



**Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería en Medioambiente
Ingeniería Ambiental**

**“SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL PARQUE
QUEBRADA VERDE DE VALPARAÍSO”**

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

**CAMILA MANSILLA VIGNOLO
PROFESOR GUÍA: OCIEL COFRÉ CARVAJAL**

VALPARAÍSO, CHILE

2019

Resumen

En este trabajo se diseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales para el Parque Quebrada Verde de Valparaíso, sector picnic, ubicado en avenida Laguna Seca 18, Valparaíso. En la actualidad el Parque posee un sistema de tratamiento de lodos activados que no está dando abasto para la población visitante. Es por esto que, la administración del Parque está buscando y fomentando iniciativas para averiguar nuevas soluciones a una problemática que viene arrastrando desde hace algún tiempo.

Dos de las características más importantes que posee el sistema de tratamiento de aguas residuales, es que en una de sus etapas simula un sistema natural al considerar la construcción de un humedal artificial y que, además, permite otorgar agua de uso exclusivo para regadío de áreas verdes y de especies reforestadas.

Si bien en este trabajo también se incluyó una etapa de desinfección, la decisión de incorporarlo queda a decisión de la administración, ya que la etapa de desinfección permite otorgar un agua con otras características, versátil y capaz de mantener sus cualidades por un tiempo prolongado.

Finalmente se realizó una evaluación económica del sistema propuesto identificando los beneficios que conlleva la implementación, tanto para los visitantes, la administración y el ecosistema circundante.

Índice

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	SITUACIÓN DEL RECURSO HÍDRICO EN CHILE.....	2
1.2	TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	3
1.3	CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES	6
1.3.1	<i>Característica Físicas</i>	6
1.3.2	<i>Características Químicas.....</i>	8
1.3.3	<i>Características Biológicas.</i>	10
1.4	PARQUE QUEBRADA VERDE	12
2	PROBLEMA	16
3	OBJETIVOS	17
3.1	OBJETIVO GENERAL	17
3.2	OBJETIVO ESPECÍFICOS	17
4	CAPACIDAD Y UBICACIÓN DEL SISTEMA	18
4.1	CAPACIDAD.....	18
4.1.1	<i>Proceso de Encuesta.....</i>	20
4.2	UBICACIÓN	23
4.3	REQUERIMIENTOS LEGALES.....	26
4.3.1	<i>Normativa Internacional.....</i>	26
4.3.2	<i>Normativa Nacional</i>	27
4.3.3	<i>Reglamentación Nacional.....</i>	32
5	SÍNTESIS Y SELECCIÓN DE OPERACIONES UNITARIAS	35
5.1	TRATAMIENTO PRIMARIO	35
5.1.1	<i>Tanque Séptico.....</i>	35
5.1.2	<i>Tanque Imhoff.....</i>	37
5.2	TRATAMIENTO SECUNDARIO.....	38
5.2.1	<i>Humedales artificiales</i>	39
5.2.2	<i>Filtro percolador</i>	46
5.2.3	<i>Biodiscos</i>	47
5.3	DESINFECCIÓN	49
5.3.1	<i>Desinfección con cloro</i>	49

5.3.2	<i>Desinfección con ozono</i>	50
5.3.3	<i>Desinfección con Rayos Ultravioleta</i>	51
5.4	SELECCIÓN	52
5.5	CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO	55
5.5.1	<i>Tanque séptico</i>	55
5.5.2	<i>Biorreactor</i>	58
5.5.3	<i>Clorador / Declorador</i>	61
6	BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA	62
6.1	BALANCE DE MATERIA	62
6.1.1	<i>Tanque séptico</i>	63
6.1.2	<i>Biorreactor</i>	64
6.1.3	<i>Desinfección</i>	65
6.1.4	<i>Sistema de riego</i>	66
6.2	BALANCE DE ENERGÍA	67
6.2.1	<i>Diseño de Bombas</i>	67
6.2.2	<i>Bomba sumergible</i>	72
6.2.3	<i>Control automático de nivel de agua</i>	72
7	DISEÑO, ESTIMACIÓN Y SELECCIÓN DE EQUIPOS	74
7.1	TANQUE SÉPTICO.....	74
7.2	HUMEDAL ARTIFICIAL	76
7.2.1	<i>Sustrato</i>	79
7.2.2	<i>Membranas</i>	82
7.2.3	<i>Vegetación</i>	82
7.3	DESINFECCIÓN	83
7.4	ESTANQUE DE ACUMULACIÓN.....	85
7.5	DISEÑO DE BOMBAS	86
7.5.1	<i>Control automático de nivel de agua</i>	87
8	EVALUACIÓN DE COSTOS	89
8.1	COSTOS DE INVERSIÓN	89
8.1.1	<i>Balance de obras físicas</i>	89
8.1.2	<i>Balance de insumos generales</i>	90
8.1.3	<i>Balance Etapa de Construcción</i>	91
8.2	COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	93

8.3	BENEFICIOS DEL SISTEMA	95
9	DISCUSIÓN.....	98
10	CONCLUSIÓN	100
	BIBLIOGRAFÍA	101
	ANEXOS.....	105
	ANEXO 1 CUESTIONARIO INFORMATIVO.....	106
	ANEXO 2 CUADRO COMPARATIVO DE VARGAS, 2016	107
	ANEXO 3 CARTA COBERTURA VEGETAL.....	108
	ANEXO 4 CARTA ZONIFICACIÓN DE ECOSISTEMAS	109
	ANEXO 5 CARTA RIESGO DE INCENDIO.....	110
	ANEXO 6 MATERIALES / EQUIPOS	111

Índice de Tablas

Tabla 1 Terminología utilizada en la Ley 21.075 del Ministerio de Obras Públicas, 2018.....	4
Tabla 2 Tecnologías ocupadas en Chile para el tratamiento de Aguas servidas	6
Tabla 3 Desagregado mensual y porcentual de visitas al Parque Quebrada Verde, 2017	18
Tabla 4 Desagregado por día de la semana y porcentual de visitas al Parque Quebrada Verde, 2017 .	19
Tabla 5 Desglose porcentual del agua residual que se genera en el Parque Quebrada Verde de Valparaíso.	20
Tabla 6 Caudal promedio diario estimado por mes en la zona de picnic y proyectado a 10 años.....	22
Tabla 7 Destinos aplicables a las aguas grises tratadas (Ley 21.017).....	29
Tabla 8 Valores, porcentajes y concentraciones máximas y mínimas permisibles de elementos físicos y químicos en agua para riego (NCh 1333)	31
Tabla 9 Clasificación de agua para riego según su conductividad específica y sólidos disueltos totales	32
Tabla 10 Proyectos de saneamiento ambiental que deben entrar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (Decreto N° 40, 2012)	33
Tabla 11 Caracterización de aguas servidas domésticas correspondientes a 100 habitantes (Extracto del decreto N° 609, 98)	34
Tabla 12 Características principales entre humedales artificiales superficiales y subsuperficiales.	44
Tabla 13 Tipo de contaminante junto a su proceso de remoción de contaminantes dentro de los HA FSS.....	45
Tabla 14 Tabla Comparativa entre las opciones de Tratamiento Biológico.	48
Tabla 15 Tabla comparativa entre las opciones de Desinfección	52
Tabla 16 Caracterización de las aguas residuales domésticas (DS N°609, 1998)	63
Tabla 17 Eficiencia de remoción para el tanque séptico (Tilley <i>et al.</i> , 2014).....	63
Tabla 18 Eficiencia de remoción típica para un humedal subsuperficial de flujo horizontal	64
Tabla 19 obtención de la pérdida de carga por succión y descarga	70
Tabla 20 Balance de Energía Anual	73
Tabla 21 Macrófitas comúnmente utilizadas en los humedales subsuperficiales de flujo horizontal ...	83
Tabla 22 Costos asociados a las Obras Físicas	90
Tabla 23 Costos asociados a insumos generales	91

Tabla 24 Costos Asociados a cada tramo	92
Tabla 25 Costos etapa de operación / mantenimiento	94
Tabla 26 Total costos directos	94
Tabla 27 Total costos directos con modificación	98
Tabla 28 Total costos directos con modificación en etapa de desinfección	99

Índice de Figuras

Figura 1 Relación oferta y demanda de agua de uso consuntivo (Banco Mundial, 2011)	2
Figura 2 División porcentual de los tipos de tratamientos de aguas residuales, Chile (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2016).....	5
Figura 3 Composición de los sólidos totales en el agua (Mendoza, 2000).....	8
Figura 4 Mapa ilustrativo del Parque Quebrada Verde (Buvinic <i>et al.</i> , 2013).....	13
Figura 5 Diagrama en bloque para el tratamiento de aguas servidas del Parque Quebrada Verde	15
Figura 6 División Porcentual de Registro de visitas por día de semana en el Parque Quebrada Verde, 2017	19
Figura 7 Promedio actual de visitantes diarios con su proyección a 10 años.	21
Figura 8 Límites del Parque Quebrada Verde (PUCV, 2009)	24
Figura 9 Ubicación del sistema de tratamiento de aguas residuales en el sector picnic (Elaboración Propia).....	25
Figura 10 Objetivos del Desarrollo Sostenible (PNUD, 2016)	27
Figura 11 Configuración típica de una planta de tratamiento de aguas residuales.	35
Figura 12 Configuración básica de un tanque séptico. (Modificado de Tilley <i>et al.</i> , 2014).....	36
Figura 13 Tanque Imhoff Circular, sección Transversal (Crites & Tchobanoglous, 2000)	38
Figura 14 Clasificación de los humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales (Modificado de Hoffman <i>et al.</i> , 2011)	40
Figura 15 Humedal artificial flujo superficial (Dotro <i>et al.</i> , 2017).....	42
Figura 16 Humedal Subsuperficial de Flujo Horizontal (Dotro <i>et al.</i> , 2017).....	43
Figura 17 Humedal Subsuperficial de Flujo Vertical (Dotro <i>et al.</i> , 2017)	43
Figura 18 Esquema representativo de un filtro percolador con recirculación del efluente clarificado.	46
Figura 19 Diagrama en bloque una unidad RCB típica.....	48
Figura 20 Diagrama en bloque del sistema de reutilización de aguas residuales	54
Figura 21 Fosa Séptica, marca SEPTIBLOCK	56
Figura 22 Fosa Séptica con cuatro compartimentos.....	57
Figura 23 Procedimiento para la incorporación e instalación del geotextil y la membrana	59
Figura 24 Tendido y anclaje de la geomembrana (Delgadillo <i>et al.</i> , 2010)	59
Figura 25 Diseño del Tanque Séptico	75

Figura 26 Diseño humedal Artificial	78
Figura 27 Diseño de la estructura del humedal incluyendo el sustrato.....	81
Figura 28 Diseño del Estanque de desinfección	84
Figura 29 Diseño del estanque de desinfección y estanque de acumulación.....	86
Figura 30 Esquema de bombeo de agua desde estanque clorador a estanque de almacenamiento	87

1 Introducción

A comienzo de 2018, Ciudad del Cabo, Sudáfrica, se convertiría en la primera ciudad del mundo actual y urbanizado en quedar sin abastecimiento de agua. Problemas de corrupción, precaria gestión del recurso y condiciones geográficas y climáticas, podrían haber influenciado fuertemente en esta situación. (Crespo, 2018)

Ciudad del Cabo, posee un clima que se repite en pocas partes del mundo y son únicos en cuanto a la sequedad con la que se desarrolla el período estival. Esta situación replica en la zona central de Chile, al poseer, al igual Ciudad del Cabo, un Clima Mediterráneo. Este factor climático puede ser condicionante a la hora de desarrollarse eventuales casos de sequía en el mundo.

Chile posee la tercera reserva de agua dulce a nivel mundial (Mebus, 2009), debido a los fuertes cambios geográficos y latitudinales que lo encuadran de norte a sur y de cordillera a mar, sin embargo, esta situación es crítica debido a que por su distribución geográfica el acceso es limitado por lo que está distribuido naturalmente en forma desigual.

En Chile, año 2015, Esval alertó que la región de Valparaíso -de clima mediterráneo costero- tenía serios riesgos ante la posibilidad de quedar sin agua potable debido a la situación crítica que sostenía el embalse Los Aromos, situación que se ha regularizado con el tiempo. Sin embargo, según el “Informe Pluviométrico Diario en la Estación de Observación Meteorológica Faro Punta Ángeles” de la ciudad de Valparaíso, ésta posee un déficit del 85,2% respecto de un año normal a la fecha (Dato obtenido en abril, 2018). Situación que es complicada debido a que las precipitaciones, tanto en zona costera como es la zona cordillerana, son fundamentales para el funcionamiento y mantenimiento de los ecosistemas, ya que el recurso hídrico se otorga de manera constante y transversal en el territorio nacional.

Es de conocimiento general que se van a seguir necesitando grandes volúmenes de agua para el desarrollo de las actividades humanas, como lo son: el consumo y saneamiento de agua para la población, la producción agroalimentaria, la actividad industrial, minera y de energía, la preservación ecosistémica tal como caudal ecológico, e inclusive, para la recarga de acuíferos, lagos y estanques.

Considerando el escenario anteriormente planteado, nace la necesidad de buscar o generar “nuevas” fuentes hídricas que promuevan la durabilidad del recurso hídrico.

1.1 Situación del Recurso hídrico en Chile

La esorrentía media total en Chile, entendida como, el volumen de agua procedente de las precipitaciones que escurre por los cauces superficiales y subterráneos, supera casi ocho veces el promedio mundial, en otras palabras, en Chile escurre un total de $51.218 \text{ m}^3 \text{ habitante}^{-1} \text{ año}^{-1}$, mientras que el promedio mundial no supera los $6.000 \text{ m}^3 \text{ habitante}^{-1} \text{ año}^{-1}$ (Banco Mundial, 2011), no obstante, a pesar de que Chile es considerado como uno de los países privilegiados en cuanto de la disponibilidad del recurso hídrico, éste se encuentra distribuido de manera desigual a lo largo de todo del territorio nacional (Ministerio del Interior y Seguridad Pública, 2015). Por el norte tenemos el desierto más árido del planeta y por el sur, zonas de prolongadas lluvias y glaciares milenarios.

La Figura 1, muestra la cantidad disponible versus la demanda del recurso hídrico que existe a nivel nacional y segmentado por región. Se puede observar la diferencia abismal que existe entre la disponibilidad y el nivel de extracción entre la II y III región de Chile, demandando mayor cantidad de agua de la que genera por sí misma. Mientras que desde la VI región hacia la zona sur austral de Chile, se puede evidenciar una relación diametralmente opuesta otorgando satisfactorios niveles en lo que a disponibilidad del recurso hídrico respecta.

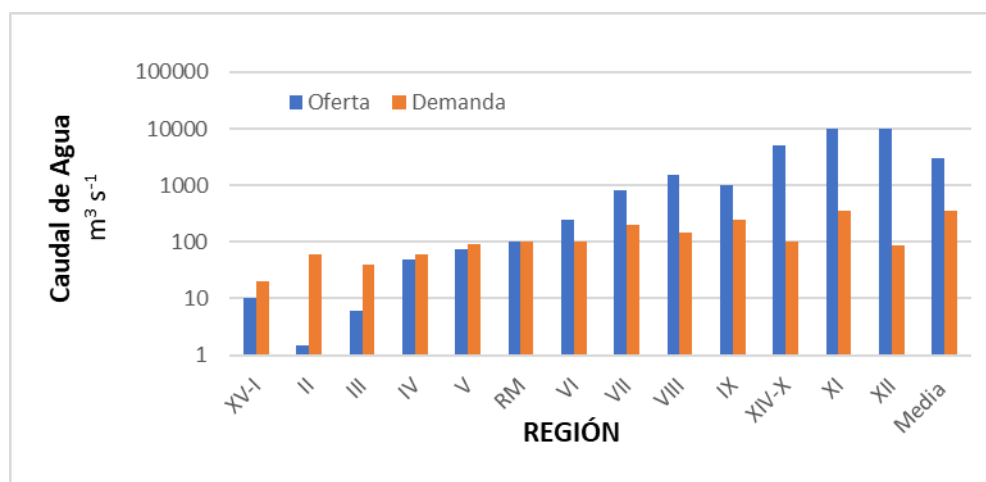


Figura 1 Relación oferta y demanda de agua de uso consuntivo (Banco Mundial, 2011)

Luego de la anterior publicación del Banco Mundial del año 2011, se anunció la Política Nacional Para los Recursos Hídricos (2015) la cual indica que, durante los últimos años las zonas norte, centro, centro-sur e incluso comunas de la zona sur del país han enfrentado una severa escasez hídrica

producto de una disminución de las precipitaciones, caudales y un aumento considerable en la isoterma cero. A esto se debe agregar los efectos del calentamiento global, donde podemos evidenciar una disminución a nivel nacional de la pluviometría y un aumento en la escorrentía superficial, disminuyendo la capacidad de los suelos para infiltrar el recurso hídrico.

Entre las diferentes medidas que se han tomado para combatir el actual desabastecimiento de agua se identifican principalmente el desarrollo de políticas, lineamientos y estrategias para el desarrollo y sostenibilidad del recurso hídrico, incorporando nuevas tecnologías para los distintos sectores, sin embargo, actividades como éstas no tienen como fin disminuir el consumo de agua en la actividad, sino buscan maximizar su producción, es decir, generar mayor cantidad de bienes, con la misma cantidad de agua.

Para el caso de la región de Valparaíso, se contempla un consumo total de 3.323 millones de m³ anuales de uso consuntivo, considerando consumo humano y de saneamiento, productivo y de preservación ecológica. Mientras que para el año 2030 se estima un consumo de 5.437 millones de m³ anuales de uso consuntivo, significando un aumento del 63% de consumo de agua (Gobierno Regional de Valparaíso, 2018).

Este consumo debe ser saciado de alguna manera. Es aquí donde entra la opción de la recuperación de las aguas residuales como alternativa para el abastecimiento, con ayuda de la reincorporación y recirculación de las aguas tratadas.

1.2 Tratamiento de las Aguas Residuales

Toda comunidad genera residuos, estos pueden ser de naturaleza sólida o líquida. La fracción líquida corresponde a lo que comúnmente denominados Aguas Residuales.

Por definición, según la Norma que Regula la Recolección, Reutilización y Disposición de las Aguas Grises (2018), las aguas residuales corresponden a aquellas que se descargan después de haber sido utilizadas en un proceso o producidas por éste y que no tienen ningún valor inmediato para dicho proceso. Sin embargo, estas aguas son un componente valioso a la hora de enfrentarnos a prolongados episodios de escases hídrica.

Hace algunos años ha tomado mucha más fuerza la idea de reincorporar las aguas residuales al sistema como medida combativa y de acción frente a los episodios de sequía en las ciudades. Para ello, estas aguas deben ser tratadas y, además, guiarse según la normativa vigente con el fin de conocer los requisitos de calidad de agua en función del uso que se le otorgue, tal como indica la Norma Chilena 1333. Además, es importante tener en cuenta la terminología apropiada para referirse a un tipo de agua en particular. La ley 21.075 del Ministerio de Obras Públicas (MOP) se encarga de definir la terminología adecuada de cada concepto a utilizar. Ver Tabla 1

Tabla 1 Terminología utilizada en la Ley 21.075 del Ministerio de Obras Públicas, 2018

Tipos	Definición
Aguas Residuales	Aguas que se descargan después de haber sido utilizadas en un proceso o producidas por éste y que no tienen ningún valor inmediato para dicho proceso
Aguas Servidas domésticas	Aguas residuales que contienen los desechos de una edificación, compuesta por aguas grises y negras.
Aguas Grises	Aguas servidas domésticas provenientes de tinajas, duchas, lavatorios, y otros, excluyendo las aguas negras.
Aguas Negras	Aguas residuales que contiene excretas
Planta de Tratamiento de aguas grises	Instalaciones y equipamiento destinados al proceso de purificación de éstas, con el objetivo de alcanzar los estándares exigidos para su reutilización
Reutilización de aguas grises	La aplicación de aquellas, una vez que se han sometido al tratamiento exigido para su uso autorizado.
Sistema de reutilización de aguas grises	Conjunto de instalaciones destinadas a la recolección, tratamiento, almacenamiento y conducción de las aguas grises para su uso en la alternativa de reutilización que se proyecte.

(Ministerio de obras públicas, 2018)

Según el Informe Anual del Medioambiente (2017), la población de Valparaíso tiene un 92,82% de cobertura de sistema de alcantarillado; de ese 92,82%, el 100% de los volúmenes de aguas son tratados, y su tratamiento se desglosa de la siguiente manera: el 74% pasa por un tratamiento primario, el 7% por un tratamiento secundario, y un 19% por un tratamiento terciario. Para diciembre del 2016, existe un catastro de 293 sistemas de Tratamiento de Aguas Servidas en Chile (SISS, 2016). En el Figura 2 se representa gráficamente los tipos de Tratamientos de Aguas Servidas (TAS) en Chile, junto a su distribución porcentual.

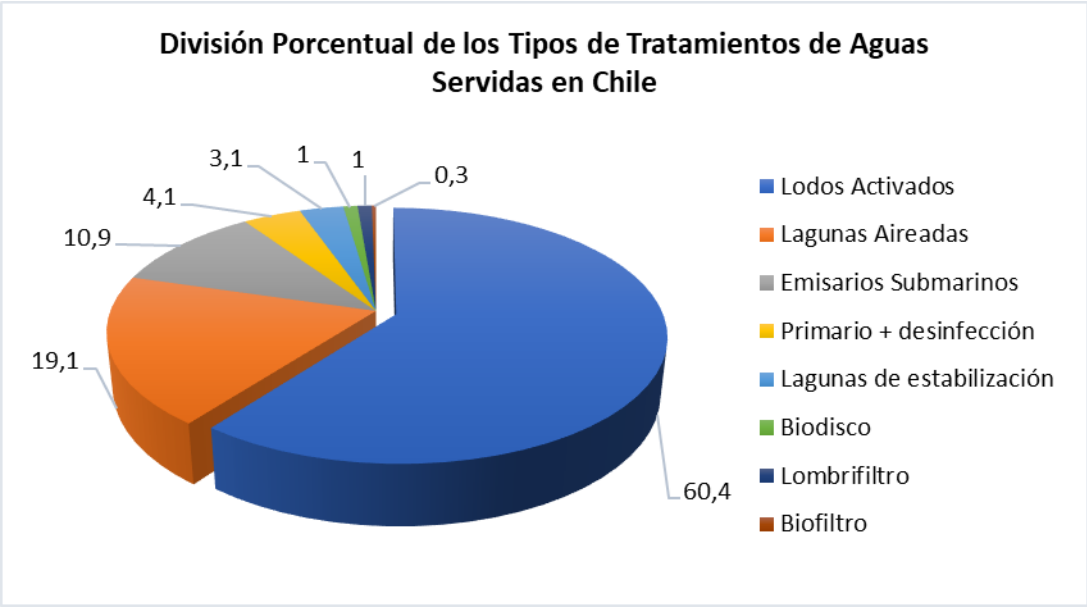


Figura 2 División porcentual de los tipos de tratamientos de aguas residuales, Chile (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2016)

En la Tabla 2 se evidencia el número de instalaciones en Chile asociados a cada sistema en particular.

Tabla 2 Tecnologías ocupadas en Chile para el tratamiento de Aguas servidas (Superintendencia de Servicios Sanitarios, 2016)

Tecnología	N° de Sistemas
Lodos Activados	177
Lagunas Aireadas	56
Emisarios Submarinos	32
Primario + desinfección	12
Lagunas de estabilización	9
Biodisco	3
Lombrifiltro	3
Biofiltro	1
TOTAL DE SISTEMA EN OPERACIÓN	293

1.3 Características de las Aguas Residuales

La transformación de las aguas es un proceso inevitable como consecuencia de la incorporación de residuos domésticos e industriales, al sistema de alcantarillado. Los constituyentes del agua residual se caracterizan por su composición física, química y biológica.

1.3.1 Característica Físicas

1.3.1.1 Turbiedad

Se define como la pérdida de la transparencia en una muestra de agua ocasionada por el material particulado insolubles en suspensión, coloidales o muy finos que arrastra la corriente de agua.

Son difíciles de decantar y filtrar, y pueden dar lugar a formaciones de depósitos en las conducciones de agua, equipos de procesos, etc. (Metcalf & Eddy, 1996) Por esta razón la medición de la turbiedad se realiza comparando la cantidad de luz que atraviesa una muestra control (sin perturbaciones) con la cantidad de luz que atraviesa una muestra de agua a analizar.

Una elevada turbiedad incide en la depuración natural de las aguas de la siguiente forma:

- i. Protegiendo a los microorganismos patógenos de la desinfección por acción de la luz solar
- ii. Estimulando la proliferación de virus y bacterias

- iii. Disminución de la cantidad de oxígeno disuelto al impedir la entrada de luz solar a los estratos más bajos de la columna de agua.

La turbidez se elimina mediante procesos de coagulación, decantación y filtración. (Rigola, 1999)

1.3.1.2 Conductividad Eléctrica (CE)

Se define como la medida de la capacidad del agua para conducir una corriente eléctrica. Como la corriente es transportada por los iones que se encuentran en la solución, el aumento en la concentración de iones provoca el aumento en la conductividad. Por tanto, el valor de la medida de CE es utilizado como parámetro sustituto de la concentración de los Sólidos Disueltos Totales (SDT) en el agua. (Crites & Tchobanoglous, 2000)

El instrumento mayormente utilizado para medir la conductividad eléctrica corresponde al multiparámetro.

1.3.1.3 Olor

La proliferación de olores es producto de los gases emanados en la descomposición de la materia orgánica e inorgánica. El olor más característico del agua negra se debe al compuesto sulfuro de hidrógeno - H₂S - que se asemeja al hedor del “huevo podrido”.

1.3.1.4 Temperatura

La temperatura es uno de los parámetros ambientales más importantes; incide directamente sobre las condiciones de crecimiento, desarrollo y supervivencia de los microorganismos.

La temperatura del agua residual tiende a ser mayor que el agua para el abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. (Crites & Tchobanoglous, 2000), además, dependiendo de la posición geográfica y la estación del año la temperatura tiende a sufrir cambios. Estos cambios se expresan en el desarrollo de reacciones químicas y sus velocidades de reacción.

El instrumento mayormente utilizado para la medición de la temperatura corresponde a equipos portátiles como lo es el multiparámetro.

1.3.1.5 Color

El color se origina por la capacidad que tiene una partícula para absorber ciertas radiaciones del espectro visible. Estas partículas corresponden a los sólidos en suspensión y/o disueltos.

Generalmente las aguas domesticas frescas son de color gris; se oscurece a medida que transcurre el tiempo, alcanzando colores negros. Según el origen del color los principales tratamientos de eliminación pueden ser la coagulación y filtración, la cloración, o la absorción en carbón activado. (Rigola, 1999)

1.3.1.6 Sólidos Totales

Los sólidos totales corresponden por definición a los residuos que se obtienen luego de pasar por un proceso de secado y evaporación a un intervalo de temperatura de 103 a 105°C (Metcalf & Eddy, 1998).

La clasificación de los sólidos totales, según Mendoza (2000) se divide en sólidos suspendidos y filtrables tal como se muestra en la Figura 3.

