



**DISEÑO DE PLANTA DE AGUAS REGENERADAS
PARA USO AGRÍCOLA EN LA PROVINCIA DE
PETORCA, VALPARAÍSO-CHILE**

**DESIGN OF A REGENERATED WATER PLANT
FOR AGRICULTURAL USE IN THE PROVINCE
OF PETORCA, VALPARAÍSO-CHILE**

**MÁSTER UNIVERSITARIO EN HIDROLOGÍA
Y GESTIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS**

Presentado por:

D./D^a PATRICIO VALENZUELA D.

Dirigido por:

Dra. IRENE DE BUSTAMANTE G.

Alcalá de Henares, a 30 de agosto de 2021

AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos a la Universidad de Alcalá de Henares por dar la oportunidad de poder presentar este trabajo de fin de master como tema propio y a la empresa que actualmente trabajo que es Simtech Ltda por dar las facilidades de viajar a España.

Dar las gracias a mi tutora Dra. Irene de Bustamante por el constante apoyo, compromiso y recomendaciones para que este trabajo tenga la estructura y enfoque que tiene, los profesores Francisco Carreño y Alberto del Villar, por la excelente disponibilidad que tuvieron con todo el grupo en este periodo que se cursó el Master.

Agradecer la oportunidad de conocer a mis compañeros de master, ha sido una experiencia inolvidable el compartir con cada uno de ustedes, mi madre que con orgullo me ha visto crecer en lo humano y profesionalmente en la vida, además el apoyo constante y fundamental de mi esposa.

Un punto azul pálido...

Dedicado a mi familia, Mariely, Fernanda y Julieta

Índice de contenidos

1.0 RESUMEN.....	9
2.0 INTRODUCCIÓN	10
2.1 Evaluación de la sequía actual de Chile.....	10
2.2.2 Reúso de aguas regeneradas	11
2.2.2.1 Normativa de Estados Unidos.....	11
2.2.2.2 Normativa europea	12
2.2.2.3 Análisis de la normativa actual de reúso en Chile.....	12
2.2.2.4 Tratamiento de las aguas regeneradas.....	14
2.2.2.5 Tipos de aguas residuales y sus características para el reúso	14
3.0 OBJETIVOS	15
3.1 Objetivos secundarios.....	16
4.0 METODOLOGÍA	16
4.1 Aguas residuales utilizadas para el diseño	17
4.2 Descripción de los pretratamientos Quintero, Concón Oriente e Higuierillas	18
4.2.1 Caracterización de las aguas residuales	18
4.3 Tratamiento de las aguas regeneradas	19
4.4 Uso de las aguas regeneradas.	19
4.4.1 Agricultura Región de Valparaíso	20
4.4.2 Provincia de Petorca	20
4.4.3 Volumen del agua regenerada a usar	22
4.4.4 Calidad del agua regenerada	22
Fuente: Adaptado de (Lemus et al, 2010).....	23
5.0 RESULTADOS	23
5.2 Diseño y descripción para la propuesta de regeneración	24
5.2.1 Parámetros de diseño	24
5.2.1.1 Calidad del agua cruda	24
5.2.1.2 Carcamo de bombeo	25
5.2.1.3 Decantación primaria.....	25
5.2.1.4 Diseño proceso anoxico y aeróbico.	26
5.2.2.5 Calculo del sedimentador secundario	41
5.2.2.6 Dimensionamiento de la línea de lodos	43

5.2.2.7 Dimensionamiento línea de agua regenerada	45
5.2.3 Costos	50
6.0 DISCUSIÓN	52
7.0 CONCLUSIONES	54
8.0 BIBLIOGRAFÍA.....	57
9.0 ANEXOS I.....	60
ANEXOS II.....	65
ANEXOS III	66
ANEXO IV	78

Índice de Tablas

Tabla 1 Clasificación de la calidad de las aguas regeneradas normativa actual.....	12
Tabla 2 Calidad para parámetros químicos, físicos y biológicos	13
Tabla 3 Promedios de analisis fisico quimico, para los meses de julio, agosto , septiembre, octubre, noviembre, diciembre 2020 y enero 2021	18
Tabla 4 Promedio de análisis físico químicos, para los meses de julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre año 2020 y enero año 2021	18
Tabla 5 Superficie total bajo riego por provincia y región en ha	21
Tabla 6 Distribución plantación Provincia de Petorca.....	21
Tabla 7 Parámetros recomendados para el cultivo del palto.	23
Tabla 8 Parámetros de diseño de ERAR.....	25
Tabla 9 Carcamo de bombeo.....	25
Tabla 10 Datos diseño Sedimentador, adaptado Metcalf & Eddy (2003)	26
Tabla 11 Parámetros de diseño.....	28
Tabla 12 Parámetros para calcular la velocidad especifica	28
Tabla 13 Valores para las constantes de temperatura	29
Tabla 14 Valores para la ecuación [1].....	29
Tabla 15 Valores para el cálculo de biomasa	30
Tabla 16 Parámetros para el cálculo de saturación de oxígeno.....	38
Tabla 17 Datos de diseño Sedimentador Secundario	41
Tabla 18 Valores constructivos para el Sedimentador Secundario	42
Tabla 19 Volumen y tiempo de residencia Sedimentador Secundario	42

Tabla 20 Datos del agua tratada	43
Tabla 21 Fangos de entrada al espesado.....	43
Tabla 22 Fangos a la salida del Espesador	44
Tabla 23 Parámetros Digestor Línea de Fangos	45
Tabla 24 Diseño estanque de Coagulación	46
Tabla 25 Diseño estanque de Floculación	46
Tabla 26 Características Sedimentador Lamelar	47
Tabla 27 Datos d diseño Filtros Horizontales.....	47
Tabla 28 Parámetros para el lavado de los Filtros Horizontales	48
Tabla 29 Parámetros de diseño de equipo para oxidación avanzada	49
Tabla 30 Diseño de canal de desinfección.....	50
Tabla 31 costos de inversión ERAR.....	51
Tabla 32 Costos operacionales ERAR.....	52
Tabla 33 Costos de inversión por línea de tratamiento	56

Índice de Figuras

Figura 1 Demanda de agua en m ³ /s. Fuente: Atlas del Agua Capitulo 4, (2016).	10
Figura 2 Tecnologías de regeneración de aguas más usadas . Fuente: Guía para la aplicación del R.D 1620/2007, (2010).....	15
Figura 3 Pretratamiento de aguas que descargan sus aguas vía emisario submarino. Fuente: Fundación Chile, 2016.	17
Figura 4 ERAR propuesta para proyecto TFM.....	24
Figura 5 Grafico para la determinación de la velocidad de desnitrificación. Fuente: Metcalf & Eddy, 2003.	36
Figura 6 Digestor típico para la línea de fangos	44
Figura 7 Equipo Centrifuga para uso en el Espesado y Deshidratado Línea de Fangos. Fuente: Catalogo de equipos empresa Hiller	45
Figura 8 Filtro Horizontal, Fuente: Catalogo de equipos empresa Simtech Ltda.....	48
Figura 9 Reactor de dióxido de titanio , para efectuar desinfección por oxidación avanzada Fuente: Empresa H ₂ O Titanium.	49
Figura 10 Canal de desinfección de mantenimiento	50

Gráfico 1 Costos operacionales ERAR.....	55
Gráfico 2 Costos mensuales ERAR.....	55
Gráfico 3 Costos de Inversión ERAR.....	56

1.0 RESUMEN

La escasez hídrica que sufre Chile y especialmente la región de Valparaíso es una de las más grandes de los últimos 10 años, por este motivo es muy importante el buscar alternativas tecnológicas que puedan ayudar a solucionar este problema. Dentro de las soluciones que actualmente se están fomentando la desalinización toma bastante fuerza por el motivo que Chile ya usa bastante este recurso a lo largo de su costa tanto, para el sector sanitario como minero. Pero ya no solamente con la desalinización es suficiente para dar respuesta a la sequía que tiene el país el buscar nuevas tecnologías y el complementar la normativa, para el reúso del agua es una valiosa herramienta para sumar soluciones.

Las aguas regeneradas entran a ser parte de uno de estos complementos, el presente trabajo de fin de master (TFM) desarrolla una supuesta solución de reúso para abastecer la zona de la provincia de Petorca dentro de la región de Valparaíso que está fuertemente golpeada en la presente sequía y principalmente en el sector agrícola, por tal motivo el diseño de estación regeneradora de aguas residuales o ERAR se centra en una calidad de agua que pueda ser usada en uno de sus principales cultivos que es el palto (aguacate).

Para esto se diseña una ERAR a partir de las aguas residuales que son captadas luego del pretratamiento primario antes de ser descargadas por medio de emisarios submarinos en las costas de la región de Valparaíso, los puntos de descargas están ubicados en Quintero, Con-Con e Higerillas. El TFM se centra en el diseño de la planta para obtener una calidad de agua que pueda cumplir con la normativa, la demanda y la calidad del agua que requiere el fruto en un periodo intermitente de suministro.

En diseño está centrado en el tratamiento de las aguas residuales, la línea de fangos y línea de aguas regeneradas con equipos adecuados para obtener la calidad esperada. Se evalúan los costos de inversión de la ERAR y de operación, no es parte de este trabajo los costos de conducción, distribución y financiamiento del proyecto el alcance llega hasta el almacenaje del agua regenerada lista para ser distribuida por la ERAR cuya localización es en la comuna de Quintero por su cercanía a la provincia de Petorca.

Se realiza un comparativo con la desalinización en el costo operacional y se estiman los beneficios del uso de las aguas regeneradas para ser usados en la actualidad.

2.0 INTRODUCCIÓN

2.1 Evaluación de la sequía actual de Chile

Chile tiene una variabilidad de disponibilidad de agua para las diferentes zonas del país siendo para la zona centro hacia el norte de 800 m³/persona/año y para la zona sur de 10.000 m³/persona/año, esto producto de las marcadas diferencias que existen en precipitaciones con un promedio anual de 1.525 mm/año con un alto nivel de escorrentía hacia los lagos y ríos (Biblioteca Nacional del Congreso de Chile, 2018).

Por otra parte, se destaca en la figura 1 que la matriz productiva del país está marcada por la agricultura y la minería fuertes consumidores de la matriz hídrica que actualmente tiene el país.

Macrozona	Región	Agropecuario	Agua Potable	Industrial	Minero	Total [m ³ /s]
Norte	XV	3,71	0,96	0,25	0,00	4,92
	I	5,21	0,69	1,43	1,54	8,87
	II	3,31	1,68	1,29	6,26	12,54
	III	12,03	0,87	0,52	1,90	15,32
	IV	27,19	1,89	0,25	0,71	30,04
Centro	V	42,44	5,82	4,81	1,26	54,33
	RM	82,36	27,41	10,42	0,90	121,09
	VI	97,96	2,41	1,23	1,88	103,48
	VII	166,49	2,53	3,77	0,00	172,79
Sur	VIII	69,44	5,16	9,54	1,21	85,35
	IX	11,51	2,34	0,26	0,00	14,11
	XIV	2,21	1,02	1,63	0,00	4,86
	X	1,10	1,39	2,46	1,50	6,45
Austral	XI	0,64	0,29	0,08	2,60	3,61
	XII	1,12	0,38	5,91	0,23	7,64
		526,72	54,84	43,85	1999	645,40

Figura 1 Demanda de agua en m³/s. Fuente: Atlas del Agua Capítulo 4, (2016).

