, la temperatura media y estimando la radiación diaria extraterrestre a través de la ubicación del lugar en estudio.

5.4.3.4. Estimación balance hídrico

Definidos los factores que influyen en la determinación del balance hídrico, así como también los parámetros que serán considerados, se procedió a calcular los valores mensuales asociado a cada parámetro considerando las condiciones meteorológicas para un año promedio para Concepción.

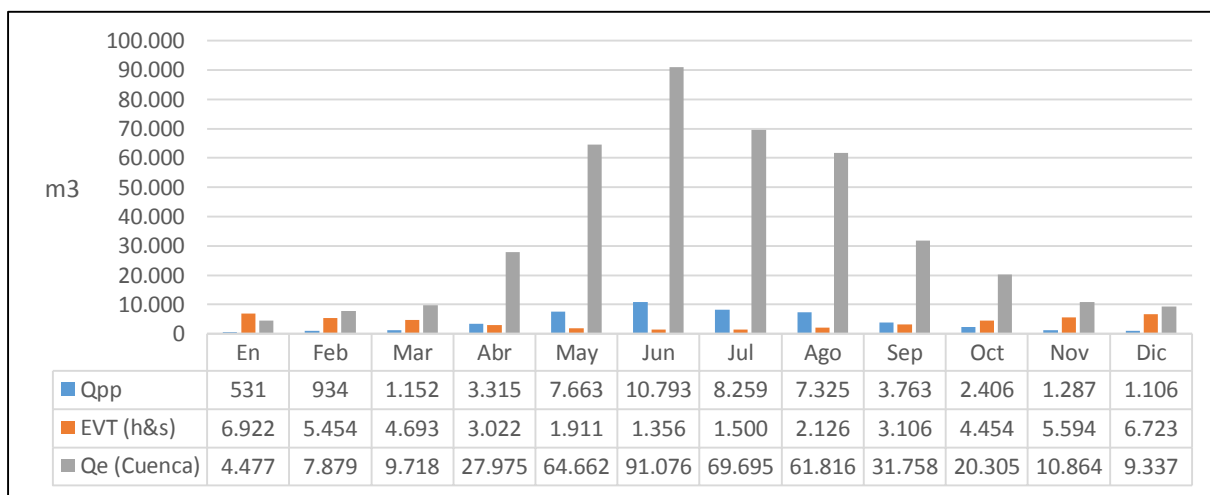


Figura 13. Balance hídrico laguna Lo Méndez.

Nota: Qpp: Caudal de precipitación; Evt: Evapotranspiración; Qe: Caudal de escorrentía.

Al observar la figura anterior se corrobora que el factor más influyente en el balance hídrico es la precipitación, ya que es esta la responsable de la escorrentía superficial a través de la cuenca de la laguna. Por otro lado, se aprecia que existe las estaciones meteorológicas están muy marcadas, generando en los meses de verano un predominio de la evapotranspiración y para los meses de invierno un aumento considerable de la escorrentía superficial producto de la precipitación.

5.4.4. Tiempo de Residencia

El tiempo de residencia es el tiempo necesario para que las aguas presentes en un cuerpo lacustre sean renovadas por completo. Este tiempo varía dependiendo del caudal total de salida y el volumen de agua presente en la laguna. Para este caso en particular existe solo una salida, la cual es a través del colector N°104 del PMALL de Concepción. Este colector permite la salida de las aguas que provienen de la laguna Lo Méndez y las encauza hacia la laguna Lo Galindo.

Considerando el balance hídrico realizado anteriormente y teniendo en cuenta que el volumen de agua contenido en la laguna Lo Méndez es de 157.800 m³, el tiempo de residencia es de aproximadamente 137 días. Este tiempo fue determinado en base a lo expuesto en el capítulo 3 referente al tiempo de residencia.

5.4.5. Caudal de Crecida

Determinado el caudal medio anual que ingresa a la laguna es preciso estimar cual será el comportamiento del caudal de entrada al cuerpo lacustre para una situación futura, ya que se debe definir la condición futura de la cuenca para el correcto diseño del sistema de tratamiento de las aguas. Por esta razón en este punto serán estimados los caudales correspondientes a la cuenca de la laguna Lo Méndez para distintos periodos de retorno.

5.4.5.1. Consideraciones Generales

Se debe proceder con precisión en los cálculos para determinar de forma correcta la situación futura de los caudales que ingresarán al cuerpo lacustre. Se definen los siguientes parámetros que serán considerados para el cálculo de los caudales de crecida correspondientes a la laguna Lo Méndez:

- El área de la cuenca permanece constante y considerando que no existen variaciones estacionales ni a través de los años, estimando un valor de $A = 85,75 \text{ ha}$.
- Considerando lo anterior, el drenaje de la cuenca tampoco debería tener variaciones, por lo que se considera una longitud máxima de escurrimiento de $L_{m\acute{a}x} = 1.221 \text{ m}$.
- Se considera la pendiente media del cauce principal $S = 0,041 \text{ m/m}$ y la pendiente media de la cuenca $S = 0,293 \text{ m/m}$.

- De la tabla C-3 del anexo C se extrajo el coeficiente de rugosidad correspondiente a la cuenca, el cual se estimó en $n = 0,015$ (Calle de hormigón y asfalto) dado que aproximadamente el 80% de la cuenca pertenece a zonas de urbanización y el escurrimiento se genera mayoritariamente a través de la red de colectores.
- Se define a $P_{24}^{10} = 137,9 \text{ mm/día}$ y $P_1^{10} = 23,56 \text{ mm/hr}$, valores que fueron extraídos del PMALL de la ciudad de Concepción.

5.4.5.2. Coeficiente de Escorrentía

Para el caso del coeficiente de escorrentía se optó por calcular un valor ponderado para la cuenca de la laguna, esto se realizó definiendo los tipos de zonas presentes dentro de la cuenca y calculando el área que éstos poseen. De esta forma se identificaron 3 zonas dentro de las que el Plan Maestro de Aguas Lluvia propone para este tipo de cálculos:

- Zonas de urbanización (Sector de condominios pareados o continuos): $c = 0,67$.
- Zona de prados y áreas con poca o nula vegetación (Sector de los cerros): $c = 0,30$.
- Zona de parques, jardines y plazas: $c = 0,17$.

Considerando los tipos de zonas existentes y mediante las salidas a terreno e imágenes satelitales del lugar proporcionadas por *Google Earth*, se procedió a estimar el coeficiente de escorrentía para la cuenca hidrológica de la laguna Lo Méndez:

$$C_{LM} = \frac{69,18 \times 0,61 + 4,35 \times 0,48 + 12,22 \times 0,5}{85,75} = 0,59$$

Se debe considerar que el lugar donde se emplaza la cuenca existe un predominio de la zona de urbanización, dejando en menor porcentaje áreas con poca o nula vegetación y solo con aproximadamente 1 hectárea de superficie las zonas de parques y jardines. Cabe notar que el Plan Maestro de Aguas Lluvia propone para la zona H del Gran Concepción (zona en donde se emplaza la cuenca de la laguna) un valor de 0,55 para el coeficiente de escorrentía, teniendo en cuenta la situación futura del lugar, por lo que se considera como aceptable el valor obtenido.

5.4.5.3. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia

Las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (Curvas IDF) permiten estimar la intensidad de la lluvia asociada a distintos períodos de retorno y duración de la tormenta de diseño. Éstas curvas serán utilizadas para determinar el caudal de ingreso para la situación futura de la laguna. Para esto se recurre al punto 3.1.2.4 del presente informe que define el procedimiento para la generación de las curvas IDF. Siguiendo esta línea, se deben definir dos coeficientes, el coeficiente de duración y el coeficiente de frecuencia que dependen del área de estudio y los cuales influyen en la duración de la tormenta y la frecuencia de ocurrencia de ésta, respectivamente.

Para este caso se presentan en la tabla 9 los coeficientes Cd y Cf asociados a la estación Pluviográfica de Concepción, los cuales fueron extraídos del Manual de Carreteras Volumen N°3 de la edición del año 2014.

Tabla 9. Coeficientes de duración y frecuencia para la ciudad de Concepción.

COEFICIENTE DE DURACION (CD)										
Estación Pluviográfica	Duración (Horas)									
	1	2	4	6	8	10	12	14	18	24
Concepción	0,19	0,30	0,39	0,48	0,56	0,64	0,70	0,76	0,90	1,00

COEFICIENTE DE FRECUENCIA (CF)								
Estación Pluviográfica	Período de Retorno (Años)							
	2	5	10	20	25	50	100	200
Concepción	0,68	0,87	1,00	1,12	1,16	1,28	1,40	1,52

Definido esto, se procedió al cálculo de las curvas IDF considerando los coeficientes de la tabla 9 y el punto 5.3.5.1 respecto a las consideraciones generales y utilizando el procedimiento explicado en el punto 3.1.2.4 Se visualiza a continuación las curvas asociadas a la ciudad de Concepción considerando distintos períodos de retorno:

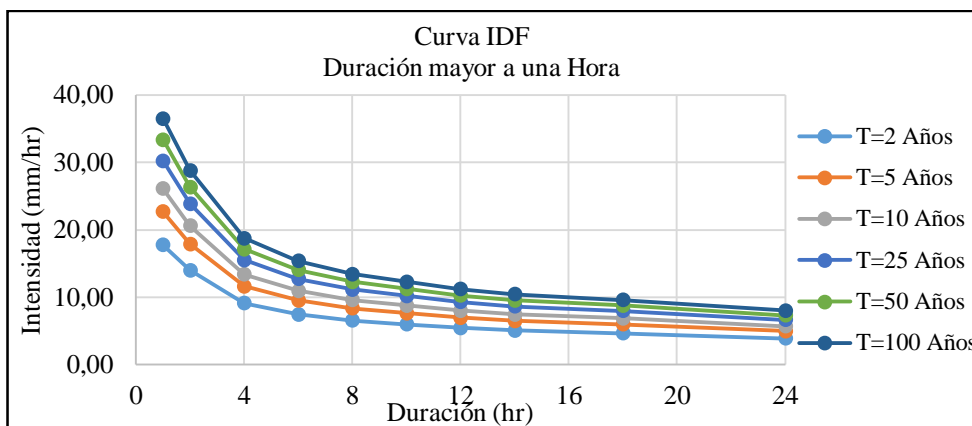


Figura 14. Curvas IDF con duración mayor a 1 hora.

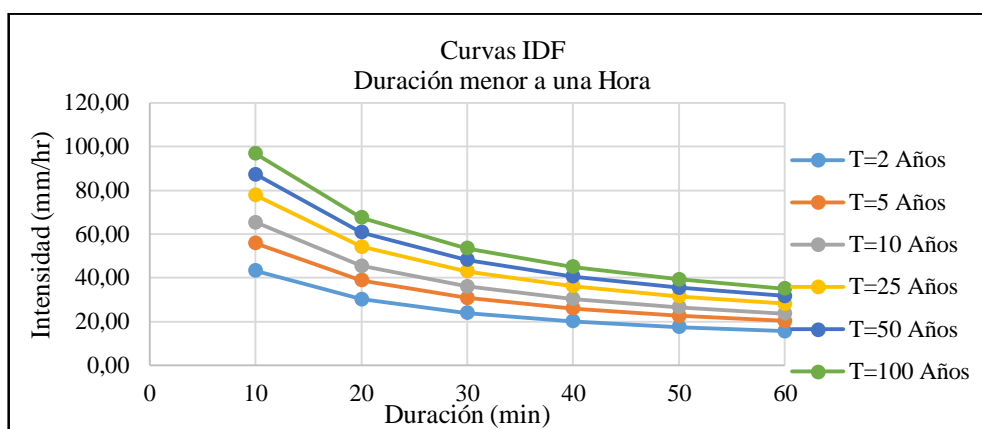


Figura 15. Curva IDF con duración menor a 1 hora.