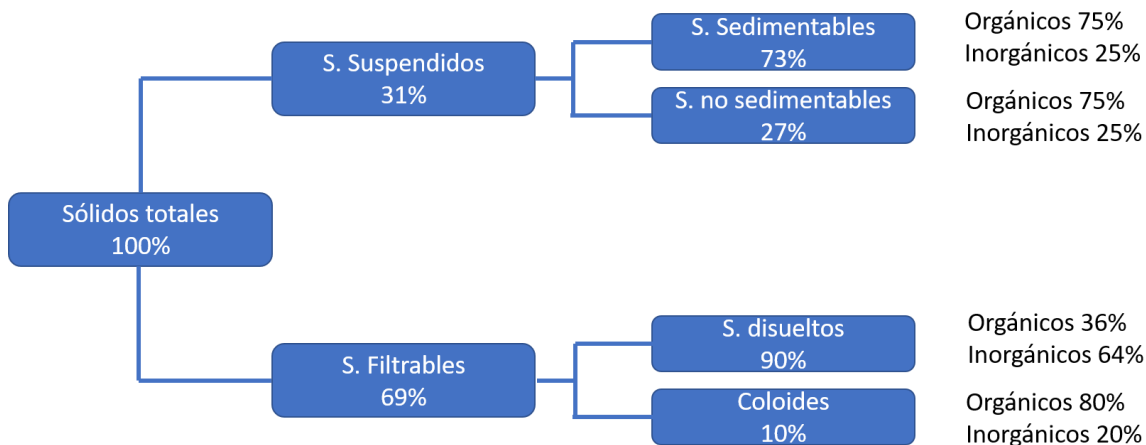


Figura 3 Composición de los sólidos totales en el agua (Mendoza, 2000)

1.3.2 Características Químicas

1.3.2.1 Materia Orgánica

Tal como se puede apreciar en la Figura 3, un porcentaje de los sólidos totales son de naturaleza orgánica.

Los parámetros importantes a la hora de conocer la calidad del agua en cuanto a sus características químicas-orgánicas corresponden a la medida del contenido orgánico en forma de DBO, DQO y los niveles de aceites y grasas.

- **Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO):** Se aplica tanto para aguas naturales como residuales. El objetivo de esta medición es obtener la cantidad de oxígeno consumido tanto en el proceso degradativo de la materia orgánica, como de manera aerobia. En general se refiere al oxígeno consumido en 5 días (DBO₅) y se mide en ppm de O₂. (Rigola, 1999). Los principales tratamientos de eliminación de la materia orgánica pueden ser por procesos fisicoquímicos y biológicos.
- **Demanda Química de oxígeno (DQO):** Se emplea para medir el contenido de materia orgánica susceptible a ser oxidada químicamente con una solución de dicromato en medio ácido. (Crites & Tchobanoglous, 2000). Se utiliza tanto en aguas naturales como residuales. Generalmente los valores de la DQO suelen ser mayores a los valores de la DBO debido a que existen un mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por la vía química frente a los que se oxidan por la vía biológica. (Metcalf & Eddy, 1998).
- **Aceites y Grasas:** Alcanzan las aguas residuales por el uso y lavado de utensilios con alto contenido de alimentos como mantequillas, aceites, margarinas, grasas provenientes de carnes, vegetales, semillas. Los principales tratamientos de eliminación corresponden a operaciones física.

1.3.2.2 *Materia Inorgánica*

Al igual que la materia orgánica, existe un porcentaje de los sólidos totales de la Figura 3 que corresponden a materia inorgánica.

Los parámetros importantes a la hora de conocer la calidad de agua en cuanto a sus características inorgánicas corresponden al pH, fósforo y nitrógeno.

- **pH:** Corresponde a la medida de la concentración de iones hidrógenos en una solución o muestra de agua. Se define como el logaritmo negativo de la concentración de ion hidrógeno:

$$pH = -\log_{10}[H^+]$$

La concentración del ion hidrógeno en el agua está relacionada íntimamente con la extensión de la reacción de disociación de las moléculas del agua.

El rango adecuado que potencia la proliferación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es relativamente estrecho, en general entre pH 5 y 9.

El agua residual que contenga un pH menor a 5 y mayor a 9 dificulta el tratamiento mediante procesos biológicos. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

El instrumento utilizado para la medición de este parámetro corresponde al pHmetro calibrado, o bien, se pueden disponer de papeles especiales que, por coloración, indican el pH. (Rigola, 1999)

- Fósforo y Nitrógeno: En grandes cantidades, son los principales agentes de eutrofización en cuerpos de agua lacustres. Sin embargo, en cantidades trazas son esenciales para el crecimiento biológico, recibiendo el nombre de nutrientes o bioestimulantes. (Crites & Tchobanoglous, 2000).

El nitrógeno es esencial para la síntesis de proteínas y el fósforo es importante para el metabolismo biológico.

El nitrógeno se puede encontrar en el agua residual en forma de nitrógeno amoniacal, nitritos, nitratos y nitrógeno orgánico, mientras que el fósforo se puede encontrar en forma de polifosfatos, ortofosfatos y fosforo orgánico.

Altos niveles de estos nutrientes en los cuerpos de agua, pueden llegar a afectar el desarrollo de la vida acuática, ocasionando la mortandad de variadas especies.

1.3.3 Características Biológicas.

- *Microorganismos*

Existen microorganismos que se encargan de estabilizar la materia orgánica presente en el agua residual; convierten la materia coloidal y disuelta, en gases y biomasa celular.

Existen otros organismos que se encuentran en el tracto intestinal humano y que son evacuados junto con la orina y las heces fecales. Estos generan ciertas patologías como el cólera, diarrea y fiebre tifoidea, incluso, son responsables de un gran número de muertes en países que no poseen sistemas sanitarios desarrollados.

Según Hoffman *et al.*, (2011) algunos de estos microorganismos patógenos, y que están presentes en las aguas residuales domésticas son:

- Virus: Adeno-, Entero-, Hepatitis A-, Polio-, Rota-Virus

- Bacterias: *Escherichia coli*, *Salmonella Typhi*, *Vibrio cholerae*, *Shingella*, *Legionella*, *Leptospira*, *Yersinia*.
- Protozoos: *Entamoeba*, *Giardia* y *Cryptosporidium*.
- Helmintos (lombrices intestinales): *Ascaris Enterobios*, *Tenia*, *Schistosoma*, *Trichuris*, *Fasciola*.

Las bacterias coliformes son los organismos más utilizados como indicadores de la contaminación fecal. Otros organismos usados como indicadores de contaminación fecal son los estreptococos fecales y los clostridios. Siendo estos últimos organismos anaerobios formadores de esporas. (Rigola, 1999)

Según Gerard kiely (2000), los contaminantes de aguas residuales se describen resumidamente con los siguientes parámetros:

- Sólidos totales
- Demanda química de oxígeno
- Demanda bioquímica de oxígeno
- Nutrientes: en formas de nitrógeno y fosforo.

Sin embargo, además se debe agregar, el parámetro bacteriológico de coliforme fecal para indicar la contaminación por microorganismos patógenos, dentro del agua residual.

1.4 Parque Quebrada Verde

El Parque Quebrada Verde (PQV) se encuentra emplazado en los terrenos del Fundo Quebrada Verde, donado en 1915 por Federico Santa María con la idea original de crear un Parque para la ciudadanía, con un valor de uso recreacional, turístico y educativo.

Para los años 80 la administración y legado del Parque pasó a manos del Fondo Nacional de la Salud (FONASA), sin embargo, en el año 2002 fue cuando FONASA y el equipo gestor del Parque Quebrada Verde decidieron levantar iniciativas de restauración, protección y conservación del escenario natural del lugar.

Según Pérez *et al.*, (2009) se entregaron 1.400 has en forma de donación a la junta de beneficencia, que al desintegrarse traspasó los bienes al Ministerio de Salud y posteriormente a FONASA. Según los autores, las 1.400 has se han reducido a 700 has, de las cuales Fonasa a dispuesto 100 has para el desarrollo del Parque dando así cumplimiento al espíritu de la donación.

Para el año 2006, cercano al Parque Quebrada Verde, se creó el Santuario de la Naturaleza Federico Santa María, en vista de poseer un patrimonio significativo en cuando a la flora y fauna que se desarrolla en el lugar.

Dentro de la creación y diseño del Parque se realizó un plan maestro que buscó identificar las potencialidades y debilidades, diagnosticar las diversas especies que habitan el ecosistema y proyectar debidamente la utilización, gestión y administración del territorio.

Las áreas que contempla actualmente el Parque son: Zona de Camping y juegos, Anfiteatro y Cancha, Gimnasio al aire libre, y las Zonas de Mirador Norte y Sur. Tal como se muestra en la Figura 4

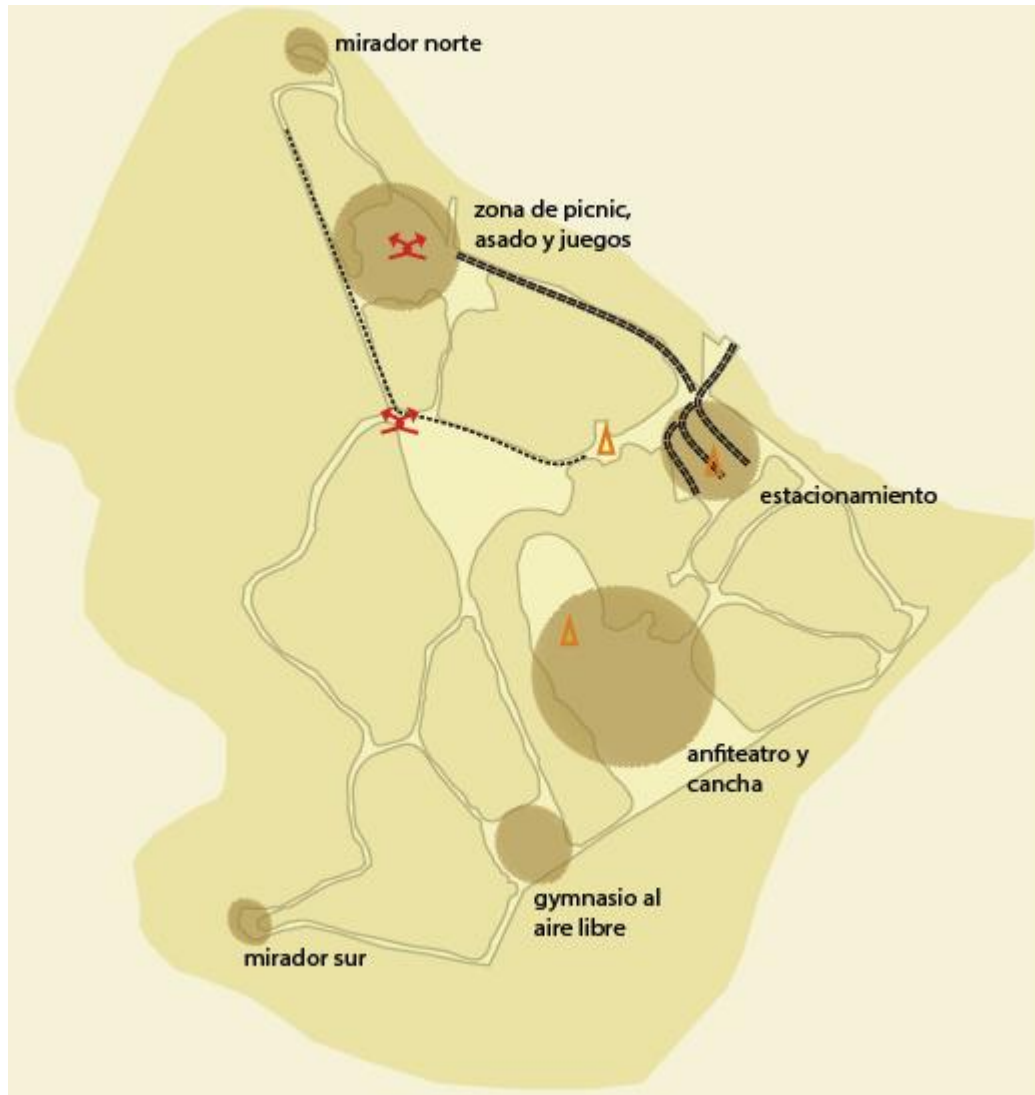


Figura 4 Mapa ilustrativo del Parque Quebrada Verde (Buvinic *et al.*, 2013)

El Parque por su parte debe satisfacer varias necesidades y requisitos básicos para su funcionamiento, entre éstos están el acceso al agua potable y la necesidad de poseer un sistema de tratamiento para derivar las aguas servidas generadas.

El primer caso se cumple con el abastecimiento periódico que realizan camiones aljibe. Éstos varían de frecuencia según la estacionalidad y concurrencia de la gente. Según los datos de Visitas del Parque Quebrada Verde del 2017 en el mes de julio, en pleno invierno se recibió un total de 1.035 personas, con un promedio de 2 a 3 viajes semanales para recargar los estaqués de agua con camiones aljibe. Por el contrario, para la estación primaveral, en el mes de septiembre, se recibió un

total de 7.971 personas, con un promedio de 5 viajes semanales para la recarga de los estanques de agua.

El Parque cuenta con un registro de entrada y salida de camiones, y una medición de los estanques de agua previo y posterior al llenado, no obstante, los registros se encuentran incompletos y en variadas ocasiones los estanques no se llenan por completo, es decir, existen distintos niveles de llenado (en ocasiones el camión aljibe pasa a otros lugares a entregar agua, antes de llegar al Parque).

El segundo caso se cumple con el actual sistema de tratamiento de “Lodos Activados” con Modalidad de Aireación Extendida, El cual recibe las aguas servidas provenientes de los baños del personal, los de uso público y las aguas provenientes del Sector Picnic. El tratamiento completo se contempla en la Figura 5.

Este sistema posee principalmente 4 etapas:

- **Decantación Primaria:** En esta etapa, las aguas servidas pasan por un proceso de decantación de los sólidos gruesos, donde la materia orgánica ubicada en el fondo de la fosa será digerida (fermentación bacteriana anaeróbica) llegando así a la disolución y volatilización de la materia orgánica.
- **Aireación:** Las aguas residuales que provienen de la decantación primaria son mezcladas y aireadas a través de difusores de aires localizados en el fondo del tanque denominado reactor. La finalidad de esta etapa es producir una mezcla completa con la incorporación de oxígeno para que los microorganismos puedan realizar la descomposición aerobia de la materia orgánica. Con este proceso evitamos la proliferación de olores y la atracción de vectores como los mosquitos.
- **Sedimentación y clarificación:** Este paso ocurre en un estanque de sedimentación, donde no hay agitación ni mezcla, de manera que el líquido se mantenga en completa calma y pueda facilitar el proceso de decantación. Una fracción de las partículas que sedimenta es devuelta al estanque de decantación primaria mediante el sistema de retorno de lodos. Finalmente obtenemos un agua mucho más clarificada, pero con un nivel de microorganismos que debe ser atendido.
- **Desinfección:** Corresponde a la última etapa del proceso. Se focaliza en la eliminación de los microorganismos que pueden estar presentes en el agua, además de la eliminación de colores y

olores desagradables, dejando este líquido final con una alta calidad y aptitud para ser utilizada en regadío.

Básicamente, consiste en un tanque de cloración/decloración por el cual fluye el fluido. La desinfección se realiza utilizando pastillas de Hipoclorito de Calcio, y la decloración a través de pastillas de Sulfito de Calcio.

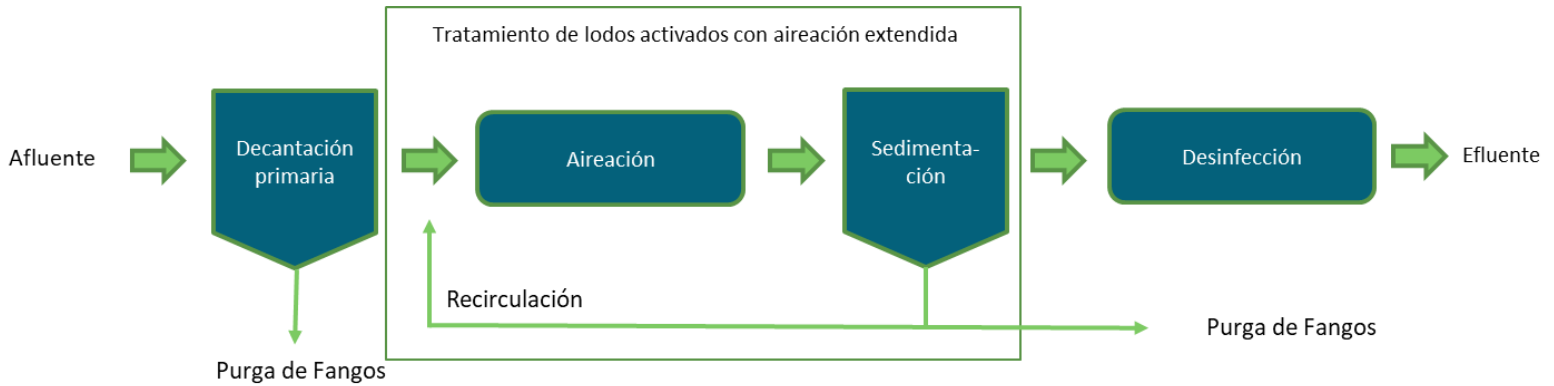


Figura 5 Diagrama en bloque para el tratamiento de aguas servidas del Parque Quebrada Verde

A pesar de que el Parque posee este tipo de tratamiento, no se está llevando a cabo un buen funcionamiento del sistema en cuestión. Han existido varios hitos de sobrellenado, generación de malos olores y proliferación de mosquitos. Por lo que necesita de un nuevo sistema que permita descomprimir al actual tratamiento y que tenga como objetivo, ser capaz de desarrollar una nueva fuente de abastecimiento de agua para llevar a cabo actividades de reforestación con especies nativas, regadío, entre otras.

2 Problema

La directiva del Parque Quebrada Verde, producto del aumento de la confluencia de público año tras año, tiene la necesidad de descomprimir el actual sistema de tratamiento de lodos activados para que no se generen hitos de sobrellenado y anegamiento en la zona del tratamiento (situación que se ha repetido en variadas ocasiones). Este hito ha sido capaz de ocasionar la proliferación de olores, la atracción y desarrollo de mosquitos, la degradación del suelo, entre otras.

Consecuencia de esto se están buscando iniciativas que puedan tratar de manera sectorial las aguas del Parque. Enfocándose de momento al tratamiento de las aguas residuales generadas en el sector picnic. Anticipando nuevas problemáticas e incluyéndolas en el diseño óptimo del sistema.

3 Objetivos

3.1 Objetivo General

Establecer la factibilidad técnica de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el sector picnic del Parque Quebrada Verde de Valparaíso.

3.2 Objetivo Específicos

- Identificar Normativa Ambiental aplicable a tratamientos y descargas de aguas residuales.
- Diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales para el sector picnic del Parque Quebrada Verde de Valparaíso.
- Evaluar costos asociados a la implementación y mantenimiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el sector picnic del Parque Quebrada Verde de Valparaíso.

4 Capacidad y Ubicación del Sistema

4.1 Capacidad

El Parque recibe visitas diariamente, de lunes a domingo desde las 10 a las 18 hrs. El tráfico de visitantes varía mucho según día de la semana y estación del año, recibiendo, además de familias que vienen a disfrutar por el día, visitas de universidades, colegios, organizaciones sociales e internacionales. En la Tabla 3 se encuentra registrado el número de visitas mensuales al Parque Quebrada Verde.

Tabla 3 Desagregado mensual y porcentual de visitas al Parque Quebrada Verde, 2017

Mes	N° visitas	Porcentaje
Enero	1.566	3,6%
Febrero	2.459	5,6%
Marzo	1.902	4,3%
Abril	3.507	8,0%
Mayo	2.093	4,8%
Junio	1.035	2,4%
Julio	4.096	9,4%
Agosto	4.057	9,3%
Septiembre	7.971	18,2%
Octubre	6.566	15,0%
Noviembre	4.698	10,7%
Diciembre	3.780	8,6%
Total	43.730	100,0%

En esta Tabla se puede ver que los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre son los más concurridos, acaparando un 43,9% del total de visitas. Mientras que el mes de junio corresponde al mes del año con menor confluencia de público.

En la Tabla 4 se encuentra registrado el número de visitas por día de la semana al Parque Quebrada Verde.

Tabla 4 Desagregado por día de la semana y porcentual de visitas al Parque Quebrada Verde, 2017

Día	N° visitas	Porcentaje
Lunes	1.638	3,7%
Martes	4.433	10,1%
Miércoles	5.017	11,5%
Jueves	3.814	8,7%
Viernes	5.669	13,0%
Sábado	11.050	25,3%
Domingo	12.109	27,7%
Total	43.730	100,0%

En esta Tabla 4 se puede evidenciar que la mayor cantidad de visitas, corresponden a los fines de semana, registrando un total de 66% (incluyendo viernes). Para ilustrarlo de manera más clara, en la Figura 6 muestra la división porcentual de la información.

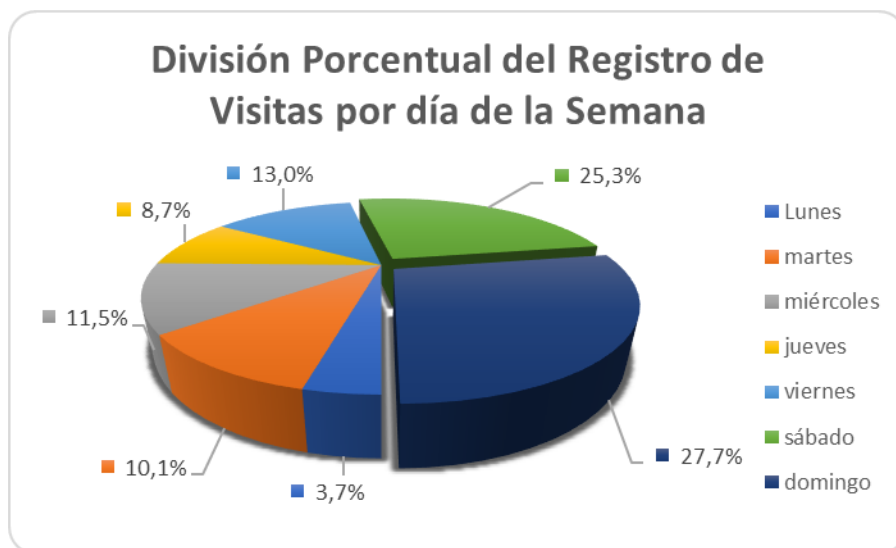


Figura 6 División Porcentual de Registro de visitas por día de semana en el Parque Quebrada Verde, 2017

Respondiendo a la rigurosidad que demanda la presente investigación, se hace necesaria la aplicación de un proceso de encuesta, esto con el objetivo de determinar el consumo de agua por visitante dentro del Parque Quebrada Verde de Valparaíso.

4.1.1 Proceso de Encuesta

El sistema a diseñar deberá considerar la fluctuación del número de visitantes y el caudal de aguas residuales que se vayan generando en el Parque.

Para determinar la carga de caudal, es preciso que el proceso incluya encuestas basadas en entrevistas personales y a profundidad con los individuos. Según Stanton *et al.*, (2004) estas encuestas se basan en una conversación directa con cada persona.

Esta encuesta busca determinar el caudal promedio diario que utiliza una **persona al día**, en una visita al Parque, tanto para el sector picnic, como en la utilización del sector del baño público.

En la Tabla 5 se muestran los caudales estimados de cada sector (resultado de la encuesta), junto a su distribución porcentual correspondiente. (*)

Tabla 5 Desglose porcentual del agua residual que se genera en el Parque Quebrada Verde de Valparaíso.

Actividad	Caudal promedio [Lts/persona/día]	Porcentaje de Distribución	Fracción porcentual
Sector Picnic	8,35	39,96%	0,4
Sector Baño Público	12,54	60,04%	0,6
Total	20,9	100%	1

*Datos fueron determinados *in situ* durante los meses de Septiembre-Octubre 2018. La encuesta se puede encontrar en el Anexo 1.

Considerando los datos de cuantificación de los Visitantes Registrados, 2017. Entre el 2015 y 2017 hubo un aumento de visitantes en un 3,18%.

Con los datos previamente obtenidos se puede obtener una proyección de la cantidad de visitantes en un periodo de 10 años, utilizando la siguiente ecuación:

$$F = P(1 + i)^n \text{ Ecuación 1}$$

Donde:

F = Número máximo de personas que podrían visitar el Parque en un año determinado

P = Número máximo de personas que ha visitado el Parque en el año 2017

i = Tasa de crecimiento

n = proyección en años

La Tabla 6 y Figura 7 muestra el resultado de los datos anteriormente mencionados.

La Figura 7 contrasta la variación del promedio actual de visitantes diarios al mes, versus la proyección en 10 años¹.

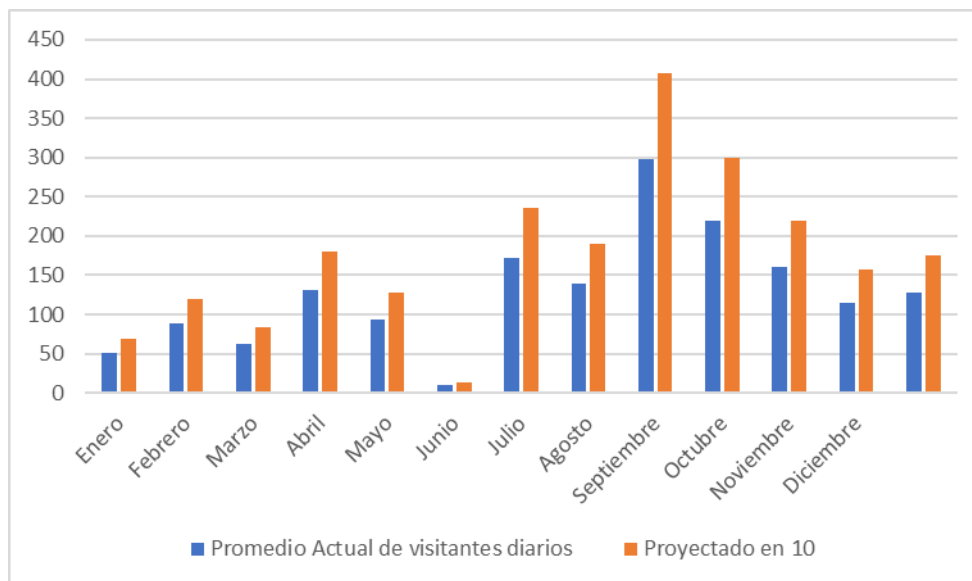


Figura 7 Promedio actual de visitantes diarios con su proyección a 10 años.

La Tabla 6 tiene por objetivo indicar el caudal diario estimado en zona de picnic proyectado a 10 años.

¹ Los datos se encuentran en la Tabla 6

Tabla 6 Caudal promedio diario estimado por mes en la zona de picnic y proyectado a 10 años

Mes	N° de visitantes promedio al mes [hab]	N° de visitantes promedio al mes proyectados en 10 años [hab]	Consumo de agua por persona* [Lts/hab/d]	Consumo de agua en la zona de Plcnic [Lts/hab/d]	Caudal diario estimado en zona de picnic proyectado a 10 años [m³/d]
Enero	51	69	21	8,4	0,58
Febrero	88	120	21	8,4	1,01
Marzo	62	84	21	8,4	0,71
Abril	131	179	21	8,4	1,51
Mayo	94	128	21	8,4	1,08
Junio	10	13	21	8,4	0,11
Julio	172	235	21	8,4	1,97
Agosto	139	191	21	8,4	1,60
Septiembre	298	407	21	8,4	3,42
Octubre	219	300	21	8,4	2,52
Noviembre	160	219	21	8,4	1,84
Diciembre	115	157	21	8,4	1,32

*Caudal de 30 lts persona⁻¹ día⁻¹ para los espacios recreacionales (Metcalf & Eddy, 1998)

Según los datos del Parque, en el mes de septiembre el máximo número de visitas alcanzado fue el día domingo 17, con un total de 915 personas, sin embargo, por efectos prácticos y sin la finalidad de sobredimensionar los cálculos posteriores, no se puede trabajar con el valor más alto. Debido a que a pesar exista una mayor confluencia de público, existe un factor limitante que sería la disponibilidad de espacio dentro del sector picnic. Es decir, un número de mesas y lavaderos disponibles para el público. Por lo que se considerará trabajar con el promedio de los caudales diarios a 10 años, excluyendo los meses extremos de mayor y menor número de visitantes. Es decir que para efectos prácticos no se trabajará con los meses de junio y septiembre.