Fenómenos climatológicos y el cambio climático son los causantes del problema de la sequía que desde el año 2010 está presente en el territorio comprendido entre las regiones Coquimbo y la Araucanía cuyo déficit de precipitaciones es cercano al 30%. (Biblioteca Nacional del Congreso de Chile, 2018).

2.2 Soluciones para enfrentar la sequía

2.2.1 Plantas desalinizadoras

En Chile se desalinizan 5.619 l/s¹ con lo que sitúa al país como líder en Latinoamérica, con una aplicación mayoritariamente en minería, municipios y pequeñas comunidades.

El uso de esta tecnología llamada osmosis inversa usa altas presiones y membranas semipermeables que es una alternativa viable para enviar el agua a cuencas o recargar pozos, entre algunas soluciones al problema de escasez hídrica de la zona central. Los costos del agua desalinizada por los sistemas de osmosis inversa fluctúan alrededor de 0,6 a 1,2 US\$/m³ (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2017).

2.2.2 Reúso de aguas regeneradas

Un efluente con una buena calidad es una fuente confiable de suministro de agua, la creciente demanda de agua dulce, para necesidades urbanas, industriales y de riego ha resultado en un mayor interés en la reutilización de efluentes (Qasim, 2018).

Según Mujeriego (1990) un agua regenerada es un agua residual domestica que como resultado de un proceso de tratamiento es idónea, para un uso beneficioso directo o un uso controlado que no tendría lugar de otro modo.

Las aguas regeneradas deben cumplir técnicamente con:

1. Satisfacer la calidad para la que se le requiere.
2. Que no afecte al ambiente que la recibe.
3. No afectar la salud de los seres vivos que están en contacto con el agua regenerada.
4. La reutilización y la regeneración tienen un potencial para la recuperación de los recursos hídricos y disminuir la contaminación.

2.2.2.1 Normativa de Estados Unidos

La EPA desarrolló las primeras guías sobre la reutilización de aguas residuales tratadas en el 1980. Guías que han sido actualizadas los años 1992, 2009 y 2012. Cada estado tiene derecho a establecer guías o reglamentos para el reúso de las aguas residuales, sin

¹ Mesa Nacional del Agua Acta Sesión N°35 – 02 de noviembre de 2020

embargo, no están obligados a reglamentar la reutilización de ellas. En la actualidad 30 estados han aprobado reglamentos para la reutilización de aguas residuales tratadas y 15 estados y territorios han aprobado guías o normas de diseño para sistemas de reúso.

2.2.2.2 Normativa europea

El reciente reglamento (UE) 2020/741 del parlamento europeo es del 25 de mayo del 2020, que establece los requisitos mínimos para la reutilización de las aguas. Este comprende requisitos de calidad y monitoreo, para el uso de las aguas residuales urbanas que serán tratadas en el riego agrícola.

2.2.2.3 Análisis de la normativa actual de reúso en Chile

El 24 de febrero del año 2021 ha sido aprobada en el Consejo del Instituto Nacional de Normalización la norma para la clasificación de la calidad del agua regenerada para el reúso no potable que es la **NCH 3483**.

Se presentan las categorías y la calidad del agua regenerada las cuales se aprecian en la tabla 1 y tabla 2 respectivamente.

Tabla 1 Clasificación de la calidad de las aguas regeneradas normativa actual

Calidad del agua regenerada según su categoría	Exposición posible	Tipos de aplicación	Requerimientos mínimos de tratamiento
A	Contacto corporal directo: Abierto el acceso a público Acceso a niños Potencial para inhalación e ingestión no intencionada	Urbano (ejemplos): Riego de jardines con libre acceso al público Uso en inodoros Lavado de vehículos	Tratamiento secundario con filtración y desinfección
		Riego de calles para evitar polvo	
		Uso en extinción de incendios	
		Recreativos (ejemplos): Riego de áreas verdes públicas con libre acceso al público	
		Riego de campos deportivos	
		Otras zonas con libre acceso al público	
		Parques o plazas, áreas verdes de establecimientos educacionales, cementerios parque, entre otros	
		Agricultura (ejemplos) Riego agrícola de cultivos alimentarios de frutas y verduras que no crecen a ras de suelo y que suelen ser consumidas crudas por las personas	
		Ornamentales (ejemplos): Uso en estanques o embalses de paisaje, sin acceso al público	
		Urbanos (ejemplos):	

B	Contacto incidental (contacto directo con el cuerpo no es advertido)	corporal (contacto)	Aplicaciones de agua para uso industrial – Instalación eléctrica y agua de refrigeración Agrícolas (ejemplos): Riego agrícola de cultivos alimentarios procesados Riego de cultivos tales como viñedos, frutales y horticultura	Tratamiento secundario y desinfección
C y D	Prohibición de contacto corporal	contacto	Ornamentales (ejemplos): Riego de Áreas verdes y jardines ornamentales sin acceso al público. (Jardines de instalaciones industriales, áreas verdes de plazas sin acceso al público) Riego (ejemplos): Riego de cultivos sembrados Riego de cultivo de forraje agrícola	Tratamiento secundario Clarificación de alto rango con estanques de coagulación, floculación o estabilización

Fuente: Norma Chilena 3483. Directrices para la clasificación de la calidad del agua regenerada, (2021).

Tabla 2 Calidad para parámetros químicos, físicos y biológicos

Categoría	Tipo de agua regenerada	DBOb, j	SST	Turbiedad ^c	Coliformes termotolerantes ^d		Nematodos intestinales ^e	Usos potenciales sin barreras	Posible tratamiento correspondiente
		mg/L	mg/L	NTU	N°/100 ml		Huevo/L		
		Máx.	Máx.	Máx.	95% perc	Máx.	Máx.		
A	Aguas regeneradas de muy alta calidad	10 mg/L	10 mg/L	5	≤ 10 o menos del límite de detección	100	s.d	Riego urbano sin restricciones y riego agrícola de cultivos alimenticios consumidos crudos	Secundario f, filtración por contacto o filtración por membrana g y desinfección h
B	Aguas regeneradas de alta calidad	20 mg/L	25 mg/L	s.d	≤ 200	1000	s.d	Riego urbano restringido y riego agrícola de cultivos alimenticios procesados	Secundario f, filtración g y desinfección h
C	Aguas regeneradas de buena calidad	35 mg/L	50 mg/L	s.d	≤ 1000	10000	s.d	Riego agrícola de cultivos no alimentarios	Secundario ^f y desinfección ^h
D	Aguas regeneradas de mediana calidad	35 mg/L	80 mg/L	s.d	≤ 1000	10000	5	Riego restringido de cultivos industriales y sembrados	Secundario f o clarificación de alta velocidad con coagulación, floculación i

Fuente: Norma Chilena 3483. Directrices para la clasificación de la calidad del agua regenerada, (2021).

2.2.2.4 Tratamiento de las aguas regeneradas

Los procesos de tratamiento en la recuperación de aguas residuales se emplean individualmente o en combinación para lograr los objetivos de calidad del agua recuperada. Considerando los procesos unitarios clave y operaciones comúnmente utilizadas en la recuperación de agua.

Muchos factores pueden afectar la elección de la tecnología de recuperación de agua, entre los que destacamos.

- a) Tipo de aplicación de reutilización del agua.
- b) Objetivos de calidad del agua recuperada.
- c) Características de la fuente de agua de las aguas residuales.
- d) Compatibilidad con las condiciones existentes.
- e) flexibilidad del proceso, requisitos de funcionamiento, mantenimiento, opciones de eliminación de residuos y limitaciones ambientales.

2.2.2.5 Tipos de aguas residuales y sus características para el reúso

Las aguas residuales más comúnmente usadas, para el reúso son los vertidos a la red de alcantarillado, también se incluyen las aguas industriales, aguas pluviales de escorrentía y el agua de drenaje.

Los contaminantes de las aguas residuales son generalmente una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos. La principal preocupación para el tratamiento de las aguas regeneradas son las características de estas luego del tratamiento en la planta depuradora, existen parámetros convencionales, no convencionales y emergentes

Parámetros convencionales: pH, demanda biológica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, nitrógeno, fósforo y organismos patógenos.

Parámetros no convencionales: sólidos totales disueltos, pesticidas y compuestos orgánicos refractarios, tensioactivos y metales.

Parámetros emergentes: Incluyen productos farmacéuticos, para el cuidado personal, productos recetados y de venta libre como hormonas anticonceptivas y otras hormonas endocrinas, jabones, productos para el cuidado de la piel entre otros. Debido a que la reutilización del agua implica múltiples aplicaciones potenciales los compuestos de interés dependen del uso final del agua.

La figura 2 están las tecnologías más usadas para el tratamiento de la regeneración de aguas residuales.

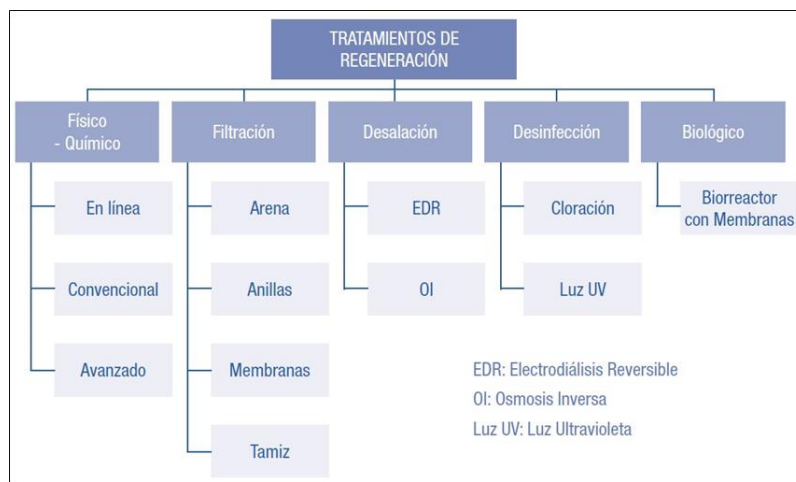


Figura 2 Tecnologías de regeneración de aguas más usadas . Fuente: Guía para la aplicación del R.D 1620/2007, (2010).

3.0 OBJETIVOS

La región de Valparaíso es una de las más afectadas por la sequía en Chile, la cual es decretada como zona de crisis hídrica. Las bajas precipitaciones, sumadas a la presión sobre los recursos hídricos por el desarrollo agrícola, han tenido su máximo impacto en los valles de Petorca y La Ligua, donde sus ríos se encuentran mermados debido a estos factores. (Fundación Chile, 2016).

La situación en la región es tan crítica que el gobierno de Chile decreta “zona de catástrofe” a la región de Valparaíso, donde el año 2019 las precipitaciones llegaron a 70,5% menos de un año normal (Diario Oficial, 2019).

El objetivo principal de este trabajo de TFM es buscar soluciones en el reúso de las aguas regeneradas producto de sistemas de pretratamiento que actualmente están funcionando en la región de Valparaíso, los cuales se encuentran cercanas a la comuna de Petorca y desarrollar un diseño de solución que pueda ser una alternativa viable en la región. Específicamente la provincia de Petorca.

3.1 Objetivos secundarios

1.- Es estimar la calidad del agua tratada por el diseño propuesto y seleccionar su uso en la región, para el sector agrícola.