5.4.5.4. Tiempo de Concentración

Con las curvas IDF ya calculadas y teniendo en cuenta las consideraciones generales del punto 5.3.5.1 solo falta determinar el tiempo de concentración asociado a la cuenca hidrológica de la laguna Lo Méndez. Como se explicó anteriormente, el tiempo de concentración es el tiempo que demora en desaguar la gota de agua más alejada de la cuenca, con esto se logra el máximo caudal en el punto de salida, de esta forma, si se considera el tiempo de duración de la tormenta igual al tiempo de concentración de la cuenca, se obtendrá el caudal máximo. Teniendo esto en cuenta, se utilizará la ecuación 4 del punto 3.1.2.3 para determinar el tiempo de concentración asociado a la cuenca de la laguna.

5.4.5.5. Cálculo Caudal de Crecida

Una vez definidos todos los parámetros que intervienen en la determinación de los caudales se procedió a realizar una iteración entre las fórmulas del tiempo de concentración y la intensidad de la lluvia, teniendo en cuenta que el tiempo de concentración tendrá la duración de la tormenta de diseño. Con este supuesto ya definido anteriormente se estimaron los caudales asociados a diferentes períodos de retorno y se clasificaron con respecto al caudal total de la cuenca de la laguna y el caudal de la red de colectores, que es el que aporta el mayor porcentaje de la cuenca. Los resultados se resumieron en la tabla 10 que se presenta a continuación.

Tabla 10. Caudal de crecida asociado a diferentes períodos de retorno.

Período de Retorno (Años)	Tiempo de Concentración (Min)	Intensidad (mm/hr)	Qtotal (Cuenca) (m3/s)	Q (Red de Colectores) (m3/s)
2	29	24,376	3,426	2,937
5	26	33,928	4,768	4,089
10	24	41,569	5,842	5,009
25	21	52,143	7,328	6,284
50	20	60,455	8,496	7,285
100	19	69,009	9,698	8,316

5.4.6. Caudal de diseño

Finalmente es detallado el caudal de diseño proyectado para el sistema de depuración de los afluentes de la laguna Lo Méndez, esto considerando el balance hídrico realizado anteriormente, en donde solo será considerada la escorrentía superficial. De esta forma se estima un caudal de diseño $1.122 \text{ m}^3/\text{día}$ y se aplicarán los siguientes escenarios:

- Lavado de la cuenca (25%)
- Aguas servidas descargadas ilegalmente (25%)

Si bien se estimó el caudal de diseño considerando la escorrentía superficial de la cuenca de la laguna, se determinó que un 25% de la escorrentía superficial es producto de las aguas servidas que ingresan de manera ilegal a la laguna Lo Méndez a través de la red de colectores. Por otro lado, cuando existe un acontecimiento de lluvia se estima que existe un lavado de la cuenca producto de las primeras precipitaciones, en donde se prevé que las últimas aguas lluvia encauzadas hacia la laguna sean aguas limpias y sin la presencia de material particulado y arrastre de sedimentos.

CAPÍTULO VI: DIAGNÓSTICO

El diagnóstico de la laguna busca evaluar dos puntos relevantes, estos son, determinar el estado trófico que presenta actualmente la laguna y establecer si el cuerpo lacustre es apto para el uso de deportes acuáticos o la vida de especies acuáticas, entre otros (Moncada, 2011).

De esta forma, en este capítulo se realizará un análisis de algunos de los parámetros del agua de la laguna que permiten determinar el estado trófico que presenta actualmente la laguna Lo Méndez (Smith *et al.*, 1999; DGA, 2014).

Por otro lado, en base a los antecedentes recopilados acerca de la información básica de la laguna, las propiedades morfométricas determinadas mediante la topografía realizada en el lugar y con los valores de los parámetros que deterioran la calidad del agua, se generará la caracterización Limnológica del cuerpo lacustre emplazado en la zona norte de la ciudad de Concepción.

Se consultará la actual Normativa Chilena referente a la calidad del agua tanto para aguas superficiales como para los afluentes que descargan en aguas superficiales para determinar si la calidad de agua que ingresa actualmente a la laguna Lo Méndez cumple con lo establecido en el Decreto Supremo N°90 así como también se analizará la Norma Chilena NCh1333 junto con el Decreto Supremo N°143 que definen los requerimientos mínimos necesarios para diferentes usos en aguas superficiales, con el fin de determinar si este cuerpo de agua puede ser utilizado actualmente para alguno de ellos.

Por último, se consultará el estado trófico de algunos lagos y lagunas emplazados en la Región del Bío-Bío para realizar un análisis comparativo con los valores obtenidos en la laguna Lo Méndez, esto a modo de obtener una visión más amplia acerca de situación actual de los cuerpos de agua de la región.

6.1. Caracterización Limnológica

Las propiedades morfológicas de la laguna y los parámetros físicos, químicos y orgánicos junto con la información básica del cuerpo de agua permiten generar la caracterización Limnológica de la laguna Lo Méndez (Tabla 11).

Tabla 11. Caracterización Limnológica Laguna Lo Méndez.

Información Básica	
Coordenadas UTM WGS84	673855,05 m E - 5925457,42 m S
Ubicación PMALL Concepción	Zona H (Sector Santa Sabina)
Origen	Fluvial-Eólico
Precipitación Media	1.180,1 mm/Año
Uso del Suelo (Plan Regulador)	Urbano Habitacional
Parámetros Geomorfológicos	
Altitud	26 m.s.n.m.
Ancho Máximo (m)	171,9
Largo Máximo (m)	337,0
Ancho Medio (m)	115,0
Largo Medio (m)	206,3
Perímetro (m)	904,4
Profundidad Máxima (m)	6,45
Profundidad Media (m)	1,7
Área Espejo de Agua (ha)	4,113
Volumen Acumulado (m3)	157.800
Área Cuenca (ha)	85,8
Parámetros Físico-Químicos	
Transparencia (m)	1,44
Turbidez (NTU)	12,65*
Conductividad Eléctrica (µS/cm)	251,7*
pH	7,64*
Sólidos Suspendidos Totales	14,05* (9,33** - 18,78***)
Sólidos Disueltos (mg/L)	14,1
Parámetros Orgánicos	
Demanda Biológica de Oxígeno (mg O2/L)	10,1*
Demanda Química de Oxígeno (mg O2/L)	25,51*
Oxígeno Disuelto (mg/L)	7,5*
Fósforo Total (mg P/L)	0,097*
Nitrógeno Total (mg N/L)	1,18*
Coliformes Fecales (NMP/100 mL)	620,3* (194,0** - 1008,0***)
Coliformes Totales (NMP/100 mL)	1.469,3* (213,0** - 2323,0***)

Nota:

*: Valor Promedio

** : Valor Mínimo

***: Valor Máximo

6.2. Normativa Vigente

Actualmente existen varias normas que rigen la calidad del agua. Ya sea para consumo humano o simplemente para la estética de un lago, estas normas fueron creadas con el fin de regularizar los efluentes que ingresan a los cuerpos de agua, establecer parámetros mínimos de la calidad del agua potable y requerimientos específicos con el fin de proteger y preservar la calidad de las aguas para los diferentes usos producto de la contaminación con residuos u otro origen (NCh 1333 Of.78 Mod.87). A continuación se presentan las normas que existen a la fecha de este proyecto y que determinarán la calidad de las aguas de la laguna y sus efluentes:

- Decreto Supremo N°90
- Decreto Supremo N°143
- Norma Chilena NCh409/1 Of.84
- Norma Chilena NCh1333 Of.78-Mod.87

Cabe notar que el decreto supremo N°143 establece los parámetros necesarios para las aguas superficiales que sean destinadas a la recreación, parámetros que también se encuentran establecidos en la normativa chilena NCh1333 Of.78 Mod.87 que especifica este y otros usos. Por otro lado, el decreto supremo N°90 hace alusión a los parámetros mínimos que deben tener los efluentes que descarguen las aguas a los diferentes cuerpos de agua superficiales y la norma NCh409 define las exigencias mínimas de calidad del agua para el consumo humano.

6.3. Calidad del Agua para Diferentes Usos

Definidas las normativas que rigen actualmente la calidad de las aguas de nuestro país, se procedió a discretizar las normas dependiendo del uso de éstas, ya que definirán los parámetros y requerimientos que deberá cumplir el agua. En base a lo anterior, se establecen los siguientes usos:

- Agua para la estética de la laguna
- Agua para la recreación con contacto directo
- Agua para la vida acuática
- Agua para el consumo humano
- Calidad de los efluentes que descargan a aguas superficiales

Tanto el agua contenida en la laguna Lo Méndez como las aguas provenientes de su cuenca no cumplen ninguna de las normas Chilenas establecidas en alguno de los parámetros. Aun considerando solo los requerimientos para la estética de la laguna, ésta no es capaz de cumplir con los requerimientos más básicos establecidos por la ley Chilena, ya que la presencia de espumas, desechos flotantes en abundancia y un evidente mal olor, entre otros, deterioran la belleza de la laguna y afectan a la vida acuática presente. Cabe notar que se agregó el consumo de agua potable solo en caso de emergencia y que fuese necesario utilizar el cuerpo lacustre como abastecimiento de agua potable. Las tablas con la información de la normativa Chilena y los resultados para la laguna Lo Méndez y sus afluentes se encuentran en el anexo F de este proyecto.

6.4. Estado Trófico

Para definir el estado trófico de una masa de agua y tener un dato comparativo con otros sistemas se utilizan índices del estado trófico calculados en base a diferentes parámetros, de esta forma, el estado trófico se basa en comparar los datos obtenidos experimentalmente con valores fijos propuestos para cada rango (Fraile *et al.*, 1995). Para este caso se utilizarán los parámetros propuestos por Smith *et al.* (1999) que definen el estado trófico de un cuerpo de agua teniendo en consideración el nitrógeno, el fósforo y la clorofila a presentes en el agua y la transparencia de la laguna según el método de discos Seechi (Tabla 12).

Tabla 12. Estado trófico según diferentes parámetros.

Parámetro	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico	Hipereutrófico	Laguna Lo Méndez
Nitrógeno Total (µg/L)	< 350	350 - 650	650 - 1200	> 1200	1.180 (Eutrófico)
Fósforo Total (µg/L)	< 10	10 - 30	30 - 100	> 100	96,7 (Eutrófico)
Clorofila a (µg/L)	< 3.5	3.5 - 9	9 - 25	> 25	34,6 (Hipereutrófico)
Transparencia (m)	> 4	2 - 4	1 - 2	< 1	1,44 (Eutrófico)

Fuente: Smith *et al.*, 1999.-

Se aprecia en la tabla anterior que existe un evidente estado de eutrofización considerando parámetros como el fósforo, nitrógeno y la transparencia, todos elementos que superan los valores límites permitidos según el estudio realizado por Smith y sus colaboradores (Smith *et al.*, 1999) los cuales fueron considerados en el estudio realizado por la DGA (DGA, 2014) “*Diagnóstico de*

la condición trófica de cuerpos lacustres utilizando nuevas herramientas tecnológicas” aplicado a 45 lagos y embalses a lo largo del territorio nacional. Considerando los valores de clorofila a presentes en la laguna Lo Méndez dan cuenta de un evidente estado de Hipereutrofización que llama a la preocupación.