Por lo que el caudal promedio diario a tratar será:

$$\text{Caudal diario [m}^3\text{/d]} = (Q_{\text{enero}} + Q_{\text{febrero}} + Q_{\text{marzo}} + Q_{\text{abril}} + Q_{\text{mayo}} + Q_{\text{julio}} + Q_{\text{agosto}} + Q_{\text{octubre}} + Q_{\text{noviembre}} + Q_{\text{diciembre}}) / 10$$

$$\text{Caudal diario [m}^3\text{/d]} = 1,41 \text{ [m}^3\text{/d]}$$

4.2 Ubicación

Parque Quebrada Verde, se ubica camino a Laguna Verde por la ruta F-98, Valparaíso. Posee una extensión de 100,09 [ha] donde se realizan actividades turísticas, recreativas, al aire libre, educativas y de excursión.

En la Figura 8 se muestran los límites del Parque.

Carta Esquicio

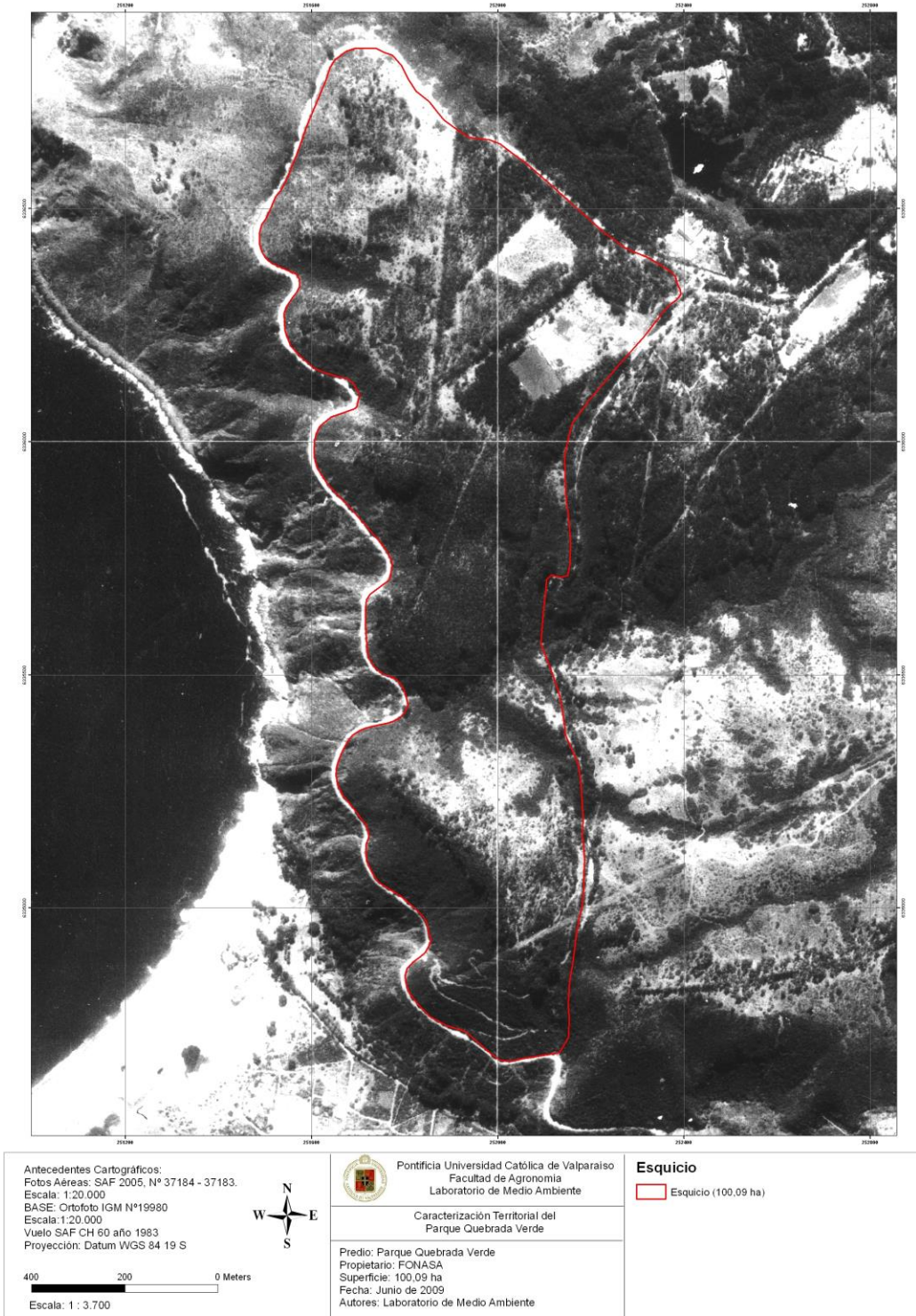


Figura 8 Límites del Parque Quebrada Verde (PUCV, 2009)

En la Figura 9 se muestran los polígonos de distintas zonas. Entre ellas se encuentran la zona de estacionamiento, caseta de entrada, oficina, zona de baños, zona de picnic y el espacio adecuado para la instalación del sistema de tratamiento de aguas residuales de la zona picnic.



Figura 9 Ubicación del sistema de tratamiento de aguas residuales en el sector picnic (Elaboración Propia)

4.3 Requerimientos Legales

A continuación, se realizará una breve revisión a la normativa que ha dado pie para la protección y cuidado de las aguas, identificando la normativa ambiental aplicable a tratamientos y descargas de aguas residuales en Chile.

4.3.1 Normativa Internacional

4.3.1.1 Declaración universal de los derechos humanos, 1948

En el artículo N° 25 inciso 1 de la Declaración Universal de los Derechos Humanos, se indica que “Toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado que le asegure, así como a su familia, la salud y el bienestar, y en especial la alimentación, el vestido, la vivienda, la asistencia médica y los servicios sociales necesarios; tiene asimismo derecho a los seguros en caso de desempleo, enfermedad, invalidez, vejez u otros casos de pérdida de sus medios de subsistencia por circunstancias independientes de su voluntad”. Este artículo da pie para el desarrollo de nuevas declaraciones, convenios, tratados, derechos, entre otros, que estén asociados a mejorar la calidad de vida de las personas.

4.3.1.2 Derechos Humanos al Agua potable y al Saneamiento, 2010

La Asamblea General de las Naciones Unidas declaró el 28 de julio del 2010, que se debe garantizar el acceso seguro a un agua potable salubre y al saneamiento como un derecho humano fundamental para el completo disfrute de la vida y de todos los demás derechos humanos. (resolución A/RES/64/292). Esta resolución afirma que tanto el derecho al agua, como al saneamiento, deben ser parte de la Ley Internacional actual y confirma que este derecho es legalmente vinculado con los estados.

Al mismo tiempo, promueve a todos los países a desarrollar mecanismos y herramientas apropiadas para alcanzar paulatinamente el cumplimiento de sus obligaciones, y que estén relacionadas con el acceso seguro al agua potable y al saneamiento. Incluyendo zonas que aún no cuenten con servicios o que éstas sean insuficientes.

4.3.1.3 Objetivos de Desarrollo Sostenible, 2016

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), corresponden a un llamado universal que tiene como finalidad convocar a las naciones, y comprometerlas a realizar medidas que puedan poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que todas las personas gocen de paz y prosperidad.

Son 17 objetivos que se basan en las metas propuestas por los Objetivos de Desarrollo del Milenio, 2000. Pero que incluyen nuevas esferas. Ver Figura 10.

El objetivo número seis de los ODS, corresponde a la gestión sostenible del agua y el saneamiento. Los recursos hídricos son la base para reducir la pobreza, potenciar el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental.



Figura 10 Objetivos del Desarrollo Sostenible (PNUD, 2016)

4.3.2 Normativa Nacional

4.3.2.1 Ley Sobre Bases Generales del Medioambiente, 1994

Esta Ley -19.300- fue publicada por el Ministerio Secretaría General de la Presidencia, y modificada el año 2010 por la Ley N° 20.417; Dicha Ley da contenido concreto a la protección de la garantía constitucional que indica que todas las personas tienen el derecho a vivir en un medioambiente libre

de contaminación. Además, proporciona toda información competente a los organismos de protección medioambiental, entre los cuales se identifica el Ministerio de Medioambiente (MMA); Superintendencia del Medioambiente (SMA); Servicio de Evaluación Ambiental (SEA); Tribunal Ambiental; Consejo de Ministros para la Sustentabilidad; Servicio de la Biodiversidad y Áreas Protegidas. Asimismo, se define una serie de instrumentos de gestión ambiental para abordar diferentes desafíos y problemas ambientales para proteger la calidad de vida de las personas y del ecosistema, incluyendo la Participación Ciudadana, Planes de Prevención o Descontaminación, Educación e Investigación, las Normas de Calidad Ambiental, Normas de Emisión, Acceso libre a la Información, Entre otros.

Según el artículo 3 toda persona o ente que cause daño al medio ambiente, estará obligado a repararlo materialmente o indemnizarlo en conformidad a la Ley.

4.3.2.2 Ley que Regula la Recolección, Reutilización y Disposición de aguas Grises, 2018

Esta Ley -21.075- fue publicada en marzo del 2018 por el Ministerio de Obras Públicas y se encarga de Regular la Recolección, Reutilización y Disposición de las Aguas Grises. Es aplicable tanto para áreas urbanas como rurales. Incorpora los requisitos necesarios para buscar la aprobación de un proyecto y autorización correspondiente al funcionamiento que otorga la autoridad sanitaria.

El artículo 3 indica que *los sistemas de reutilización de aguas grises deberán contar con aprobación de proyecto y autorización de funcionamiento de la autoridad sanitaria regional respectiva.*

La solicitud de aprobación de proyecto deberá contener, a lo menos, los siguientes antecedentes:

- 1.- La identificación del peticionario.*
- 2.- La individualización precisa del lugar, área o áreas donde tendrá lugar la reutilización.*
- 3.- El nombre o identificación del operador si fuera un sistema de tratamiento domiciliario.*
- 4.- La indicación clara y precisa de los fines que se dará a las aguas grises tratadas.*
- 5.- El sistema de tratamiento a emplear.*
- 6.- La acreditación del hecho de contar con conexión a la red pública de alcantarillado, cuando éste exista, o con un sistema particular de aguas servidas, sea este individual o colectivo.*

Actualmente el Ministerio de Salud tiene a disposición del público, un proyecto de reglamento que contendrá las condiciones sanitarias básicas que deberán cumplir los sistemas de reutilización de

aguas grises. Acá se establecerán los antecedentes adicionales que acompañarán a la solicitud de aprobación del proyecto y autorización del funcionamiento, tanto para áreas urbanas como rurales. Por otra parte, el artículo 8 de la ley establece el destino que se le podrá dar a las aguas grises tratadas. En la Tabla 7 se indican los tipos de destinos.

Tabla 7 Destinos aplicables a las aguas grises tratadas (Ley 21.017)

Destino	Utilización
Urbanos	Categoría que incluye el riego de jardines o descarga de aparatos sanitarios
Recreativo	Categoría que incluye el riego de áreas verde públicas, campos deportivos u otros con libre acceso al público
Ornamentales	Categoría que incluyen las áreas verdes y jardines ornamentales sin acceso al público
Industriales	Categoría que incluye el uso de todo tipo de procesos industriales no destinados a productos alimenticios y fines de refrigeración no evaporativos
Ambientales	Categoría que incluye el riego de especies reforestadas, la mantención de humedales y todo otro uso que contribuya a la conservación y sustentabilidad

El Parque Quebrada Verde tiene un valor recreacional, turístico y educativo. En él se desarrollan actividades al aire libre además de coexistir distintas agrupaciones que velan por la reforestación y recuperación ecológica.

Se han realizado actividades de arborización, pero con el pasar del tiempo se han quedado desprovistas de agua para su cuidado y mantenimiento en el tiempo ya que en épocas de sequía (generalmente en periodo estival) se privilegia el uso de agua para consumo humano.

Para favorecer el cuidado y permanencia de las especies reforestadas, es necesario que exista una fuente de abastecimiento de agua alternativa y descentralizada que contribuya a la conservación y sustentabilidad ecológica.

4.3.2.3 Requisitos de la Calidad de agua para diferentes usos, 1978

Corresponde a la NCh 1.333, Modificada el año '87 y trata sobre los **Requisitos de la Calidad de Agua para Diferentes Usos**. Es una Norma preparada por la División de Normas del Instituto Nacional de Normalización, con la finalidad de fijar criterios de la calidad de acuerdo con su uso. Esta norma

busca proteger y preservar la calidad de aguas de contaminantes con residuos de cualquier tipo u origen. Su alcance y campo de aplicación está ligada al agua que sea utilizada para:

- a. Consumo humano
- b. Bebida de animales
- c. Riego
- d. Recreación y estética
- e. Vida acuática

Debido a que el Parque busca satisfacer necesidades de agua para riego deberá cumplir con el literal c) de la Norma Chilena 1333.

Aplicabilidad

- Requisitos Químicos

Las aguas para riego deben cumplir con requisitos químicos para su utilización. En la Tabla 8 se muestran los valores, porcentajes y concentraciones máximas y mínimas permisibles de elementos físicos y químicos en el agua para riego. En la Tabla 9 se muestra la clasificación de agua para riego según su conductividad específica y sólidos disueltos totales

Tabla 8 Valores, porcentajes y concentraciones máximas y mínimas permisibles de elementos físicos y químicos en agua para riego (NCh 1333)

Parámetro / Elemento		Unidad	Valor
pH		pH	5,5 -9,0
Aluminio	Al	mg/l	5,00
Arsénico	AS	mg/l	0,10
Bario	Ba	mg/l	4,00
Berilio	Be	mg/l	0,10
Boro	B	mg/l	0,75
Cadmio	Cd	mg/l	0,010
Cianuro	CN ⁻	mg/l	0,20
Cloruro	Cl ⁻	mg/l	200,00
Cobalto	Co	mg/l	0,050
Cobre	Cu	mg/l	0,20
Cromo	Cr	mg/l	0,10
Fluoruro	F ⁻	mg/l	1,00
Hierro	Fe	mg/l	5,00
Litio	Li	mg/l	2,50
Litio (cítricos)	Li	mg/l	0,075
Manganeso	Mn	mg/l	0,20
Mercurio	Hg	mg/l	0,001
Molibdeno	Mo	mg/l	0,010
Níquel	Ni	mg/l	0,20
Plata	Ag	mg/l	0,20
Plomo	Pb	mg/l	5,00
Selenio	Se	mg/l	0,020
Sodio Porcentual	Na	%	35,00
Sulfato	SO ₄ ⁻²	mg/l	250,00
Vanadio	V	mg/l	0,10
Zinc	Zn	mg/l	2,00

Tabla 9 Clasificación de agua para riego según su conductividad específica y sólidos disueltos totales (NCh 1333)

Clasificación	Conductividad Específica, c, mhos/cm a 25°C	Sólidos disueltos totales, s, mg/l a 105°C
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales	$c \leq 750$	$s \leq 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles	$750 < c \leq 1500$	$500 < s \leq 1000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesaria de métodos de manejo cuidadosos	$1500 < c \leq 3000$	$1000 < s \leq 2000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos	$3000 < c \leq 7500$	$2000 < s \leq 5000$

- **Requisitos Bacteriológicos**

El contenido de coliformes fecales debe ser menor o igual a 1000 coliformes fecales / 100 ml. para las aguas destinadas a riego en cultivos de verduras y frutas que se desarrollen a ras del suelo y que habitualmente se consumen en estado crudo.

4.3.3 Reglamentación Nacional

4.3.3.1 Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, 2012

El Decreto N° 40, creado por el Ministerio de Medio Ambiente (MMA). Es un instrumento muy importante a la hora de conocer e identificar la potencialidad que tiene una actividad a generar Impacto Ambiental. Las actividades, -traducidas a proyectos- pueden provenir de organismos del sector público como privado.

El artículo 3 del presente reglamento indica los proyectos que deben ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) debido a que son susceptibles a causar impacto ambiental en cualquiera de sus fases.

Por otro lado, se deberá realizar un Estudio de Impacto Ambiental, si, y solo si, el proyecto cumple con algún literal del artículo 4 del RSEIA. De caso contrario, se deberá realizar una Declaración de Impacto Ambiental.

De Cualquier forma, en el título III del presente reglamento se encuentran los contenidos que deben tener ambos documentos.

La letra o) del artículo 3, hace referencia a *Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de agua o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos.*

Se entenderá por proyectos de saneamiento ambiental al conjunto de obras, servicios, técnicas, dispositivos o piezas que correspondan a:

Tabla 10 Proyectos de saneamiento ambiental que deben entrar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (Decreto N° 40, 2012)

Artículo	Letra	Hace referencia a ...	Aplicabilidad
3	o.1	Sistemas de alcantarillado de aguas servidas que atiendan a una población igual o mayor a diez mil (10.000) habitantes.	No aplica
	o.2	Sistemas de alcantarillado o evacuación de aguas lluvias, cuando se interconecten con redes de alcantarillado de aguas servidas que atiendan a una población igual o mayor a diez mil (10.000) habitantes.	No aplica
	o.3	Sistemas de agua potable que comprendan obras que capten y conduzcan agua desde el lugar de captación hasta su entrega en el inmueble del usuario, considerando los procesos intermedios, y que atiendan a una población igual o mayor a diez mil (10.000) habitantes	No aplica
	o.4	Plantas de tratamiento de aguas de origen domiciliario, que atiendan a una población igual o mayor a dos mil quinientos (2.500) habitantes.	No Aplica

Con el anterior análisis, se observa que el presente proyecto no debe ingresar al SEIA.

4.3.3.2 Reglamento General de Alcantarillados Particulares

El Decreto Supremo N° 236, se refiere a la manera de disponer las aguas servidas domiciliarias, en lugares urbanos y/o rurales en donde no exista una red de alcantarillado público y que estén destinados a ser ocupados para vivir o permanecer transitoria o indefinidamente.

Otorga, además, información relevante a la hora de incorporar, construir y mantener distintos tipos de tratamiento; fosas sépticas, cámaras filtrantes, cámaras de contacto, cámaras absorbentes y letrinas domiciliarias.

Esta normativa será contemplada para realizar el diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales a incorporar dentro del Parque Quebrada Verde.

4.3.3.3 Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes asociados a la descarga de Residuos Líquidos a sistemas de Alcantarillado, 1998

El Decreto N° 609, dictado por el Ministerio de Obras públicas, establece las **normas de emisión para la regulación de contaminantes asociados a la descarga de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillados**. Esta ley aplica a todo el territorio nacional, y en esta se puede encontrar la **caracterización de las aguas servidas domésticas** diarias correspondiente 100 habitantes incluyendo el valor característico por cada parámetro. Para efectos prácticos en la Tabla 11 se incluirán los parámetros necesarios a trabajar.

Tabla 11 Caracterización de aguas servidas domésticas correspondientes a 100 habitantes (Extracto del decreto N° 609, 98)

Parámetros	Valor característico [mg/l]	Carga de contaminante 100 Hab/día (g/día)
Aceites y grasas	60	960
DBO5	250	4.000
Fósforo	5	80
Nitrógeno Amoniacal	50	800
Sólidos suspendidos totales	220	3.520

5 Síntesis y selección de operaciones unitarias

Considerando la configuración típica de una planta de tratamiento de agua residual que se muestra en la Figura 11, se diseñará un sistema de reutilización de aguas provenientes del sector picnic, de acuerdo con las necesidades del Parque para descomprimir el sistema actual además de obtener agua para regadío.

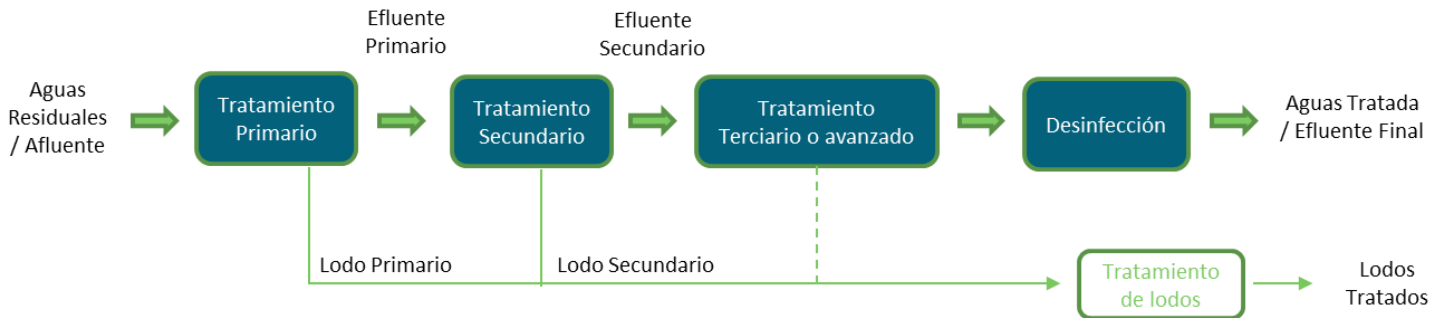


Figura 11 Configuración típica de una planta de tratamiento de aguas residuales.

5.1 Tratamiento primario

El tratamiento primario se realiza para remover la mayor parte de los sólidos que se encuentran en suspensión y que no pudieron ser removidos por las etapas del pretratamiento por motivos de tamaño, densidad o velocidad de flujo. Para alcanzar una remoción adecuada de materia orgánica, nutrientes y patógenos, se recomienda incluir tratamientos posteriores.

5.1.1 Tanque Séptico

Este tipo de tratamiento se ha utilizado frecuentemente por familias que se encuentran viviendo lejos de las ciudades, donde no se tiene acceso a un sistema de alcantarillado e incluso al agua potable. Este tratamiento es tan completo que permite recibir tanto aguas provenientes del lavamanos y cocina, como las provenientes del baño con altos niveles de coliformes fecales. También se caracteriza por ser un sistema de tratamiento descentralizado cuya unidad es la más común para el tratamiento a pequeña escala de aguas grises y aguas negras. (Lucho-Constantino y *col.*, 2015). Su uso se ha extendido incluso al tratamiento de residuos de establecimiento educativos, campamentos de verano, Parques, zonas para acampar y moteles, modificando solo el tamaño de los tanques (Crites y

Tchobanoglous, 2000). Debido a la masificación de su uso es que existe una gran variedad de diseños aplicados a este tipo de tratamiento, pero una aproximación básica a este mismo se puede ver en la Figura 12. Aquí se pueden apreciar 3 zonas: en el fondo se posee el sitio de acumulación y almacenamiento de los sólidos y/o lodos que sedimentaron; la zona intermedia, donde se encuentra la materia orgánica disuelta; y la zona de grasa y espumas.

Además, podemos visualizar la zona de gases que corresponde a un espacio libre y apropiado para que se ubiquen los gases producidos por el tratamiento biológico de descomposición anaerobia y facultativa la cual reduce el volumen de sólidos acumulados hasta en un 50%, produciendo metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y sulfuro de hidrogeno (H_2S), entre otros compuestos de la materia orgánica. (Lucho-Constantino y col., 2015)

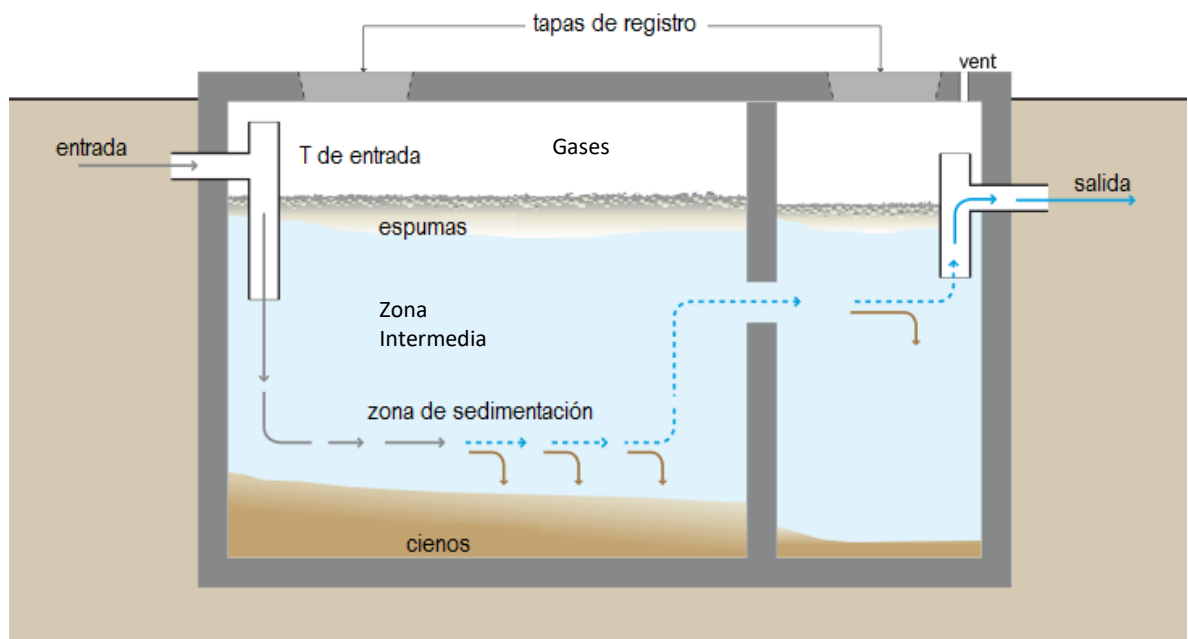


Figura 12 Configuración básica de un tanque séptico. (Modificado de Tilley *et al.*, 2014)

De manera general, entiéndase como Tanque Séptico toda cámara estanca capaz de retener por un periodo determinado de tiempo, las aguas servidas domésticas; producir su decantación; disolver, licuar y volatilizar parcialmente por un proceso de fermentación biológica, la materia orgánica contenida en suspensión, y dejar las aguas servidas en condiciones favorables para ser sometidas a

algún proceso de oxidación (Decreto N° 236, 2004). En este proceso se separan los sólidos de los líquidos por sedimentación y absorción.

En el fondo del tanque, actúan bacterias anaerobias que se alimentan mediante la hidrólisis de la materia orgánica insoluble, transformándose en compuestos solubles simples que pueden ser absorbidos por la pared celular y posteriormente fermentados por los microorganismos.

También se debe tener en cuenta la remoción y disposición de los lodos generados en el tratamiento. Estos lodos en forma de materia sedimentada o mineralizada se obtienen en cualquier tratamiento de aguas residuales que contenga materia orgánica y fecal. Los lodos son los sólidos que finalmente se separan del agua residual contaminada. Poseen masa acuosa, semilíquida y que por lo general debido a su alta concentración de bacterias resultan ser más contaminantes que el agua residual. Por lo que se recomienda realizar un tratamiento a los lodos para inactivar microorganismos patógenos como coliformes fecales, *salmonella spp.* y huevos de helmintos.

5.1.2 Tanque Imhoff

El tanque Imhoff es una unidad de tratamiento primario cuya finalidad es la remoción de sólidos suspendidos (Organización Panamericana de la Salud, 2005). Consiste en un tanque de dos pisos en el cual la sedimentación tiene lugar en el compartimiento superior, y la digestión y acumulación de lodos en el compartimiento inferior. (Crites y Tchobanoglous, 2000). Poseen operaciones sencillas que consisten en la remoción diaria de espuma y la inversión del flujo dos veces al mes para distribuir los sólidos de manera uniforme con un retiro periódico, de acuerdo con tiempo de llenado.

Básicamente se divide en 3 zonas de compartimiento: cámara de sedimentación en la parte superior; cámara de digestión de lodos en la parte inferior; y el área de ventilación en la superficie del tanque. (Ver Figura 13).