2.- Calcular el costo de inversión y de operación del sistema propuesto y comparar con el uso de la desalinización como alternativa para superar el tema de sequía en la zona.

Cabe destacar que dentro del desarrollo del TFM quedaran fuera los costos de conducción y de distribución del agua regenerada, hacia la comuna de Petorca.

Queda fuera del análisis del proyecto todo tipo de financiamiento para la construcción de la planta de aguas regeneradas.

4.0 METODOLOGÍA

La demanda hídrica de Petorca concentra el 17% del total del agua para el sector agrícola de la región. Equivalente a 3,53 m³/s, siendo las comunas de mayor consumo Cabildo (44%), Petorca (29%) y La Ligua (21%) (Fundación Chile, 2016). Por otra parte, la zona de Petorca actualmente se encuentra catalogada como zona de escasez hídrica (Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, 2021).

Dentro de las principales actividades económicas luego del comercio están agricultura, ganadería, caza, silvicultura y pesca (16,8%). En el sector agrícola se destaca:

- Frutas: paltos, papayos, chirimoyas y lúcumas.
- Hortalizas: papas, tomates, flores y plantas medicinales y aromáticas.
- Ganadería: ganado caprino y derivados de este.

4.1 Aguas residuales utilizadas para el diseño

En la región de Valparaíso el 64% de las aguas residuales son enviadas y descargadas por medio de emisarios submarinos, los cuales son un sistema de disposición final en el mar, permitiendo facilitar el tratamiento natural por parte del medio marino, aprovechando la capacidad para asimilar y transformar las sustancias del efluente doméstico.

Por esta vía las aguas residuales son descargadas en una zona fuera del límite de protección marino, previamente se realiza un pretratamiento de sus aguas residuales.

Estos sistemas de pretratamiento se encuentran en la zona llamada litoral norte y litoral sur, nuestro objetivo es analizar los más cercanos a la provincia de Petorca, por lo tanto, los sistemas de pretratamiento con vertido vía emisario submarino son los correspondientes a la zona de litoral norte los cuales son Quintero, Concón Oriente e Higerillas. En la figura 3 se muestran los emisarios submarinos de la región de Valparaíso junto con la ubicación de las provincias con sus respectivas comunas.

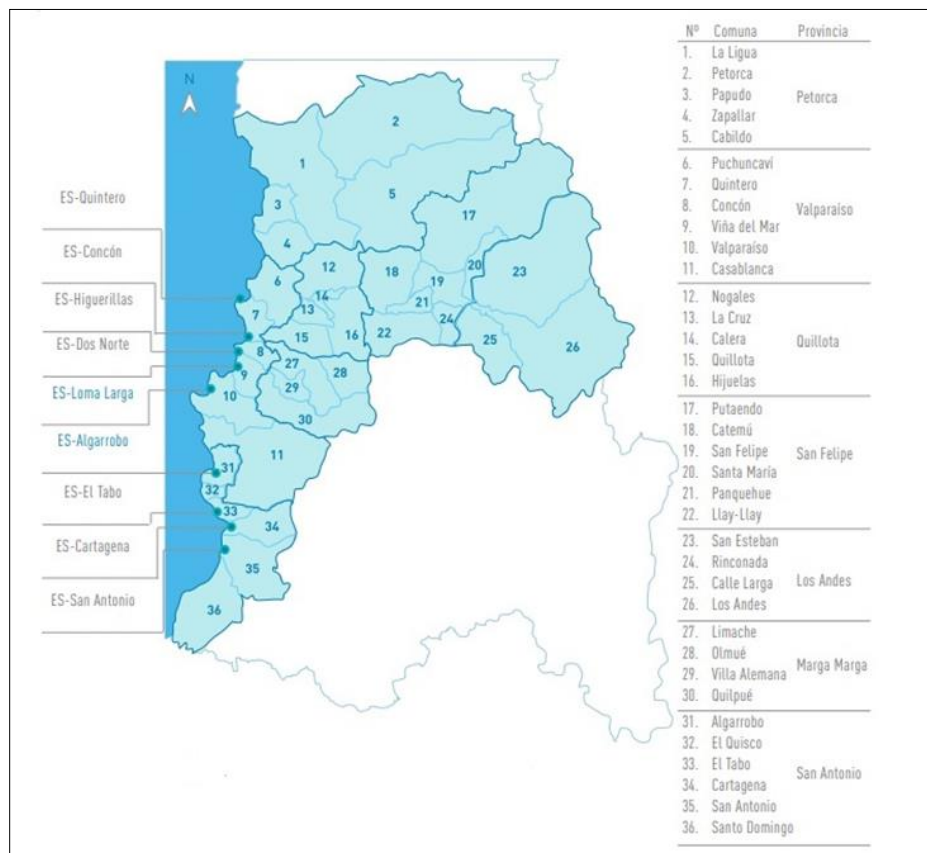


Figura 3 Pretratamiento de aguas que descargan sus aguas vía emisario submarino. Fuente: Fundación Chile, (2016).

4.2 Descripción de los pretratamientos Quintero, Concón Oriente e Higerillas

Los emisarios submarinos de las tres localidades presentan los mismos pretratamientos, los cuales consisten en un desbaste de sólidos, una etapa de desarenado-desengrasado, estación elevadora y una disposición mediante un emisario submarino. Las aguas residuales son utilizadas para ser tratadas desde la estación elevadora.

4.2.1 Caracterización de las aguas residuales

Para la caracterización físico-química de las aguas residuales se tomaron resultados efectuados por el sistema nacional de información de fiscalización ambiental (SINFA) los que se indican en tabla 3 y tabla 4

Tabla 3 Promedios de análisis físico químico, para los meses de julio, agosto , septiembre, octubre, noviembre, diciembre 2020 y enero 2021

Parámetro	Unidad	Valores promedio	Valores promedio	Valores promedio	Promedio
		Quintero	Concón	Higerillas	
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	305.17	369.72	307	327.38
Estaño	mg/L		0.20	0	0.19
Hidrocarburos fijos	mg/L	< 1.4	< 1.40	<1.40	<1.40
Hidrocarburos totales	mg/L	< 5	< 5	<5	<5
Hidrocarburos volátiles	mg/L	0.15	0.25	<0.1300	0.18
Índice de fenol	mg/L	0.07	0.05	0	0.05
Solidos sedimentables	ml/l/h	1.45	4.01	3	2.82
Detergentes	mg/L	3.27	3.49	3	3.34
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	236.92	218.06	181	211.93
Solidos suspendidos totales	mg/L	85.90	118.72	91	98.38
Aceites y grasas	mg/L	13.73	16.87	16	15.60
pH compuesta	mg/L	8.18	7.82	8	7.98
Temperatura compuesta	mg/L	14.16	11.12	11	12.16

Fuente: Los datos de la calidad de las aguas residuales fueron tomados de <https://snifa.sma.gob.cl/>

Tabla 4 Promedio de análisis físico químicos, para los meses de julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre año 2020 y enero año 2021

Parámetro	Unidad	Quintero	Concón	Higerillas	Promedio
		08/10/2020	06/10/2020	14/10/2020	
Aluminio	mg/L	0.23	0.33	0.34	0.3
Arsénico	mg/L	0.004	0.0017	0.0011	0.002266667
Cadmio	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Cianuro	mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Cobre total	mg/L	0.04	0.03	0.04	0.04
Cromo hexavalente	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cromo total	mg/L	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020
Demanda química de oxígeno	mg/L	342	668	376	462
Estaño	mg/L	< 0.15	<0.15	<0.15	<0.15

Fluoruro	mg/L	0.3	0.2	0.6	0.37
Hidrocarburos fijos	mg/L	< 1.4	<1.40	<1.40	<1.40
Hidrocarburos totales	mg/L	< 5	<5	<5	<5
Hidrocarburos volátiles	mg/L	<0.1300	<0.1300	<0.1300	<0.1300
Índice de fenol	mg/L	0.1281	0.049	0.0164	0.0645
Manganeso	mg/L	0.05	0.08	0.04	0.057
Mercurio	mg/L	< 0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Molibdeno	mg/L	< 0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Níquel	mg/L	< 0.01	<0.01	<0.01	<0.01
pH	Adim	8.33	7.37	7.5	7.73
Plomo	mg/L	< 0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Selenio	mg/L	0.0008	0.0007	0.0011	0.00087
Sólidos sedimentables	mg/L	2	<1.40	4.5	2.63
Sulfuros	mg/L	< 0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Detergentes SAAM	mg/L	4.5	3.74	2.56	3.6
Zinc	mg/L	0.062	0.075	0.105	0.081
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	214	312	253	259.67
Sólidos suspendidos totales	mg/L	151	48	152.9	117.3
Aceites y grasas	mg/L	18.75	11.85	15.36	15.32
pH Compuesta		8.2	7.5	7.8	7.83
Temperatura compuesta	°C	14.8	11.9	10.2	12.3

Fuente: Los datos de la calidad de las aguas fueron tomados de <https://snifa.sma.gob.cl/>

4.2.2 Caudales de las aguas residuales

Para efectos de determinar el volumen de aguas residuales que son pre tratadas en las comunas de Quinteros, Concón e Higuierillas se descargaron los análisis de monitoreo efectuados por el programa de saneamiento ambiental del SINFA. En el anexo II se indican los caudales con el promedio, para los meses de julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre del año 2020 y enero del año 2021, para las respectivas comunas mencionadas.

4.3 Tratamiento de las aguas regeneradas

Para comenzar a diseñar el tratamiento de aguas regeneradas es importante considerar:

1. La normativa actual vigente, para las aguas regeneradas.
2. Proporcionar una calidad de agua segura, para la agricultura de Petorca.

4.4 Uso de las aguas regeneradas.

Las especies vegetales regadas con aguas regeneradas deben previamente ser seleccionadas según su tolerancia a la concentración de sales y otros iones presentes que

tenga el agua regenerada. En la mayor parte de los casos, esta condición no constituye un criterio de selección importante, debido a que las aguas residuales municipal regenerada no es mucho más salada que el agua de abastecimiento de donde proviene (Mujeriego, 1990).

Según Mujeriego (1990) los criterios de selección del cultivo son:

- La normativa oficial
- La tolerancia de los cultivos a las sales y a los iones específicos
- El nivel de gestión exigido
- La asimilación del nitrógeno y el fosforo por los cultivos
- El consumo de aguas por los cultivos
- El clima
- Las características físicas del suelo

Para el presenta trabajo de TFM nos basaremos en la normativa vigente en Chile para las aguas regeneradas, la tolerancia de los cultivos a las sales, los iones, la asimilación del nitrógeno y el fosforo por los cultivos y el consumo de agua por parte del cultivo seleccionado.

4.4.1 Agricultura Región de Valparaíso

La región de Valparaíso posee el 14,2% y el 11,2% de la superficie frutal y hortícola del país. A nivel de especies, cabe destacar que la región posee el 53,8% de la superficie nacional de paltos especie que también tiene una importancia a nivel regional.

4.4.2 Provincia de Petorca

En la Provincia de Petorca, la principal actividad económica es la agricultura, la que se desarrolla en torno a los valles de los ríos de Petorca y La Ligua.