6.5. Situación Local

Para tener una noción más globalizada del estado trófico y los niveles de calidad de las aguas presentes en la laguna Lo Méndez, se realizó una comparación a nivel de estado trófico según los parámetros establecidos por Smith et al. Con el fin de presentar la realidad de otros lagos y lagunas del país (Parra *et al.*, 2003; Moncada, 2011; DGA, 2014). Se expone la situación de los lagos Lanalhue y Lleu-lleu de la provincia de Arauco (Octava región) y las laguna Lo Galindo en Concepción, muy cerca de la laguna Lo Méndez e interconectada a través del colector N°104 según el PMALL de Concepción, y la laguna Grande ubicada en San Pedro de la Paz (Tabla 13).

Tabla 13. Estado Trófico de diferentes lagos y lagunas de Chile.

Parámetro	Unidad de Medida	Laguna Lo Galindo (Concepción)	Laguna Grande (San Pedro de la Paz)	Lago Lanalhue (Cañete)	Lago Lleu-lleu (Cañete)
Clorofila a	µg/L	134,9	4,79	7,63	1,1
Fósforo	µg/L	390 - 640	5.100 – 26.000	6.700 – 106.600	1.400 – 8.900
Nitrógeno	µg/L	3.090 – 13.630	84 - 340	114 - 300	36 - 430
Transparencia	m	0,25 – 0,47	3,0 - 4,5	1,1 - 5,0	5,5 - 10,0
Estado Trófico	-	Hipereutrófico (2010)	Mesotrófico (2009)	Mesotrófico (2009)	Oligotrófico (2011)

Fuente: (Parra et al., 2003) (Moncada, 2011) (DGA, 2014).

Se aprecia claramente la diferencia entre las lagunas de la ciudad de Concepción y la laguna y los lagos de la ciudad de cañete, donde los valores definen a estos cuerpos de agua en la categoría de Mesotróficos y Oligotróficos. Se destaca la condición del lago Lleu.lleu, el cual presenta alto índices de transparencia, la clorofila presente es del orden de 1,1 µg por litro de agua, dándole la categoría de oligotrófico el año 2009 (DGA, 2014). Es de esperar la condición trófica de la laguna Lo Galindo, ya que se encuentran muy próximas al norte de la ciudad de Concepción, separadas solo por el cerro Chacabuco y el cerro al noreste de Lo Méndez, pero que como se mencionó anteriormente, están conectadas a través de la red de colectores.

CAPÍTULO VII: PROPUESTA DE RECUPERACIÓN

En este capítulo se profundizará en la solución al problema generado en la laguna Lo Méndez. En primer lugar se realizará una comparativa entre algunos sistemas de tratamientos de aguas a base de tecnologías amigables con el medioambiente para elegir la solución más óptima para depurar las aguas que ingresan a la laguna.

Por otro lado se realizará un pre-diseño del sistema de tratamiento a proyectar en la laguna además de las obras complementarias a éste, que incluyen limpieza de los alrededores y extracción de material presente en la laguna que pueda generar algún daño o atentar contra la integridad de aves y especies acuáticas.

Finalmente se recomendará una propuesta de integración urbana, esto con el fin de generar espacios y actividades que permitan el aprovechamiento máximo del cuerpo de agua.

7.1. Evaluación de Alternativas

El objetivo de esta evaluación es realizar una comparación de los sistemas de tratamiento de aguas grises o residuales más recurrentes y que depuran las aguas mediante tecnologías de bajo coste e impacto al medioambiente. De esta forma, se pretende encontrar el sistema de tratamiento que se adapte tanto a las necesidades de la laguna y sus afluentes como de los requerimientos por parte de los sistemas expuestos.

7.1.1. Criterios de Selección

Para la evaluación del sistema de tratamiento más apropiado para depurar los afluentes de la laguna Lo Méndez se expondrán a continuación los criterios de selección que permitirán determinar la solución más óptima. Basado en la bibliografía internacional (Seoáñez, 2005) (EPA USA, 2000) y el trabajo realizado por García en la ciudad de Concepción para la laguna Lo Galindo (García, 2013) se definen los siguientes criterios.

1. Criterios Técnicos

- **Requerimiento de Terreno:** Se refiere a la superficie necesaria para la proyección del sistema de tratamiento. Para zonas urbanas como es el caso de la laguna Lo Méndez juega un rol clave, ya que la disponibilidad de terreno es muy limitada.
- **Simplicidad de la Alternativa:** Tanto la construcción del sistema de tratamiento como el equipamiento necesario no deben ser muy complejos, ya que eso aumenta los costos de construcción y mantenimiento y la disponibilidad de personal calificado.
- **Rendimiento:** Quizás uno de los factores más importantes en cuanto a aspectos técnicos, ya que el tratamiento deberá depurar los afluentes de la laguna y cumplir con la normativa Chilena establecida.
- **Estabilidad del Proceso:** La estabilidad puede verse afectada a través de cambios bruscos en la carga de los contaminantes y del caudal, lo que puede afectar el rendimiento de la depuradora (García, 2013).

2. Criterios Económicos

- **Costos de Construcción y Mantenimiento:** Aquí se abordarán los costos asociados a la construcción del sistema de tratamiento como también su mantención a lo largo del tiempo. Este punto es muy importante ya que va directamente relacionado con el presupuesto de la propuesta de recuperación.

3. Criterios Medioambientales

- **Integración con el medio:** El objetivo es aumentar la plusvalía del lugar y que la alternativa mejore los aspectos paisajísticos y urbanísticos del sector.
- **Impacto en el entorno:** Hace referencia a las consecuencias para el entorno y la población aledaña al lugar, los posibles ruidos que pueda generar el tratamiento de las aguas o el aumento de insectos en el lugar serán evaluados en este punto.

7.1.2. Orden de Importancia

La asignación de la importancia de cada criterio es un tema muy importante, ya que hay parámetros como la necesidad de terreno o los costos asociados a la construcción que son fundamentales para generar una propuesta exitosa. Por esta razón se realiza la asignación a cada parámetro de un valor adimensional según su grado de importancia, donde 1 hace referencia a poca importancia y un valor de 5 para parámetros muy importantes (Tabla 14).

Tabla 14. Asignación de Importancia a Parámetros.

Criterio	Descripción	Valor Asignado
Técnicos	Requerimiento de Terreno	4
	Obra civil y requerimiento de equipos	2
	Remoción SST	5
	Remoción DBO	5
	Remoción de P	5
	Remoción N	5
	Seguridad	5
Económicos	Caudal/Carga	1
	Costos de Construcción	4
	Costos de Operación y Mantenimiento	4
	Integración con el medio	4
Medioambiental	Ruidos	2
	Insectos	2

7.1.3. Selección Sistema de Tratamiento

Una vez definidos los criterios, así como también la importancia que éstos tienen para la laguna Lo Méndez, se realizó la evaluación de las distintas alternativas (Tabla 15).

Tabla 15. Asignación puntaje a propuesta de recuperación.

Criterio	Parámetro	Lagunaje	Humedal Sup.	Humedal Subsup.	Filtro Percolador	Biodiscos	Valor Asignado
Técnicos	Req. De Terreno (m2/hab)	4,5	4,5	4	10	10	4
	Obra civil y req. de equipos	10	10	10	5	3	2
	Remoción SST	4	9,5	9,5	9	9	5
	Remoción DBO	7,8	9,5	9,5	9	9	5
	Remoción de P	4	3,3	3,3	2,8	2,3	5
	Remoción N	4,5	4,8	4,8	3,3	4,3	5
	Seguridad	2	5	9	5	10	5
Económicos	Caudal/Carga	10	8	8	5	10	1
	Costos de Construcción	6	5	5	4	5	4
	Costos de Operación y Mantenimiento	8	8	8	2	2	4
	Integración con el medio	10	10	10	4	4	4
Medioambiental	Ruidos	10	10	10	8	8	2
	Insectos	5	3	8	8	10	2
Puntaje Total		5,948	6,760	7,344	5,677	6,438	-

Se procedió a elegir el tratamiento de aguas residuales mediante la implementación de un humedal artificial de flujo subsuperficial (FSSH en adelante), esto ya que obtuvo la mayor puntuación en base a los criterios de selección mencionados anteriormente. Además, estos sistemas son bastante amigables con el medioambiente y se integran fácilmente con el entorno, brindando mayor plusvalía al lugar y mejorando el aspecto de los alrededores de la laguna.

7.2. Humedal Artificial

Se consideró al humedal artificial FSSH como la mejor opción para tratar los afluentes de la laguna Lo Méndez bajo las condiciones existentes en el lugar. Estos están diseñados para mantener el nivel de agua totalmente por abajo de la superficie del lecho filtrante a modo de evitar los problemas con la proliferación de insectos (Hoffmann *et al.*, 2011). De esta forma, el agua residual circula a través del medio poroso y siempre por debajo de la superficie del mismo. Como medio poroso, se suele utilizar rocas, grava o arena.

Además, estos sistemas funcionan con vegetación emergente, cuyo papel es fundamental para su buen funcionamiento (Mena *et al.*, 2008). De este modo, a continuación se procederán a definir las principales propiedades que permitirán la correcta proyección del humedal artificial para el sector de Santa Sabina como por ejemplo la vegetación, las dimensiones o el rendimiento asociado a los diferentes parámetros del agua, entre otros.

7.2.1. Ubicación

Lo primero que debe ser analizado es el lugar exacto en donde se emplazará el humedal. De esta forma es necesario consultar la topografía generada del lugar para determinar la cantidad de terreno disponible y además el plan regulador de la ciudad de Concepción para determinar si donde existe la superficie disponible se prevén usos para su futuro (además de los actuales).

Siguiendo esta línea, se consideró un sitio ubicado al oeste de la laguna, con una superficie disponible de 4.000 m², la cual actualmente se encuentra sin usos más que dos arcos de fútbol, donde quizás jóvenes del sector lo utilizan para recrearse. Consultado el plan regulador de Concepción, actualmente el terreno está destinado a áreas verdes al igual que para su condición futura, por lo que se considera apto para la localización del humedal artificial.

Por otro lado, mediante las visitas a terreno se constató que el terreno posee bastante regularidad, considerando una cota aproximada de 29 m.s.n.m, el cual está delimitado al sur por las faldas del cerro Chacabuco y al norte por un canal de regadío (LME6).

7.2.2. Agua residual

Se propone la implementación de una tubería que permita la captación de las aguas residuales que ingresan a la laguna Lo Méndez a través de las fuentes puntuales ya identificadas (LME1 - LME6). De esta forma se busca redirigir las aguas residuales hacia el humedal artificial para su tratamiento y posteriormente ser vertidas hacia la laguna con el fin de cumplir con los límites máximos establecidos en el decreto supremo N°90 de la ley Chilena.

7.2.3. Vegetación

Se propone para el pre-diseño del humedal artificial FSSH la utilización de espadañas (*Typha Spp.*) plantadas uniformemente en el humedal a una distancia de 0,3 (m) entre ellas, las cuales deberán ser trasplantadas desde su lugar de origen hacia el lecho del humedal previamente preparado y considerando solo aquellas que presenten una etapa de madurez en sus raíces, esto a modo de evitar la opción del sembrado de semillas ya que es un método que requiere tiempo y control estricto del agua (Colombo, 2015). Basándose en la experiencia local (Humedal Artificial comuna de Hualqui, Región del Bío-Bío) se prevé que dentro de 6 meses a 1 año la superficie del humedal esté cubierta en su totalidad por las plantas (Colombo, 2015).