Son de estructuras profundas mayores a 6 metros de profundidad, por lo que se deben tomar en consideración el nivel freático. Sin embargo, puede ser una buena alternativa para lugares que no cuenten con grandes terrenos.

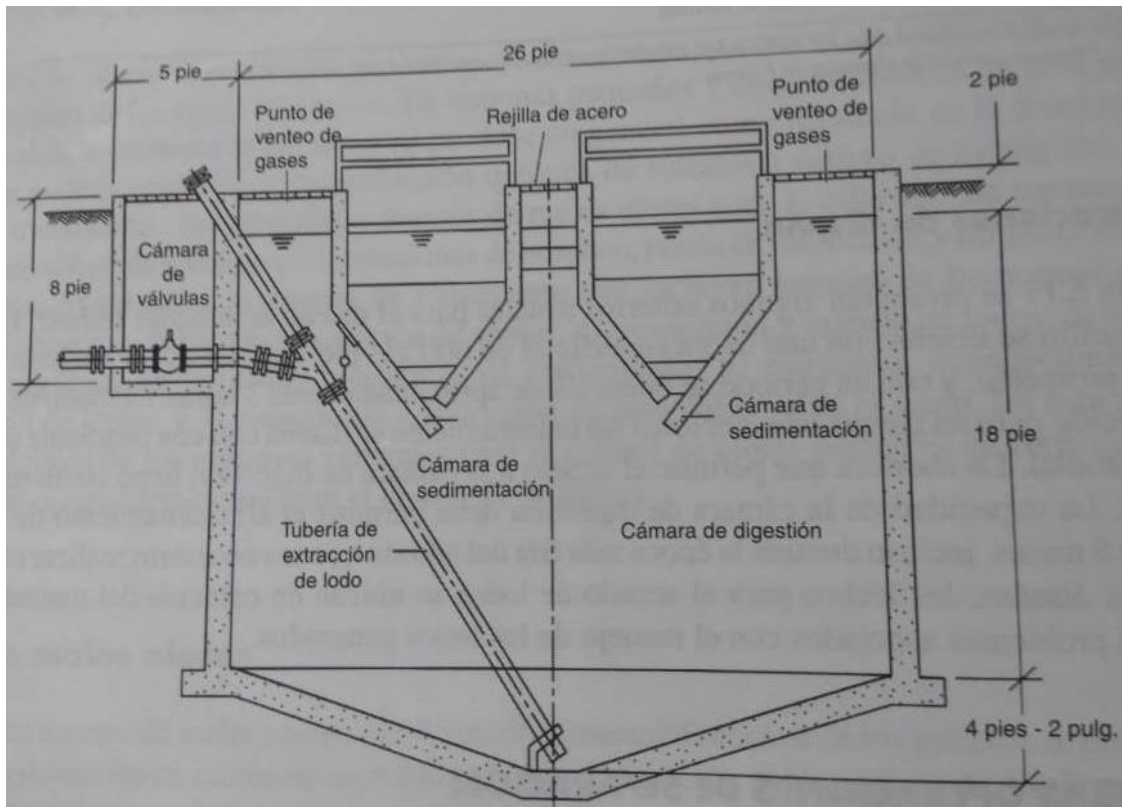


Figura 13 Tanque Imhoff Circular, sección Transversal (Crites & Tchobanoglous, 2000)

Para utilizar este tratamiento, el agua residual debe pasar previamente por un sistema de tratamiento preliminar de cribado y de remoción de arenas, por lo que aumenta los costos de instalación al contemplar una nueva operación unitaria. Además, que estos sistemas contemplan la instalación de un lecho de secado de lodos.

5.2 Tratamiento secundario

El tratamiento secundario corresponde al tratamiento biológico que se realiza a las aguas residuales y su objetivo principal es la eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables, junto a la estabilización y reducción de la materia orgánica, y la eliminación de nutrientes como nitrógeno y fósforo.

La estabilización de la materia orgánica, la coagulación de los sólidos coloidales no sedimentables y la eliminación de nutrientes, se realizan por la acción de microorganismos y plantas. Las bacterias convierten la materia orgánica carbonosa coloidal y disuelta, en gases y biomasa celular. Éste al ser de naturaleza orgánica puede influir en la medición de la DBO₅ del efluente, por lo que, el tratamiento se completa cuando existe un tratamiento posterior para los microorganismos. Por otro lado, las

plantas se encargan de asimilar ciertos compuestos que se han vuelto digeribles por acción de los microorganismos.

Tal es el caso del nitrógeno amoniacal que por acción de bacterias amonio oxidantes y nitrito oxidantes, transforman este compuesto a uno complemente asimilable por las plantas (NO^3).

A continuación, se analizarán 3 alternativas de biorreactores para el tratamiento de las aguas residuales generadas en el sector picnic.

5.2.1 Humedales artificiales

Han sido definidos como *“Sistemas de ingeniería, diseñados y contruidos para utilizar las funciones naturales de los humedales, de la vegetación, los suelos, y de sus poblaciones microbianas para el tratamiento de contaminantes en aguas residuales”* (ITRC, 2003). Son tecnologías de tratamiento naturales que tratan de manera eficiente, diferentes tipos de agua contaminada. Estos están diseñados para optimizar proceso que se encuentra de forma natural en el medio ambiente y son considerados una opción amigable y sustentable para el tratamiento de aguas residuales.

Comparado con otros sistemas de tratamiento de aguas residuales, los humedales de tratamiento tienen una baja demanda de mantenciones operativas, con seguros y poco susceptibles a sufrir variaciones (Dotro *et al.*, 2017). Son efectivos tanto para el tratamiento primario, secundario y terciario avanzado. Pero su uso está enfocado a los volúmenes que se generan a un nivel doméstico.

Los humedales fueron diseñados para la disminución y/o eliminación de los sólidos suspendidos, materia orgánica -medidos en forma de DBO_5 y DQO - y de nutrientes -nitrógeno y fósforo-. Sin embargo, también influye en la remoción de metales pesados, patógenos y compuestos orgánicos complejos.

Los humedales de tratamiento se pueden subdividir en sistemas de flujo superficial y flujo subsuperficial. Estos último, a su vez se pueden subdividir humedales de Flujo horizontal y Flujo vertical. (Ver Figura 14)

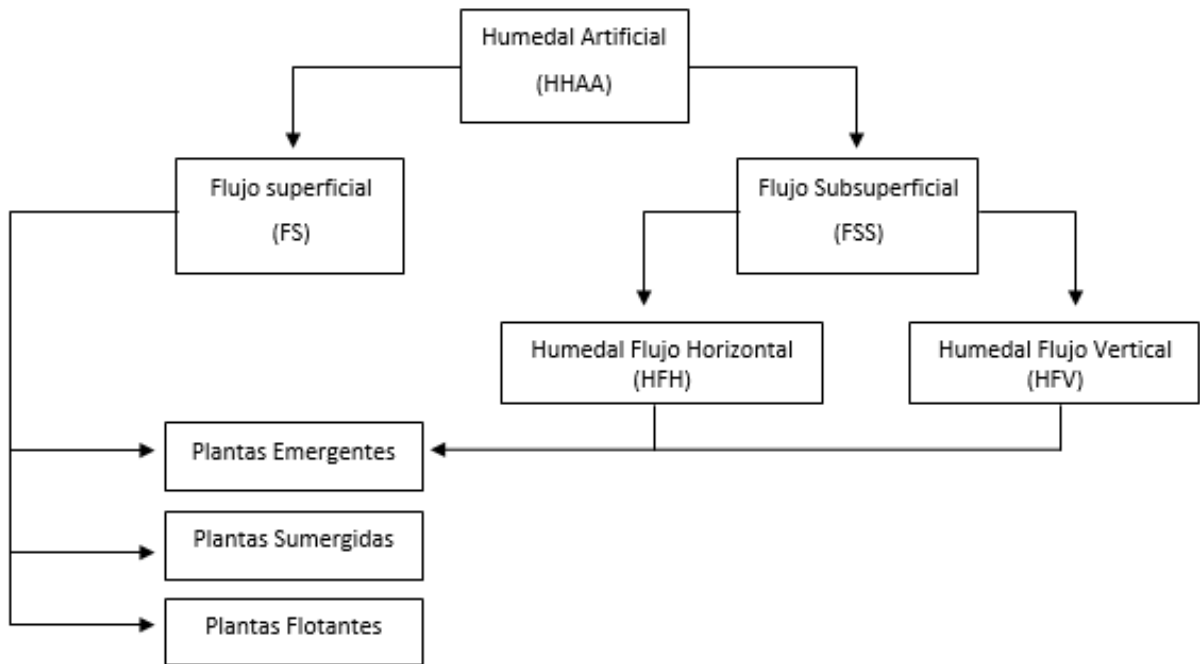


Figura 14 Clasificación de los humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales (Modificado de Hoffman *et al.*, 2011)

Las macrófitas se pueden clasificar en:

- **Macrófitas flotantes:** Son aquellas plantas que flotan libremente por el estanque, cuyas raíces sumergidas se encargan de la purificación del agua. Estos estanques poseen profundidad variable (0,40 a 1,5 m) donde dichas plantas se deben recolectar cada ciertos días o semanas, antes de empezar su descomposición.

Una de las desventajas que poseen este tipo de macrófitas, es que al ser flotantes tienden a obstruir el paso de los rayos solares, impidiendo la proliferación, desarrollo y trabajo del fitoplancton en la producción de oxígeno disuelto en el agua. Un ejemplo son los jacintos de agua que poseen un extraordinario desarrollo en zonas tropicales y subtropicales, sin embargo, poseen un cese de actividades cuando se encuentra expuesto a temperaturas bajas, muriendo en zonas donde existen una temperatura bajo 0°C

- **Macrófitas emergentes:** Son aquellas plantas que viven en aguas poco profundas arraigadas en el suelo, cuyo tallo y hojas se desarrollan fuera del agua. Pueden llegar a medir de 2 a 3 metros. Un ejemplo son los carrizos, juncos y enneas. Sus hojas se secan en invierno, pero rebrotan en primavera a partir de sus órganos subterráneos. Por otra parte, están adaptadas a tolerar condiciones de falta de oxígeno ya que poseen canales u zonas de aireación (aerénquima) que facilitan el paso de oxígeno de las hojas a las raíces.
- **Macrófitas Sumergidas:** Son aquellas plantas cuyo tejido fotosintético está completamente sumergido. El estanque de agua debe poseer una buena cantidad de oxígeno disuelto para su correcto desarrollo. No se recomiendan para el tratamiento de aguas residuales con altas cargas de materia orgánica biodegradable, debido a que esto generaría condiciones de hipoxia. Su productividad suele ser muy baja en el tratamiento de aguas residuales

5.2.1.1 Humedal Artificial de Flujo Superficial (FS)

Los sistemas de flujo superficial, conocidos en inglés como *surface flow constructed wetlands*, son aquellos donde el agua circula preferentemente a través de los tallos y raíces de las plantas (Ver Figura 15). Generalmente son de poca profundidad y se dividen en 3 estratos: El primero corresponde a la superficie del humedal que estará en contacto constantemente con la atmósfera; el segundo corresponde a una capa de suelo que otorga estabilidad a las raíces de las plantas emergentes; y el tercero corresponde a un recubrimiento en el fondo del humedal cuya finalidad es evitar la percolación y contaminación del nivel freático.

En estos tipos de humedales el agua fluye con una pequeña pendiente y con vegetación desde el punto de entrada hasta el punto de descarga. El oxígeno se puede encontrar disponible en la superficie del humedal, en microzonas de la superficie de plantas vivas y en superficies de raíces y rizomas, lo cual permite que se produzca actividad aeróbica. Sin embargo, se puede asumir, que la mayor parte del líquido en el humedal es anóxico o anaeróbico. Debido a la existencia de ambientes oxigenados, de hipoxia y anoxia, se desarrollan microorganismos aerobios, anaerobios y facultativos que se encargan de disminuir la carga orgánica y de otros contaminantes del agua a tratar.

Por otra parte, la falta de oxígeno limita la remoción biológica por nitrificación del nitrógeno amoniacal. Pero si son efectivos para la remoción de DBO, sólidos suspendidos totales (SST), metales y

algunos contaminantes orgánicos prioritarios dado que su tratamiento se puede dar bajo condiciones aerobias y anoxias.

El afluente se distribuye uniformemente por toda el área del humedal que se caracteriza por ser de agua somera. La lenta velocidad que se produce con un flujo esencialmente laminar propicia una remoción muy efectiva de los contaminantes.

La mayoría de los humedales artificiales de flujo superficial corresponden a praderas inundadas, pero también existen de fangales y zonas pantanosas.

Por otro lado, en algunos casos el agua se puede perder completamente por efectos de evapotranspiración.

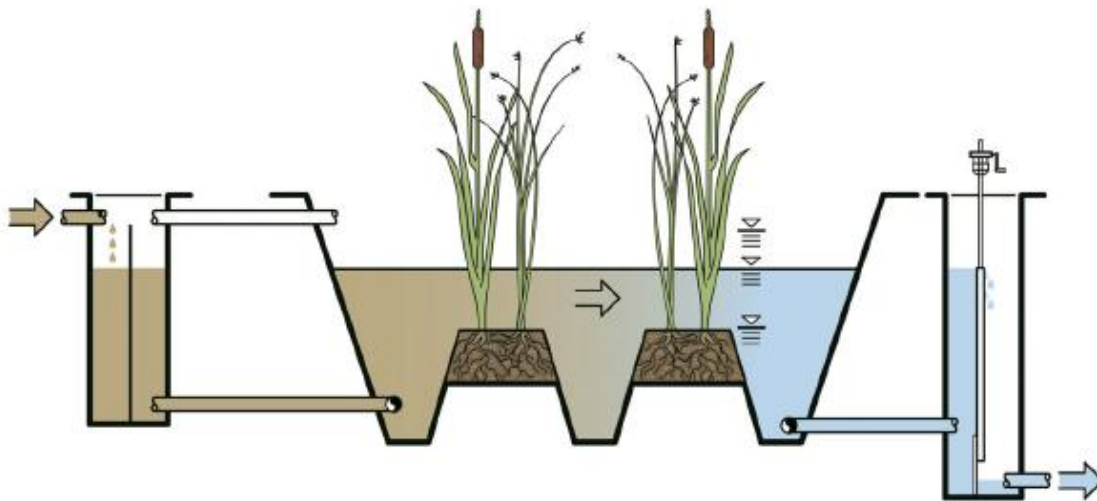


Figura 15 Humedal artificial flujo superficial (Dotro *et al.*, 2017)

5.2.1.2 Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial (FSS):

Los sistemas de flujo Subsuperficial, conocidos en inglés como *subsurface flow constructed wetlands*, se caracterizan por la tenencia de un medio granular subterráneo, por el cual se derivan las aguas. Las plantas crecen en este medio, por lo que las aguas están en contacto con las raíces, lo que evita la proliferación de olores y posible atracción de insectos.

Los humedales subsuperficiales pueden ser de dos tipos; Humedal de flujo **horizontal** (Ver Figura 16); Humedal de flujo **vertical** (Ver Figura 17). La diferencia radica en la forma de entrada del agua al sistema del humedal.

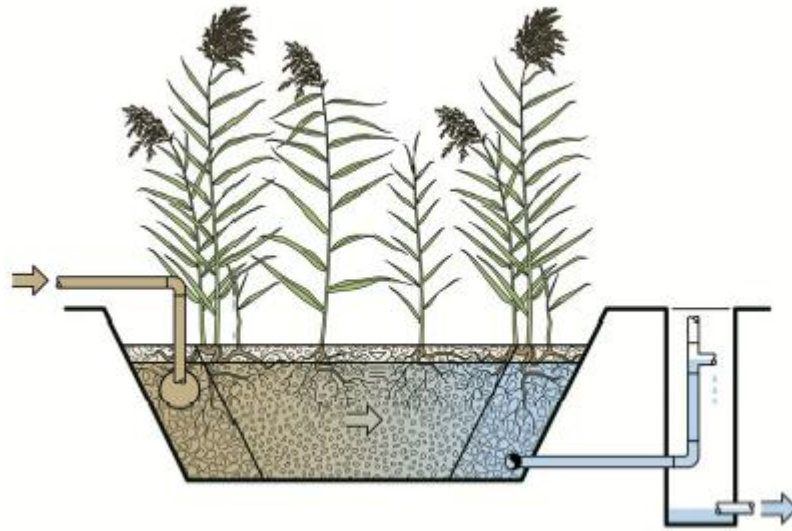


Figura 16 Humedal Subsuperficial de Flujo Horizontal (Dotro *et al.*, 2017)

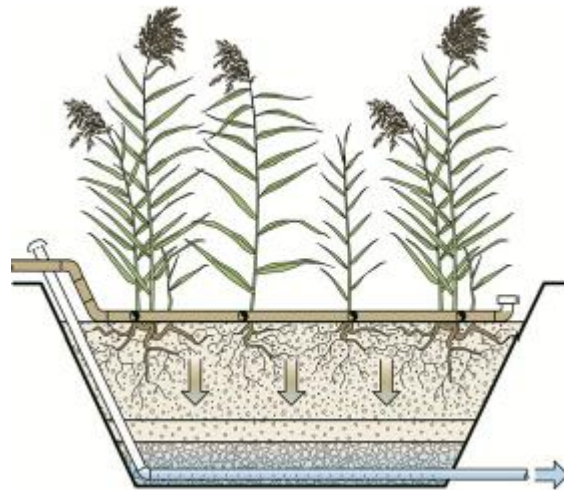


Figura 17 Humedal Subsuperficial de Flujo Vertical (Dotro *et al.*, 2017)

Según Dotro y col., (2017) en la Tabla 12 se encuentran las principales características que diferencian a un humedal artificial de flujo superficial y subsuperficial.

Tabla 12 Características principales entre humedales artificiales superficiales y subsuperficiales.

	Tipo de Humedal	Características
SUPERFICIAL	Humedal de flujo de agua libre	<p>En apariencia son similares a los humedales naturales.</p> <p>Requieren un área de gran superficie, que generalmente se encuentran ligeramente cargadas.</p> <p>Permite el uso de varios tipos de plantas: (a) <i>Typha</i>, <i>Pharagmites</i>, <i>Scirpus</i>, (b) sumergido: <i>Potamogeton</i>, <i>Elodea</i> etc. (c) Flotantes: <i>Eichornia</i> (Jacinto de agua), <i>Lemna</i> (lenteja de agua).</p> <p>Se utiliza principalmente para el tratamiento terciario.</p>
SUBSUPERFICIAL	Humedal de flujo vertical	<p>El agua residual se adiciona de forma intermitente en la superficie del filtro y percola verticalmente a través del filtro.</p> <p>Entre dos cargas el aire vuelve a entrar en los poros, aireando el filtro para permitir principalmente proceso de degradación aeróbica.</p> <p>Requiere de un efectivo tratamiento primario para evitar la obstrucción del filtro</p> <p>Se utilizan plantas que emergen (macrophytes)</p>
	Humedal de Flujo Horizontal	<p>El agua residual fluye de forma horizontal a través de un filtro de arena o grava donde el flujo de agua se encuentra bajo la superficie</p> <p>Debido a la condición saturada del agua se produce degradación anaeróbica.</p> <p>Requiere de un efectivo tratamiento primario para evitar la obstrucción del filtro</p> <p>Se utilizan plantas que emergen (macrophytes)</p> <p>Son utilizados para tratamiento secundario o terciarios.</p>

En la Tabla 13 se muestra el tipo de contaminantes junto a sus procesos de remoción dentro de un humedal artificial de flujo subsuperficial (HAFSS)

Tabla 13 Tipo de contaminante junto a su proceso de remoción de contaminantes dentro de los HA FSS

Contaminante	Proceso
Materia Orgánica (MO) (Medida como DBO ₅ o DQO)	<ul style="list-style-type: none"> Las partículas de MO de mayor tamaño son eliminadas por la sedimentación y filtración, luego son convertidas en DBO₅ soluble si no se retiran del agua residual. La MO soluble es fijada y adsorbida por el biofilm y degradadas por las bacterias adheridas en este. Parte del biofilm, por medio de la lisis celular, vuelve a influir en los niveles de la DBO₅
Sólidos suspendidos totales (SST)	<ul style="list-style-type: none"> Medios de filtración y sedimentación Bacterias para la descomposición de los sólidos
Nitrógeno	<ul style="list-style-type: none"> Biofilm realiza la transformación del nitrógeno amoniacal a nitrato (Nitrificación) Biofilm realiza la transformación de nitrato a nitrógeno molecular (Desnitrificación) Absorción de las plantas
Fósforo	<ul style="list-style-type: none"> Fenómeno de adsorción que efectúan los componentes del suelo Absorción directa de las plantas
Patógenos	<ul style="list-style-type: none"> Absorción que efectúan los componentes del suelo Depredación por bacterias y protozoarios Deletéreo por antibióticos que produce el sistema radicular Eliminación de bacterias por condiciones ambientales desfavorables (temperatura y pH)
Metales Pesados	<ul style="list-style-type: none"> Precipitación y adsorción por los componentes del suelo Absorción por el medio radicular de las plantas
Contaminantes Orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> Adsorción por el biofilm y partículas de arena Descomposición debido a lo largo del tiempo de retención y a las bacterias especializadas del suelo (no calculable)

(Modificado de Hoffman *et al.*, 2011)

5.2.2 Filtro percolador

Corresponde a un tratamiento aerobio de cultivo fijo, que normalmente se emplea para eliminar la materia orgánica que se encuentra en el agua residual.

El filtro percolador consiste en un tanque relleno interiormente por un medio sumamente permeable al que se adhieren microorganismos por el cual percola el agua residual. Generalmente está formado por piedras de cuyo diámetro oscila entre 2,5 a 10 cm. La profundidad del lecho varía en cada diseño en particular, pero suele situarse entre 0,9 y 2,5 metros, con una profundidad media de 1,8 metros. (Metcalf & Eddy, 1998).

Para recoger el líquido tratado y el porcentaje de sólidos biológicos removidos del medio, el filtro debe incluir un sistema de drenaje en la parte inferior del sistema. Posteriormente el líquido debe pasar a un estanque de sedimentación con la finalidad de separar los sólidos removidos del agua residual. Para diluir la concentración del agua residual, mantener un cantidad y humedad apropiada para los microorganismos, debe existir una recirculación del agua residual que puede provenir inmediatamente a la salida del drenaje inferior, o del efluente del tanque de sedimentación, así se puede asegurar una carga hidráulica apropiada para el tratamiento de las aguas. Lo anterior se puede ejemplificar en la Figura 18

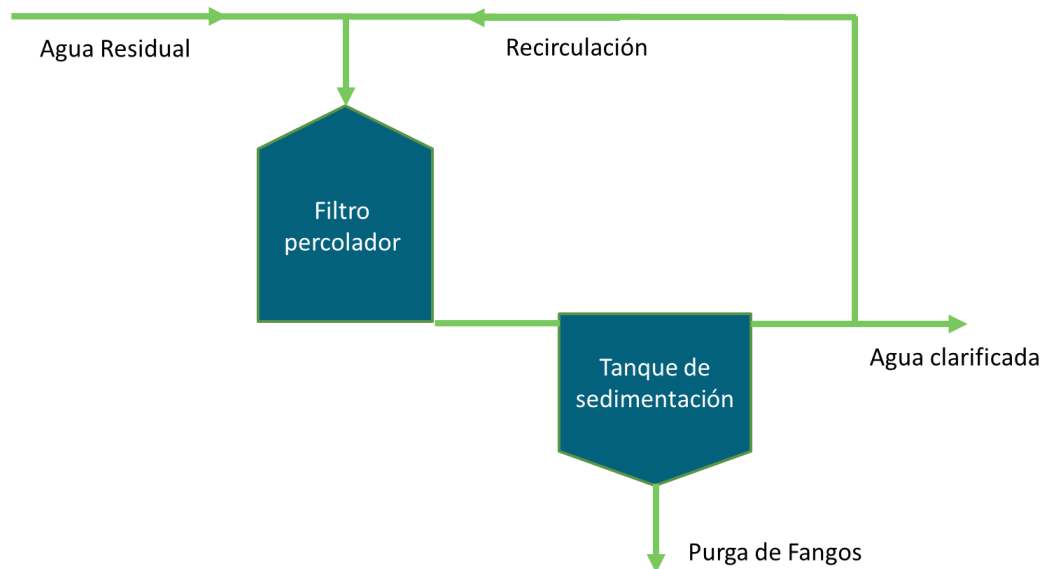


Figura 18 Esquema representativo de un filtro percolador con recirculación del efluente clarificado.

La biopelícula de cultivo fijo que se forma en la superficie del filtro percolador es la encargada de degradar la materia orgánica presente en el agua residual, incorporándola como biomasa celular. Su desprendimiento en algunas ocasiones está ligado a las condiciones anaerobias presentes en el fondo del espesor de la biopelícula, las cuales disminuyen la estabilidad de esta. Otro factor que puede generar el desprendimiento es el desarrollo de lombrices y larvas que se alimentan de la biopelícula y que pueden generar desestabilizaciones locales. (Morgenroth., 2008).

5.2.3 Biodiscos

También llamado Reactor Biológico rotativo de contacto (RBC), utilizan discos de plástico ligero montados sobre un eje giratorio, los cuales se encuentran parcialmente sumergidos en el agua. (Morgenroth, 2008). Consisten en una serie de discos circulares de poliestireno o cloruro de polivinilo, situados sobre un eje, a corta distancia unos de otros (Metalf & Eddy, 1998).

El cultivo biológico se adhiere a la superficie de los discos hasta formar una biopelícula sobre la superficie mojada de estos mismos. Al estar sobre un eje giratorio, la rotación de los discos permite el contacto de la biomasa con la materia orgánica presente en el agua residual y con el oxígeno presente en la atmósfera manteniendo las condiciones aerobias. La rotación también puede favorecer la eliminación de los sólidos en los discos al actuar las fuerzas hidráulicas de corte que controlan el crecimiento de la biopelícula, es decir, cuando la biopelícula se mueve a través del agua.

Es menester contar con una fuente de energía para mantener el funcionamiento continuo de la rotación de los discos y su eficiencia disminuye al existir temperaturas bajo los 13°C, por lo que es necesario aumentar la superficie del medio.

Para utilizar este tipo de sistema de tratamiento es necesario utilizar un clarificador primario para reducir la carga de residuos sólidos y un clarificador secundario que se encargue de los sólidos biológicos. En la Figura 19 se puede ejemplificar.

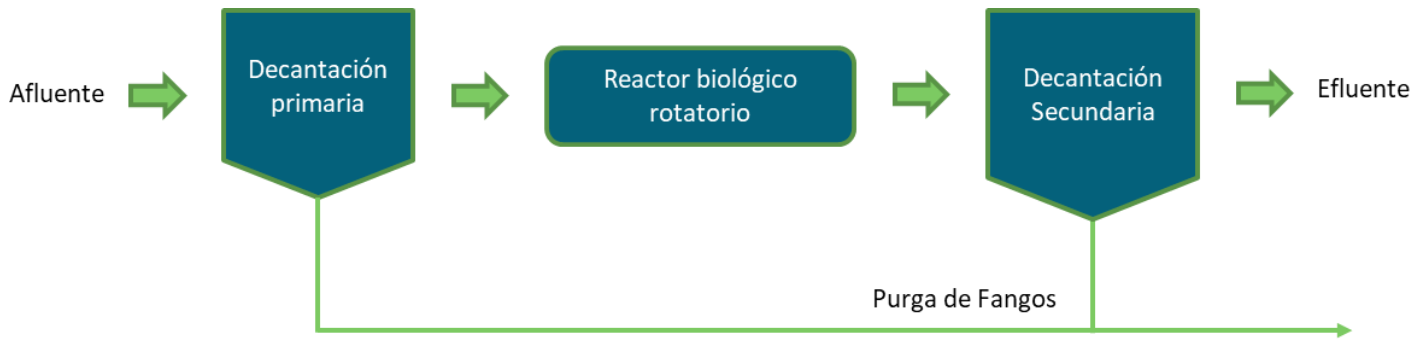


Figura 19 Diagrama en bloque una unidad RCB típica

Para sintetizar, a continuación, se muestra una Tabla resumen comparativa entre los tres tipos de reactores biológicos tomando como base los “Criterios de selección de sistema de tratamiento de aguas residuales” de Vargas, 2016. (Anexo 2) y agregando nuevos criterios. (Ver Tabla 14)

Tabla 14 Tabla Comparativa entre las opciones de Tratamiento Biológico.