La tabla 5 indica las superficies de hectáreas para el riego de las diferentes provincias de la región de Valparaíso en donde destacamos la provincia de Petorca con 14.149 ha de superficie de riego.

Tabla 5 Superficie total bajo riego por provincia y región en ha

Provincia	Total Regado
San Felipe	25690.1
Quillota	17457.7
Petorca	14149
Los Andes	12295.7
Valparaíso	8379.2
San Antonio	4901.5
Marga Marga	4002.2
Isla de Pascua	12.2
Total	86887.6

Fuente: Elaborado por Odepa a partir de información del VII Censo Nacional Agropecuario y Forestal; Odepa-INE, (2007).

La producción de frutales son los de mayor importancia para la provincia, llegando a convertirse en una de las zonas que más exporta este tipo de productos².

La Actividad agrícola en la provincia de Petorca, según el catastro frutícola del año 2017, el cual se indica en la tabla 6 se aprecia que las plantaciones de paltos tienen una participación sobre el total de un 60%. La comuna de Cabildo es la provincia con mayor nivel de plantación de la provincia de Petorca con un 55,6% (ASIVA, 2019).

Tabla 6 Distribución plantación Provincia de Petorca

Especie	Cabildo	La Ligua	Papudo	Petorca	Zapallar	Total (ha)
Almendro	542.4	50.2		33.1	0.5	626.2
Arándano Americano	18.4			13.5	6.9	38.8
Cerezo				21.8		21.8
Chirimoyo	5.3	57.5				62.8
Ciruelo Europeo	10.7					10.7
Damasco				0.1		0.1
Duraznero Consumo Fresco	5					5
Duraznero Tipo Conservero				0.2		0.2
Granado	3.3	1		31	3.6	38.9
Higuera	0.2					0.2
Lima		3.2		0.1		3.3
Limonero	389	233.8		106.4	28.5	757.7
Lúcumo	0.9	21.4				22.3
Mandarino	103	19.8		152.2	9.1	284.1
Maqui		0.4				0.4
Naranja	108	23.6		30	32	193.6

² <http://www.gobernacionpetorca.gov.cl/geografia/> Ubicación geográfica, <http://www.gobernacionpetorca.gov.cl/geografia/>

Níspero		1.5				1.5
Nogal	320.2	2.7	0.9	376.4	4.6	704.8
Olivo	0.2	255.7	2	20.6	21.1	299.6
Palto	2903.9	1097.7	0.6	760.6	44.1	4806.9
Papayo		25.9				25.9
Peral		4.7				4.7
Pistacho	7.2					7.2
Pomelo	1.2			0.1		1.3
Tuna	6.2	11.4		24		41.6
Total	4425.1	1810.5	3.5	1570.1	150.4	7959.6

Fuente: ASIVA, con información de MINAGRI, (2019).

Por lo tanto, las producciones de las aguas regeneradas, para el presente TFM tienen como objetivo el abastecer de agua de calidad de riego para la producción de Paltos en la provincia de Petorca.

4.4.3 Volumen del agua regenerada a usar

En lo que es consumo de agua del fruto se tiene una estimación anual que varía entre 7.000 y 16.000 m³/ha/año en localidades baja y altas de la provincia de Petorca, donde existe un clima mediterráneo. Para esta zona los meses de junio, julio, y agosto una fracción de la demanda hídrica es abastecida por las lluvias, generando aproximadamente el 80% de la demanda hídrica entre los meses de octubre y marzo.

Es muy importante conocer el volumen de agua del que se dispone para reponer la demanda de agua evapotranspirada por la planta en lo momento de máxima demanda la que puede variar entre un 5,8 mm/día y 10 mm/día en promedio los meses de verano.³

Se estima que un caudal de 0,8 l/s alcanza para regar una hectárea de frutos adultos que son regados por micro aspersión (Lemus et al, 2010).

4.4.4 Calidad del agua regenerada

La calidad del agua regenerada para los cultivos de paltos está determinada por la norma chilena **NCH 3483** en el cual se debe cumplir la categoría del tipo A por ser un cultivo alimentario que no crecen a ras de suelo y que suelen ser consumidas crudas por las personas. La calidad del agua regenerada debe ser según tabla 3, para la categoría A.

³ Boletín INIA N° 129

Otros aspectos importantes para considerar son los de la salinidad y de iones específicos que requiere el fruto, la tabla 7 indica los más considerables para el agua de riego para el palto.

Tabla 7 Parámetros recomendados para el cultivo del palto.

Parámetros químicos	Unidad	Valores
pH	Adm	< 7,5
Conductividad eléctrica	mmhos/cm	< 0,75
Cloruros	mg/L	120-150 ⁴ 200-250 ⁵
Sodio	%	35 ⁶

Fuente: Adaptado de (Lemus et al, 2010).

5.0 RESULTADOS

Por el lado técnico una solución en regeneración de las aguas residuales consiste en una desviación en la línea de descarga. La figura 4 muestra el esquema, para la planta propuesta los bloques en color gris es el actual pretratamiento previo a cada emisario, los bloques azules el tratamiento propuesto en la línea de agua y el color rosado corresponde a línea de las aguas regeneradas.

5.1 Emisarios de Quintero, Concón Oriente e Higerillas

Los emisarios submarinos de las tres localidades presentan los mismos pretratamientos, los cuales consisten en:

1. Reja gruesa manual
2. Reja fina automática
3. Desarenador aireado
4. Planta elevadora

⁴ Para el caso de árboles injertados en portainjerto mexicano.

⁵ Para el caso de árboles injertados sobre portainjetos de raza antillana, que son más tolerantes a la salinidad.

⁶ Valores superiores a un 35% de sodio en el agua de riego produce daños por acumulación.

La proyección, para el proceso de tratamiento planteado es el siguiente:

Línea de agua: Cribado o desbaste, decantación primaria, tratamiento anoxico seguido de un aerobio y con una decantación secundaria.

Línea de fangos: Reactor anaeróbico, acondicionamiento del lodos y deshidratación de lodos.

Línea de regeneración: Coagulación, floculación, sedimentación, desinfección con oxidación avanzada apoyado con hipoclorito de sodio.

5.2 Diseño y descripción para la propuesta de regeneración

El sistema de aguas regeneradas está diseñado para tratar un caudal de 520 l/s que corresponde a la suma de los caudales máximo de las localidades de Quintero, Concón e Higuerillas a continuación se analizan los detalles más importantes de cada línea de tratamiento.

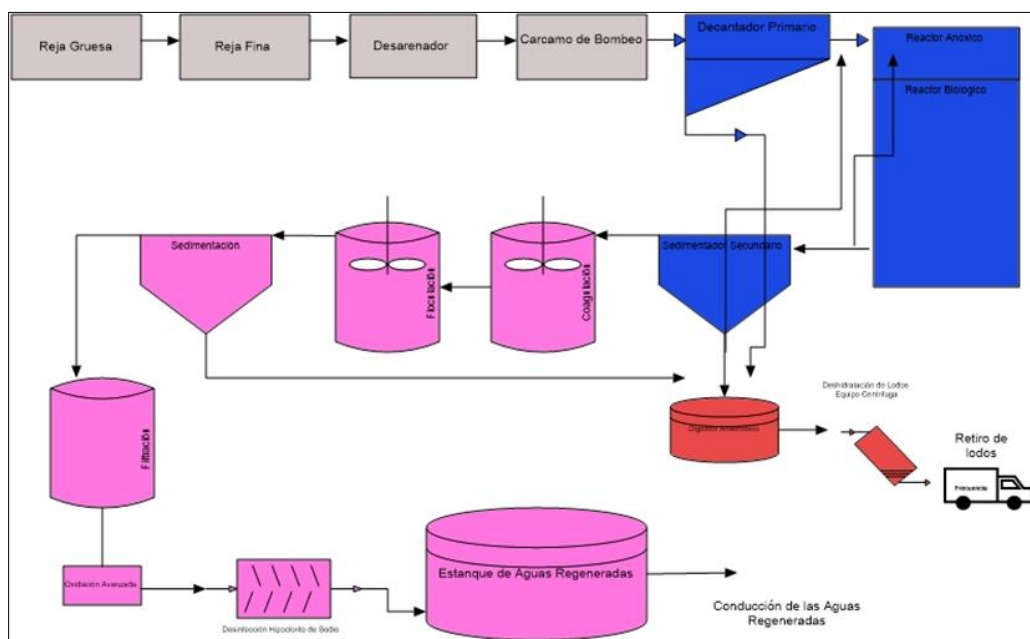


Figura 4 ERAR propuesta para proyecto TFM

5.2.1 Parámetros de diseño

5.2.1.1 Calidad del agua cruda

Se recopilieron los análisis de 6 meses para cada emisorio, para posteriormente promediar en un valor final que pueda ser representativo, para el diseño.

La tabla 8 muestra los parámetros químicos del agua residual con el que se efectúa el diseño de la ERAR con los valores promedios de los 6 meses de análisis de las tres localidades y considerando como referencia el desarrollo de libros de ingeniería para el tratamiento de aguas residuales.⁷

Tabla 8 Parámetros de diseño de ERAR

Parámetro de diseño	Unidades	Valor
Temperatura	°C	12.16
Potencial hidrógeno	Unidades	7.98
Fósforo total ⁸	mg/L	6
Nitrógeno total ⁹	mg/L	40
DBO	mg/L	211.93
DQO	mg/L	327.38
SST	mg/L	98.38
SAAM	mg/L	3.34
Grasas y aceites	mg/L	15.60
Coliformes fecales	NMP/100 ml	5189526

5.2.1.2 Carcamo de bombeo

Las aguas residuales llegarán a lo que se denomina un cárcamo de bombeo, este tiene como función almacenar el agua residual provenientes de los tres emisarios submarinos, para ser bombeados al sedimentador primario.

En la tabla 9 se muestran los valores de diseño, para el cárcamo de bombeo que almacena el agua proveniente de las aguas pre tratadas.

Tabla 9 Carcamo de bombeo

Variable	Unidad	Valor
Q diseño	l/s	520,00
Tiempo de residencia	3,5	3,5

5.2.1.3 Decantación primaria

A continuación, las aguas son enviadas a un decantador primario, donde el objetivo es eliminar una parte importante de los sólidos en suspensión presentes en el agua residual la fase calificada está en la parte superior y los sólidos son decantados y retirados como fangos. La tabla 10 están los valores de diseño para el sedimentador.

⁷ La referencia bibliográfica en el diseño es Metcalf & Eddy (2003), Ramalho, R. (1977) y Qasim (2018)

⁸ Los valores de fosforo total son tomados a partir de la tabla 5-1 de (Qasim ,2018).

⁹ Los valores de nitrógeno total son tomados a partir de la tabla 5-1 de (Qasim ,2018).