7.2.4. Rendimiento Asociado

La eficiencia del humedal para los principales parámetros (DBO, P, N y CF) es uno de los aspectos más importantes de la propuesta de depuración, ya que el rendimiento debe ser tal que permita cumplir con la normativa vigente referente a la calidad de los afluentes para descargas hacia cuerpos lacustres (DS N°90). Aplicando la ecuación general de diseño para humedales artificiales (Ecuación 12) y considerando los elementos ya definidos como lo son la vegetación, las dimensiones proyectadas y la grava a utilizar, se realizó una estimación del rendimiento del humedal con respecto a los parámetros anteriormente mencionados.

Por otro lado, y considerando los escenarios planteados en la sección de caudal de diseño de este proyecto, se realizó una sensibilización del caudal de entrada del humedal artificial. De esta manera se estimaron los rendimientos asociados a los cuatro elementos mencionados anteriormente considerando 3 caudales:

- Caudal de diseño ($1.122 \text{ m}^3/\text{día}$)
- Caudal de diseño considerando la no existencia de aguas servidas a la red de colectores ($842 \text{ m}^3/\text{día}$)
- Caudal de diseño considerando la no existencia de aguas servidas en la red de colectores y teniendo en cuenta que las primeras precipitaciones realizan un lavado de la cuenca ($561 \text{ m}^3/\text{día}$)

Considerando estos 3 escenarios se procedió a estimar el rendimiento asociado a cada uno de los parámetros presentes en las aguas residuales que ingresan a la laguna.

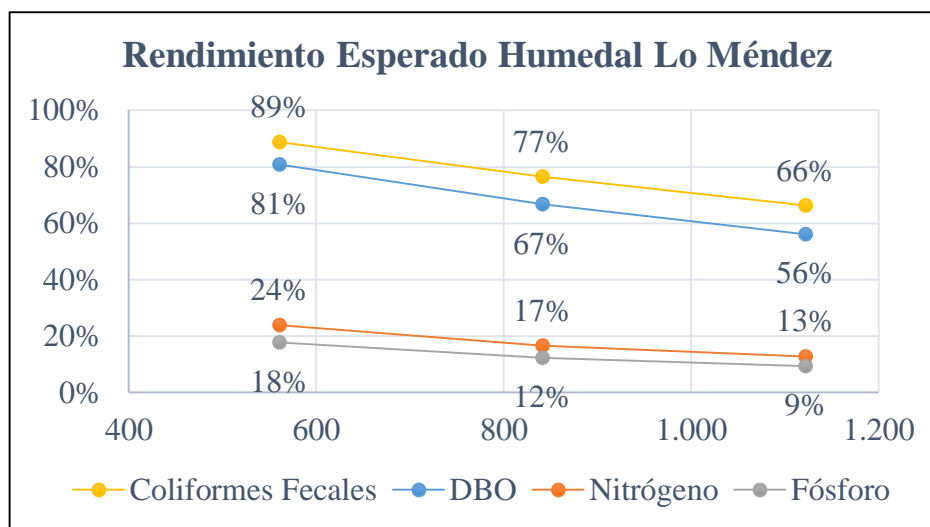


Figura 16. Rendimiento estimado humedal artificial Lo Méndez.

De esta forma se obtuvieron los rendimientos para los 3 escenarios planteados anteriormente, cabe notar que la idea es trabajar con el 50% del caudal de diseño, esto ya que por un lado el lavado de la cuenca es un proceso que ocurre de forma natural en una cuenca y por otro, que las aguas servidas vertidas a la red de colectores deben ser eliminadas del sistema en su totalidad.

7.2.5. Pre-Diseño

Finalmente se definieron las dimensiones proyectadas para el humedal considerando la disponibilidad de terreno en el lugar, de esta forma se estima una longitud de 80 m y un ancho de 50 metros. Para la profundidad proyectada es de 0,7 metros y se considera una pendiente longitudinal de 1% desde la entrada del afluente (sector norte). Se realizó un bosquejo de las dimensiones del humedal superficial considerando el trabajo realizado por Colombo para el humedal artificial de FSS construido para tratar las aguas residuales del complejo Ainahue. Se adjunta además una fotografía tomada del humedal en operación, en donde se realizaron trabajos de mantenimiento de las espadañas (*Typha Spp*), considerando que los resultados del humedal proyectado deberían tener gran similitud con el trabajo realizado en Hualqui.

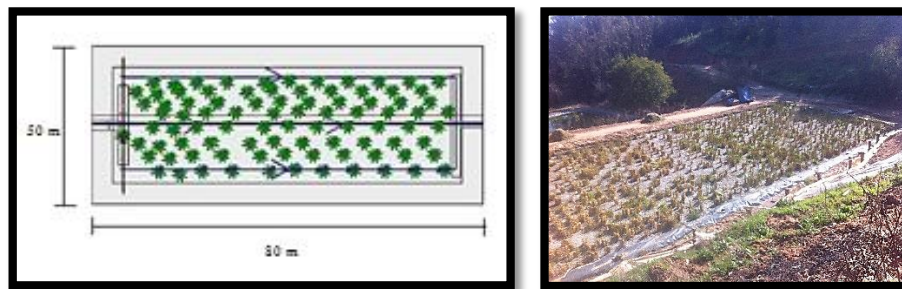


Figura 17. Vista en planta humedal proyectado y post-construcción (Fuente: Colombo, 2015).-

Por otro lado, para el medio poroso se considera la aplicación de arena media-gruesa con un tamaño efectivo de partícula de 8 mm, la cual posee una porosidad del 40%. Este material está disponible en la octava región, por lo que esto no implicaría grandes costos asociados al transporte.

7.3. Trabajos Complementarios

Dentro de la propuesta para la recuperación de la laguna Lo Méndez, están considerados trabajos complementarios al lugar en donde se emplaza el cuerpo de agua con el fin de mejorar los espacios públicos y generar mayor plusvalía al lugar, aprovechando de esta forma el máximo potencial que brinda una laguna urbana. En este contexto, se proponen a continuación algunas obras secundarias al sistema de tratamiento de los afluentes que ingresan a la laguna con los fines anteriormente explicados.

7.3.1. Limpieza de Alrededores

A través de las visitas a terreno al sector de santa sabina se constató la presencia de basura en los alrededores de la laguna. Tanto en las zonas ribereñas de la laguna como en el cerro Chacabuco se identificó una gran presencia de basura y material de escombros, los cuales deberán ser retirados en su totalidad.

7.3.2. Remoción de Material Contaminante

Por otro lado, al interior del cuerpo de agua también existen elementos en suspensión que pueden poner en peligro la vida acuática. Elementos como botellas de vidrio, plásticos, neumáticos y cualquier elemento físico debe ser retirado de la laguna. Además, debido a la alta presencia de algas en el lugar, se estima conveniente la remoción de ellas y también si es posible de la especie acuática *Hydrocotyle ranunculoides* (Redondita de agua) del desde el cuerpo lacustre.

7.3.3. Propuesta de integración

Por último, cabe notar que el objetivo de este proyecto es generar una propuesta de recuperación que permita tanto mejorar la calidad de los afluentes y por consiguiente de las aguas de la laguna Lo Méndez así como también integrar este cuerpo de agua a la comunidad.

De esta forma, una de las principales actividades es la incorporación de algunos deportes acuáticos en el cuerpo lacustre (siempre y cuando el agua de la laguna cumpla con los parámetros establecidos en la norma Chilena NCh1333 Of.78 – Mod. 87) así como se desarrollan en otras lagunas de la región (Laguna Chica y Grande San Pedro de la Paz).

Por otro lado, también se proyecta el mejoramiento de los espacios públicos y lugares que invitan a la recreación de la población, como por ejemplo, las zonas de ejercitación y la cancha ubicada a los pies del cerro Chacabuco al sur de la laguna, donde actualmente solo está delimitada por sus arcos, proyectándose la construcción de una multicancha que permita la integración de los jóvenes con la laguna a través del deporte.

CAPITULO VIII: CONCLUSIONES

De acuerdo a lo realizado en el presente proyecto se puede considerar que todos los objetivos fueron cumplidos en su totalidad. Cabe notar que este informe comenzó agregando información teórica referente al tema de estudio con la finalidad de introducir los parámetros y elementos que permitieron cumplir con los objetivos planteados.

Por otro lado, considerando la información batimétrica de la laguna realizada el año 2011 y, considerando el balance hídrico realizado a la laguna Lo Méndez teniendo en cuenta su hoya hidrográfica, se estimó que el tiempo de residencia del cuerpo de agua es de aproximadamente 137 días, considerando el periodo de 1 año.

Por otro lado, a través del estudio realizado el año 2011 por parte del laboratorio de la Universidad de Concepción EULA-Chile se logró recopilar información acerca del muestreo que ellos realizaron tanto a los afluentes de la laguna lo Méndez como a sus aguas a través de cuatro estaciones de muestreo distribuidas estratégicamente. Dentro de los resultados obtenidos se identificó una alta presencia de coliformes fecales en todos los afluentes, producto quizás de aguas servidas vertidas de forma ilegal, así como también sólidos en suspensión, posiblemente producto del arrastre de sedimentos desde el cerro Lo Galindo y encauzados a través de la red de colectores. Esta información fue analizada considerando la normativa actual vigente para aguas superficiales, en donde para el caso de los afluentes se consultó el decreto supremo N°90 que define los límites máximos permisibles para descargas a cuerpos lacustres, en donde ninguno de los afluentes cumple con lo establecido.

Luego de analizar los resultados obtenidos con la normativa Chilena se procedió a evaluar cinco alternativas de tratamiento de aguas grises o residuales en base a una serie de parámetros de tipo social, económico, ambiental y técnicos previamente definidos. De esta forma, se aplicó un valor adimensional a cada uno de los parámetros establecidos en base a su grado de importancia según los requerimientos y las necesidades de la laguna Lo Méndez. De este modo se consideró que el humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal es la mejor alternativa de tratamiento para las necesidades y requerimientos de la laguna y su entorno al obtener la mayor puntuación en el proceso de evaluación de alternativas.

Finalmente, se realizó un pre-diseño del humedal artificial de flujo subsuperficial considerando aspectos como el agua residual, la vegetación, la ubicación geográfica, y las dimensiones proyectadas entre otros elementos y además se estima que este mejore la calidad paisajística y el entorno ya que estos elementos embellecen el lugar en donde son emplazados y brindan mayor plusvalía.

Cabe notar que considerando el pre-diseño del humedal artificial y teniendo en cuenta el lavado de la cuenca producto de la precipitación y la futura prohibición del ingreso de aguas servidas a la red de colectores, se estimó que el rendimiento del humedal para la demanda biológica de oxígeno el nitrógeno y el fósforo son de 81%, 24% y 18% respectivamente.

CAPITULO IX: RECOMENDACIONES

A modo de complementar el presente proyecto de título se presentan algunas recomendaciones con el fin de mejorar la información contenida en el presente informe y líneas de acción que deberían ser consideradas a futuro.

Primero que todo, y en base a los resultados del muestreo realizado el año 2011 a las fuentes puntuales y corroborados en el muestreo del año 2015, se realiza un llamado a las entidades pertinentes que actúen con rapidez y criterio a modo de identificar y eliminar las entradas de aguas servidas que ingresan de manera ilegal en la red de colectores y son encauzadas hacia la laguna, generando un daño inminente en el cuerpo de agua.