Criterios	Biodisco	Filtro Percolador	Humedal
Operación sencilla	x		x
Eficiente para el tratamiento de las aguas residuales domésticas	x	x	x
Infraestructura coherente con el entorno natural de la zona			x
No genera lodos			x
No requiere energía eléctrica			x
No produce olores		x	x
No posee partes móviles			x
Bajos Costos de Operación y Mantenimiento			x
Total	2	2	8

5.3 Desinfección

Las actividades de desinfección son consideradas como los mecanismos principales en la desactivación o eliminación de patógenos (organismos microscópicos) para prevenir la dispersión de enfermedades transmitidas a través del agua.

Si bien, la etapa de desinfección se utiliza cuando se incluyen las aguas negras dentro del tratamiento de las aguas residuales, en teoría no se debería incluir una etapa de desinfección con el fundamento de que el actual sistema propuesto contempla solo el tratamiento de las aguas grises generadas en el sector picnic. Sin embargo, en la eventualidad de que se pueda generar un reglamento para la reutilización de las aguas grises generadas en lavaplatos (alta carga de materia orgánica), se incorporará y evaluará la etapa de desinfección. Y la implementación de esta etapa queda a criterio de la administración del Parque.

Según Kiely (2000), existen 5 factores que pueden dar lugar a una baja eficiencia de desinfección: turbiedad, organismos resistentes, gran cantidad de materia orgánica, depósitos de hierro y magnesio, y los compuestos oxidables. Los virus son más resistentes a los desinfectantes que las bacterias y requieren un periodo adicional de exposición y mayores concentraciones.

5.3.1 Desinfección con cloro

Es un desinfectante con gran poder bactericida. Es de fácil empleo, económico y se puede encontrar en estado líquido y/o sólido. Es el reactivo que se utiliza en mayor cantidad, tanto para la potabilización de las aguas, sistemas de desinfección de agua para ser utilizados en piscinas, controlando características organolépticas como el sabor y el olor del agua. Previene el crecimiento y recrecimiento de microorganismos al mantener un cloro residual que le permite seguir desinfectando aún después del tratamiento como tal, y después de que el agua haya salido de la planta de tratamiento.

Dentro de las características que tiene la desinfección con cloro, es que es una tecnología establecida muy utilizada a nivel mundial, eficiente, capacidad de mantener efectos residuales, generando efectos germicidas por largos periodos de tiempo, dependiendo de la dosificación que se aplique.

Dentro de las desventajas a este tipo de desinfección, requiere de un agente decolorador.

Por su parte, la decoloración es la práctica que consiste en la eliminación del cloro combinado residual presente en el agua después de la cloración, para reducir los efectos tóxicos de los efluentes descargados a los cursos de agua receptores o destinados a la reutilización (Metcalf & Eddy, 1998)

Existen factores que afectan la eficiencia de desinfección en la cloración, los principales son: el grado de impureza del agua, la cantidad de materia orgánica, el tiempo de contacto y la temperatura a la cual se encuentre expuesta.

Si el agua presenta altos grados de impureza y presencia de materia orgánica, el agente clorador va a tender a oxidar la materia orgánica disminuyendo el efecto germicida dentro del afluente a tratar. Requiriendo en este sentido, dosis más elevadas del agente clorador. El tiempo de contacto mínimo para las aguas residuales es de 25 a 30 minutos, recomendándose el mayor tiempo posible para su desinfección. En cuanto a la temperatura, la desinfección de microorganismos resulta más eficiente y rápido a mayor temperatura del agua, sin embargo, en esta excepción el cloro resulta más estable en agua fría. Por lo que requiere de bajas temperaturas en su proceso

Existen tres presentaciones típicas del cloro comercial: Hipoclorito de sodio, Cloro líquido (Gas comprimido) e hipoclorito de calcio.

De los desinfectantes anteriormente mencionados, el hipoclorito de calcio (NaClO) es el desinfectante más ocupado a nivel comercial.

Para el caso del Decolorador, el sulfito de sodio (Na_2SO_3) es recomendado ya que elimina los residuos de cloro libre resultantes del contacto del cloro con el agua.

5.3.2 Desinfección con ozono

El ozono se caracteriza por ser un excelente agente desinfectante debido a su alto poder oxidante, siendo utilizado en la eliminación o desactivación de bacterias virus y protozoos.

El aspecto de acción se ha extendido mucho, abarcando procesos de desinfección en el tratamiento de aguas potable, aguas residuales, aguas industriales (de proceso, de limpieza, ect.), aguas marinas, entre otras (CONAGUA, 2015)

Dentro de las ventajas que tiene el trabajar con ozono, ese encuentra la facilidad en la producción de ozono por descargas eléctrica. Lo que, a su vez, indica que requiere de consumo eléctrico en su utilización. Es un oxidante que reacciona rápidamente con los compuesto orgánicos, inorgánicos y microorganismos. No imparte sabor ni olor al agua y posee un poder desinfectante mayor que el cloro residual y sus derivados. Sin embargo, el costo inicial del equipamiento es alto y requiere de energía de manera constante. Por otro lado, la utilización de este desinfectante no garantiza un residual que pueda combatir posibles rebrotes de Microorganismos dentro del agua tratada.

Además, la generación de ozono debe ser *insitu* y se debe aplicar rápidamente debido a que es químicamente inestable por lo que se descompone a oxígeno muy rápidamente después de su generación.

Al reaccionar con el agua, genera compuestos altamente oxidantes, y a diferencia del cloro, el ozono produce la ruptura de la membrana celular y por consiguiente la muerte rápida del microorganismo. Se dice que la velocidad con que el ozono mata a las bacterias es mucho mayor al tratamiento con cloro.

5.3.3 Desinfección con Rayos Ultravioleta

Este tipo de desinfección se ha empleado en varias ocasiones y está basada en la incorporación de rayos ultravioletas (UV) al tratamiento de las aguas residuales. Se debe emplear una correcta dosificación de rayos UV (cuya longitud de onda debe estar entre 250 a 270 nm) para que genere efectos germicidas, bactericidas y virucidas.

Este tipo de tratamiento corresponde a un tipo de desinfección físico y no químico. Los efectos germicidas provienen de la luz ultravioleta la cual daña al ácido ribonucleico (ARN) y al ácido desoxirribonucleico (ADN). Ambas contienen información del código genético del microorganismo y debido a que transportan y procesan la información genética para la reproducción, el daño que su estructura podría generar la inactividad de la célula.

Es importante que este tratamiento se realice en aguas con bajo o nulo nivel de turbiedad. Cuando existen altas concentraciones de sólidos, la efectividad del tratamiento disminuye considerablemente debido a que los sólidos pueden absorber la radiación y también actuar como escudo de los microorganismos.

Una de las ventajas notorias que posee este tipo de desinfección, es la nula formación de compuestos tóxicos, no obstante, también tiene el inconveniente de que puede existir un efecto de foto-reactivación, es decir, que la célula sane, y como no existe desinfectante residual, puede haber un recrecimiento celular.

Para sintetizar, en la Tabla 15 se muestra un resumen comparativo entre las 3 opciones de desinfección.

Tabla 15 Tabla comparativa entre las opciones de Desinfección

Criterio	Radiación UV	Ozono	Cloración
No requiere consumo eléctrico			x
Bajos costos de operación y mantenimiento			x
Requiere de un agua libre de turbidez	x	x	x
Efectivos en la remoción de virus y bacterias	x	x	x
No se añaden productos químicos	x	x	
Mejora características organolépticas del agua como el olor	x	x	x
No genera residuos	x	x	
Generación de un desinfectante residual			x
Efectivo para el tratamiento de las aguas domésticas			x
Total	5	6	7

5.4 Selección

Utilizando la Tabla 14, se determinó que el humedal artificial era la mejor alternativa para el tratamiento biológico de las aguas residuales generadas en el sector picnic del Parque. Además, cumple con los requerimientos de la directiva que busca incluir un sistema “natural” (es decir, que por sí solo se puede encontrar en la naturaleza) y consistente con el entorno.

De los tres tipos de humedales propuestos se llegó a la conclusión que el Humedal Subsuperficial de Flujo Horizontal cumplía con las condiciones de ser ocupado, debido a que la zona se encuentra constantemente inundada, evitando estrés hídrico en épocas de poca confluencia de público. Asimismo, existe la ventaja de mejorar las condiciones de depuración de las aguas grises al estar un mayor tiempo de contacto entre arena y raíces de las plantas.

En una primera etapa, se debe incorporar un sistema de tratamiento primario el cual se encargará de captar los residuos de distinta densidad y tamaño variado. A diferencia del Tanque Imhoff, el Tanque Séptico no requiere de un pretratamiento para su diseño cumpliendo una característica que permite disminuir los costos de inversión con su utilización. Acá sedimentarán los residuos sólidos de mayor densidad y flotarán los de menor. Además, favorecerá la absorción de la materia orgánica insoluble por microorganismos anaerobios para a continuación, dirigirse al humedal.

Posterior al humedal viene el proceso de desinfección, que permite remover microorganismos que no pudieron ser removidos en los procesos anteriores y que podrían estar presente en el agua tratada.

Utilizando la Tabla 15, se llegó a la conclusión que el tratamiento a emplear será la desinfección con cloro.

Hay que recordar que la instalación de este último sistema permite un agua con distintas características de almacenamiento pero que queda a total criterio de la administración del Parque.

Una utilidad que podría tener el agua tratada con el proceso de desinfección es el llenado de estanque de baños²

En la Figura 20 se encuentra el diagrama final del sistema de reciclaje de las aguas residuales del sector picnic del Parque Quebrada Verde de Valparaíso.

² Se planteó la posibilidad de construir baños cercanos a la zona de picnic

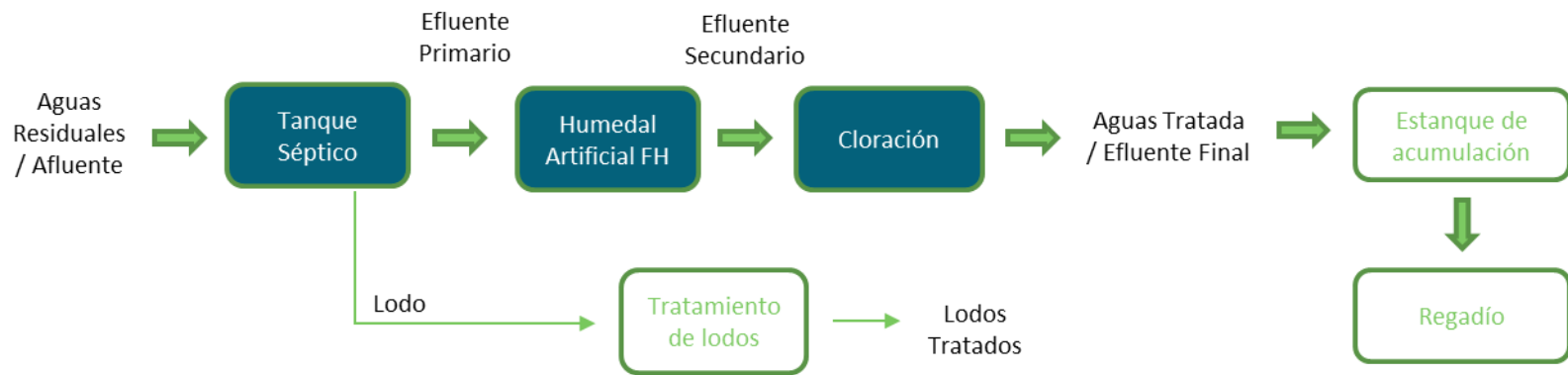


Figura 20 Diagrama en bloque del sistema de reutilización de aguas residuales

Cabe mencionar que el tratamiento de lodos no se realizaría dentro del Parque Quebrada Verde. Actualmente existe una empresa que realiza el traslado del lodo residual para su posterior tratamiento.

5.5 Construcción, instalación y mantenimiento

A continuación, se ve a realizar un análisis de cómo se deben construir, instalar y mantener cada tratamiento a incorporar.

Es importante mencionar en este capítulo que antes del tanque séptico existirá un pre-filtrado justo bajo los lavaderos del sector picnic. Este filtrado corresponde al sifón de lavaplatos.

El sifón estará encargado de remover las partículas de mayor granulometría con la finalidad de no entorpecer y obstruir las cañerías que derivan el agua desde ese sector al tanque séptico. Este sifón deberá ser limpiado de manera diaria una vez finalizado el horario de visitas. La limpieza la puede realizar el personal de manera muy sencilla debido a su mínimo grado de dificultad en operación y mantenimiento.

Todos los detalles de los materiales y tuberías a utilizar se verán en el Capítulo 7 “Diseño, Estimación y Selección de equipos”.

5.5.1 Tanque séptico

A continuación, se realizará una revisión más profunda al Decreto N° 236 cuya última modificación fue el 2004.

Las fosas sépticas deberán ser construidas de la manera más sencilla, de fácil operación y que cumpla con el objetivo al cual fue destinada. Sus partes deben ser accesibles, visitables, y de fácil limpieza, permitiendo el buen mantenimiento de la fosa séptica.

Deberán ser construidas de albañilería de piedra o de ladrillo o de armado. De manera interior debe estucarse con mortero de cemento portland. Con una dosificación mínima de una parte de cemento por tres de arena, afinando el cemento con cemento puro antes de su fragua inicial.

Es importantes recalcar que deben ser tanques impermeables para asegurar la protección del medio ambiente y la construcción de deflectores dentro del tanque ha demostrado mejorar la separación líquido sólido, consiguiendo un efluente de mejor calidad.

Para su construcción se debe guardar una relación largo : ancho de 3 : 1 con una altura fija de 1 metro y considerando un claro libre de a lo menos 25 [cm] entre la superficie del nivel máximo del agua y la cubierta de la fosa para contener los gases y el material flotante que pueda acumularse.

Estos sistemas generalmente son diseñados para tratar el agua residual durante un tiempo de retención (TRH) mínimo de 36 a 72 horas, lo que permite la separación de las partículas suspendidas. (Crites y Tchobanoglous, 1998).

Se debe considerar la instalación de una tapa de registro impermeable y hermética de no menos de 60 [cm] de diámetro. Esto permite el ingreso de un hombre y la extracción del lodo residual. Además, deberán incluir un tubo de ventilación de fierro galvanizado no menor a 10 [cm] de diámetro, con rejilla de alambre de malla fina que impida el acceso de mosquitos e insectos, y al mismo tiempo evite un aumento de presión dentro de la fosa por lo gases gestados.

Actualmente, los tanques sépticos modernos y prefabricados se construyen generalmente de concreto, fibra de vidrio, polietileno, plástico, y acero recubierto. Los tanques de concreto, como se vio anteriormente son la opción más común, sin embargo, los de fibra de vidrio y plástico están ganando popularidad debido a poseen un peso mucho más ligero para su transporte. En la Figura 21 se muestra una fosa séptica SEPTIBLOCK con capacidad de 2.300 a 52.000 litros. Y en la Figura 22 se muestra una fosa séptica de concreto con 4 compartimientos.



Figura 21 Fosa Séptica, marca SEPTIBLOCK

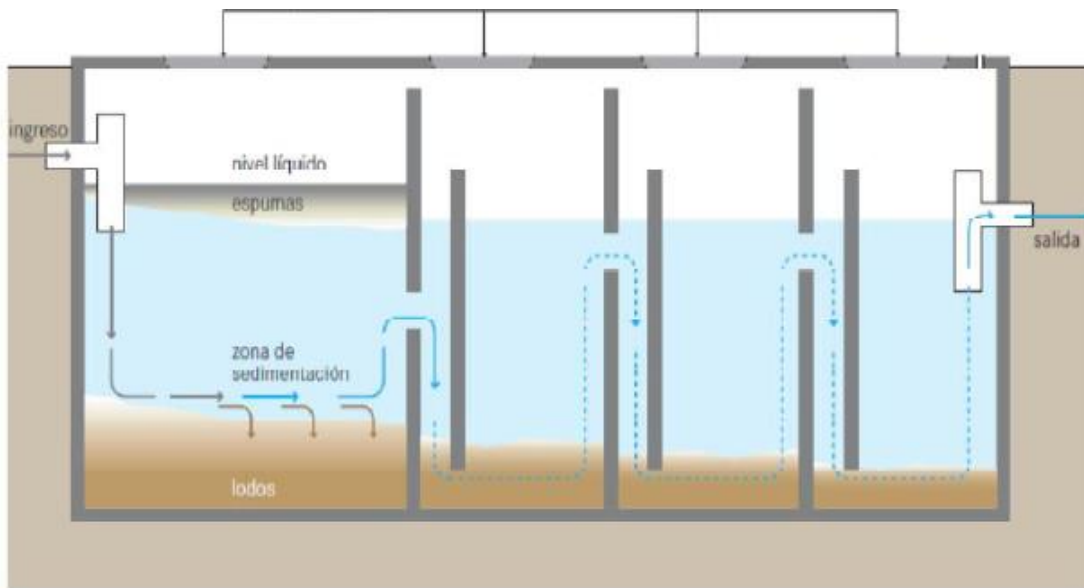


Figura 22 Fosa Séptica con cuatro compartimientos

5.5.1.1 Instalación y Mantenimiento

Para este caso se considerará la instalación de un tanque séptico comercial. Sus condiciones normales de instalación incluyen:

- Realizar una excavación 20 [cm] más grande que las dimensiones del tanque séptico.
- Colocar una capa de arena de 20 [cm] en la base del tanque
- Introducir el tanque séptico.
- Rellenar completamente el tanque con agua.
- Rellenar con arena gruesa los costados del tanque (app 20 [cm])

Para la conducción de las aguas grises generadas en el sector picnic se recomienda la utilización de una pendiente del 3% para impedir la acumulación de los sólidos en las tuberías.

El mantenimiento del equipo es variable y depende de la cantidad de lodos que se generen en el tanque. Puede variar desde 1 vez cada 6 meses, o cada 2 años. Esta limpieza tiene por objetivo sacar lodos y la capa gruesa flotante que equivale a 1/3 del volumen.

Cuando se realice la limpieza es importante conservar una parte de las aguas para reactivar rápidamente la fosa. Además, es conveniente realizar la limpieza en los meses de invierno debido a la baja confluencia de público.

Debido a que actualmente se cuenta con el traslado de lodos desde el tratamiento de lodos activados. **La misma empresa realizaría el retiro del lodo para el tanque séptico. por lo que la operación y mantenimiento lo realiza la empresa externa.**

5.5.2 Biorreactor

Para iniciar con la construcción del humedal, es menester realizar un reconocimiento y evaluación del terreno, identificando las características propias del terreno para adecuar el diseño a las características reales del lugar en el cual se emplazará la obra. Aspectos sencillos como la disponibilidad del terreno, el uso de suelo, la pendiente, el acceso de la maquinaria, la vegetación predominante, y otros factores más, serán definitivos para garantizar el éxito en la implementación.

En el Parque Quebrada Verde, como se dijo anteriormente, posee una gran disponibilidad de terreno para implementar un nuevo sistema de tratamiento. En esta existen distintos tipos de zonificación de ecosistemas, siendo el lugar a intervenir una zona de cultivo forestal (Anexo 3), con predominio de vegetación forestal densa sin bosque nativo (Anexo 4), caracterizada por una alta zona de riesgo de incendio (Anexo 5), y que es fácil acceso para realizar trabajos con maquinaria.

Posteriormente, es importante realizar labores de nivelación de terreno o desmontes, las cuales consisten en realizar limpiezas, desmalezando y extrayendo todo aquello que dificulte o incidan en el área de emplazamiento de la obra.

Considerando una relación largo : ancho de 3 : 1, con una altura fija de 1 m, se procede a realizar la excavación del dique de contención que vendrían siendo las paredes del humedal. Si la mano de obra escasea, es menester realizar los trabajos de excavación con maquinaria pesada que, si bien son de costo elevado, agiliza el trabajo. La superficie debe ser lisa y sin elementos punzantes considerando una pendiente de 1%. la superficie debe ser compactada, generalmente se considera una compactación igual o superior al 90% mediante procedimiento de Proctor Modificado (Delgadillo *et al.*, 2010)

La compactación mencionada anteriormente es muy importante a la hora de realizar el recubrimiento del suelo del humedal, esto disminuye la probabilidad de ruptura o perforación del geotextil.

Se recomienda incluir una capa de arena fina compactado en húmedo, entre el suelo y el geotextil.

Posteriormente, se coloca la geomembrana a utilizar y arriba de esta, se incorpora nuevamente un geotextil. Esto lo podemos visualizar en la Figura 23.

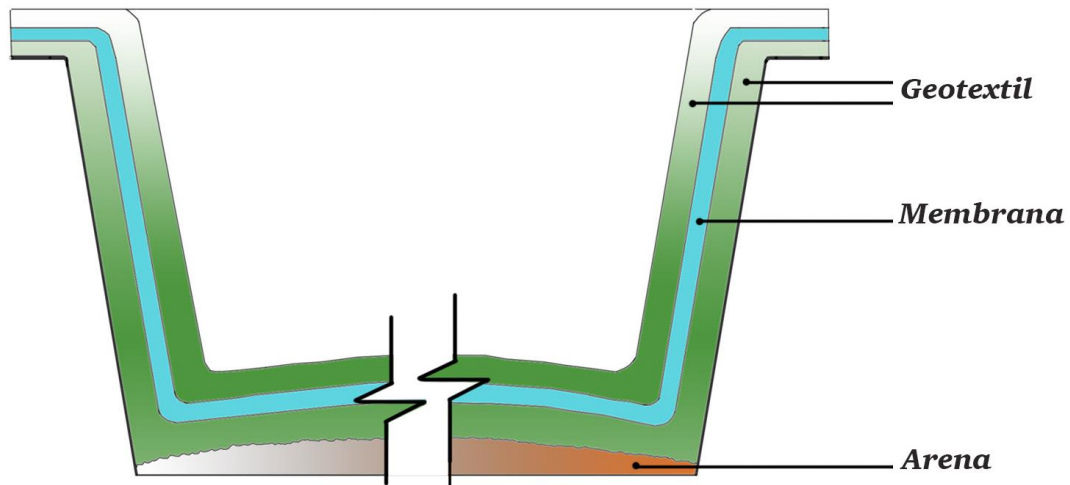


Figura 23 Procedimiento para la incorporación e instalación del geotextil y la membrana

La geomembrana tiene la función de impermeabilizar el dique de contención del humedal, evitando la infiltración al subsuelo, mientras que el geotextil es una tela permeable que se utilizan en asociación con el suelo, y tiene la capacidad de separar, filtrar, reforzar y proteger la geomembrana.

Para el anclaje de la geomembrana y geotextil, se debe crear una zona de amarre en la parte superior del dique de contención. Esta superficie también debe estar nivelada y compactada. (Ver Figura 24).



Figura 24 Tendido y anclaje de la geomembrana (Delgadillo *et al.*, 2010)

El sistema de drenaje se constituye con tuberías de desagüe que poseen perforaciones que no se ven obstruidas con la degradación de la grava utilizada en el drenaje del humedal.

Finalmente, cuando se tenga armado el sistema, se puede incluir la especie macrófita seleccionada.

5.5.2.1 Instalación y Mantenimiento

Recopilando la información anteriormente mencionada es importante recalcar algunos puntos para proceder con la instalación del humedal.

- Contar con el reconocimiento del terreno para la construcción del humedal
- Contar una todos los equipos necesarios para el desarrollo del proyecto
- Contactar con los operadores de la maquinaria pesada en el caso de requerir de éstos.
- Contar con la mano de obra adecuada para realizar el trabajo

Al momento de instalar las macrófitas, lo primero que se debe hacer es realizar la instalación a 40 - 60 cm de la superficie (dependiendo de la macrófita a utilizar). El humedal deberá ser llenado y posteriormente vaciado en 5 cm cada 2 semanas. Con esto se genera un estrés hídrico controlado en la planta, la cual debido a su ausencia deberá extender sus raíces para lograr la obtención del agua en los niveles más bajos, atravesando el sustrato, asegurando que las raíces crezcan lo suficiente para así realizar la depuración biológica.

Para verificar la reducción de los 5 cm de agua se contará un con tubo de PVC transparente y graduado junto a una llave de paso para controlar el nivel del agua dentro del humedal.

A pesar de que un humedal tiene bajos costos de operación y mantenimiento, ningún sistema de tratamiento con humedales está libre de éste costo. Su problema operativo más crítico es la obstrucción que ocurre cuando el espacio poroso entre la grava utilizada se llena con sólidos (orgánicos e inorgánicos) en lugar de agua. Eso limita el área de contacto y el tiempo afectivo entre la biopelícula y el agua.

La obstrucción se debe a menudo al inadecuado mantenimiento de la fosa séptica, o al mal dimensionamiento de la fosa. Se deben realizar un control tanto en la entrada -para verificar una distribución uniforme de la corriente de entrada- como también en la salida -para verificar que la salida de agua no sea obstruida por el material drenante u otros sólidos.

Para el caso de la vegetación, debe ser monitoreada para asegurar que las especies de plantas no deseadas no superen a la comunidad de plantas deseadas. En el caso de existir vegetación no deseada ésta debe ser retirada de manera cuidadosa con la finalidad de no entorpecer el funcionamiento normal del humedal evitando la compactación del sustrato

Estas labores de monitoreo deben ser realizadas periódicamente por el personal designado.

5.5.3 Clorador / Declorador

Las dimensiones de los tanques de cloración quedan a criterio del diseño del sistema. Existen algunos sistemas que utilizan cloro gas, por lo que requieren de una dosificación automática para la cloración y decloración del tratamiento. Sin embargo, no son tan recomendados debido a la peligrosidad que conlleva el trabajo con este químico. El más recomendado es la utilización de tabletas de cloro que son fácilmente manejables, sin embargo, su manipulación debe ser con guantes, gafas y mascarilla.

Los detalles del Tanque Clorador y Declorador se verán en el Capítulo 7.3 y 7.4, no obstante, se requieren de requisitos básicos para su instalación, operación y mantenimiento:

- Diseñar el sistema de cloración y decloración
- Determinar la dosis adecuada para el tratamiento de las aguas.
- Suministrar adecuada y permanentemente el agente desinfectante.
- Manejar de forma segura el compuesto para su aplicación
- Mantener una limpieza de estanque por lo menos 1 vez al año.

Para realizar la limpieza, se debe vaciar completamente el estanque y limpiar con un cepillo las paredes.

6 Balance de Materia y Energía

A continuación, se detallan los cálculos realizados para determinar los balances de materia y energía que entran y salen del sistema.

Haciendo un recordatorio y considerando que la población visitante del Parque Quebrada Verde es fluctuante. En la Tabla 5 del capítulo 4.1.1 se pudo identificar las fluctuaciones promedio correspondientes a cada mes.

Debido a que no se puede trabajar y diseñar un sistema de tratamiento para el día con mayor confluencia de público, se consideró trabajar con el promedio de los meses, excluyendo los meses con mayor y menor visitantes, cuyo valor fue proyectado a 10 años. Dicho valor corresponde a una población media diaria de 168 personas día⁻¹.