Tabla 10 Datos diseño Sedimentador, adaptado Metcalf & Eddy (2003)

Variables	Unidades	Valores
No. de unidades	N	2
Flujo de alimentación, Q ₀	l/s	520
Caudal a tratar por sedimentador	S.D	260
Carga solidos (rango):	kg/m ² .d a Q promedio	70-120
Carga sólidos (diseño):	kg/m ² .d	90
Carga hidráulica:	m ³ /m ² -día	20
Carga sobre vertedor:	m ³ /m.d a Q promedio.	125
Sólidos suspendidos:	mg/L	20
Área del sedimentador	m ²	1.123
Radio del sedimentador	m	18,91
Diámetro	m	38
Sobredimensionamiento diámetro 10%	m	42
Área con sobredimensionamiento	m ²	1.360
Altura del cilindro	m	3 a 4
Volumen parte cilíndrica	m ³	4.757
Volumen parte cónica o tolva	m ³	705
Diámetro inferior	m	1,5
Altura cónica	m	1,5
Volumen total sedimentador	m ³	5.462

5.2.1.4 Diseño proceso anoxico y aeróbico.

A continuación, comienza la etapa biológica cuyo objetivo es remover materia orgánica expresada como DBO₅ o DQO, además de nitrógeno; una parte del nitrógeno se eliminará por asimilación de los microorganismos debido a sus necesidades metabólicas y otra por medio del mecanismo de nitrificación-desnitrificación.¹⁰

¹⁰ La metodología de cálculo es la proporcionada por Metcal & Eddy en su libro Wastewater Engineering, Treatment and Reuse, cuarta edición, Mac Graw Hill, 2003.

La etapa aerobia se diseña para remover materia orgánica a niveles que permitan cumplir con el máximo permisible para la calidad de agua regenerada categoría A de la **NCH 3483** que es de 10 mg/L de DBO, además de oxidar el nitrógeno amoniacal y transformarlo a nitratos para su posterior eliminación en la etapa de desnitrificación. La concentración máxima de nitrógeno permitida en el efluente es de 15 mg/L.

La etapa anóxica se diseña principalmente para remover nitratos por medio de su conversión a nitrógeno gas seguido de una etapa aerobia que se diseña para remover materia orgánica, además de nitrificar el nitrógeno amoniacal y orgánico, para realizar esto se consume una parte de materia orgánica.

Para el diseño del proceso anóxico-aerobio, se siguió el siguiente procedimiento:

1. Definir la calidad del agua residual.
2. Definir la calidad del agua residual tratada.
3. Calcular el SRT (tiempo de retención celular mínimo)
4. Selección de OD (oxígeno disuelto) mínimo para nitrificación.
5. Cálculo de la velocidad específica de crecimiento de bacterias nitrificantes.
6. Cálculo del SRT mínimo para nitrificación.
7. Cálculo del tiempo del SRT de diseño para nitrificación.
8. Cálculo de la producción de biomasa.
9. Cálculo de la cantidad de nitrógeno amoniacal y orgánico, oxidado a nitratos.
10. Cálculo de la masa de SSV (solidos suspendidos volátiles) y SST (solidos suspendidos totales) en el reactor aerobio.
11. Selección de un valor de diseño de los SSLM (solidos suspendidos en el licor de mezcla).
12. Cálculo del TRH (tiempo de retención hidráulico) en reactor aerobio.
13. Determinación de SSVLM (solidos suspendidos volátiles en el licor de mezcla).
14. Cálculo del volumen del reactor anoxico y aeróbico.

Calculo del tiempo de retención celular mínimo (SRT)

$$\mu_n = \left(\frac{\mu_{n,m} N}{K_n + N} \right) \left(\frac{DO}{K_o + DO} \right) - k_{dn} \quad [1]$$

Para el comenzar a calcular el tiempo de retención celular mínimo o SRT se tomaron los siguientes valores de diseño, los cuales se indican en la tabla 11.

Tabla 11 Parámetros de diseño

Parámetro	Unidad	Valor
Q	m ³ /d	44.928
Y	g SSV/g bDQO	0,4 ¹¹
S0	g/m ³ (bDQO)	317,89
k _d	g/g-d	0,088 ¹²
f _d	g/g	0,15
NOx	g/m ³	40
K _s	g/m ³	20 ¹³
μ _m	g nuevas células/g células-d	3,5 ¹⁴
Y _n	g SSV/gNOx	0,12 ¹⁵

Cálculo de la velocidad específica de crecimiento de bacterias nitrificantes está dada por la ecuación [1] y la tabla 12 indica los parámetros que se utilizaron para su cálculo.

Tabla 12 Parámetros para calcular la velocidad específica

μ _n	Tasa específica de crecimiento de bacterias nitrificantes
μ _{nm}	Tasa máxima de crecimiento de bacterias nitrificantes
N	Concentración de nitrógeno amoniacal a la salida del reactor
K _n	Constante de media velocidad, de concentración de sustrato, g/m ³
k _{dn}	Constante de decaimiento endógeno para nitrificación
K _o	Coefficiente de media saturación para OD (oxígeno disuelto), g/m ³
OD	Concentración de Oxígeno disuelto

¹¹ Metcal & Eddy. (2003). Treatment and Reuse. Mac Graw Hill, 4 Ed. Tabla 8-10

¹² Metcal & Eddy. (2003). Treatment and Reuse. Mac Graw Hill, 4 Ed. Tabla 8-10

¹³ Metcal & Eddy. (2003). Treatment and Reuse. Mac Graw Hill, 4 Ed. Tabla 8-10

¹⁴ Metcal & Eddy. (2003). Treatment and Reuse. Mac Graw Hill, 4 Ed. Tabla 8-10

¹⁵ Metcal & Eddy. (2003). Treatment and Reuse. Mac Graw Hill, 4 Ed.

Para poder sustituir los valores correctos en la ecuación [1] se calculan las constantes a la temperatura real cuyos valores se muestran en la tabla 13.

Tabla 13 Valores para las constantes de temperatura

Parámetro	Calculo	Unidad	Valor
$\mu_{n,m}$	$(0.75 \text{ g/g.d})(1.07)^{25-20}$	g nuevas células/g células-d	1,052
K_n	$(0.74 \text{ g/m}^3)(1.053)^{25-20}$	g/m^3	0,96
k_{dn}	$(0.08 \text{ g/g.d})(1.04)^{25-20}$	g SSV/g SSV - d	0,097

La tabla 14 se muestran los valores asociados a la ecuación [1] y el resultado para μ_n el cual es de 0,21 g/g-d.

Tabla 14 Valores para la ecuación [1]

Parámetro	Unidad	Valor
μ_{nm}	g nuevas células/g células-d	1,052
N	g/m^3	0,5
K_n	g/m^3	0,96
k_{dn}	g/g-d	0,097
OD	g/m^3	3^{16}
K_0	g/m^3	$0,5^{17}$
μ_n	g/g-d	0,21

Por lo tanto, el cálculo del SRT que viene dado por la ecuación [2] es de **4,72** días y corregido con un factor de seguridad (FS) de 1,5 el valor es de **7,08** días.

$$SRT = \frac{1}{\mu_n} \quad [2]$$

Cálculo de la producción de biomasa

La producción de biomasa dentro del reactor aerobio, está dada por la eliminación de materia orgánica por parte de los microorganismos heterótrofos primer término de la ecuación [3], restos celulares por efecto de la respiración endógena, segundo término de la ecuación [3] y la biomasa generada por la acción nitrificante de los microorganismos específicos, tercer término de la ecuación (3).

¹⁶ Metcal & Eddy. (2003). Treatment and Reuse. Mac Graw Hill, 4 Ed.

¹⁷ Metcal & Eddy. (2003). Treatment and Reuse. Mac Graw Hill, 4 Ed. Tabla 8-11

$$P_{X,bio} = \frac{QY(S_0-S)(1kg/10^3g)}{1+(k_d)SRT} + \frac{(f_d)(k_d)Q(Y)(S_0-S)SRT(1kg/10^3g)}{1+(k_d)SRT} + \frac{QY_n(NO_x)(1kg/10^3g)}{1+(k_{dn})SRT}$$

El término de Demanda Química de Oxígeno biodegradable en el efluente se calcula con la ecuación [4]

$$S = \frac{K_s[1+(k_d)SRT]}{SRT(\mu_m - k_d) - 1} \quad [4]$$

Donde los términos, para la ecuación [3] son:

Q: Flujo, m³/d

Y: Producción de lodo, g SSV/g DBO

S₀: Demanda Química de Oxígeno biodegradable en el agua residual, bDQO, g/m³

S: Demanda Química de Oxígeno efluente, bDQO, g/m³

SRT: Tiempo de residencia celular, d

f_d: Fracción de restos celulares generados por la respiración endógena.

k_d: Coeficiente de decaimiento endógeno, g/g-d

NO_x: Suma de nitratos y nitritos, mg/L

K_s: Concentración de sustrato a la cual se obtiene la V_{max}/2 de utilización de sustrato

Los valores de cada variable se describen a continuación en la tabla 15.

Tabla 15 Valores para el cálculo de biomasa

Variable	Unidad	Valor
Q	m ³ /d	44.928
Y	g SSV/g bDQO	0,23
S ₀	g/m ³ (bDQO)	289,73
k _d	g/g-d	0,088
SRT	d	7.080
f _d	g/g	0,15
NO _x	g/m ³	40
K _s	g/m ³	10
μ _m	g nuevas células/g células-d	3,5
Y _n	g SSV/gNO _x	0,12

Sustituyendo valores y resolviendo para S en la ecuación [4] el valor es **0,701 g/m³**

Substituyendo valores y resolviendo para P_{x_{bio}}

Biomasa generada por remoción de materia orgánica = **1.840 kg SSV/d**

Biomasa generada por la respiración endógena = **171,97 kg SSV/d**

Biomasa generada por nitrificación = **127,67 kg SSV/d**

Biomasa total generada (P_{x_{bio}}) = **2.140 kg SSV/d**

Considerando el cálculo del nitrógeno amoniacal y orgánico oxidado a nitrato lo entrega la ecuación [5]

$$NO_x = TKN - N_e - \frac{0.12P_{x,bio}}{Q} \quad [5]$$

Donde:

Nitrógeno total Kjeldah en el influente; TKN: 40 g/m³

Nitrógeno en el efluente; Ne: 15 g/m³

P_{x_{bio}}: 2.140 kg SSV/d

Q: 44.928 m³/d

NO_x : 19,28 g/m³

Por otra parte, el cálculo de la concentración y masa de SSV y SST en el reactor aerobio está dado por la siguiente expresión

$$Masa = P_x(SRT) \quad [6]$$

Y para el cálculo de concentración de SSV y SST en el reactor aerobio.

Se incluyen los SSV no biodegradables.¹⁸

$$P_{X, SSV} = P_{X,bio} + Q(nbSSV) \quad [7]$$

¹⁸ Se considera que los SSV representan el 85% del total de los SST que entran al sistema de tratamiento y que los SSV no biodegradables (nbSSV) son 1/3 de los SSV totales entrantes al sistema de tratamiento.

Donde:

SST: 98,4 g/m³

SSV: 83,6 g/m³

bSSV: 55,8 g/m³

nbSSV: 27,9 g/m³

Substituyendo valores $P_{x, ssv}$ es **3.392 kg/d**

Y para el cálculo del total de solidos producidos la ecuación a usar es:

$$P_{X, SST} = (P_{X,bio}/0.85) + Q(nbSSV) + Q(SST_o - SSV_o) \quad [8]$$

Donde:

$P_{x, SST} = 4.433 \text{ kg/d}$

Lodo que sale en el efluente: **1348 kg/d**

Lodo total generado: **3085 kg/d**

Por lo tanto, el cálculo de la masa de SSV y SST en el tanque de aeración está dada por las ecuaciones [9] y [10]

- **Masa de SSV**

$$(X_{SSV})(V) = (P_{X,SSV})SRT \quad [9]$$

$(X_{SSV})(V) = 24.016 \text{ kg}$

- **Masa de SST**

$$(X_{SST})(V) = (P_{X,SST})SRT \quad [10]$$

$(X_{SST})(V) = 31.383 \text{ kg}$

Se considera según Metcalf & Eddy (2003) una concentración de SSLM de 3000 mg/L, por lo tanto, el volumen del reactor biológico está en función de la siguiente ecuación

$$V = (P_{X, SST})SRT/X_{SST} \quad [11]$$

$$V = 10.461 \text{ m}^3$$

Por lo tanto, como diseño se considera un reactor biológico de 60 m de largo, 35 m de ancho, 5.0 m de altura útil 6 reactores.