Por otro lado agregar que se debería realizar un estudio para la generación de una propuesta de extracción de los lodos presentes en el fondo de la laguna Lo Méndez, los cuales se han ido acumulando a lo largo de tiempo, deteriorando el estado del cuerpo de agua y dificultando la vida de especies acuáticas.

CAPITULO X: BIBLIOGRAFIA

1. Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration- Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *FAO, Rome, 300(9)*, D05109.
2. Álvarez Rogel, J., & Jiménez Cárceles, F. J. (2004). Nuevas técnicas en descontaminación y recuperación de aguas residuales: los humedales como filtros verdes.
3. Azcoitia Toribio, E. D. (2012). Efecto de sobrecargas hidráulicas en el rendimiento de humedales construidos para la depuración de aguas.
4. Castagnino, W. A. (1982). Investigación de modelos simplificados de eutroficación en lagos tropicales. In *Investigación de modelos simplificados de eutroficación en lagos tropicales*. CEPIS.
5. Colombo, L. (2015). Proceso constructivo de un humedal de flujo subsuperficial para tratar aguas residuales del centro recreativo Ainahue. Proyecto de Título presentado en obtener el Título de Ingeniero Civil. Concepción: Universidad del Bío-Bío.
6. de Sousa Lima, J. R., Antonino, A. C. D., de Souza, E. S., Hammecker, C., Montenegro, S. M. G. L., & de Oliveira Lira, C. A. B. (2013). Calibration of Hargreaves-Samani Equation for Estimating Reference Evapotranspiration in Sub-Humid Region of Brazil. *Journal of Water Resource and Protection, 2013*.
7. Decreto Supremo N° 90. (2000). Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Santiago, Chile.
8. Decreto Supremo N° 143. (2009). Norma de calidad primaria para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Santiago, Chile.
9. del Olmo, F. D., & Espejo, J. M. R. (1991). Lagunas y áreas lacustres continentales de Andalucía occidental (Geomorfología, suelos y evolución cuaternaria). *Cuadernos de investigación geográfica, (17)*, 25-36.
10. Essbio, S. A., de Concepción, M., & Seguel, F. G. D. (2011). Agua, situaciones de emergencia, factibilidad técnica para el abastecimiento de agua potable desde un sistema de lagunas urbanas.

11. García, C. (2013). Propuesta para la depuración del afluente de la laguna Lo Galindo. Proyecto de Título presentado en obtener el Título de Ingeniero Civil. Concepción: Universidad del Bío-Bío.
12. Hargreaves, G. H., & Samani, Z. A. (1985). Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. *American Society of Agricultural Engineers (Microfiche collection) (USA)*. no. fiche no. 85-2517.
13. Hauenstein, E., Peña-Cortés, F., Bertrán, C., Tapia, J., & Schlatter, R. (2008). Comparación florística y estado trófico basado en plantas indicadoras de lagunas costeras de la región de La Araucanía, Chile. *Ecología austral*, 18(1), 43-53.
14. Hidalgo, J., Montano, J. J., & Estrada, M. S. (2005). Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Theoria*, 14(1), 17-25.
15. Hilt, S., Gross, E. M., Hupfer, M., Morscheid, H., Mählmann, J., Melzer, A., & Van de Weyer, K. (2006). Restoration of submerged vegetation in shallow eutrophic lakes—a guideline and state of the art in Germany. *Limnologia-Ecology and Management of Inland Waters*, 36(3), 155-171.
16. Hinds Jr, T. D., Brown, R. R., & Burns Jr, E. H. (2012). Reduction of Fecal Coliform Levels in Two Created Wetlands at the Olentangy River Wetland Research Park. *Coliforms in Experimental Wetlands. Department of Natural Sciences. Web*, 14.
17. Hoffmann, H. (2011). Revisión Técnica de Humedales Artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises y aguas domésticas. *GIZ y ECOSAN, Eschborn, Alemania*, 11-31.
18. Horvat, B., & Rubinic, J. (2006). Annual runoff estimation - an example of karstic aquifers in the transboundary region of Croatia and Slovenia. *Hydrological sciences journal*, 51(2), 314-324.
19. IMC (2009). Ordenanza local del plan regulador comunal de Concepción. Ilustre Municipalidad de Concepción. Chile.
20. Istanbuluoglu, A., Konukcu, F., & Kocaman, I. (2002). Modification of Turc method to determine the water yields of sub-basins in Thrace region of Turkey. *Journal of Central European Agriculture*, 3(1).
21. Khosravi, K., Mirzai, H., & Saleh, I. (2013). Assessment of Empirical Methods of Runoff Estimation by Statistical test (Case study: BanadakSadat Watershed, Yazd

- Province). *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1(3), 30-46.
22. Lara, J. (1999). Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales (Doctoral dissertation, Instituto Catalán de Tecnología - Universidad Politécnica de Cataluña).
 23. Luna-Pabello, V. M., & Aburto-Castañeda, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *TIP*, 17(1), 32-55.
 24. Mairi, J. P., Lyimo, T. J., & Njau, K. N. (2013). Performance of Subsurface Flow Constructed Wetland for Domestic Wastewater Treatment. *Tanzania Journal of Science*, 38(2), 53-64.
 25. Mena, J., Martín, N., & Camacho, J. V. (2009). Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos. *Castilla, España: CONAMA*.
 26. MINVU (1996). Técnicas Alternativas para Soluciones de Aguas Lluvias en Sectores Urbanos. *Capítulo 3: Marco Geográfico*.
 27. MINVU (2005). Guía de diseño y especificaciones de elementos urbanos de infraestructura de aguas lluvias. Ministerio de Vivienda y Urbanismo. Chile.
 28. Moncada, F. (2011). Diagnóstico de la calidad ambiental de la laguna lo Galindo y propuesta de recuperación urbana. Proyecto de Título presentado en obtener el Título de Ingeniero Civil. Concepción: Universidad del Bío-Bío.
 29. MOP (2001). Plan maestro de evacuación y drenaje de aguas lluvias de Concepción, VIII Región. Dirección de Obras Hidráulicas. Chile.
 30. MOP (2014). Diagnóstico de la condición trófica de cuerpos lacustres utilizando nuevas herramientas tecnológicas. Dirección General de Aguas. Chile.
 31. MOP (2014). Manual de Carreteras Volumen N° 2: Procedimientos de Estudios Viales. Dirección de Vialidad. Chile.
 32. MOP (2014). Manual de Carreteras Volumen N° 3: Instrucciones y Criterios de Diseño. Dirección de Vialidad. Chile.
 33. NCh409/1.Of2005. (2005). Agua potable – Parte 1 – Requisitos. Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile.
 34. NCh1333.Of78. (1987). Requisitos de calidad del agua para diferentes usos. Instituto Nacional de Normalización. Santiago, Chile.

35. Parra, O. (1989). La eutroficación de la Laguna Grande de San Pedro, Concepción, Chile: un caso de estudio. *Ambiente y Desarrollo*, 1, 117-136.
36. Parra, O. (2009). Situación ambiental de las lagunas de Concepción. *Seminario "recuperemos las lagunas para los habitantes de concepción"*. Concepción, Chile: *Municipalidad de Concepción, ESSBIO, Universidad de Concepción, Centro EULA*.
37. Parra, O., Valdovinos, C., Urrutia, R., Cisternas, M., Habit, E., & Mardones, M. (2003). Caracterización y tendencias tróficas de cinco lagos costeros de Chile central. *Limnetica*, 22(1-2), 51-83.
38. Ramalho, R. (1996). Tratamientos de Aguas Residuales. En *Pretratamiento y Tratamiento primario* (pág. 91). Barcelona: Reverté.
39. Ramírez, M. (1966). Estudio limnológico en las lagunas Redonda y Lo Méndez, provincia de Concepción, Chile. Concepción, Chile.
40. Reyes-Luz, M. I., Guido-Zárata, A., & Durán-de-Bazúa, C. (2006). *Remoción de fósforo en un sistema de humedales artificiales a escala de laboratorio* (Doctoral dissertation, Tesis profesional (Ingeniería Química), en proceso. Facultad de Química, UNAM. México DF México).
41. Salas, H. J., & Martino, P. (2001). Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales. En *Metodologías simplificadas para la evaluación de eutroficación en lagos cálidos tropicales*. CEPIS.
42. Sánchez, M. (2001). Métodos de estimación de evapotranspiración utilizados en Chile. *Revista de Geografía Norte Grande*, (28), 3-10.
43. Santana, L., Quijada, S. (2007). Hidrología. Universidad del Bío-Bío. Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Concepción, Chile.
44. Samani, Z. (2000). Estimating Solar Radiation and Evapotranspiration Using Minimum Climatological Data. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 126(4), 265-267.
45. Seoáñez, M. (2005). Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo. Mundi-Prensa. Madrid, España.
46. Serrano, E. S. A., & Salas, M. E. M. (1988). Aproximación, por el método de Thornthwaite, al cálculo de infiltración de lluvia útil. *Papeles de geografía*, (14), 223-236.
47. Smith, V. H., Tilman, G. D., & Nekola, J. C. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. *Environmental pollution*, 100(1), 179-196.

48. Trezza, R. (2008). Estimación de evapotranspiración de referencia a nivel mensual en Venezuela. ¿Cuál método utilizar? *Bioagro*, 20(2), 89-95.
49. U.S. Environmental Protection Agency (1988). *Design Manual: Constructed Wetlands and Aquatic Plant System for Municipal Wastewater treatment*. EPA/625/1-88/022. US EPA Office of Research and Development. Cincinnati.
50. U.S. Environmental Protection Agency (1993). *Subsurface Flow Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Technology Assessment*. S.C. Reed, ed., EPA/832/R-93/008. US EPA Office of Water. Washington.
51. U.S: Environmental Protection Agency (2000). *Wastewater Technology Fact Sheet Wetlands: Subsurface Flow*. EPA/832/F-00/023. US EPA Office of Water. Washington.

ANEXO

INDICE DE CONTENIDOS

ANEXO A	72
Evolución Parámetros	72
1. Sólidos Suspendidos Totales	72
2. Color Verdadero (Pt/Co)	72
3. Turbidez.....	72
4. Transparencia.....	72
5. Temperatura.....	73
6. Conductividad	73
7. pH.....	73
8. Materia Orgánica.....	74
9. Nitrógeno Total	74
10. Fósforo Total	75
ANEXO B	76
ANEXO C	78
ANEXO D	80
Tipos de Humedales Artificiales.....	80
Humedal Artificial de Flujo Libre Superficial.....	80
Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial.....	81
Componentes	82
1. Agua	83
2. Substratos.....	83
3. Vegetación	84
4. Microorganismos.....	84
5. Animales	85

	69
6. Realce de la Estética y el Paisaje	85
ANEXO E.....	86
Contaminación visual.....	86
Zonas ribereñas	86
Flora y fauna.....	87
ANEXO F.....	88
1. Requisitos del agua destinada a la estética	88
2. Requisitos del agua para la recreación con contacto directo	88
3. Requisitos para aguas destinadas a la vida acuática.....	89
4. Requisitos del agua para el consumo humano	90
5. Requisitos del agua para descargas a cuerpos lacustres	90

INDICE DE TABLAS

ANEXO A

Tabla A- 1. Evolución de la Transparencia, Laguna Lo Méndez.....	72
Tabla A- 2. Evolución del pH, Laguna Lo Méndez.....	73
Tabla A- 3. Evolución de la Materia Orgánica, Laguna Lo Méndez.....	74
Tabla A- 4. Evolución del Nitrógeno Total, Laguna Lo Méndez.....	74
Tabla A- 5. Evolución del Fósforo Total Presente, Laguna Lo Méndez.	75