Utilizando la encuesta mencionada en el Capítulo 4.1.1, se identificó el caudal diario por visitante. Este fue de 20,9 litros personas⁻¹ día⁻¹, es decir, 21 litros personas⁻¹ día⁻¹ cuya fracción porcentual se divide en un 0,6% para el sector baño público, mientras que un 0,4% se utiliza en el sector picnic³.

Por lo que:

$$Q_{diario} = (21 * 0,4) * 168$$

$$Q_{diario} = 1,41 [m^3/d]$$

6.1 Balance de materia

Con la finalidad de identificar la carga de contaminante a la salida de cada tratamiento (Efluente primario, secundario, y agua tratada; Ver Figura 20, Capítulo 5.4), en la Tabla 16 se identifican los parámetros que serán utilizados para el desarrollo de este trabajo.

³ Dato obtenido por la aplicación de encuestas, Anexo 1

Tabla 16 Caracterización de las aguas residuales domésticas (DS N°609, 1998)

Parámetro	Concentración
DBO5	250 [mg/l]
P (total)	5 [mg/l]
N (total)	50 [mg/l]
Aceites y Grasas	60 [mg/l]
Sólidos suspendidos totales	220 [mg/l]

6.1.1 Tanque séptico

Se han reportado eficiencias de remoción para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y de los sólidos suspendidos totales (SST). Estos se muestran en la Tabla 17.

Tabla 17 Eficiencia de remoción para el tanque séptico (Tilley et al., 2014)

Parámetro	Eficiencia de remoción
DBO ₅	30-40%
SST	50%

6.1.1.1 Remoción de SST

Considerando una concentración inicial de 220 [mg/l], y una remoción del 50%, la concentración final teórica para los SST del efluente primario será de

$$C_i \times 0,5 = 110 \text{ [mg/l]}$$

6.1.1.2 Remoción de DBO₅

Considerando una concentración inicial de 250 [mgO₂/l] de DBO₅, con una remoción del 35%, la concentración final teórica para la DBO₅ del efluente primario será de

$$C_i \times 0,75 = 162,5 \text{ [mgO}_2\text{/l]}$$

6.1.2 Biorreactor

El biorreactor, está encargado de disminuir la carga de los nutrientes asociados al agua residual, los sólidos suspendidos totales y la demanda bioquímica de Oxígeno.

En la Tabla 18 se muestra la eficiencia de remoción típica de un humedal subsuperficial de flujo horizontal.

Tabla 18 Eficiencia de remoción típica para un humedal subsuperficial de flujo horizontal

Parámetro	Eficiencia de remoción
SST	> 80%
DBO ₅	> 80%
N _{total}	30 – 50 %
P _{total}	10 – 20%
Coliformes	2 log ₁₀

(Treatment Wetlands Volumen 7, Dotro *et al.*, 2017)

6.1.2.1 Remoción de SST

Considerando una concentración inicial de 110 [mg/l] de, con una remoción del 80%, la concentración final teórica para los SST del efluente secundario será de:

$$C_i \times 0,2 = 22 \text{ [mg/l]}$$

6.1.2.2 Remoción de DBO₅

Considerando que existe un Proyecto de Reglamento sobre la Reutilización de las Aguas Grises, pero que no se aplica en forma directa a este sistema de tratamiento de aguas residuales, se utilizará como guía para identificar los límites máximos permitidos para los efluentes que sean destinados a riego de áreas recreativas y de servicios.

Debido a que el agua será utilizada para regadío, el valor máximo que puede tener la DBO₅ para riego superficial es de 30 [mg/l].

Como en este caso se tratan las aguas provenientes de los lavaderos del sector picnic, se considerará un valor de diseño 15 [mg/l] para el efluente del biorreactor.

6.1.2.3 Remoción de Nitrógeno Total

Considerando una concentración inicial de 50 [mg/l] de Nitrógeno Total, con una remoción del 40%, la concentración final teórica para el Nitrógeno Total del efluente secundario será de:

$$C_i \times 0,6 = 30 \text{ [mg/l]}$$

6.1.2.4 Remoción de Fosforo Total

Considerando una concentración inicial de 5 [mg/l] de Fosforo total, con una remoción del 15%, la concentración final teórica para el Fósforo Total del efluente secundario será de:

$$C_i \times 0,85 = 4,25 \text{ [mg/l]}$$

6.1.3 Desinfección

6.1.3.1 Cloración

Para el control de los microorganismos, se precisa de una dosis de entre 5 a 20 [mg/l] de hipoclorito de Calcio, y para determinar la tasa debemos utilizar la siguiente fórmula:

$$\text{Dosis [mg/l]} = \text{Tasa [g/día]} / \text{Caudal [m}^3\text{/día]}$$

Si se considera una dosis de 10 [mg/l] y un caudal de 1,41 [m³/d], la tasa de ingreso es:

$$\text{Tasa} = 10 \text{ [mg/l]} \times 1,41 \text{ [m}^3\text{/día]} \times 1000 \text{ [l/m}^3\text{]} \times \frac{1}{1000} \text{ [g/mg]}$$

$$\text{Tasa} = 14,1 \text{ [g/día]}$$

Si consideramos que en el comercio las tabletas de hipoclorito de calcio contienen 140 [g] cada una:

$$\frac{140}{14,1} = 9,9 \text{ [d]}$$

Se considera la incorporación de 1 pastilla cada 10 días.

6.1.3.2 Decloración

Considerando el exceso de cloro libre residual presente en el agua luego de introducir el agente clorador, se debe agregar sulfito de sodio cuya dosis será de 10 [mg/l]. Y para determinar la tasa se debe realizar el mismo calculo anterior (Capítulo 6.1.3.1)

$$Tasa = 10 \text{ [mg/l]} \times 1,41 \text{ [m}^3\text{/día]} \times 1000 \text{ [l/m}^3\text{]} \times \frac{1}{1000} \text{ [g/mg]}$$

$$Tasa = 14,1 \text{ [g/día]}$$

Si consideramos que en el comercio las tabletas de sulfito de sodio contienen 140 [g] cada una:

$$\frac{140}{14,1} = 9,9 \text{ [d]}$$

se considera la incorporación de 1 pastilla cada 10 días.

6.1.4 Sistema de riego

Las aguas grises tratadas podrán ser almacenadas por periodos máximos de 24 horas (Proyecto Reglamento Aguas Grises, 2018). Por lo que el estanque de acumulación de agua será de un volumen máximo de 1,41 m³.

El estanque debe ser hermético al agua, no así al aire y con malla para impedir la entrada de mosquitos. Y deben ser limpiados una vez al año.

Este sistema de regadío podrá otorgar un volumen máximo teórico anual de 514,7 m³/año.

6.2 Balance de energía

En el presente capítulo se procede al diseño de bombas, además de identificar los equipos eléctricos necesarios para el funcionamiento del sistema.

6.2.1 Diseño de Bombas

El sistema de tratamiento requiere de una bomba sumergible que permita el ascenso del agua tratada a un estanque de almacenamiento.

Para determinar la potencia que necesita la bomba se debe utilizar la ecuación 2

$$P = \frac{Q \times \rho \times g \times H}{\eta} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

Q: caudal [m³/s]

ρ : Densidad del agua 1000 [kg/m³]

g: Gravedad [m/s²]

H: Altura de elevación de la bomba [m]

η : Rendimiento de la bomba (%) Se estima un rendimiento del 65%

La altura de elevación se puede desglosar de la siguiente manera:

$$\frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + z_1 + H = hf + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + z_2 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

v : Velocidad del flujo a transportar [m/s]

P : Presión en el punto de estudio [Pa]

Z: Elevación o altura del punto de estudio [m]

hf : Pérdidas de carga del sistema [m]

Los supuestos empleados para el cálculo de la potencia de la bomba de distribución fueron los siguientes:

1. Caudal constante
2. Flujo incompresible
3. Presión de entrada de sistema (Punto 1) es igual presión atmosférica
4. Presión en el punto 1 es igual a la presión en el punto 2
5. Velocidad del fluido constante
6. Velocidad de entrada a la bomba es igual a la velocidad de salida
7. La bomba mide app 15 cm de alto
8. Diámetro de tubería de 0,0254 [m]

Reordenando la fórmula en función de la altura de elevación de la bomba, queda la siguiente ecuación:

$$H = hf + \left(\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g}\right) + \left(\frac{P_2}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g}\right) + (z_2 - z_1) \quad \text{Ecuación 4}$$

Si la velocidad de entrada es igual a la velocidad de salida: $\frac{v_2^2}{2g} - \frac{v_1^2}{2g} = 0$

Si la presión en el punto de entrada es igual a la presión en punto de salida: $\frac{P_2}{\rho g} - \frac{P_1}{\rho g} = 0$

Por lo tanto, la ecuación queda reducida a la siguiente ecuación:

$$H = hf + (z_2 - z_1) \quad \text{Ecuación 5}$$

Las pérdidas por fricción se pueden dividir en dos:

- Pérdidas por succión h_{fs}
- Pérdidas por descarga h_{fd}

La ecuación que describe la pérdida por fricción está expresada en la ecuación 6

$$h_{fs} = h_{fd} = \lambda \left(\frac{L + \sum Le}{D}\right) \left(\frac{v^2}{2g}\right) \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

λ : Coeficiente de pérdida

L : Longitud de la tubería

Le: Longitud equivalente proporcionada por el monograma de pérdida de carga

D: Diámetro de la tubería

El coeficiente de pérdida depende del N° de Reynolds.

$$\text{Re} = \frac{v \times D}{\mu_c} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde

$$\mu_c = 1,31 \times 10^{-6} \text{ m/s}$$

$$v = 2 \text{ m/s}$$

$$D = 0,0254 \text{ m}$$

Incorporando los valores a la fórmula, el número de Reynolds da como resultado 38.778,6

Como $\text{Re} > 2400$, el coeficiente de pérdida va a depender también de la rugosidad del material (PVC), es decir:

$$\lambda = f(\text{Re}, \varepsilon / R) ; \quad \varepsilon / D = \frac{0,0015 \text{ mm}}{25,4 \text{ mm}} = 0,000059$$

Utilizando el diagrama de Moody, e integrando el número de Reynolds y la rugosidad relativa del material, el coeficiente de pérdida $\lambda = f(\text{Re}, \varepsilon / R)$ es igual a 0,0235

Pérdida por succión

Los datos que nos faltan para incluir en la pérdida por succión de la ecuación 6 corresponde a la longitud y la longitud equivalente.

La longitud corresponde a los metros de cañería plana que existen antes de la bomba.

Debido a que no se contempla tubería, la longitud es igual a 0

La Longitud equivalente corresponde a la pérdida que existe por los accesorios de tubería utilizadas en el diseño la bomba. Éste se puede determinar utilizando el monograma de pérdida de carga que se encuentra en el libro de mecánica de fluidos de Claudio Mataix.

Para este caso se contempla un estrechamiento $d/D = 1/4$ otorgando una L_e igual a 0,4 m

Pérdida por descarga

Los datos que nos faltan para incluir en la pérdida por descarga de la ecuación 6 corresponde a la longitud y la longitud equivalente.

La longitud de la tubería corresponde a los metros de cañería que existen después de la bomba. Por lo tanto, la longitud equivale a la suma de 3,00 + 0,2 (Figura 29, Capítulo 7.4)

La Longitud equivalente corresponde a la pérdida que existe por los accesorios de tubería utilizadas en el diseño la bomba. Éste se puede determinar utilizando el monograma de pérdida de carga que se encuentra en el libro de mecánica de fluidos de Claudio Mataix.

Para este caso se contempla un codo de 90° y un estrechamiento $d/D = 1/4$, siendo sus valores 1,8 y 0,8 [m] respectivamente.

En la Tabla 19 se encuentra la recopilación de los datos mencionados anteriormente y que deben ser incluidos a la ecuación 6.

Tabla 19 obtención de la pérdida de carga por succión y descarga

Datos de entrada	Pérdida por succión h_{fs}	Pérdida por descarga h_{fd}
λ	0,0235	0,0235
L [m]	0	3,2
L_e [m]	0,4	2,6
D [m]	0,0254	0,0254
v [m/s]	2	2
g [m/s ²]	9,81	9,81

Finalmente reemplazando los datos en la ecuación 6, la **perdida de carga por succión** es:

$$h_{fs} = 0,0235 \left(\frac{0 + \sum 0,4}{0,0254} \right) \left(\frac{2^2}{2 \times 9,81} \right) = 0,075 \text{ [m]}$$

Y la **pérdida de carga por descarga** es:

$$h_{fd} = 0,0235 \left(\frac{(3,0 + 0,2) + (1,8 + 0,8)}{0,0254} \right) \left(\frac{2^2}{2 \times 9,81} \right) = 1,094 \text{ [m]}$$

Por lo tanto, la altura de la bomba es (Ecuación 5):

$$H = (0,075 + 1,094) + (2,93 - 0) = 4,099 \text{ [m]}$$

Ahora bien, para calcular la potencia (ecuación 2) debemos saber el caudal que va a pasar por la bomba. Éste se determinar utilizando la siguiente ecuación:

$$Q = v \times (\pi \times D^2 \times 0,25) \quad \text{Ecuación 8}$$

Considerando que la velocidad de entrada es 2 [m/s] y el diámetro 0,025 [m]

$$Q = 2 \times (\pi \times 0,0254^2 \times 0,25)$$

$$Q = 1,013 \times 10^{-3} \text{ [m}^3 \text{ / s]}$$

Integrando los datos dentro de la ecuación 2, tenemos lo siguiente:

$$P = \frac{1,03 \times 10^{-3} \times 1000 \times 9,81 \times 4,099}{0,65} = 63,71 \text{ [W]}$$

Utilizando un factor de seguridad del 20% para asegurar la potencia necesaria de la bomba, la potencia requerida es:

$$P = 63,7 \times 1,2 = 76,4 \text{ [W]}$$

Por lo tanto, el transporte de las aguas desde el tanque de desinfección al estanque de acumulación se puede realizar con una bomba de 0,3 hp, ya que logra cumplir con el objetivo.

6.2.2 Bomba sumergible

En el capítulo 6.1.4 se menciona un volumen máximo teórico de generación de aguas tratadas de:

$$Volumen = 514,7 [m^3/año]$$

El caudal que distribuye la bomba es: (Ecuación 8, Capítulo 6.2.1)

$$Caudal = 1,013 \times 10^{-3} [m^3/s]$$

El tiempo de funcionamiento de la bomba será:

$$Tiempo\ de\ funcionamiento = Volumen / Caudal$$

$$Tiempo\ de\ funcionamiento = \frac{514,7 [m^3]}{1,013 \times 10^{-3} [m^3 / s]}$$

$$Tiempo\ de\ funcionamiento = 508.094,7 [s] = 141 [h] anuales$$

Acoplada a la bomba se encontrará un dispositivo de control automático del nivel del agua. Éste se pondrá en funcionamiento cuando el agua alcance un nivel específico, y se detendrá cuando alcance el nivel mínimo permisible.

6.2.3 Control automático de nivel de agua

El control automático de nivel de agua entra en funcionamiento cuando el nivel de agua se encuentra a una altura máxima.

En el capítulo 7.5.1 se menciona el volumen de acumulación de agua:

$$Volumen = 0,0624 [m^3]$$

El caudal que distribuye la bomba es: (Ecuación 8, Capítulo 6.2.1)

$$Caudal = 1,013 \times 10^{-3} [m^3/s]$$

El tiempo de funcionamiento del control automático de nivel será:

$$Tiempo\ de\ funcionamiento = Volumen / Caudal$$

$$\text{Tiempo de funcionamiento} = \frac{0,0624 \left[m^3 \right]}{1,013 \times 10^{-3} \left[m^3 / s \right]}$$

Tiempo de funcionamiento = 61,6 [s] por cada vaciado

Si sabemos que el control de presión funciona 23 veces al día (capítulo 7.5.1), el tiempo de funcionamiento es:

$$\text{Tiempo de funcionamiento} = 61,6 \text{ [s]} \times 23 = 1416,7 \text{ [s] día}$$

$$\text{Tiempo de funcionamiento} = 517.125,5 \text{ [s/año]}$$

$$\text{Tiempo de funcionamiento} = 143 \text{ [h] anuales}$$

Por lo tanto, el balance de energía anual se muestra en la Tabla 20

Tabla 20 Balance de Energía Anual

Equipo	Potencia		Horas de funcionamiento al año	Gasto anual [W h]
	hp	W		
Bomba sumergible	0,3	250	141	32.250
Interruptor de nivel máximo		2	143	286
TOTAL				32.536

Por lo tanto, se consumen 32,5 kWh de energía eléctrica al año.

7 Diseño, estimación y selección de equipos

El agua residual por tratar al día corresponde a un caudal de $1,41 \text{ m}^3 \text{ día}^{-1}$. (No se consideran efectos de evapotranspiración y precipitación al realizar los cálculos ya que se desea obtener una primera aproximación del diseño). Con este dato se podrá calcular las dimensiones de los equipos.

7.1 Tanque séptico

Si se desea realizar la construcción del tanque séptico, el dimensionamiento vendría siendo de la siguiente manera (Ver Ecuación 9).

$$Volumen = Q \times T_{RH} \times F_g \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

Q: Caudal de ingreso [m^3/d]

T_{RH} : Tiempo de retención hidráulico [d]

F_g : Formación de gases

Considerando un T_{RH} de 2 días (48 hrs), y un 25% de adición por la formación de gases, el volumen del tanque corresponde a:

$$Volumen = 1,41 \times 2 \times 1,25 = 3,5 \text{ [m}^3\text{]}$$

Considerando que la altura es 1[m], el área del tanque séptico es:

$$\text{Área} = \text{Largo} \times \text{Ancho} = 3,5 \text{ [m}^2\text{]}$$

$$\text{Área} = L \times w = 3,5 \text{ [m}^2\text{]}$$

Guardando la relación L : w de 3 : 1 (capítulo 5.5.1)

$$\frac{L}{w} = \frac{3}{1} \rightarrow 3w = L$$

$$\text{Área} = 3w \times w = 3w^2$$

Reemplazando el área:

$$3,5 \text{ [m}^2\text{]} = 3w^2$$

$$w = 1,1$$

$$L = 3,2$$

Por lo tanto, las dimensiones del tanque séptico son:

Altura 1 [m]	Ancho 1,1 [m]	Largo 3,2 [m]
---------------------	----------------------	----------------------

En la Figura 25 se encuentra el diseño del tanque séptico.

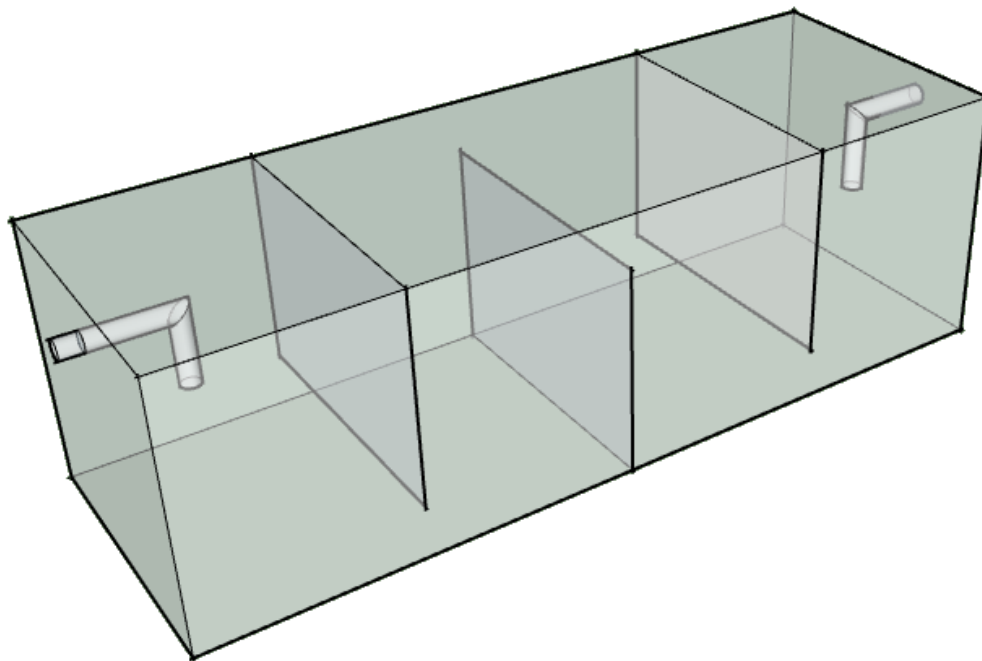


Figura 25 Diseño del Tanque Séptico

Para este caso se va a trabajar con un tanque séptico comercial marca Bioplastic, que cuenta con una fosa de 3250 litros, con un volumen útil de 3000 litros, satisfaciendo los requerimientos de diseño del tanque séptico.

Conexiones

La tubería que conduce las aguas al tanque séptico corresponde a tubería sanitaria de 75 [mm] de diámetro, con 40 metros de longitud desde la cámara de registro del sector picnic.

Como el tanque séptico tiene un diámetro de entrada de 110 [mm] se necesitará incluir una cople de 110 [mm] junto a un reductor de 110x75 [mm]. La cople se utiliza para unir la salida del tanque séptico con el reductor. Y el reductor se conecta con la tubería de 75 [mm] de diámetro.

La longitud de la tubería de salida será de 2 metros de largo, lugar donde se conecta con la entrada del humedal artificial.

Excavación

Si las dimensiones del tanque séptico comercial marca Bioplastic, de alto, ancho y largo, 1,6 1,4 y 2,6 [m] respectivamente. Por lo que su volumen de excavación es de 5,824 [m³]. Sin embargo, se deben sumar 20 [cm] a cada lado para su posterior relleno con arena (Capítulo 5.5.1). Por lo tanto, el volumen de excavación corresponde a 8,064 [m³]

7.2 Humedal Artificial

Para obtener buenos rendimiento de depuración dentro del humedal, es necesario tomar en cuenta el diseño hidráulico. En este tipo de casos se asume un flujo en condiciones uniformes e ideales (de tipo pistón).

Para determinar el área requerida, se utilizará siguiente Ecuación 10:

$$AS = \frac{Q \times Ln \frac{C_i}{C_o}}{K_T \times h \times \eta} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

AS: Área superficial [m²]

Q: Caudal de entrada [m³/día]

C_i: Concentración afluente [mgO₂/l]

C_o: Concentración efluente [mgO₂/l]

K_T: constante de reacción de primer orden dependiente de la temperatura [d⁻¹]

h: Altura de la columna de agua [m]

η : porosidad del medio granular

$$K_T = k_{20} \times \theta^{(T-20)} \quad \text{Ecuación 11}$$

Como se dijo anteriormente, la constante k_{20} es la constante de reacción de primer orden a 20°C cuyo valor corresponde a 1,104 y θ a 1.06 (EPA, 1993).

Considerando T como la temperatura mínima a la que puede llegar el agua (4°C), la constante K_T tiene un valor de 0,43 d⁻¹.

Ahora, considerando los valores:

$$Q: 1,41 \text{ [m}^3/\text{d]}$$

$$C_i: 162,5 \text{ [mgO}_2/\text{l]} \text{ (Capítulo 7.1.1.2)}$$

$$C_o: 15 \text{ [mgO}_2/\text{l]} \text{ (Capítulo 7.1.2.2)}$$

$$K_T: 0,43 \text{ [d}^{-1}\text{]}$$

$$h: 0,6 \text{ [m]}$$

$$\eta : 0,35 \text{ (EPA, 1993)}$$

El área superficial (AS) tiene un valor de

$$AS = \frac{1,41 \times Ln \frac{162,5}{15}}{0,43 \times 0,6 \times 0,35} = 37 \text{ [m}^2\text{]}$$

Considerando la fórmula:

$$\text{Área} = \text{Largo} \times \text{Ancho}$$

$$\text{Área} = L \times w = 37 \text{ [m}^2\text{]}$$

Y, guardando la relación L : w de 3 : 1 (capítulo 5.5.2)

$$\frac{L}{w} = \frac{3}{1} \rightarrow 3w = L$$

$$\text{Área} = 3w \times w = 3w^2$$

Reemplazando el área:

$$37 \text{ [m}^2\text{]} = 3w^2$$

$$w = 3,5$$

$$L = 10,5$$

Por lo tanto, las dimensiones del humedal son:

Altura 1 [m]	Ancho 3,5 [m]	Largo 10,5 [m]
--------------	---------------	----------------

En la Figura 26 se encuentra el diseño del humedal artificial

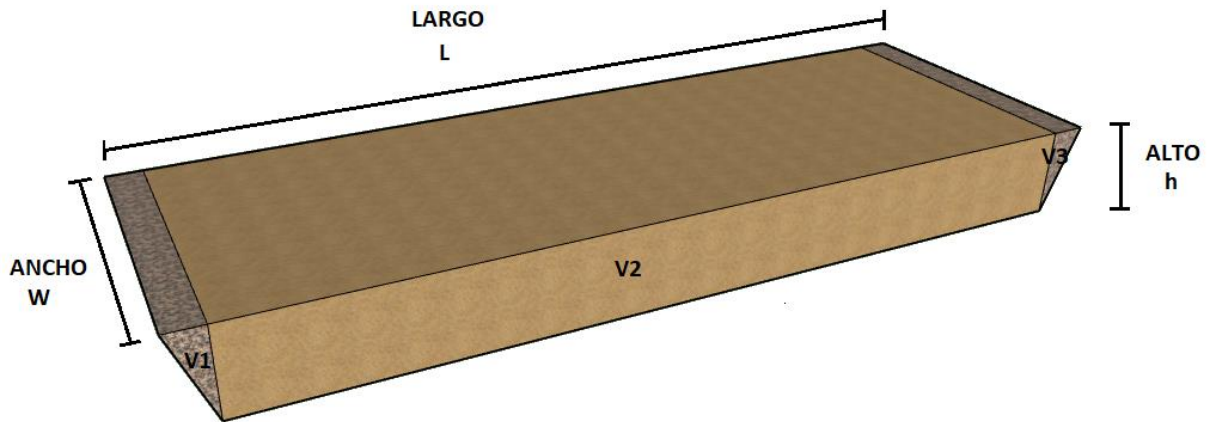


Figura 26 Diseño humedal Artificial

Conexiones

La tubería de entrada al humedal tendrá un diámetro de entrada de 75 [mm]. Esta se encontrará a 0,68 [m] sobre la profundidad del humedal.

Para la salida del humedal se utilizará una tubería hidráulica de 32 [mm] que se va a unir al tanque de desinfección o clorador. Esto último se verá con mayor detalle en el capítulo 7.3

Excavación

El volumen de excavación se determina utilizando la ecuación 12, considerando las dimensiones del humedal. (Ver Figura 26)

$$\text{Volumen de excavación} = V_1 + V_2 + V_3 \quad \text{Ecuación 12}$$

Para determinar V_1 y V_3 se debe calcular el volumen del triángulo que se forma en los extremos del humedal.

$$V_1 = \frac{L \times h}{2} \times w \quad \text{Ecuación 13}$$

Considerando que la base -o el largo- del triángulo es 0,4 [m], la profundidad -o altura- de excavación es de 0,68[m], y el ancho es 3,5 [m], el Volumen 1 es:

$$V_1 = \frac{0,4 \times 0,68}{2} \times 3,5 = 0,48 [m^3]$$

$$\text{Si } V_1 = V_3$$

$$V_3 = 0,48 [m^3]$$

Para determinar V_2 se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$V_2 = L \times h \times w \quad \text{Ecuación 14}$$

Considerando que ahora el largo del humedal es 9,7 [m] (restando 0,4 [m] a ambos lados del humedal), el Volumen 2 queda de la siguiente forma:

$$V_2 = 9,7 \times 0,68 \times 3,5$$

$$V_2 = 23,1 [m^3]$$

Por lo tanto, reemplazando los datos en la ecuación 12, el volumen final que se extrae para la construcción del humedal artificial es de:

$$\text{Volumen de excavación} = 0,48 + 23,1 + 0,48$$

$$\text{Volumen de excavación} = 24,1 [m^3]$$

7.2.1 Sustrato

El sustrato es el medio en donde se realizan los principales procesos de depuración. En éste crecen plantas y microorganismos.