El cálculo del tiempo de residencia hidráulico (TRH) en el tanque de aeración es:

$$TRH = V/Q \quad [12]$$

$$TRH = 5,58 \text{ horas}$$

El cálculo de la relación F/M y la carga orgánica volumétrica (CO) en base a la DBO están dadas por las ecuaciones [13] y [14]

$$F/M = \frac{Q S_o}{XV} \quad [13]$$

$$F/M = 0,40 \text{ d}^{-1}$$

$$CO_{BOD} = \frac{Q S_o}{V} \quad [14]$$

$$CO_{BOD} = 0,91 \text{ kg/m}^3\text{-d}$$

La ecuación para encontrar la producción de sólidos en relación con la DBO removida es tanto en función de los SST y SSV viene dada por la ecuación [16] y [17].

$$bCOD = Q(S_o - S) \quad [15]$$

$$bCOD = 12.985 \text{ kg/d}$$

$$Y_{obs, TSS} = P_{X, SST}/bCOD \quad [16]$$

$$P_{X, SST} = 4.433 \text{ kg/d}$$

$$Y_{obs, TSS} = 0,341 \text{ g SST/g bCOD}$$

$$Y_{obs, TSS} = 0,546 \text{ g SST/g DBO}$$

$$Y_{obs, SSV} = P_{X, SSV}/bCOD \quad [17]$$

$$P_{x,SSV} = \mathbf{3.392 \text{ kg/d}}$$

$$Y_{obs,SSV} = \mathbf{0,261 \text{ g SSV/g DBO}}$$

$$Y_{obs,SSV} = \mathbf{0,418 \text{ g SSV/g bCOD}}$$

El cálculo de la concentración de la biomasa activa en el reactor se representa por la siguiente ecuación.

$$X_b = \left[\frac{Q \text{ SRT}}{V} \right] \left[\frac{Y(S_0 - S)}{(1 + k_d \text{ SRT})} \right] \quad [18]$$

Donde:

$$Q = 44.928 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\text{SRT} = 7,08 \text{ d}$$

$$V = 10.461 \text{ m}^3$$

$$Y = 0,261 \text{ g SSV/g DBO}$$

$$S_0 = 289,72 \text{ mg/L de DQO}$$

$$S = 0,7 \text{ g/m}^3$$

$$k_d = 0,09 \text{ g/g-d}$$

$$\mathbf{X_b = 1415 \text{ g/m}^3}$$

El cálculo de para encontrar la recirculación interna en el estanque aeróbico es:

$$R = \frac{SSLM}{X_r - SSLM} \quad [19]$$

$$SSLM = 3.000 \text{ mg/L}$$

$$X_r = 10.000 \text{ mg/L}^{19}$$

$$\mathbf{R = 0,43 = 43\%}$$

¹⁹ Según Metcal & Eddy. (2003) se considera un rango de 4000 a 12000 mg/L

Cálculo de la recirculación interna IR

La concentración de nitratos en el reactor aerobio se establece en 19.28 mg/L ver ecuación [5], esta es la misma concentración de salida, por ser un reactor de mezcla completa.

$$IR = \left(\frac{NO_x}{N_e} \right) - 1 - R \quad [20]$$

$$NO_x = 19,28 \text{ mg/L}$$

$$R = 0,43$$

Substituyendo valores

IR = -0,143 (por lo tanto, no hay recirculación interna en el diseño al tener un resultado negativo)

Para obtener el cálculo de la cantidad de nitratos alimentados al reactor anóxico. Es decir, el flujo total de recirculaciones nitrificadas esta es a partir de la siguiente ecuación.

$$Q (IR + R) = 12.834 \text{ m}^3/\text{d} \quad [21]$$

Por ende, el cálculo del volumen del reactor anóxico sigue el siguiente procedimiento de obtención, consideramos un TRH = 2.0 h

$$V = TRH(Q) \quad [12]$$

$$V = 3.744 \text{ m}^3$$

Cálculo de la relación F/M en el reactor anóxico

$$F/M_b = \frac{QS_o}{V_{anox}X_b} \quad [22]$$

Substituyendo valores.

$$F/M_b = 1,80 \text{ g/g-d}$$

Si consideramos la velocidad de desnitrificación como lo indica la figura 6 (specific denitrification rate) SDNR y se considera que la relación $rbDQO/bDQO = 40\%$

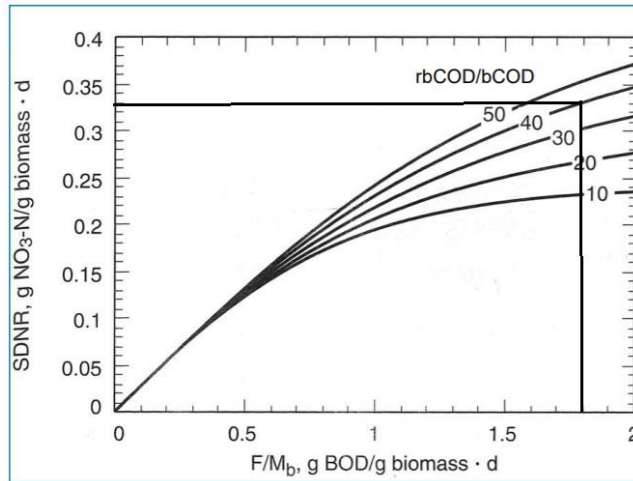


Figura 5 Grafico para la determinación de la velocidad de desnitrificación. Fuente: Metcalf & Eddy, (2003).

Con un valor de F/M de 1.80 g/g-d, se obtiene un SDNR de **0,33 g NO_3^- /g SSV-d.**

Corrigiendo por temperatura, con un factor de 1.026 (para 25°) el valor es de **0,38 g NO_3^- /g SSV-d.**

Cálculo de la cantidad de nitratos que puede ser reducido está dado por la siguiente ecuación.

Considerando un TRH de: 2.0 h

$$NO_r = V_{nox}(SDNR)(SSVLM) \quad [23]$$

$$NO_r = \mathbf{1.987kg/d}$$

Considerando la cantidad estimada de que entran de nitratos al reactor anóxico de 247.5 kg/d se considera un tiempo de retención de 2 horas.

El cálculo del requerimiento de oxígeno en la etapa aerobia corresponde a la ecuación [23]

$$R_o = Q(S_o - S) - 1.42P_{X,bio} + 4.33Q(NO_X) \quad [23]$$

Substituyendo valores:

$$Q: 44.928.0 \quad m^3/d$$

So: 289,7 g/m³ (bDQO)

S: 0,7 g/m³

P_{x,bio}: 2.139.8 kg/d

NO_x: 19,3 g/m³

Por lo tanto, el requerimiento de oxígeno es:

R_o: 13.699 kg/d

El oxígeno generado en la etapa anóxica está dado por la ecuación [24]

$$O_2 = \left(\frac{2.86 \text{ g } O_2}{\text{g } NO_{3-N}} \right) (NO_{xi} - NO_{xe}) * Q \quad [24]$$

NO_{xi}: 19.3 g/m³

NO_{xe}: 15.0 g/m³

Q: 44,928.0 m³/d

Donde:

O_{2anoxic}: **550.6 kg/d**

Y el cálculo del oxígeno neto requerido es **O₂: 13147.9 kg/d**

Cálculo del flujo de aire

La ecuación que relaciona los requerimientos de oxígeno para satisfacer la demanda, con la cantidad real a suministrar es la siguiente expresión.

$$AOTR = SORT \left(\frac{\beta C_{s,TH} - C_L}{C_{s,20}} \right) (1.024^{T-20})(\alpha)(F) \quad [25]$$

AOTR: Requerimientos real de oxígeno

SOTR: Oxígeno que se requiere suministrar para obtener el AOTR requerido, 20°C

C_{s,TH}: Concentración promedio de saturación de oxígeno en el reactor aerobio.

C_L: Concentración de oxígeno de operación en el reactor aerobio

C_{s,20}: Concentración de saturación en agua limpia a 20°C y 1 atm.

α : Factor de corrección de transferencia de oxígeno para las características del agua real.

β : Factor de corrección por tensión superficial por efecto de la salinidad.

F = Factor de corrección por ensuciamiento de difusores, valores típicos de 0.65 a 0.9

El cálculo de la concentración de saturación de oxígeno en condiciones reales corresponde a la siguiente ecuación.

$$C_{\bar{s},TH} = C_{S,TH} \left[\frac{1}{2} \left(\left(\frac{P_b}{P_{atm,H}} \right) + \frac{O_t}{21} \right) \right] \quad [26]$$

$C_{s, TH}$: Concentración promedio de saturación de oxígeno para agua limpia a temperatura T y altitud H

P_b : Presión a la altura de salida de aire

$P_{atm, H}$: Presión atmosférica a altitud H

O_t : Porcentaje de oxígeno en el aire que sale del reactor aerobio

Primero calculamos la relación de presiones, para la corrección de la concentración de oxígeno mediante la siguiente ecuación:

$$\frac{P_b}{P_a} = \exp \left[\frac{-gM(z_b - z_a)}{RT} \right] \quad [27]$$

P_b : Presión atmosférica en el sitio (lugar donde estará la planta de tratamiento)

P_a : Presión atmosférica a nivel de mar.

La tabla 16 indica los parámetros considerados para el cálculo de la saturación de oxígeno según la elevación del sitio de operación de la planta de tratamiento que en nuestro caso es la comuna de Quintero.

Tabla 16 Parámetros para el cálculo de saturación de oxígeno

Parámetro	Unidad	Valor
Gravedad (g)	m/s ²	9.81 ²⁰
Peso molecular del aire (M)	kg/kg-mol	28.97 ²¹

²⁰ Metcal & Eddy. (2003). Treatment and Reuse. Mac Graw Hill, 4 Ed. Apéndice B

²¹ Metcal & Eddy. (2003). Treatment and Reuse. Mac Graw Hill, 4 Ed. Apéndice B

Constante de los gases ideales (R)	N.m/kg-mol-K	8314 ²²
Temperatura (T)	K	286.75 ²³
Elevación a la que se encuentra la planta (zb)	msnm	9 ²⁴
Elevación del nivel del mar (za)	msnm	0

Substituyendo valores en la ecuación [27]

$$\frac{P_b}{P_a} = 1,0$$

La concentración de saturación del oxígeno en agua a 25 °C y 1 atm es de 8.4 mg/L²⁵, por lo tanto, la corrección para la saturación según ecuación es de **8,4 mg/L**.