ANEXO B

Tabla B- 1. Necesidades de Sistemas de Tratamiento.	76
Tabla B- 2. Costos Asociados a Sistemas de Tratamiento.	76
Tabla B- 3. Rendimiento Asociado a Sistemas de Tratamiento.	77

ANEXO C

Tabla C- 1. Coeficiente de Escorrentía para Distintos Tipos de Zona.....	78
Tabla C- 2. Coeficiente de Escorrentía para Distintos Tipos de Superficie.....	78
Tabla C- 3. Coeficiente de Rugosidad para Distintas Superficies.....	79

ANEXO F

Tabla F- 1. Requisitos del agua destinada a la estética.....	88
Tabla F- 2. Requisitos del agua para la recreación con contacto directo.....	89
Tabla F- 3. Requisitos del agua destinada a la vida acuática.	89
Tabla F- 4. Requisitos del agua destinada al consumo humano.....	90
Tabla F- 5. Requisitos de los efluentes de descarga a cuerpos lacustres.	90

INDICE DE FIGURAS

ANEXO D

Figura D- 1. Sección transversal humedal artificial de FLS.	80
Figura D- 2. Sección transversal humedal artificial de FSS.....	81

ANEXO E

Figura E- 1. Contaminación Presente en la Laguna Lo Méndez.	86
Figura E- 2. Zonas aledañas a la laguna Lo Méndez.	86
Figura E- 3. Cartel informativo del estado actual del Cisne de cuello negro.....	87

ANEXO A

Evolución Parámetros

A continuación se presenta la evolución de los principales parámetros que influyen en la calidad natural que posee el agua, los cuales fueron medidos a lo largo del tiempo y presentados por diversos autores. Esta información fue extraída del estudio realizado el año 2011 a las cinco lagunas urbanas de Concepción por parte del laboratorio EULA-Chile.

1. Sólidos Suspendidos Totales

Los sólidos suspendidos totales fueron medidos por Parra (1977), en su trabajo registró valores de éste parámetro en los meses de febrero, marzo y abril del año 1976, los cuales fueron 200,5 mg/L, 220 mg/L y 191 mg/L respectivamente (EULA-Chile 2011).

2. Color Verdadero (Pt/Co)

Con respecto al color verdadero, Urrutia (2009) registró un valor de 12 para este parámetro.

3. Turbidez

En el año 2009, Urrutia (2009) obtiene un valor de la turbidez media correspondiente a 6 NTU.

4. Transparencia

En la década de los 70, Dellarossa y sus colaboradores registraron valores de límite de visibilidad inferiores a 1 m (Dellarossa *et al.* 1976). Estos valores fueron corroborados por Parra y Ugarte (1977) un año después, en donde la transparencia registrada fue de 0,2 m. A partir del año 2003, diversos autores realizaron muestreos en la laguna, obteniendo valores que bordean 1 m, en la tabla A-1 se muestra en detalle la evolución de la transparencia presente en la laguna.

Tabla A- 1. Evolución de la Transparencia, Laguna Lo Méndez.

Año	Referencia	Máximo (m)	Mínimo (m)	Promedio (m)	Desviación Estándar
1976	Dellarossa <i>et al.</i> (1976)	0,7	0,35	0,48	0,18
1977	Parra y Ugarte (1977)	0,2	0,2	0,2	0
2007	Valdovinos y Pedreros (2007)	1,1	1,1	1,1	0
2009	Urrutia (2009)	1,1	1,1	1,1	0
2010	Acuña (2010)	0,8	0,8	0,8	0
2010	Díaz (2010)	1	1	1	0

5. Temperatura

La temperatura dentro del cuerpo lacustre es muy importante, ya que es el regulador de procesos vitales que ocurren al interior de ella. Ramírez (1966) indica en su estudio que no se detectaron variaciones verticales de temperatura durante los meses en los que se realizó el estudio. 10 años después, Dellarossa y sus colaboradores (1976) tampoco identificaron estratificación térmica en los meses de invierno, informando uniformidad desde la superficie hasta el fondo. Esto se explica producto de la baja profundidad de la laguna Lo Méndez.

6. Conductividad

La conductividad del agua permite conocer el contenido de electrolitos presentes en ella, éste valor a la vez, es un índice de la productividad biológica del cuerpo de agua (Welch, 1952). Ramírez (1966) reporta valores de este parámetro entre 167,4 y 293,8 S/cm, detectando que no existían variaciones verticales ni estacionales. En muestreos llevados a cabo en los años 2003 y 2008, se registraron valores de 294 S/cm y 208,7 S/cm respectivamente. En una medición realizada el año 2010 se obtuvo un valor de 246,17 S/cm, identificando un leve aumento con la profundidad.

7. pH

El pH del agua se puede considerar como un factor limitante para la existencia de algunos organismos, o bien como indicador de las condiciones del medio (Welch, 1952). En 1966 Ramírez (1966) reportó el primer valor de pH, siendo en ese momento ligeramente superior a 7, valor que disminuye con la profundidad de la laguna. Desde entonces, varios autores han registrado valores de pH a diferentes profundidades, fluctuando entre 6,82 en el año 1976 hasta 10,40 en 1989 por Parra y sus colaboradores. En la tabla A-2 se presenta el detalle de las mediciones de pH.

Tabla A- 2. Evolución del pH, Laguna Lo Méndez.

Año	Referencia	Máximo	Mínimo	Promedio	Desviación Estándar
1966	Ramírez (1966)	10,12	7,52	8,37	1,05
1976	Dellarossa et al. (1976)	7,1	6,95	7,03	0,08
1977	Parra y Ugarte (1977)	9,1	7,3	8,2	1,27
1989	Parra et al. (1989)	10,4	7,4	8,9	2,12
2008	Acuña (2010)	7,65	7,65	7,65	0
2009	Urrutia (2009)	8,1	8,1	8,1	0
2010	Acuña (2010)	8,66	8,66	8,66	0

8. Materia Orgánica

Todos los cuerpos de agua natural tienen cierto contenido de materia orgánica disuelta, la cual proviene de los desechos de los organismos que en ellas habitan, de la desintegración de los organismos muertos, de las aguas que ingresan a la laguna y del material aportado por el viento (Welch, 1952). El contenido de materia orgánica biodegradable (DBO5) fue obtenido por primera vez por Ramírez (1996) en el año 1966. Desde ese entonces, la materia orgánica disuelta fue medida los años 2003, 2008 y 2010 por Acuña (2010). En el último año también se realizaron mediciones de los niveles de DQO presentes en la laguna. Los resultados son presentados en la tabla A-3.

Tabla A- 3. Evolución de la Materia Orgánica, Laguna Lo Méndez.

Materia Orgánica	Año	Referencia	Máximo (mg O2/L)	Mínimo (mg O2/L)	Promedio (mg O2/L)	Desviación Estándar
DQO	2010	Acuña (2010)	14,9	14,9	14,9	0
	1966	Ramírez (1966)	8,24	5,29	7,18	1,13
DBO5	2003		6,5	6,5	6,5	0
	2008	Acuña (2010)	5,13	5,13	5,13	0
	2010		5,3	5,3	5,3	0

9. Nitrógeno Total

Para el año 2003 Lo Méndez presentó 0,62 mg/L de Nitrógeno total, bajando los niveles a 0,46 mg/L para el año 2008. De la misma forma Díaz (2010) reportó en el año 2010 una concentración de 0,36 mg/L de Nitrógeno. Se resumen los valores presentados en la Tabla A-4.

Tabla A- 4. Evolución del Nitrógeno Total, Laguna Lo Méndez.

Año	Referencia	Máximo (mg N/L)	Mínimo (mg N/L)	Promedio (mg N/L)	Desviación Estándar
2003		0,62	0,62	0,62	0
2008	Acuña (2010)	0,46	0,46	0,46	0
2010		0,36	0,36	0,36	0
2010	Díaz (2010)	0,36	0,36	0,36	0

10. Fósforo Total

Los valores de fósforo presentes en la laguna fueron medidos desde el año 1976 por Parra (1977), el cual obtuvo concentraciones de este parámetro de 0,09 mg/L, 0,06 mg/L y 0,078 mg/L para los meses de febrero, marzo y abril respectivamente. Desde entonces, se han obtenido valores de concentración de fósforo en la laguna Lo Méndez, presentándose éstos a continuación en la tabla A-5:

Tabla A- 5. Evolución del Fósforo Total Presente, Laguna Lo Méndez.

Año	Referencia	Máximo (mg P/L)	Mínimo (mg P/L)	Promedio (mg P/L)	Desviación Estándar
1976	Parra (1977)	0,09	0,06	0,076	0,015
1989	Parra <i>et al.</i> (1989)	0,009	0,003	0,006	0,005
2003	Acuña (2010)	0,1	0,1	0,1	0
2007	Valdovinos y Pedreros (2007)	0,1	0,1	0,1	0
2008	Acuña (2010)	0,04	0,04	0,04	0
2010		0,03	0,03	0,03	0
2010		Díaz (2010)	0,03	0,03	0,03

ANEXO B

Para la evaluación de las diferentes alternativas de tratamiento de aguas residuales se consultó la información realizada por Seoáñez (Seoáñez, 2005), el cual realizó una comparación entre algunos sistemas de tratamiento considerando los principales factores y necesidades. Esta información es presentada a continuación en formato de tablas, en donde se aprecia la Tabla B-1 referente a las necesidades los sistemas de tratamiento de agua residual.

Tabla B- 1. Necesidades de Sistemas de Tratamiento.

Necesidad	Humedal Artificial	Biodiscos	Lagunas Aerobias	Lagunas Anaerobias	Lagunas Facultativas
Espacio (Superficie, m²/hab.)	2,5 - 9	5 - 7	4 - 7	4 - 7	2 - 14
Necesidades de Obra	Poca - Bastante	Muy Poca - Poca	Bastante	Bastante	Bastante
Necesidades de Equipos	Muy Poco	Mucha	Muy Poca	Muy Poca	Muy Poca
Funcionamiento	Muy Sencillo	Complicado	Sencillo	Sencillo	Sencillo
Personal	Poco	Mucho	Poco	Poco	Poco
Control	Medio	Alto	Medio	Medio	Medio
Frecuencia de Control	Alto	Alto	Medio	Medio	Medio

Por otro lado, se realizó una comparación entre los costos asociados a la construcción del sistema de tratamiento de aguas residuales y sus respectivos costos de mantención en el tiempo, la tabla B-2 muestra los costos antes mencionados para diferentes sistemas de tratamiento.

Tabla B- 2. Costos Asociados a Sistemas de Tratamiento.

Sistema	Costos de Construcción	Costos de Mantenimiento
Humedal Artificial	Intermedio	Intermedio
Biodiscos	Intermedio	Alto
Lagunas Aerobias	Bajo	Bajo
Lagunas Anaerobias	Bajo	Bajo
Lagunas Facultativas	Bajo	Bajo

Uno de los factores más importantes a la hora de la elección de la tecnología más apropiada es el rendimiento asociado a los distintos parámetros que determinan el estado trófico del cuerpo de agua. Porcentajes de rendimiento para la eliminación de los sólidos suspendidos o el nitrógeno son presentados en la tabla B-3 que se muestra a continuación:

Tabla B- 3. Rendimiento Asociado a Sistemas de Tratamiento.