Es importante tener en cuenta que si se utiliza un sustrato de gran tamaño se puede originar un aumento de la velocidad de entrada del agua, lo que produciría un flujo turbulento que resultaría ser contraproducente frente a las condiciones ideales que se desean cumplir.

Para llevar a cabo el dimensionamiento hidráulico es absolutamente necesario cumplir con la ley de Darcy para garantizar un gradiente hidráulico adecuado del lecho filtrante.

Básicamente la ley de Darcy se puede expresar de la siguiente manera (ecuación 15):

$$Q_{DARCY} = K \times A \times P \quad \text{Ecuación 15}$$

Adicionalmente a esto, se deben incluir 2 datos empíricos para determinar al material adecuado a utilizar. Esto se puede evidenciar en la ecuación 16:

$$Q_{DARCY} = K \times A \times P \times F_R \times F_S \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

K: Conductividad del árido [$\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$]

A: Área del humedal (Ancho x Alto del agua) [m]

P: Pendiente

Fr: Factor de seguridad de raíces

Fs: Factor de seguridad de sedimentación

Estos factores de seguridad permiten incorporar la reducción del espacio del lecho filtrante producto de la sedimentación de material particulado o por efecto del crecimiento de las raíces. Otorgando una realidad más cercana al caudal que puede pasar un espacio determinado. Se recomienda que el flujo Darcy sea a lo menos el doble del caudal de aguas residuales generado en la zona de estudio.

Utilizando arena gruesa como sustrato y manejando los siguientes valores:

K: 1000 [$\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$]

A: (3,5 x 0,6) [m^2]

P: 0,01 (delgadillo *et al.*, 2010)

Fr: 0,3

Fs: 0,5

El valor del flujo Darcy corresponde a 3,15 [$\text{m}^3 \text{d}^{-1}$], valor mayor al caudal diario generado en la zona de picnic. Por lo que trabajar con **arena gruesa** de conductividad 1.000 [$\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{d}^{-1}$] es ideal para el sistema.

La grava seleccionada tiene un diámetro efectivo D10 de 2 mm, mientras que, a la entrada y salida del humedal, se rellena con **grava gruesa**. En la Figura 27 se muestra el diseño de lo que se debe realizar.

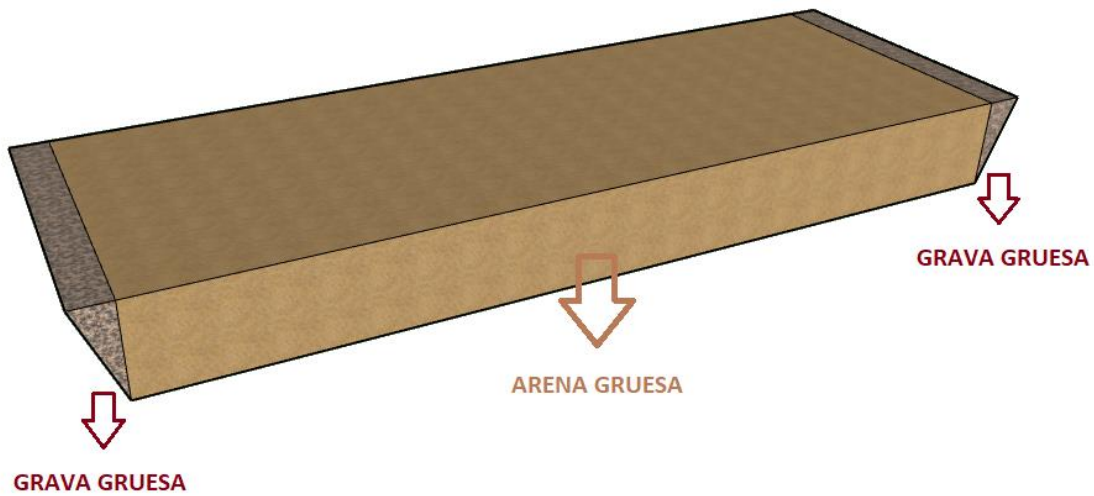


Figura 27 Diseño de la estructura del humedal incluyendo el sustrato

Para calcular el volumen de grava gruesa, se utiliza la ecuación 13.

Considerando que la base -o el largo- del triángulo es 0,4 [m], la altura es de 1[m], y el ancho es 3,5 [m], el volumen que se necesita de grava gruesa es

$$\text{Volumen grava gruesa entrada} = \frac{0,4 \times 1}{2} \times 3,5 = 0,7 \text{ [m}^3\text{]}$$

Si el volumen de grava gruesa en la entrada es igual al volumen de grava gruesa a la salida, el volumen de grava gruesa total a utilizar es:

$$\text{Volumen grava gruesa total} = 1,4 \text{ [m}^3\text{]}$$

Para calcular el volumen de **arena gruesa** se utiliza la ecuación 14.

Ahora L es (10,5 - 0,4 - 0,4) [m] de largo; w es 3,5 [m] de ancho y h es 1 [m] de profundidad, lo que nos da un valor de:

$$\text{Volumen arena gruesa} = 9,7 \times 1 \times 3,5 = 34 \text{ [m}^3\text{]}$$

7.2.2 Membranas

Para el revestimiento del suelo del humedal es necesaria una serie de capas para mejorar la seguridad de éste, ante riesgos por alguna eventual fisura de las membranas.

Tal como se mostró en la Figura 23 del capítulo 5.5.2, se requiere de 4 capas en total.

La primera capa corresponde a un recubrimiento de arena fina cuyo volumen, utilizando la ecuación 14 es de 0,3395 [m³] considerando una altura de 1 [cm]. Es decir:

$$\text{Volumen arena fina} = 9,7 \times 3,5 \times 0,01 = 0,3395 \text{ [m}^3\text{]}$$

Para la segunda, tercera y cuarta capa, se requiere cubrir un área total de 61,85 [m²] por cada una de ellas. Incorporando un porcentaje adicional de 30% para realizar el anclaje de las membranas, se requiere de total de 160,8 [m²] de geotextil, y 80,4 [m²] de geomembrana.

7.2.3 Vegetación

La vegetación es un componente esencial para el diseño del humedal. Entre la diversidad de funciones que proveen, se cuentan: a) promover el asentamiento y la retención de sólidos en suspensión, b) proporcionar superficie para el desarrollo de biopelículas microbianas, y c) transportar oxígeno a su zona de radicular. (Morales *et al.*, 2013).

A la hora de elegir, se deben tomar en cuenta las siguientes características:

- Seleccionar especies que poseen raíces extensas.
- Deben tener la capacidad de soportar periodos prolongados de saturación, como también periodos cortos de sequía.
- Poseer una gran biomasa aérea para facilitar la asimilación de nutrientes.

Según el estudio de Morales y col., (2013) las plantas comúnmente utilizadas en humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial corresponden al Carrizo, Espadaña y el Junco. Éstas son macrófitas helófitas que se arraigan al sustrato atravesando la masa acuática. Desarrollan un tallo que puede estar completamente inundado, es decir, adaptado a condiciones de saturación, y de forma aérea.

En la Tabla 21 se muestran las macrófitas que son utilizadas comúnmente en el tratamiento de las aguas residuales dentro de los humedales subsuperficiales de flujo horizontal.

Tabla 21 Macrófitas comúnmente utilizadas en los humedales subsuperficiales de flujo horizontal

Nombre científico	Nombre común	Tasa de propagación (m/años)	Profundidad de implantación (cm)	Rango de temperatura (°C)	Altura máxima (m)
<i>Phragmites spp.</i>	Carrizo	Rápida	60-100	12-33	5
<i>Typhs spp.</i>	Espadaña	Muy Rápida (>30)	30-40	10-30	3
<i>Schoenoplectus spp.</i>	Junco	Moderada (0,15)	70-80	16-27	3

De las 3 especies de plantas anteriormente caracterizadas, se utilizará la macrófita *Typhs spp.* Debido a su amplio rango de temperatura y la profundidad de implantación, cuadrando dentro de las dimensiones del humedal.

7.3 Desinfección

Antes de determinar sus dimensiones la Seremi de Salud pide como requisito un tiempo de retención de 30 minutos como mínimo para el tratamiento de las aguas residuales.

Utilizando la siguiente ecuación:

$$Volumen = \frac{Q_{diario}}{t_{uso}} \times T_{RH} \times F_s \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde:

Q_{diario} : Caudal diario

T_{uso} : Tiempo de uso diario

T_{RH} : Tiempo de retención hidráulico

F_s : Factor de seguridad

Reemplazando el valor T_{uso} por 8 hrs (considerando que el Parque se abre a las 10 am y cierra a las 6 pm), T_r por 0,5 hrs (30 minutos) y F_s por 1,15 (15% de volumen adicional por la formación de gases), el volumen final del estanque de desinfección es:

$$Volumen = \frac{1,41}{8} \times 0,5 \times 1,15 = 101 \text{ litros.}$$

Debido a que en el comercio no existe un estanque con esa dimensión se utilizará a modo de ejercicio un estanque de 200 litros marca Bioplástico. Éste se encontrará dentro de una estructura de concreto bajo tierra. Dentro del estanque existirá una bomba sumergible que va a permitir el ascenso del agua al estanque de acumulación. La bomba entrará en funcionamiento utilizado un control automático de agua. El funcionamiento es el siguiente:

1.- Cuando el nivel de agua alcance una altura de llenado estipulada, la bomba entrará en funcionamiento para el bombeo de agua desde el tanque de desinfección hasta el estanque de almacenamiento;

2.- Cuando el nivel de agua alcance una altura mínima estipulada, la bomba cesará de funcionar.

La estructura de concreto bajo tierra se posicionará 5 [cm] bajo la superficie. Tendrá un ancho de 0,8 [m] y 0,9 [m] de profundidad.

La Figura 28 muestra la estructura de concreto, el estanque clorador con la tubería de entrada.

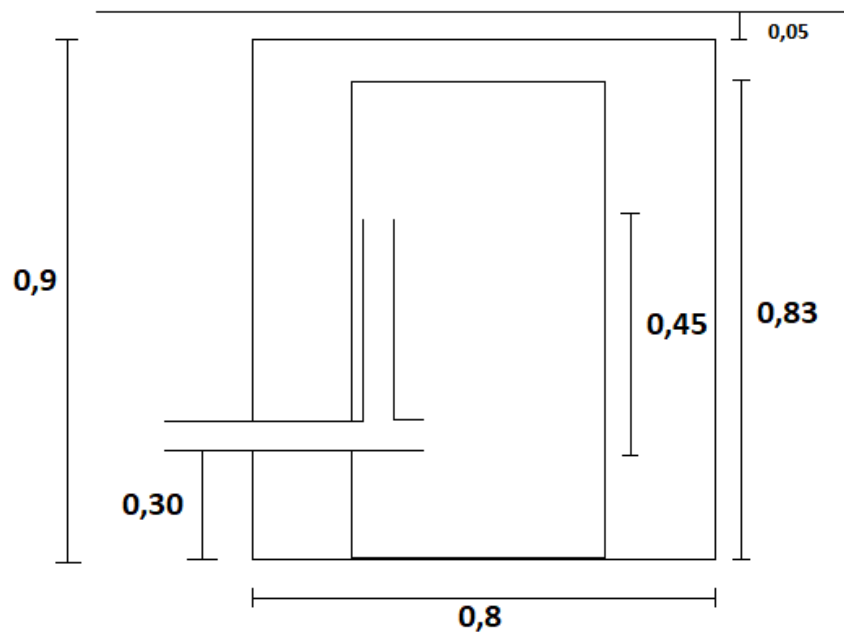


Figura 28 Diseño del Estanque de desinfección

Conexión

Para conectar el humedal al estanque de desinfección se utilizará una tubería de 32 [mm] de diámetro que se conectará bajo tierra con el estanque clorador. La longitud de la tubería será de 2 [m] y estará a 0,3 [m] de altura desde la base del clorador.

La tubería atravesará la estructura de concreto y el tanque de plástico de 200 litros. Se conectará a una Tee cruz de PVC. Que por el lado derecho conectará a una llave de paso, y por el lado superior una tubería del mismo diámetro (32 [mm]), PVC transparente y graduada, (el graduado se puede realizar de manera personal) con una altura de 0,45 [m].

Para el funcionamiento de la bomba se necesita de la instalación de un cableado eléctrico. Se necesitarán 60 metros de cableado 2,5 [mm] color rojo, blanco y verde. Estos irán dentro de una tubería naranja de conductividad y bajo tierra.

Excavación

Si la dimensión del estanque de concreto es de 0,9 x 0,8 x 0,8 [m] el volumen que se debe excavar es de 0,58 [m³]

7.4 Estanque de acumulación

El estanque de acumulación deberá almacenar como máximo el agua generada en un día. Por lo tanto, el volumen será de 1,41 [m³]. Este estanque debe ser hermético al agua, pero no así al aire.

Debido a que en el comercio no existe un estanque con la capacidad de 1,41 [m³], se utilizará uno de mayor volumen, es decir, de 2 [m³]

En la parte baja del estanque de acumulación, será acoplada una salida de agua la cual estará unida a una manguera la que será utilizada para el vaciado del estanque.

En este estanque se llevará a cabo la desinfección del agua residual.

En la Figura 29 se muestra el diseño del estanque Clorador y Declorador (o estanque de acumulación).

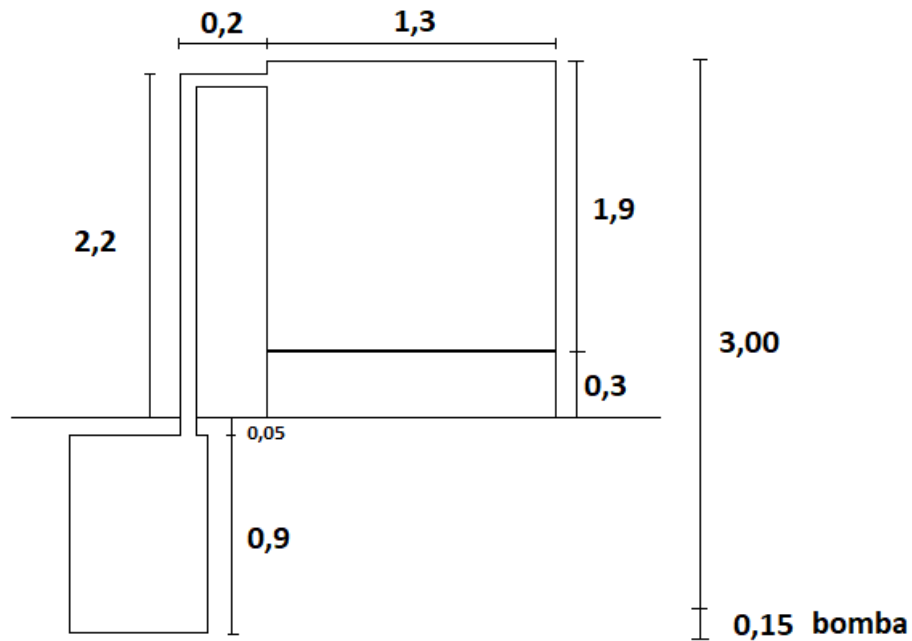


Figura 29 Diseño del estanque de desinfección y estanque de acumulación

Conexiones

Desde la bomba se conecta una tubería hidráulica de 25,4 [mm] de diámetro.

Si la bomba posee una altura de 15 [cm], el largo de la tubería es de 3,00 [m]. Ésta se conecta con un codo 90° PVC, y éste a una tubería de 25,4 [mm] de diámetro con una longitud de 0,2 [m]. (Figura 29)

Para verificar el nivel de agua del estanque se incluirá un kit visor de nivel Infraplast.

Excavación

Este sistema no requiere excavación.

7.5 Diseño de bombas

En la Figura 30 se muestra un esquema del sistema de bombeo desde el tanque clorador al estanque de acumulación.

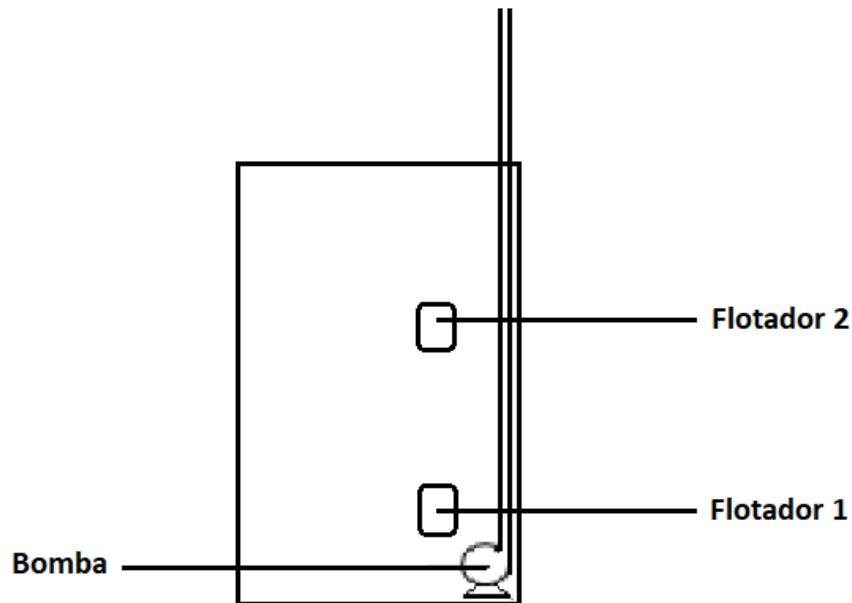


Figura 30 Esquema de bombeo de agua desde estanque clorador a estanque de almacenamiento

Utilizando el balance de energía del capítulo 6.2.1, se identificó el requerimiento de una bomba de 0,3 hp sumergible, para derivar las aguas desde el tanque clorador al estanque de acumulación.

7.5.1 Control automático de nivel de agua

Como se dijo anteriormente la bomba se encontrará de manera sumergible en el estanque de cloración y permitirá el paso del agua al estanque de acumulación. Para realizar este traspaso, la bomba necesitará dos sensores:

- Sensor de nivel máximo: Cuando el agua alcanza un nivel máximo de agua, la bomba entra en funcionamiento. Este nivel asegura los 30 minutos de retención para que haga efecto el clorado.
- Sensor de nivel mínimo: Indica el nivel de agua cuando la bomba debe dejar de funcionar.

Para determinar a qué nivel de agua la bomba debe empezar a funcionar, debemos determinar el volumen de agua que ingresa con tiempo mínimo de 30 minutos.

Si sabemos que el volumen de agua es (Ecuación 9, Capítulo 7.1):

$$\text{Volumen} = \frac{1,41}{8} \times 0,5 = 0,088 \text{ [m}^3\text{]}$$

Si la dimensión del estanque a utilizar es de diámetro 0,47 [m] y de alto 0,83 [m] (Figura 28, capítulo 7.3) por lo tanto, la altura que alcanza ese volumen de agua es:

$$\text{Volumen} = \pi \times D^2 \times 0,25 \times h \quad \text{Ecuación 18}$$

$$0,088 = \pi \times 0,47^2 \times 0,25 \times h$$

$$h = 0,51 \text{ [m]}$$

Por lo tanto, cuando el nivel de agua alcance los 0,51 [m] la bomba entrará en funcionamiento para extraer el agua, y cesará cuando alcance un nivel mínimo de 0,15 [m] (altura máxima de la bomba). Si tomamos la diferencia entre el límite máximo y mínimo

$$\Delta h = 0,51 - 0,15 = 0,36 \text{ [m]}$$

El nuevo volumen que descarga la bomba por cada llenado es:

$$\text{Volumen} = \pi \times 0,47^2 \times 0,25 \times 0,36 = 0,0624 \text{ [m}^3\text{]}$$

Si el volumen de aguas grises generadas al día es de 1,41 [m³], las veces que funciona el control automático de presión es:

$$\text{Cantidad de veces al día} = 1,41 \text{ [m}^3\text{/día]} / 0,0624 \text{ [m}^3\text{]}$$

$$\text{Cantidad de veces que funciona la bomba al día} = 22,5 \text{ veces} = 23 \text{ veces}$$

8 Evaluación de Costos

Esta sección tiene como objetivo evaluar los costos asociados a la implementación del proceso de reciclaje de aguas. Se calcularán únicamente los costos directos (equipos, materiales y mano de obra) para dar una aproximación de los costos de inversión, operación y mantenimiento asociados a la propuesta de tratamiento planteada.

La evaluación será desarrollada ocupando como unidad monetaria el peso chileno (CLP).

La evaluación económica se divide de acuerdo a tres ejes principales:

- Costos de Inversión
- Costos de Operación
- Costo de Mantenimiento

En la sección Anexos (Anexo 6), se encuentran imágenes de los principales materiales y equipos que se requieren para la implementación del sistema propuesto.

8.1 Costos de inversión

Los costos de inversión corresponden a una parte principal de cualquier proyecto que se desee implementar. Éstos aluden a los costos que son necesarios para la instalación de una obra.

Estos costos se dividirán en:

- Balance de Obras Físicas
- Balance de Insumos Generales
- Balance Etapa de Construcción

8.1.1 *Balance de obras físicas*

En la Tabla 22 se muestran los costos asociados al trabajo de remoción de escombros, limpieza, y excavación que se necesita de forma previa a la instalación del proyecto.

Tabla 22 Costos asociados a las Obras Físicas

Actividad	Unidad	Cantidad	Valor Total (CLP)
Nivelación del terreno	PE ⁴	2	100.000
Instalación de tuberías	PE	2	150.000
Movimiento de tierra			
Excavación	m ³	41	288.000
Otros			
Rodillo compactador 4000 KN, Bomag	hrs	16	43.780
Camión tolva mercedes benz Actros 4144k	hrs	16	383.880
TOTAL			965.660

8.1.2 Balance de insumos generales

El balance de insumos generales corresponde a la indumentaria de seguridad que deben portar los trabajadores al momento de realizar su trabajo.

Solo se requieren de elementos de seguridad en la etapa de desinfección debido a que la limpieza del tanque séptico es realizada por una empresa externa.

En la Tabla 23 se indica los insumos necesarios

⁴ Persona Equivalente

Tabla 23 Costos asociados a insumos generales

Materiales y equipos	Cantidad	Unidad	Valor unitario (CLP)	Valor Total (CLP)
Guantes de seguridad; Redline multipropósito polycotton	2	Unidad	1.050	2.100
Mascarilla (Set de mascarillas Redline desechables 2 unidades)	2	Unidad	2.690	5.380
Antiparra de seguridad; Lente Seg Spy Flex Gris Rline	2	Unidad	2.130	4.260
			TOTAL	11.740

8.1.3 Balance Etapa de Construcción

El balance económico a esta etapa se refiere a los materiales y equipos que son necesarios para la construcción del proyecto. Esta etapa se ve a separar en 4 tramos.

Tramo 1: Conducción Aguas Grises a tanque séptico

Tramo 2: Conducción de aguas provenientes del tanque séptico a Humedal

Tramo 3 Conducción de aguas provenientes del humedal al tanque clorador

Tramo 4: Conducción de aguas provenientes del tanque clorador hacia el estanque acumulador

En cada tramo se indican los costos asociados a los materiales y equipos necesarios para el funcionamiento del sistema. (Tabla 24).

Tabla 24 Costos Asociados a cada tramo

Materiales y equipos	Cantidad	Unidad	Valor unitario (CLP)	Valor Total (CLP)
Sifón de lavaplatos	12	Unidad	2.390	28.680
TOTAL				28.680
Tramo 1: Conducción de las Aguas Grises al Tanque Séptico				
Tubo PVC sanitario gris de 75 mm; 6 m	7	Unidad	5.290	37.030
Reductor sanitario gris de 110 a 75 mm	1	Unidad	1.190	1.190
Copla PVC sanitario gris de 110 mm	1	Unidad	1.390	1.390
Tanque séptico de 3250 L	1	Unidad	435.392	435.392
TOTAL				475.002
Tramo 2: Conducción de las aguas desde el Tanque Séptico a Humedal				
Copla PVC sanitario gris de 110 mm	1	Unidad	1.390	1.390
Reductor sanitario gris de 110 a 75 mm	1	Unidad	1.190	1.190
Tubo PVC sanitario de 75 mm; 6 m	1	Metro lineal	5.290	5.290
Codo PVC 45° de 75 mm Tigre	1	Unidad	650	650
Geomembrana HDPE 1mm (Rollos de 7 x 12) GEOSintéticos	80,4	Metro cuadrado	2900	277.460
Geotextil de Polipropileno 200g (Rollos de 4 x 25) GEOSintéticos	160,8	Metro cuadrado	1200	229.622
Arena Gruesa	35	Metro cúbico	8.000	280.000
Grava Gruesa	2	Metro cúbico	10.000	20.000
Arena Fina	1	Metro cúbico	10.000	10.000
TOTAL				825.602
Tramo 3: Conducción de las aguas desde el Humedal al Estanque Clorador				
Tubo PVC hidráulico de 32mm; 3m	2	Metro lineal	1.860	3.720
Tee cruz PVC de 32mm	1	Unidad	870	870

Tuvo PVC Transparente 32 mm; 1m	1	Metro lineal	5.760	5.760
Llave de paso nibsa reforzada obturación blanda 1"	1	Unidad	12.490	12.490
Estanque de 200 L	1	Unidad	44.244	44.244
Electrobomba sumergible de 0,3 hp Humboldt	1	Unidad	49.990	49.990
Interruptor de nivel 3 m + contrapeso; AQUAMARKET	1	Unidad	9.900	9.900
Cemento melón especial 25 kg	6	Kilogramos	3.340	20.040
Cableado eléctrico rojo 2.5 mm;	60	Metro lineal	230	13.800
Cableado eléctrico blanco 2.5 mm;	60	Metro lineal	230	13.800
Cableado eléctrico verde 2.5 mm;	60	Metro lineal	230	13.800
Tubería naranja de conductividad; 9 unidades; 20 mm x 3m	3	Metro lineal	6.990	20.970
Enchufe hembra 2P+ T 10A; NG REMA	1	Unidad	1.090	1.090
TOTAL				210.474
Tramo 4: Conducción de las aguas desde el Estanque Clorador al Estanque Acumulador				
Tuvo PVC hidráulico de 1" 3m	2	Metro lineal	1.150	2.300
Codo PVC 90° de 1" hoffens	1	Unidad	870	870
Estanque de acumulación vertical aquatank de 2000 L	1	Unidad	274.990	274.990
Visor de nivel Infraplast	1	Unidad	15.708	15.708
Llave de paso nibsa reforzada obturación blanda 1"	1	Unidad	12.490	12.490
Manguera terraza 1" Petroflex; 10 m	1	Metro lineal	4.490	4.490
TOTAL				310.848

8.2 Costos de Operación y Mantenimiento

A continuación, se muestra el balance de mano de obra, materiales y equipos necesarios de la etapa de operación y mantenimiento. (Tabla 25)

Tabla 25 Costos etapa de operación / mantenimiento

Materiales y equipos	Frecuencia	Unidad	Valor unitario (CLP)	Valor Total (CLP)
Etapa de Operación				
Cloración	1 cada 10 días	37 pastillas al año	30.000	30.000
Decloración	1 cada 10 días	37 pastillas al año	30.000	30.000
TOTAL				60.000
Etapa de Mantenimiento				
Retiro de lodos	1 vez al año	Viaje en camión	Sin costo ⁵	Sin costo
Limpieza del estanque Clorador y Declorador– Acumulador	1 vez al año	PE	Sin costo en equipos	Sin costo en equipos
TOTAL				Sin costo
Operación Y Mantenimiento				
Operador	Todos los días del año	PE	310.000	310.000
TOTAL				370.000

El total de los costos directos (inversión, operación y mantenimiento) se resume en la Tabla 26

Tabla 26 Total costos directos

ITEM	Valor TOTAL (CLP)
Balance de obras físicas	965.660
Balance de insumos generales	11.740
Balance de etapa de construcción	1.850.606
Balance a la etapa de operación y mantenimiento	370.000
TOTAL	3.198.006

En definitiva, el sistema de tratamiento tiene un costo de \$3.198.006.- pesos chilenos.