Por otra parte, para el cálculo de la presión atmosférica en metros de columna de agua en el sitio (lugar) y a una temperatura del sitio está dado por:

$$P_{atm, Hm} = \frac{(P_b/P_a)(P_{atm,H})}{\gamma} \quad [28]$$

$$P_{atm, Hm} = \mathbf{10,3 \text{ m}}$$

Para el cálculo de la concentración de saturación de oxígeno a las condiciones del sitio consideramos las siguientes variables y sustituimos en ecuación [26]

- Altura de agua en reactor aerobio de 5,0 m
- Concentración de oxígeno en el aire saliente del reactor aerobio según Metcal & Eddy (2003) del 18 %.

Donde:

$C_{s,TH}$: 8,40 mg/L

P_b : 15,3 m (incluye la altura del agua)

$P_{atm, H}$: 10,3 m

²² Metcal & Eddy. (2003). Treatment and Reuse. Mac Graw Hill, 4 Ed. Apéndice B

²³ Climate-Data. OrG. (2021). <https://es.climate-data.org/americas-del-sur/chile/v-region-de-valparaiso/valparaiso-1005664/>

²⁴ Se considera 9 msnm como la altitud media, dato recogido de la página web de la Ilustre Municipalidad de Quintero, <https://www.la-municipalidad.cl/municipalidad-quintero.html>

²⁵ Metcal & Eddy. (2003). Treatment and Reuse. Mac Graw Hill, 4 Ed. Apéndice B y C

O_t : 18,0 %

Substituyendo valores:

$$C_{s, TH} = \mathbf{9,83 \text{ mg/L}}$$

El cálculo del aire real a suministrar está dado por la siguiente ecuación

$$SOTR = AOTR \left[\frac{C_{s,20}}{\alpha F (\beta C_{s, TH} - C_L)} \right] (1.024^{20-T}) \quad [29]$$

AOTR: 547.8 kg O₂/h

$C_{s, TH}$: 9,8 g/m³

C_L : 2,0 g/m³

$C_{s,20}$: 9,08 g/m³

α : 0,65

β : 0,95

F: 0,9

$$SOTR = \mathbf{990,3 \text{ kgO}_2/\text{h}}$$

Con esto podemos calcular del flujo de aire a suministrar por los sopladores, el cual está dado por la siguiente ecuación.

$$Q_{aire} = \frac{SOTR}{E * C_{p/v}} \quad [30]$$

SOTR: 990,3 kg O₂/h

E: 0,35 Eficiencia de los difusores²⁶

$C_{p/v}$: 0,27 kg O₂/m³ aire

Cantidad de oxígeno por m³ de aire

Substituyendo valores en [30]

²⁶ Metcal & Eddy. (2003). Treatment and Reuse. Mac Graw Hill, 4 Ed.

$$Q_{\text{aire}} = 10.497 \text{ m}^3/\text{h} = 6168 \text{ Pie}^3/\text{min}$$

Por otra parte, el cálculo de aire por requerimientos de mezcla del tanque de aireación y manteniendo los SSVLM es un valor de 20 a 30 m³/10³ m³-min según Metcal & Eddy (2003).

Considerando 25 m³/10³ m³-min: 4,0 m³/10³ m³-min

Volumen de aire: 251,1 m³/min

Aire por bomba airlift: 8,0 pie³/min

No. de bombas airlift: 6,0

Total, de aire para airlift: 48,0 pie³/min

Aire total: = 15.144 m³/h = 8913.5 pie³/min

Por lo tanto, la cantidad de difusores que se necesitan estará dado por la siguiente ecuación:

$$N = AT / Q_d \quad [31]$$

Donde

N: es la cantidad de difusores

AT: El caudal total de aire requerido

Q_d : Es el caudal proporcionado por cada difusor

N = 3509 difusores total²⁷ para los 6 reactores

Por lo tanto, para cada reactor se considera una cantidad de **584** difusores.

5.2.2.5 Calculo del sedimentador secundario

Para el cálculo del sedimentador secundario se tomaron los datos de diseño se muestran en la tabla 17.

Tabla 17 Datos de diseño Sedimentador Secundario

Parámetro	Unidad	Valores
Caudal de diseño	m ³ /d	44928

²⁷ Los parámetros de diseño del difusor y características técnicas están dados por el modelo RG-300 de 12" de diámetro de la marca REPICKY

Carga sólidos (diseño)	kg/m ² .d	144
Carga hidráulica (CHS)	m ³ /m ² -día	15
Carga sobre vertedor	m ³ /m.d a Q promedio.	125
Sólidos suspendidos	mg/L	3000

Fuente: Adaptado según Metcalf & Eddy (2003)

El cálculo de área necesaria por carga hidráulica está dado por la siguiente ecuación

$$\text{Área} = Q / CHS \quad [32]$$

$$\text{Área} = 2995.2 \text{ m}^2$$

Y el cálculo de área necesaria por carga de sólidos es según la ecuación:

$$\text{Área} = Q * SST / \text{Carga de sólidos} \quad [33]$$

$$\text{Área} = 936.0 \text{ m}^2$$

Se selecciona el área mayor = **2995.2 m²**

Para el cálculo de longitud de vertedero consideramos la ecuación

$$L \text{ ver.} = Q / \text{Carga vertedero} \quad [34]$$

$$L \text{ ver} = 359.4 \text{ m}$$

Para efectos constructivos considerar los valores de la tabla 18.

Tabla 18 Valores constructivos para el Sedimentador Secundario

No. de unidades	Nº	6
Área superficial	m ²	499
Largo	m ²	39
Ancho	m ²	13
Altura útil	m ²	3,4
Altura útil lado recto	m ²	1,7
Altura de tolvas	m ²	1,7

Por otra parte, el cálculo y el tiempo de residencia del sedimentador están indicados en la tabla 24

Tabla 19 Volumen y tiempo de residencia Sedimentador Secundario

Volumen de paralelepípedo	m ³	282,9
Volumen de una tolva	m ³	95,8
Volumen total de tolvas	m ³	574,7
Volumen total útil	m ³	2271,9
Tiempo de residencia hidráulica	h	1,21

La calidad del agua tratada en la línea de agua está dada por la tabla 20, la cual es tratada por el tratamiento terciario, para obtener las aguas regeneradas.

Tabla 20 Datos del agua tratada

Parámetro	Unidades	Valores
Temperatura	°C	10 a 40
Grasas y Aceites	mg/L	0
Materia Flotante	Pres/aus	Ausente
Sólidos Sedimentables	ml/l	1
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	40
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	10
Nitrógeno Total	mg/L	15
Fósforo Total	mg/L	5

5.2.2.6 Dimensionamiento de la línea de lodos

Para el cálculo de los fangos que son enviados proceso de espesado se toman las concentraciones de la purga de lodos del sedimentador primario y el de la purga de lodos del reactor biológico. Se toman en base a los cálculos desarrollados, considerando que los sólidos volátiles de entrada corresponden al 85% de los sólidos totales presentamos el siguiente cuadro para el cálculo.

La tabla 21 se indican los flujos másicos en la línea de fangos a considerar

Tabla 21 Fangos de entrada al espesado

Origen del fango	Concentración %	Purga de fangos (kg/h)	Caudal (m ³ /h)
Fangos primarios	1.5	49,92	3,33
Fangos biológicos	3	78,44	2,61
Fangos totales		128,36	5,94

Los tratamientos de fangos a la salida del espesado se muestran en la tabla 24, donde se considera que estos tengan una concentración de un 6% para esto se dosifica un polielectrolito con una dosificación de 1 kg por tonelada de materia seca.

Tabla 22 Fangos a la salida del Espesador

VARIABLES	UNIDADES	VALORES
Caudal salida	m ³ /h	2,14
Purga de fangos	kg/h	128,36
Caudal de agua a cabeza de planta	m ³ /h	3,80

Estabilización de fangos

Los fangos producidos a la salida del espesador son tratados por medio de una digestión anaeróbica con el objetivo de estabilizar la materia orgánica.

Se consideran 2 digestores (ver figura 6), anaeróbicos con diferentes tiempos de retención uno primario y otro secundario con tiempos de retención de 20 y 10 días respectivamente.

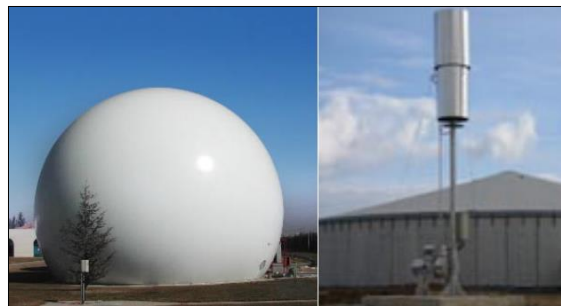


Figura 6 Digestor típico para la línea de fangos

El Volumen de los digestores es representado por la siguiente ecuación y se considera la relación para el diámetro y la altura es de 1,5: 1

$$V(m^3) = Q(m^3/dias) * tr(dias) \quad [35]$$

Los digestores serán tanques cerrados, de forma cilíndrica y de mayor diámetro que altura, construidos en hormigón. La solera y la cubierta superior tendrán forma troncocónica. Las dimensiones de ambos digestores son las siguientes que se indican en la tabla 23.

Tabla 23 Parámetros Digestor Línea de Fangos

Parámetro	Digestor primario	Digestor secundario
Tiempo de retención	20	10
Volumen unitario	1026.85	513.42
Altura	8.35	6.62
Diámetro	12.52	9.94

Deshidratación por centrifugación

La deshidratación de los fangos digeridos es realizada por medio de una centrifuga que trabaja con un caudal de 5m³/h. Los fangos estabilizados provienen del digestor secundario, se le adiciona una dosis de polielectrolito de 4 kg por tonelada de materia seca. Los sólidos deshidratados tendrán un % de solidos de un 25%, la figura 8 muestra un equipo centrifuga similar al que se proyecta en el trabajo de TFM.



Figura 7 Equipo Centrifuga para uso en el Espesado y Deshidratado Línea de Fangos. Fuente: Catalogo de equipos empresa Hiller

5.2.2.7 Dimensionamiento línea de agua regenerada

En el tratamiento de las aguas regeneradas serán tratadas según analítica correspondiente a la tabla 22, para obtener un agua con una calidad, para cumplir la categoría A de la NCH 3483 y un caudal medio de 520 l/s.

Coagulación

El tratamiento de las aguas regeneradas comienza con la coagulación el cual tiene como objetivo el desestabilizar cargas coloidales, por medio de la neutralización de sus cargas, para formar un coagulo que posterior a la floculación es sedimentado.

Para el proyecto de TFM el proceso de coagulación se considera los parámetros de la tabla 24, donde básicamente un estanque de contacto tiene una capacidad de tiempo de retención de 1 o 2 minutos para el caudal indicado de 520 l/s.

Tabla 24 Diseño estanque de Coagulación

Parámetro	Unidad	Valores
Tiempo de retención	s	120
Caudal	l/s	520
Volumen	m ³	62.4
Volumen + Factor de seguridad	m ³	74.88
Altura	m	7.79
Diámetro	m	3.5
Radio	m	1.75
Altura adicional (0,4m)	m	8.19

La dosis del coagulante se determinó de acuerdo con los estudios de (Carrasco, 2007) es de 5 ppm de FeCl₃.

Floculación

A continuación, tenemos la unidad de floculación que tiene la función de aumentar el tamaño de los coágulos a flóculos y mejorando la cohesión para luego sedimentar.