Sistema	Rendimiento en %					
	DQO	DBO	SS	N	P	CF
Humedal Artificial	55 - 80	60 - 98	60 - 98	30 - 70	20 - 60	99 - 99,9
Biodiscos	70 - 90	80 - 98	75 - 98	30 - 80	20 - 30	80 - 90
Lagunas Aerobias	50 - 60	65 - 90	90 - 95	60 - 70	10 - 20	99 - 99,9
Lagunas Anaerobias	20 - 40	50 - 90	60 - 80	30 - 40	10 - 20	99 - 99,9
Lagunas Facultativas	50 - 85	60 - 95	50 - 90	60 - 70	10 - 40	99 - 99,9

Nota: DQO: Demanda Química de Oxígeno; DBO: Demanda Biológica de Oxígeno; SS: Sólidos Suspendidos; N: Nitrógeno; P: Fósforo; CF: Coliformes Fecales.

ANEXO C

Se adjuntan a continuación las tablas con los coeficientes de escorrentía proporcionadas por el MINVU (MINVU, 2005) dependiendo del tipo de zona y tipo de superficie (Tablas C-1 y C-2).

Tabla C- 1. Coeficiente de Escorrentía para Distintos Tipos de Zona.

TIPO DE ZONA	COEFICIENTE		
	Mínimo	Medio	Máximo
ÁREAS RESIDENCIALES			
Suburbios Semiurbanos	0,25	0,32	0,40
Casas Aisladas	0,30	0,40	0,50
Condominios Aislados	0,40	0,50	0,60
Condominios Pareados o Continuos	0,60	0,67	0,75
Departamentos en Edificios Aislados	0,50	0,60	0,70
Departamentos en Edificios Continuos	0,70	0,80	0,90
ÁREAS COMERCIALES			
Comercio en Alta Densidad	0,70	0,82	0,95
Comercio en Baja Densidad	0,50	0,60	0,70
ÁREAS INDUSTRIALES			
Grandes Industrias	0,50	0,65	0,80
Pequeñas Industrias	0,60	0,75	0,90
PARQUES, PLAZAS Y JARDINES	0,10	0,17	0,25

Tabla C- 2. Coeficiente de Escorrentía para Distintos Tipos de Superficie.

TIPO DE SUPERFICIE	COEFICIENTE		
	Mínimo	Medio	Máximo
CALLES			
Asfalto no Poroso	0,70	0,82	0,95
Hormigón	0,80	0,87	0,95
Adoquín de Cemento sobre Arena	0,50	0,60	0,70
Maicillo, Ladrillo	0,30	0,40	0,50
TECHOS			
Zinc, Latón, Metálicos en General	0,85	0,90	0,95
Tejas, Pizarras, Cemento Asbesto	0,70	0,80	0,90
PATIOS			
Baldosas, Hormigón	0,80	0,87	0,95
Tierra, Sin Cobertura	0,50	0,60	0,70
PARQUES, PLAZAS Y JARDINES			
Prados, Suelo Arenoso	0,05	0,12	0,20
Prados, Suelo Arcilloso	0,15	0,25	0,35

Nota: En general se recomienda utilizar los valores medios de cada categoría, a menos que se justifique el empleo de los valores mínimos. Si se desea considerar condiciones de seguridad se pueden emplear los valores máximos indicados (MINVU 2005). El rango de valores indicados en las tablas es para tormentas típicas con periodos de retorno de 2 a 10 años. Para tormentas mayores se recomienda usar el valor más alto dentro de cada rango, o incluso valores mayores si se estima conveniente (MINVU 2005).

Por otro lado, se adjuntan los coeficientes de rugosidad para las distintas superficies a estudiar, estos datos también fueron extraídos de la guía de diseño del MINVU (MINVU, 2005).

Tabla C- 3. Coeficiente de Rugosidad para Distintas Superficies.

Tipo de Superficie	Coefficiente <i>n</i>
Tubos de Plástico	0,011
Tubos de Cemento Asbesto	0,012
Tubos de Mortero Comprimido	0,013
Calles de Hormigón y Asfalto	0,015
Techos	0,018
Jardines	0,025
Superficies de Tierra	0,030
Superficies con Vegetación	0,050

La presentación de estas tablas, sumado a los factores básicos expuestos anteriormente, permitirán realizar la elección correcta del método que más se acomode a las necesidades existentes en el lugar, de manera de optimizar los recursos, disminuyendo los costos totales asociados al sistema de tratamiento y maximizando los resultados, considerando el menor impacto en el medioambiente y las poblaciones aledañas a la laguna Lo Méndez.

ANEXO D

En este anexo se detallará la información referente a los humedales artificiales, los tipos de humedales existentes, sus componentes y principales características, además de imágenes referentes a cada tipo de humedal, dependiendo de la distribución del flujo.

Tipos de Humedales Artificiales

Se presentan a continuación los tipos de humedales artificiales que existen actualmente, los cuales dependen de la distribución del flujo a través del humedal.

Humedal Artificial de Flujo Libre Superficial

Los humedales artificiales de FLS consisten en canales o balsas de poca profundidad (0,1 a 0,6 m) construidas sobre el terreno con algún tipo de barrera que confine el sistema y evite posibles filtraciones, los cuales contienen un lecho de grava o arena que se utiliza como soporte para las raíces de la vegetación emergente y a través de las cuales circula el agua residual con una trayectoria horizontal (Lara, 1999; Mena *et al.*, 2008).

La superficie de este tipo de humedales está expuesta, lo cual conlleva a posibles accidentes y el acceso de pobladores del lugar (EPA USA, 2000), además, la exposición del agua a la atmósfera hace que el diseño adecuado de estos sistemas de tratamiento sea crucial para evitar problemas derivados de una posible sobrecarga del sistema, tales como la aparición de malos olores y plagas de insectos (de Azcoitia, 2008; Mena *et al.*, 2008). Se expone la sección transversal tipo de un humedal artificial de FLS (Figura D-1).

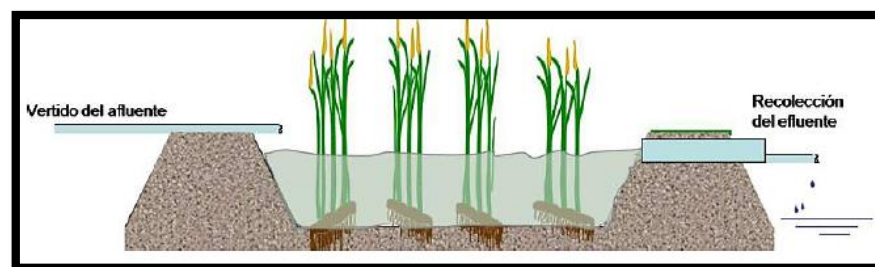


Figura D- 1. Sección transversal humedal artificial de FLS.

Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial

Un humedal artificial de FSS está diseñado específicamente para el tratamiento de algún tipo de agua residual, o su fase final de tratamiento, y está construido típicamente en forma de un lecho o canal que contiene un medio apropiado (EPA USA, 2000). El agua circula a través del medio poroso y de soporte, ya sea rocas o grava, y siempre por debajo de la superficie del mismo (Figura D-2), de este modo, y a diferencia de los sistemas FLS, se evitan problemas como posibles plagas de insectos, olores y, en climas fríos, aportan una mayor protección térmica (Lara, 1999; de Azcoitia, 2008; Mena *et al.*, 2008). Otra de las ventajas de mantener un nivel subsuperficial del agua es la eliminación del riesgo de que los pobladores entren en contacto con el agua residual parcialmente tratada (EPA USA, 2000), factor importante si se considera que el humedal proyectado será emplazado en un sector urbano residencial.

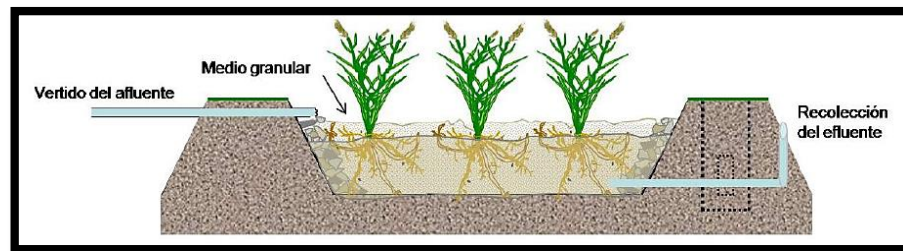


Figura D- 2. Sección transversal humedal artificial de FSS.

Cabe notar que debido a la circulación subterránea del agua residual es necesario disponer de una barrera impermeable para confinar al sistema y prevenir la contaminación de las aguas subterráneas del lugar (de Azcoitia, 2008).

Por otro lado, dentro de los humedales de flujo subsuperficial, como se enumeró anteriormente, se pueden encontrar dos tipos de flujo: horizontal (FSSH) y vertical (FSSV).

- Flujo Horizontal

En los humedales artificiales FSSH la alimentación del agua residual se realiza a través de un distribuidor y avanza lentamente por la parcela de manera horizontal y con flujo básicamente de pistón, hasta que llega a la zona de salida. Este tipo de humedal presenta características de limitación de oxígeno, porque la vegetación no puede aportar con las raíces la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la carga orgánica del agua residual, por lo que este sistema no es capaz de nitrificar de forma importante, aunque si desnitrificar (de Azcoitia, 2008).

- Flujo vertical

Esta tipología de humedales fue desarrollada en Europa como alternativa a los humedales horizontales para producir efluentes nitrificados (de Azcoitia, 2008). La alimentación de agua residual se realiza de manera intermitente, a pulsos o por cargas por toda la superficie a través de unas tuberías aéreas o de surtidores que se sitúan encima del lecho de grava o arena (de Azcoitia, 2008; Mena *et al.*, 2008). Los sistemas verticales tienen una mayor capacidad de tratamiento que los horizontales ya que requieren de una menor superficie para tratar una determinada carga orgánica. Por otra parte, son más susceptibles a la colmatación del lecho (de Azcoitia, 2008).

Con este sistema se consigue un mayor contacto entre el agua residual y el aire dentro de los poros, por lo tanto, mejores rendimientos en aquellos mecanismos aerobios que tuvieran lugar debido a un mayor aporte de oxígeno, pero presenta los inconvenientes de que su operación es más compleja, un poco más cara y que no han sido tan estudiados como los horizontales (Mena *et al.*, 2008).

Finalmente agregar que los humedales artificiales con flujo subsuperficial son muy eficientes en lo referido a costo, consumo energético y mantenimiento, si los comparamos con sistemas convencionales. Desde el punto de vista de los costes, que un sistema FSS sea competitivo frente a uno de FLS, para pequeñas comunidades y caudales, es difícil, ya que esto siempre dependerá de los costos de la tierra, del tipo de impermeabilización que se requiera y el tipo y disponibilidad del material granular empleado (Mena *et al.*, 2008).

Componentes

Los humedales construidos consisten en el correcto diseño de una cubeta que contiene agua, substrato, y la mayoría normalmente, plantas emergentes. Estos componentes pueden manipularse durante la construcción del humedal.

Otros componentes importantes de los humedales, como son las comunidades de microorganismos y los invertebrados acuáticos, se desarrollan naturalmente con el tiempo (Lara, 1999). A continuación se describen los elementos anteriormente mencionados que constituyen un humedal artificial:

1. Agua

El agua es la fase móvil dentro del humedal, la encargada del transporte de los contaminantes y en la cual se van a producir la mayoría de las reacciones responsables de la depuración. Las condiciones hidrológicas son extremadamente importantes para el mantenimiento estructural y funcional del humedal. Éstas afectan a muchos factores abióticos, incluyendo el estado oxidativo del lecho, la disponibilidad de los nutrientes y la salinidad. Estos factores abióticos, a su vez, determinan qué seres vivos van a desarrollarse en el humedal (Mena *et al.*, 2008).