⁵ Capítulo 5.4

8.3 Beneficios del Sistema

Como se mencionó en los capítulos anteriores, el abastecimiento del recurso hídrico destinado para consumo humano y regadío está a cargo del Municipio de Valparaíso. Este ente municipal es quien dispone de los camiones aljibe para el abastecimiento de agua de forma semanal, y las veces que ingresa a abastecer el Parque varía de acuerdo a la asistencia de público, es decir, varía por temporada del año, necesitando mayor cantidad en época estival, y reduciendo su consumo en otras épocas del año. Los registros de entrada del camión aljibe se encuentran en un libro a cargo del personal de la portería. Este registro muestra los niveles de agua previo y posterior a la incorporación de ésta. Sin embargo, se encuentran incompletos y con mucha variación en la cantidad de agua que ingresa el camión aljibe a los depósitos.

De esta cantidad de agua destinada al Parque, una pequeña porción (de aproximadamente 200 litros semanales⁶) se destinada a regadío de las áreas verdes, desconociéndose la cantidad de agua destinada para actividades de reforestación dentro del Parque.

Como búsqueda adicional, a continuación, se visualizarán los beneficios cualitativos que otorga el sistema, recordando que el sistema propuesto no busca ahorrar en los costos asociados al abastecimiento de agua por parte del municipio, más bien descomprimir el sistema de tratamiento actual y generar una nueva fuente de abastecimiento de agua para regadío.

Estos beneficios son los siguientes:

- Disminución de la carga hídrica al actual sistema de tratamiento de aguas residuales.

Al descomprimir el sistema de tratamiento actual de lodos activados, disminuye la carga hídrica que ingresa a este sistema. Esta intervención evita que se siga manteniendo un deficiente tratamiento de las aguas servidas provenientes de los baños públicos y del sector picnic.

- La probabilidad de anegamiento del sistema se reduce.

La inexistencia de un tratamiento alternativo que complemente y apoye el actual sistema, genera altos riesgos de inundación en la zona circundante a la zona de tratamiento de lodos activados. Estos

⁶ Dato obtenido por un trabajador del parque

eventos ya han ocurrido con anterioridad y se siguen desarrollando cuando existe una alta concurrencia de visitantes.

- Disminución de la contaminación odorífera del actual sistema de tratamiento.

Estos eventos de sobrellenado e inundación ocasionan la proliferación de malos olores. Cabe mencionar que además no se están desarrollando la etapa de aireación del sistema lo que posibilita la actividad de bacterias anaerobias, principales causantes del mal olor.

- Obtención de agua para riego.

La implementación del nuevo sistema de tratamiento posibilita la obtención de un agua tratada destinada completamente a riego. Esto elimina la dependencia que existe actualmente con el camión aljibe, y que impide el riego de áreas verdes y especies reforestadas de manera constante, debido a que el agua se destina completamente a uso humano.

- Disminución del estrés hídrico para sectores específicos dentro del Parque.

Otro beneficio que se presenta de manera muy relevante es la disminución del estrés hídrico que presentan variados sectores del Parque. Cuando existen periodos de estrés hídrico muy prolongados, se afectan los procesos fotosintéticos y de crecimientos en las plantas, llegando hasta la muerte celular de las plantas.

- Humedal artificial como ejemplo educativo para diversas agrupaciones que visiten el Parque.

La construcción de un humedal artificial ofrece la oportunidad de ser utilizado como una muestra tangible de un proceso que replica a un sistema natural, de fácil operación y funcionamiento. Puede ser visualizado en actividades educativas provenientes de colegio, universidades, juntas de vecinos, etc.

- Obtención de un agua tratada con mejores estándares que puede ser utilizada en otras actividades.

Si la administración del Parque decide incluir el tratamiento de desinfección, es posible que el agua que se obtenga posea características distintas que permiten ser utilizadas en otras actividades que

por sí solas, requieren de un agua que incluya un proceso de desinfección, como lo es el llenado de estaque de un baño. Si bien esto no es un requerimiento por normativa, la etapa de desinfección permite la generación de un agua tratada que puede ser almacenada por un mayor tiempo e impide el recrecimiento de bacterias y microorganismos en el pasar de los días.

- Abastecimiento de agua para zonas de riesgo de incendio alto.

Utilizando la Carta de Riesgo de incendio (Anexo 5) se puede evidenciar que existe en gran porcentaje un alto riesgo del lugar frente a incendios forestales. Si bien resulta bastante extenso, en una primera instancia se podría partir por los lugares con mayor confluencia de público, o puntos de encuentro de los visitantes. Estos es zona de picnic, zona de miradores.

- Destinar el agua de los camiones aljibe completamente a consumo humano.

Un beneficio del sistema es que permite que el agua distribuida por el camión aljibe sea utilizada solo para consumo humano.

- Reverdecimiento de espacios al aire libre.

Además de disminuir efectos de estrés hídrico, permite reverdecer las áreas en periodos estivales. Que generalmente se encuentran en estados de desertificación por las variaciones climáticas que se hacen presente con mayor fuerza.

Como se dijo anteriormente, estos beneficios no son cuantitativos, pero si se hacen muy importantes a la hora de suplir la falta de un nuevo sistema de tratamiento que impida la saturación del actual sistema, y que además pueda generar agua tratada como producto. Sin esta propuesta, van a seguir existiendo problemas de sobrellenado, estrés hídrico, un foco de contaminación odorífera, y entre otras mencionadas anteriormente.

9 Discusión

El costo asociado a la construcción, y a un año de operación y mantenimiento, se hace necesario para disminuir y evitar hitos de sobrellenado del sistema, a pesar de su elevado costo.

El costo del sistema frente a un eventual cambio en su diseño podría disminuir si se eliminan ciertos ítems dentro del diseño propuesto.

Estos ítem son los siguientes:

- Debido a que el sistema tiene un requerimiento mínimo de operación y mantenimiento, el operador del sistema puede ser un funcionario que trabaje al interior del Parque, y que dentro de sus labores se agregue el monitoreo diario del sistema, la incorporación de las pastillas de desinfección cada 10 días, y la limpieza de los sifones al final de cada jornada laboral.

Aplicando esta variación, el gasto en O&M⁷ anual, se reduce a \$60.000.- pesos chilenos. (valor por las pastillas de desinfección). Obteniéndose un nuevo análisis de costos que se muestra en la Tabla 27.

Tabla 27 Total costos directos con modificación

ITEM	Valor TOTAL (CLP)
Balance de obras físicas	965.660
Balance de insumos generales	11.740
Balance de etapa de construcción	1.850.606
Balance a la etapa de operación y mantenimiento	60.000
TOTAL	2.888.006

- Ahora bien, si además el administrador del Parque decide no incluir la etapa de desinfección dentro del sistema -ya que el agua se destinaría solo a regadío- el gasto tanto en la etapa de operación y mantenimiento, como en los insumos generales sería \$0.- (los insumos generales son necesarios para la etapa de desinfección)

⁷ Operación y Mantenimiento

La Tabla 28 indica el nuevo gasto inicial. Asociado a construcción, operación y mantenimiento de un año, sin la etapa de desinfección y el pago a un operador externo.

Tabla 28 Total costos directos con modificación en etapa de desinfección

ITEM	Valor TOTAL (CLP)
Balance de obras físicas	965.660
Balance de insumos generales	0
Balance de etapa de construcción	1.850.606
Balance a la etapa de operación y mantenimiento	0
TOTAL	2.816.266

Con estos cambios se reduce:

1. Costo de inversión a \$2.816.266.- pesos chilenos (INICIAL \$3.198.006.- pesos chilenos)
2. Costo anual fijo de operación y mantenimiento (incluyendo insumos generales) a \$0.- (INICIAL \$381.740.- pesos chilenos)

Como se dijo anteriormente la decisión final la toma la directiva del Parque. Éste decide si desea implementar el sistema de tratamiento completo, o desistir del tratamiento de desinfección.

De cualquier manera, los beneficios son múltiples y de vital importancia si desean detener los hitos de sobrellenado del sistema, considerando que año tras año la concurrencia de público va aumentando.

10 Conclusión

Se logró identificar la normativa ambiental aplicable al sistema de tratamiento y descargas de aguas residuales, de las cuales las más relevantes e importantes para la implementación de este sistema de tratamiento fueron: Ley 21.075 del Ministerio de Obras Públicas, Decreto Supremo N° 236 y el Decreto Supremo N° 609.

Utilizando la bibliografía correspondiente se logró diseñar un sistema de tratamiento de aguas residuales que cuenta con un tratamiento primario, secundario y de desinfección. Siendo este último opcional y a criterio de la administración del Parque.

En cuanto a la evaluación de los costos asociados a la implementación del sistema, se pudo determinar el costo de construcción, operación y mantenimiento, además de identificar los beneficios cualitativos del sistema propuesto.

Bibliografía

BANCO MUNDIAL. (2011). "Diagnóstico de la gestión de los recursos hídricos, Chile" Departamento de Medioambiente y Desarrollo Sostenible.

Baraño, P., Tapia, L. (2004). Tratamiento de las Aguas Servidas: Situación en Chile, Ciencia y trabajo, Año 6, número 13, Santiago, Chile.

Buvinic, P., Gonzales, I., Reyes, C. (2013) Contenidos Parque Quebrada Verde. Valparaíso, Chile: Casiopea. <https://wiki.ead.pucv.cl/Contenido_Parque_Quebrada_Verde> [consulta: mayo 2018]

Crespo, D. (2018). Ciudad del cabo, la agonía de quedarse sin agua. Planeta futuro. El País. <https://elpais.com/elpais/2018/02/09/planeta_futuro/1518177674_391436.html> [Consulta: Abril 2018]

Crites, R., Tchobanoglous, G. (1998). Sistema de manejo de Aguas Residuales para núcleos pequeños y descentralizados. (1era edición) Tomo I. McGraw-Hill Interamericana, S.A., Santafé de Bogotá, Colombia.

CRITES, R., TCHOBANOGLOUS, G. (2000). Sistema de manejo de Aguas Residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Tomo II. Santafé de Bogotá, Colombia. McGraw-hill.

CONAGUA (2015). Manual de agua potable, alcantarillado y Saneamiento. Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento. Tlalpan, México

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L., Andrade, M. (2010) Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro Agua), Universidad Mayor de San Simón, Facultad de Agronomía. Cochabamba, Bolivia.

Dotro, G., Langergraber, G., Molle, P., Nivala, J., Puigagut, J., Otto, S., Sperling, M. (2017) Biological Waste Water Treatment Series. Volume 7: Treatment Wetlands. Londres, Reino Unido: IWA Publishing

Eberhard Morgenroth. Tratamiento Biológico de Aguas Residuales: Principios, Modelación y Diseño. Eds. M. Henze, M.C.M. van Loosdrecht, G.A. Ekama y D. Brdjanovic. Eds. (versión en español) C.M.

López Vázquez, G. Buitrón Méndez, H.A. García, F.J. Cervantes Carrillo. Londres, Reino Unido: IWA Publishing.

ITRC (2003) Technical and Regulatory Guidance Document for Constructed Treatment Wetlands. Interstate Technology & Regulatory Council (ITRC). Washington DC, EEUU.

Gobierno Regional. (2018). "Lineamientos estratégicos de la política pública e iniciativas para el desarrollo y sostenibilidad hídrica de la Región de Valparaíso".

Henze, M., Van Loosdrecht, M., Ekama, G., Brdjanovic, D. (2008)., "Tratamiento Biológico de Aguas Residuales: Principios, Modelación y Diseño." Londres, Reino Unido: IWA Publishing

Hoffman, H., Platzer, C., Winker, M., Muench, E. (2011) Revisión Técnica de Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial para el Tratamiento de aguas grises y domésticas. ECOSAN, Eschborn, Alemania

Instituto Nacional de Normalización. (1987). Norma Chilena 1333.Of87, "Requisitos de calidad de agua para diferentes usos." Chile.

Instituto nacional de Estadística. (2017). Medio Ambiente, Informe Anual.

Kiely, Gerard. (1999). Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. McGraw-Hill brook Company.

Lopez, C., Buitrón, G., García, H., Cervantes, F. (2008) Tratamiento biológico de las aguas residuales. Principios, modelación y diseño. Londres, Reino Unido: IWA Publishing

Lucho-Constantino, C., Medina, S., Beltrán, R., Juárez, B., Vázquez, G., Lizarraga, L. Diseño de fosas sépticas rectangulares mediante el uso de la herramienta FOSEP. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 14(3): 757-765, 2015.

Mebus, D. (2009). Tenemos unas de las mayores reservas de agua dulce del planeta. La Tercera. <<http://www2.latercera.com/noticia/tenemos-una-de-las-mayores-reservas-de-agua-dulce-del-planeta>> [Consulta: Mayo 2018]

Metcalf & Eddy. (1995) Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. (Tercera Edición). Tomo I. Aravaca, Madrid: McGraw-Hill

Metcalf & Eddy. (1996) Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. (Tercera Edición). Tomo II. Aravaca, Madrid: McGraw-Hill

Ministerio de Obras Públicas. (2018). Ley 21075, "Regula la recolección, Reutilización y disposición de aguas grises." Chile

Ministerio del Interior y Seguridad Pública. (2015). Política Nacional para los Recursos Hídricos, Chile.

Ministerio del Medio Ambiente. (2014). Decreto N°40/2014, "Aprueba Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental" Chile.

Ministerio Secretaría general de la presidencia (1994). "Aprueba Ley sobre Bases Generales sobre el Medioambiente" Chile.

Ministerio de obras públicas (MOP) (1993). Decreto Supremo N° 609, Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a la descarga de residuos industriales líquidos y sistemas de alcantarillado". Chile.

Morales, G., López, D., Vera, I., Vidal, G. Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas. Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental, Centro de Ciencias Ambientales EULA-Chile. Vol. 22 (1): 33-46, 2013

Morgenroth, E. Tratamiento Biológico de Aguas Residuales: Principios, Modelación y Diseño. Eds. M. Henze, M.C.M. van Loosdrecht, G.A. Ekama y D. Brdjanovic. Eds. (versión en español) C.M. López Vázquez, G. Buitrón Méndez, H.A. García, F.J. Cervantes Carrillo. ISBN: 9781780409139. Publicado por IWA Publishing, London, UK.

Organización Panamericana de la Salud (2005). Guía para el diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización. Lima, Perú

Pérez, M., Harris, A., Mena, R., Illanes, C., Cornejo, P. (2009) "PARQUE QUEBRADA VERDE; Memoria Plan Maestro de Paisaje".

Programa de las Naciones Unidas Para el Desarrollo (PNUD, 2016). Gestión Sostenible del Agua y el Saneamiento.

Rigola, M. (1999). Tratamiento de Aguas Industriales. Aguas de proceso y residuales. MARCOMBO, S.A., Barcelona, España

Stanton, W., Etzel, M., Walker, B., (2007). Fundamentos de Marketing. Décimo cuarta Edición. México: McGraw-Hill.

Superintendencia de Servicios Sanitarios. (2016). Gobierno de Chile. Informe de Gestión del Sector Sanitario.

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, Ph., Zurbrügg, C. (2014). Compendium of sanitation Systems and Technologies. 2nd edition. IWA the International Water Association.

Vargas, Álvaro. (2016). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas de bajo impacto, para el centro turístico Posada del Parque. Proyecto de título para optar al título de Ingeniero Ambiental. Valparaíso, Chile. Universidad de Valparaíso, 2011.

WWAP (2017) Informe Mundial de las Naciones Unidas Sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. Aguas Residuales: El Recurso Desaprovechado. París, Francia: UNESCO

Anexos

Anexo 1 Cuestionario Informativo

Cuestionario Informativo | 2018

CONSUMO DE AGUA DENTRO DEL PARQUE QUEBRADA VERDE DE VALPARAÍSO

Nombre y apellido: _____

Edad: _____ Sexo: _____ Fecha: _____

Sector Pícnic		
Realiza actividades como:	Cuántas veces?	Cuánto tiempo destina para..
Lavado de manos		
Lavado de lozas y utensilios		
Lavado de dientes		
Lavado de verduras		
Consumo Humano		
Comentarios		

Sector Pícnic		
Realiza actividades como:	Cuántas veces?	Cuánto tiempo destina para..
Lavado de manos		
Lavado de dientes		
Descarga de Agua		
Consumo Humano		
Comentarios		

Anexo 2 Cuadro comparativo de Vargas, 2016

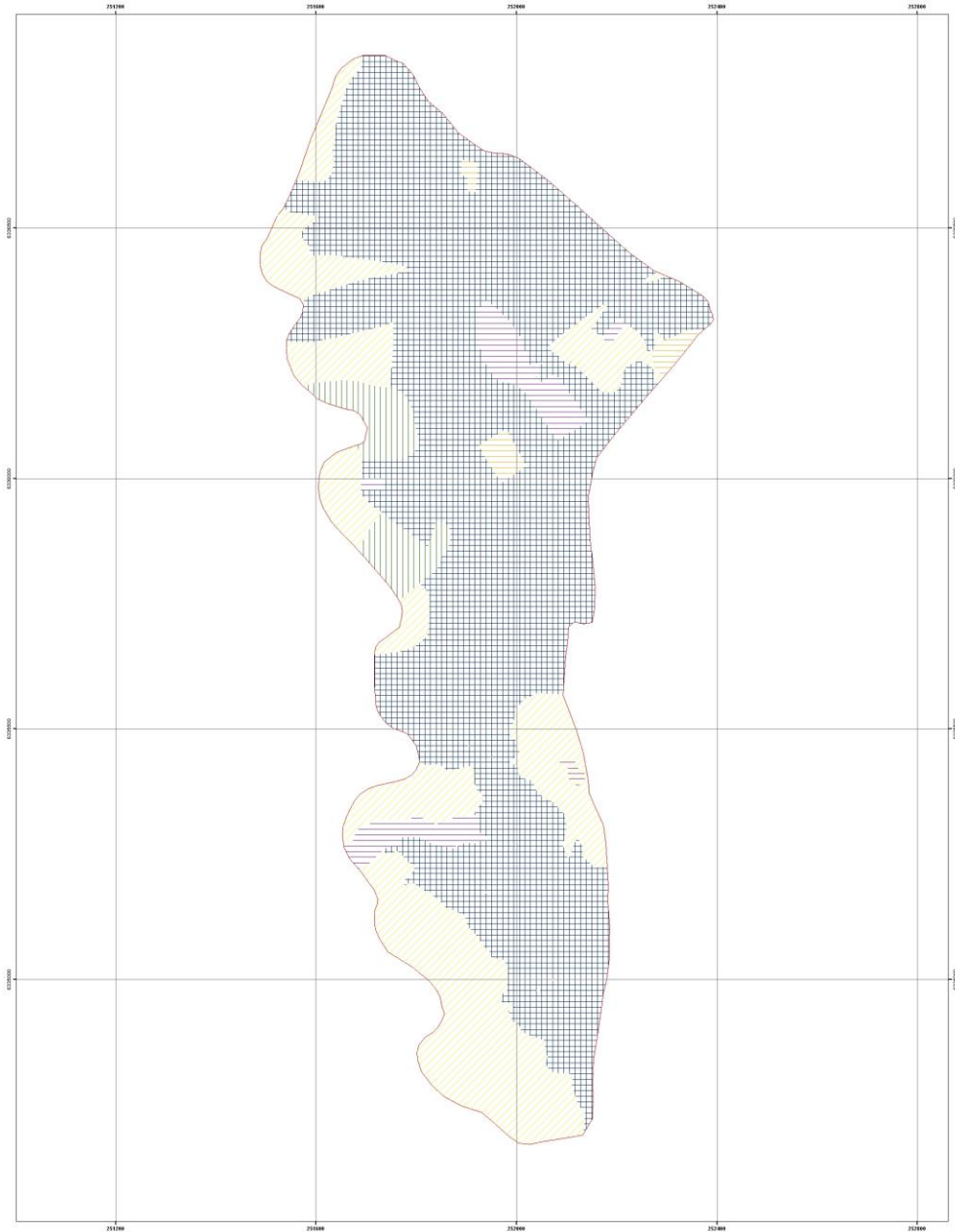
“Criterios de selección de sistema de tratamiento de aguas residuales”

Criterios de selección	
1	Operación sencilla
2	Eficiente para el tratamiento de las aguas residuales domésticas
3	Infraestructura coherente con el entorno natural de la zona
4	No genera lodos
5	No requiere energía eléctrica
6	No produce olores
7	Funciona con bajos caudales.

(Vargas, 2016)

Anexo 3 Carta Cobertura Vegetal

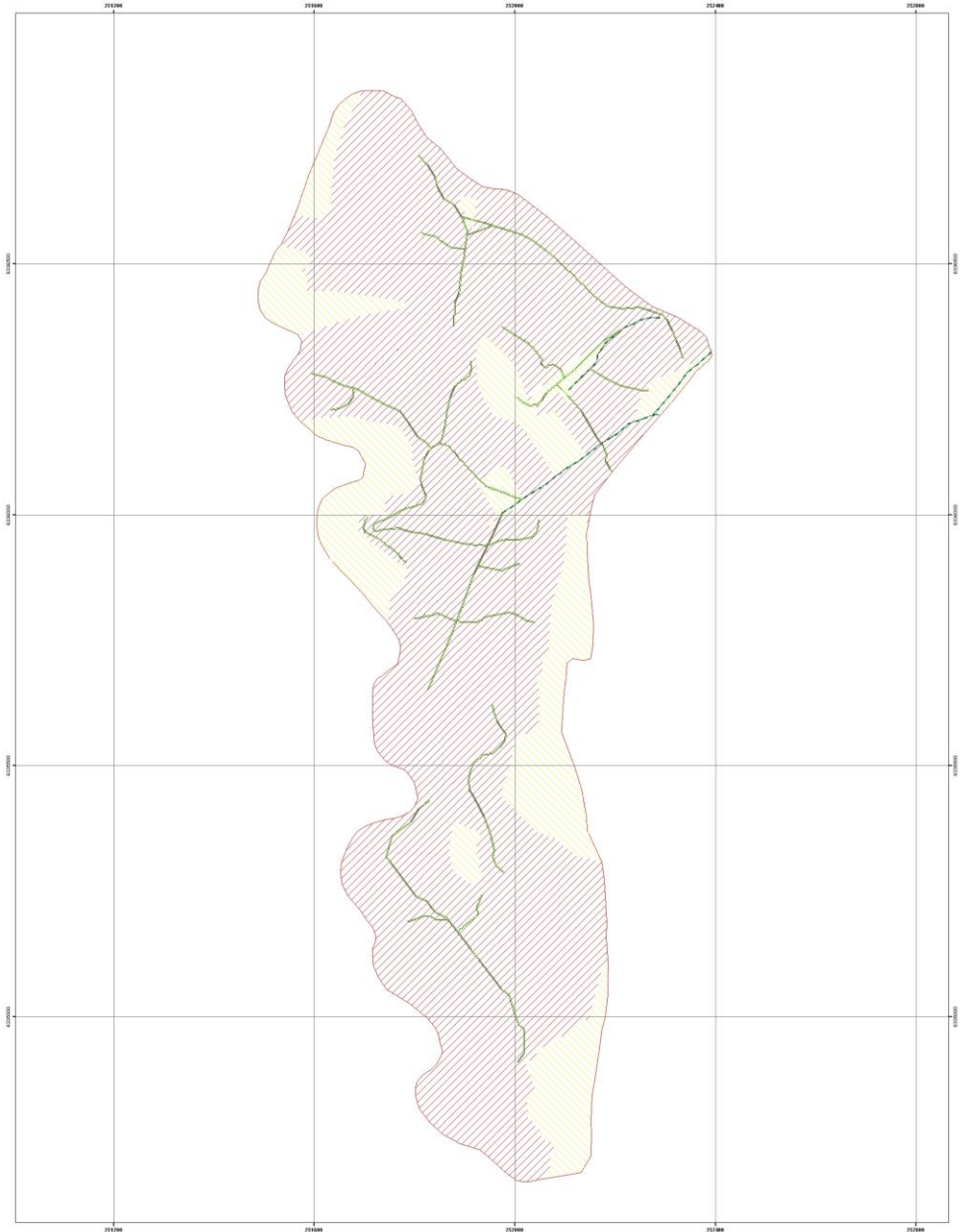
Carta Cobertura Vegetal



<p>Antecedentes Cartográficos: Fotos Aéreas: SAF 2005, N° 37184 - 37183. Escala: 1:20.000 BASE: Ortofoto IGM N°19980 Escala: 1:20.000 Vuelo SAF CH 60 año 1983 Proyección: Datum WGS 84 19 S</p>		<p>Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Facultad de Agronomía Laboratorio de Medio Ambiente</p>	<p>Cobertura Vegetal</p> <ul style="list-style-type: none"> Bosque (3,6567 ha) Matorral (25,2874 ha) Pradera (3,8609 ha) Cultivo forestal (66,2809 ha) Construcciones (1,1315 ha) Esquicio (100,09 ha)
<p>400 200 0 Meters</p> <p>Escala: 1 : 3.700</p>	<p>Caracterización Territorial del Parque Quebrada Verde</p> <hr/> <p>Predio: Parque Quebrada Verde Propietario: FONASA Superficie: 100,09 ha Fecha: Junio de 2009 Autores: Laboratorio de Medio Ambiente</p>		

Anexo 5 Carta Riesgo de incendio

Carta Riesgo de Incendios



<p>Antecedentes Cartográficos: Fotos Aéreas: SAF 2005, N° 37184 - 37183. Escala: 1:20.000 BASE: Ortofoto IGM N°19980 Escala: 1:20.000 Vuelo SAF CH 60 año 1983 Proyección: Datum WGS 84 19 S</p> <p>Escala: 1 : 3.700</p>	<p>Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Facultad de Agronomía Laboratorio de Medio Ambiente</p> <p>Caracterización Territorial del Parque Quebrada Verde</p> <p>Predio: Parque Quebrada Verde Propietario: FONASA Superficie: 100,09 ha Fecha: Junio de 2009 Autores: Laboratorio de Medio Ambiente</p>	<p>Riesgo de Indendios</p> <ul style="list-style-type: none"> Riesgo de incendio ALTO Riesgo de incendio MEDIO Riesgo de incendio BAJO Esquicio (100,09 ha)
---	--	--

Anexo 6 Materiales / Equipos

- Sifón de lavaplatos



- Tanque séptico 3250 L bioplastic



- Tubo PVC gris



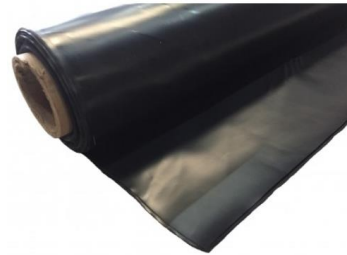
- Codo PVC 45°



- Reductor sanitario Gris



- Geomembrana HDPE 1mm



- Copla sanitario Gris



- Geotextil de Polipropileno 200g



- TEE cruz PVC



- Cemento melón especial 25 kg



- Llave de paso reforzada obturación blanda



- Cableado eléctrico rojo 2.5 mm



- Electrobomba sumergible



- Cableado eléctrico blanco 2.5 mm



- Interruptor de nivel



- Cableado eléctrico verde 2.5 mm



- Tubería naranja de conductividad



- Enchufe hembra 2P+ T 10A; NG REMA



- Estanque de acumulación vertical



- Visor de nivel Infraplast



- Manguera terraza



- Guantes multiuso



- Mascarilla



- Antiparra de seguridad