Por otro lado, debido a su gran extensión y poca profundidad, a diferencia de otros ecosistemas acuáticos, los humedales poseen una fuerte interacción y dependencia con los procesos de evapotranspiración y precipitaciones. Estos procesos afectan su hidrología a veces de manera drástica e incluso pueden influir en su eficiencia para tratar aguas residuales (Moncada, 2011; Llanos, 2013).

2. Substratos

Los substratos en los humedales construidos incluyen suelo, arena, grava, roca y materiales orgánicos como el compost. Sedimentos y restos de vegetación se acumulan en el humedal debido a la baja velocidad del agua y a la alta productividad típica de estos ecosistemas (Lara, 1999). Los substratos son importantes ya que actúan como soporte para las plantas y como superficie para el crecimiento y desarrollo de la masa microbiana. Por otro lado, la permeabilidad de los substratos afecta el movimiento del agua a través de humedal y proporcionan almacenamiento para muchos contaminantes (Lara, 1999; Mena *et al.*, 2008).

Finalmente agregar que las características físicas y químicas del suelo y otros substratos se alteran cuando se inundan. En un substrato saturado, el agua reemplaza los gases atmosféricos en los poros y el metabolismo microbiano consume el oxígeno disponible y aunque se presente dilución de oxígeno en la atmósfera, puede darse lugar a la formación de un substrato anóxico, lo cual será importante para la remoción de contaminantes como el nitrógeno y los metales (Lara, 1999).

3. Vegetación

Las plantas también juegan un papel importante en el proceso de tratamiento de los afluentes ya que proporcionan un ambiente apropiado para el crecimiento microbiano y mejoran significativamente la transferencia de oxígeno a la zona de raíces, que es parte del lecho filtrante. Además, son estéticamente agradables y añaden verdor a las zonas urbanas y residenciales, sirven de hábitat para los animales como pájaros y ranas, y actúan localmente como "espacios verdes" (Hoffmann *et al.*, 2011).

Por otro lado, las plantas contribuyen a estabilizar el cauce, influyen en la conductividad hidráulica del terreno, distribuyen y ralentizan la velocidad del agua, lo que favorece la sedimentación de los sólidos suspendidos y aumenta el tiempo de contacto entre el agua y la vegetación (Mena *et al.*, 2008). La vegetación emergente más comúnmente utilizada incluye las espadañas y aneas (*Typha* spp.), los juncos (*Scirpus* spp.) y los carrizos (*Phragmites* spp.).

En Europa los *Phragmites* son las plantas preferidas para esta aplicación. Esta planta tiene varias ventajas debido a que se trata de una planta durable de rápido crecimiento que no es una fuente alimenticia para aves o la vida silvestre (EPA USA, 2000; Hoffmann *et al.*, 2011; Colombo, 2015).

4. Microorganismos

La eficiencia de los humedales como sistemas de tratamiento está condicionada fundamentalmente por la actividad microbiológica que en ellos se lleva a cabo. Es por esto que, al diseñar y construir un humedal artificial, se debe tomar en cuenta la creación de un ambiente propicio para el crecimiento de los microorganismos. Los protozoos, las bacterias, hongos y levaduras son sólo algunos de los tipos de microorganismos que crecen en los humedales y que se encargan de tratar el agua residual, transformando un gran número de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inocuas o insolubles.

Las poblaciones microbianas se ajustan a los cambios en el agua que les llega y se pueden extender rápidamente cuando se tiene la suficiente energía. Cuando las condiciones medioambientales no son convenientes, muchos microorganismos se inactivan y puede permanecer inactivo durante años (Lara, 1999; Mena *et al.*, 2008; Llanos, 2013).

5. Animales

Los humedales construidos proveen un hábitat para una rica diversidad de animales vertebrados e invertebrados. Los animales invertebrados, como insectos y gusanos, contribuyen al proceso de tratamiento fragmentando el detritus al consumir la materia orgánica. Las larvas de muchos insectos son acuáticas y consumen cantidades significativas de materia durante sus fases larvales. Aunque los invertebrados son los animales más importantes ya que mejoran la calidad del agua, los humedales construidos también atraen a variedades de pájaros e incluso, en algunos casos, patos silvestres (Lara, 1999; Llanos, 2013).

6. Realce de la Estética y el Paisaje

Aunque los humedales son principalmente sistemas de tratamiento, proporcionan beneficios intangibles aumentando la estética del lugar y reforzando el paisaje. Visualmente, los humedales son ambientes extraordinariamente ricos. Además, los humedales artificiales pueden ser construidos siguiendo las formas que tienen los contornos naturales del lugar o, en algunos casos, los humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales son indistinguibles, a simple vista, de los humedales naturales (Lara, 1999).

ANEXO E

En este anexo se presentan algunas imágenes capturadas en terreno que permitieron la caracterización de la laguna Lo Méndez y sus alrededores, las cuales fueron tomadas en los meses de Abril, Mayo, Junio y Julio del presente año.

Contaminación visual

Durante las salidas a terreno se evidencio una alta presencia de material contaminante tanto en la laguna como en los alrededores de ella, los cuales ponen en peligro a la fauna de la laguna y deterioran la belleza del lugar. A continuación se expone la situación de las aguas de la laguna.



Figura E- 1. Contaminación Presente en la Laguna Lo Méndez.

Zonas ribereñas

A su vez, se recopiló material fotográfico correspondiente a la zona ribereña de la laguna, con el fin de describir el estado actual en que se encuentran las zonas costeras al cuerpo lacustre.



Figura E- 2. Zonas aledañas a la laguna Lo Méndez.

Flora y fauna

Finalmente, se capturaron imágenes referentes a las especies que habitan este cuerpo de agua, específicamente se logró evidenciar el estado de la zona norte de la laguna, cercana al colector N°75 del PMALL y un cartel que hace referencia a la condición de pérdida de hábitat del cisne de cuello negro por el mal estado de las aguas de la laguna Lo Méndez (Figura E-3).



Figura E- 3. Cartel informativo del estado actual del Cisne de cuello negro.

ANEXO F

En base a la normativa Chilena vigente consultada en este proyecto, se procedió a realizar el análisis de cada uno de los requerimientos mínimos según sea el uso que se le quiera dar a las aguas de la laguna. De esta forma se confeccionaron las tablas presentadas a continuación considerando los diferentes usos que estipula la normativa Chilena para cuerpos de agua superficial.

1. Requisitos del agua destinada a la estética

Si se desea considerar al agua presente en la laguna Lo Méndez para usos estéticos, ésta debe estar exenta de las siguientes sustancias atribuibles a descarga o vaciamiento de residuos dispuestos en la norma Chilena NCh 1333 Of.78 –Mod.87:

Tabla F- 1. Requisitos del agua destinada a la estética.

Parámetro	Unidad de Medida	Agua Laguna Lo Méndez
Material que sedimente formando depósitos objetables	Ausencia	No cumple
Desechos flotantes, aceite, espuma y otros sólidos	Ausencia	No cumple
Sustancias que produzcan color, olor, sabor o turbiedad objetable	Ausencia	No cumple
Materias, incluyendo radionucleidos, en concentraciones o combinaciones que sean tóxicas o que produzcan reacciones fisiológicas indeseables en seres humanos, peces, otros animales y plantas	Ausencia	Sin información
Sustancias y condiciones o combinaciones de éstas, en concentraciones que produzcan vida acuática indeseable.	Ausencia	No cumple

2. Requisitos del agua para la recreación con contacto directo

Con el propósito de fomentar el deporte en el sector Santa Sabina e integrar la laguna con la comunidad, se podría utilizar a este cuerpo de agua como un medio para la recreación y el desarrollo de actividades acuáticas (natación, buceo, etc.). Para este caso, el agua de la laguna deberá cumplir como mínimo con los siguientes requisitos estipulados en la norma Chilena NCh 1333 Of.78 – Mof.87 así como también en el decreto supremo N°143:

Tabla F- 2. Requisitos del agua para la recreación con contacto directo.

Parámetro	Unidad de medida	Requisito	Agua Laguna Lo Méndez
pH	-	6,5 - 8,3	Cumple
Temperatura	°C	<30	Cumple
Claridad	Discos Secchi	>1,20 m	Cumple
Sólidos flotantes visibles y espumas no naturales		Ausentes	No cumple
Aceites flotantes y grasas	mg/L	<5	No cumple
Turbidez	Escala Sílice	<50	Cumple
Coliformes Fecales		<1.000	No cumple
Sustancias que produzcan olor o sabor inconvenientes		Ausentes	No cumple

3. Requisitos para aguas destinadas a la vida acuática

La norma Chilena NCh1333 Of.78 – Mod.87 también hace referencia a los requerimientos mínimos necesarios que deben cumplir las aguas superficiales que sean destinadas para resguardar la vida de especies acuáticas. Siguiendo esta línea se presenta a continuación los parámetros requeridos para este caso ya que la laguna es el hábitat de algunas especies acuáticas.

Tabla F- 3. Requisitos del agua destinada a la vida acuática.

Parámetro	Unidad de medida	Requisito	Agua Laguna Lo Méndez
Oxígeno Disuelto	mg/L	>5	Cumple
pH	-	6,0 - 9,0	Cumple
Alcalinidad Total	mg/L de CaCO3	>20	Cumple
Turbiedad debido a descarga	Unidades Escala Sílice	No debe aumentar el valor natural en más de 30 unidades. En flujos de agua corriente, no debe aumentar el valor natural en más de 3°C	No cumple
Temperatura	°C		Cumple
Sólidos flotantes visibles y espumas no naturales	-	Ausentes	No cumple

4. Requisitos del agua para el consumo humano

Considerando el caso de que el agua de la laguna Lo Méndez deba ser utilizada para el consumo humano, ésta debe cumplir con los requerimientos mínimos de calidad estipulados en la norma Chilena NCh 409/1 Of.2005 que hace referencia a “*Agua Potable – Parte 1 – Requisitos*”. Se adjunta a continuación en la tabla N°28 los parámetros mínimos exigidos.

Tabla F- 41. Requisitos del agua destinada al consumo humano.

Parámetro	Unidad de Medida	Requisito	Agua Laguna Lo Méndez
Turbidez	NTU	<4	No cumple
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	<5	No cumple
Color	Unidad Pt-Co	<20	Cumple
Olor	-	Inodora	No cumple
pH	-	6,5 - 8,5	Cumple
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	<1500	Cumple

5. Requisitos del agua para descargas a cuerpos lacustres

Teniendo en cuenta que la principal fuente de contaminación de la laguna Lo Méndez es a través de los efluentes que ingresan al cuerpo de agua, es preciso considerar si estas descargas cumplen con los parámetros máximos establecidos. Por esta razón se consulta al decreto supremo N°90 que regula las descargas de agua a los diferentes cuerpos de agua, en donde para este caso se presenta la tabla que hace referencia a los parámetros máximos permitidos para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua lacustre.

Tabla F- 5. Requisitos de los efluentes de descarga a cuerpos lacustres.

Contaminantes	Unidad de Medida	Límite Máximo Permisible	Efluentes Laguna Lo Méndez
Aceites y Grasas	mg/L	20	No cumple
Coliformes Fecales	NMP/100 mL	1000	No cumple
DBO5	mg O2/L	35	Cumple
Fósforo Total	mg P/L	2	Cumple
Nitrógeno Total	mg N/L	10	Cumple
pH	-	6,0 - 8,5	No cumple