Para el estanque de floculación los valores de diseño están en la tabla 25 en el cual se muestra que los tiempos de retención son mayores a la coagulación como consecuencia hay un mayor número de estanques. Se consideran 4 estanques de contacto con una dosis de 0,3 ppm de floculante de acuerdo con los estudios de (Carrasco, 2007) a una agitación lenta y suave a 30 rpm.

Tabla 25 Diseño estanque de Floculación

Parámetro	Unidad	Valores
Tiempo de retención	s	1.200
Caudal	l/s	520
Volumen	m ³	156
Volumen + Factor de seguridad	m ³	187,2
Altura	m	16,22
Diámetro	m	3,5
Radio	m	1,75
Altura adicional (0,4m)	m	16,62
Cantidad de estanques		4

Decantación

En la decantación como se comentó tiene la función de eliminar esa carga de sólidos tratados en la coagulación y floculación, en este proceso se consideran decantadores lamelares, para la recolección de los flóculos, este equipo es compacto y con necesidades de superficie menores.

Se estima una velocidad de sedimentación de 0,8 m/s, en la tabla 26 se aprecian los parámetros y modelo del sedimentador.

Tabla 26 Características Sedimentador Lamelar

Características	Unidad	Valores
Modelo	S.D	Decla-18
Tipo de sedimentador	S.D	Lamelar
Geometría	S.D	Hexagonal
Caudal	m ³ /h	2100
Ancho	mm	2.2
Largo	mm	10.1
Alto	mm	3.7
Área específica	m ² /m ³	16
Diámetro hidráulico	m	0,051
Cantidad		9 unidades en servicio y una en mantenimiento

Filtración

Posterior a la decantación se efectúa una filtración sobre un medio filtrante el agua se hace pasar por este quedando retenidas las partículas obteniendo un agua con la calidad deseada al ser estos lechos altamente eficientes. Se utilizan filtros horizontales a presión menor a las de 3 bar con un diámetro de 1,5 m colocados en posición horizontal. Ver tabla 27 y el lavado de estos en tabla 28 para el diseño de estos y la figura 8 muestra un típico filtro del tipo horizontal.

El cálculo del área que necesita el filtro está dado por la siguiente ecuación:

$$\text{Superficie}(m^2) = \text{Caudal}(m^3 / h) / \text{Velocidad}(m^3 / m^2 h) \quad [33]$$

Tabla 27 Datos d diseño Filtros Horizontales

Variable	unidad	valores
Superficie	m ²	78
Caudal total	m ³ /h	1872

Velocidad media	m ³ /m ² h	4
Cantidad de filtros en operación	Un	6
Caudal por filtro	m ³	312
Radio	m	1.5
Altura	m	6.8

Tabla 28 Parámetros para el lavado de los Filtros Horizontales

Método	Velocidad de lavado (m/h)	Tiempo de lavado (minutos)
Sólo Agua	60 (50-70)	15-20
Agua +	Agua > 20 (12-30)	10-12
Aire	Aire 50 (40-80)	1-5

Fuente: Filtración por medio granular, Universidad de Coruña



Figura 8 Filtro Horizontal, Fuente: Catalogo de equipos empresa Simtech Ltda.

Tratamiento por Oxidación Avanzada

En la salida de los filtros de multimedia se instalarán en la línea hacia el estanque de acumulación de aguas regeneradas reactores de oxidación avanzada, los cuales están fabricados en dióxido de titanio, en cuyo interior se producen radicales hidroxilo por fotocátalisis heterogénea en el interior hay una batería de lámparas UV, esta tecnología nos ayuda a la eliminación bacterias, virus, hongos, esporas y el degradar la materia orgánica por lo tanto potencia la degradación de los posibles contenidos de contaminantes emergentes.

Los parámetros de diseño del reactor, para la oxidación avanzada se encuentra en la tabla 29.

Tabla 29 Parámetros de diseño de equipo para oxidación avanzada

Característica	Unidades	Valores
Modelo h2o.Titanium		AOP 500 MHQ
Caudal máx.	m3h	500
Caudal min.	m3h	200
Potencia lámpara uv	W	105
Cantidad de lámparas	Nº	48
Potencia instalada	W	5680
IP		55
Diámetro nominal	DN	DN300
Distancia entre ejes	mm	495
Distancia entre bridas	mm	866
Presión nominal	PN	5
Perdida de carga	bar	0.2
Peso	kg	124
Cantidad de equipos	Nº	4



Figura 9 Reactor de dióxido de titanio , para efectuar desinfección por oxidación avanzada Fuente: Empresa H₂O Titanium.

Desinfección de mantenimiento

Para mantener una desinfección residual se considera una de mantenimiento con hipoclorito de sodio. En la etapa de desinfección se diseñan dos reactores del tipo de ascendente-descendente²⁸ con una dosis de hipoclorito de sodio de 2 mg/L.

La tabla 30 se indican las características del de diseño del canal de desinfección y la figura 10 un típico canal para este uso.

²⁸ Los criterios establecidos por el Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants

Tabla 30 Diseño de canal de desinfección

Parámetros	Unidades	Valor
Caudal total	m ³ /d	44928
Cantidad de reactores	Un	2
Caudal a tratar	m ³ /d	22464
Ancho de canal(W)	m	2.5
Altura útil	m	2.5
Largo de canal	m	76
Relación L/W ²⁹		30.4
Volumen útil	m ³	475
Tiempo de residencia	h	0.51
Tiempo de residencia	min	30.45

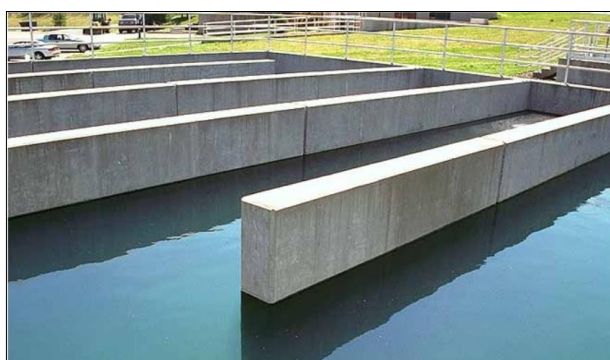


Figura 10 Canal de desinfección de mantenimiento

5.2.3 Costos

Los costos asociados para el proyecto, para efectos del TFM están relacionados a los costos de inversión, para la línea de agua, línea de fangos y la línea de aguas regeneradas.

Nos e incluyen los costos de amortización, el costo equivalente anual, costos de conducción, distribución y almacenaje de las aguas regeneradas

Costos de inversión

El costo de inversión del proyecto incluye los equipos, para la línea de aguas, línea de fangos y la planta de aguas regeneradas donde los montos que destacamos son los que se indican en la tabla 31.

²⁹ La relación L/W se recomienda de 20 y de preferencia 40 como mínimo para asegurar un flujo pistón.

Tabla 31 costos de inversión ERAR

Costos de inversión	
Costos de inversión del equipamiento	USD 8,086,511
Costos de inversión de las obras civiles	USD 4,263,751
Total Costo de inversión	USD 12,350,262

En estos costos no están incluidos los colectores, el emisario, la distribución y conducción del agua regenerada, el tanque de tormenta, la conexión a la energía eléctrica. En el anexo III desde las tablas 16 a la 19 se incluyen en detalle los costos de inversión asociados.

Costos de operación

Dentro de los costos de operación se considera que la ERAR (Estación Regeneradora de Agua Residual) va a recibir un caudal y calidad de agua estable dentro de estos costos se están considerando por separado según la línea de tratamiento.

- Línea de agua
 - Línea de fangos
 - Línea de aguas regeneradas
 - Costo de personal
1. Línea de agua se considera: mantenimiento de reactores anoxico, aerobio, sopladores, tuberías, recambio de difusores, instrumentación, disposición de residuos generados y consumo de energía eléctrica³⁰ (anexos IV tabla 51).
 2. Línea de fangos: Inyección de químicos en el espesado y el deshidratado, mantención de equipos como espesador, centrifuga, preparador de polímeros, bombas, instrumentación, disposición de residuos generados³¹ y consumo de energía eléctrica (anexo IV tabla 52).

³⁰ El costo de energía eléctrica es de \$ 88,58/kW según la Compañía General de Electricidad (CGE) con fecha del 01 de agosto del año 2021

³¹ Para la generación de residuos se tomaron los siguientes valores

6 m³ para la etapa de desbaste cada 10⁵ m³ de agua tratada

2 m³ para las arenas cada 10⁵ m³ de agua tratada

3. Línea de aguas regeneradas: Inyección de químicos coagulante, floculante, mantenimiento de desinfección con hipoclorito de sodio, cambio de medios filtrantes, reposición de lámparas ultravioleta en el sistema de oxidación avanzada, mantenimiento de equipos como reactores, instrumentación, disposición de residuos generados y consumo de energía eléctrica (anexo IV tabla 52).
4. Es importante destacar que para el funcionamiento de la planta se considera un costo fijo de personal encargado de la operación el cual consiste en: Un jefe de planta, cuatro jefes de turno, cuatro operadores de sala de control, dos electromecánicos en mantención turno fijo, ocho personas que, por turnos encargados de la seguridad de la planta, todos ellos repartidos en cuatro turnos rotativos para cumplir una operación de 365 días al año (tabla 32 y anexo IV tabla 52).

Tabla 32 Costos operacionales ERAR

Líneas de tratamiento	Unidad	Valores
Línea de Agua	U\$\$/m ³ de agua tratada	0.052
Línea de fangos	U\$\$/m ³ de lodo tratado	1.537
Línea de agua regenerada	U\$\$/m ³ de agua regenerada	0.0991
Personal de Planta	U\$\$/m ³ de agua tratada	0.023
Costo total	U\$\$/m³ de agua tratada	USD 1.71

6.0 DISCUSIÓN

En lo que respecta a la discusión de resultados estos se desarrollan según los objetivos de este trabajo de fin de máster.

Tratamiento y calidad de las aguas regeneradas

Un sistema de tratamiento de aguas regeneradas siguiendo una correcta pauta de tratamiento por medio de un reactor anoxico y aeróbico para mantener el control de nutrientes, seguido en un tratamiento de las aguas regeneradas según actual normativa chilena **NCH3483** se obtiene un agua de calidad apta para que los cultivos agrícolas.

0,5 m³ para las grasas cada 10⁵ m³ de agua tratada

En el caso de este trabajo el cultivo seleccionado es el Palto o Aguacates nos entregan una calidad de agua apropiada.

Cabe destacar que dentro de las variables que necesitábamos tener para una buena calidad del agua que se necesita en el cultivo (ver tabla 12) son los cloruros, los cuales para este proyecto no están reflejados en las analíticas y son importantes para el desarrollo del cultivo.

El pH en los reactores aeróbicos desciende valores menores de 6 por lo que en los sistemas es necesario la adición de alcalinidad para fijar el pH en un rango de 7,5 a 8 (Shamman, 1986) y posteriormente con la adición de coagulantes compuestos de cloruro férrico los cuales disminuyen el pH del agua, es importante tener un control de este parámetro para poder obtener una calidad de agua deseada para el cultivo.

Volumen de aguas para riego a suministrar.

En lo que respecta a los volúmenes de aguas regeneradas que se producen en un año tenemos un volumen de 16.398.720 m³ es decir 16,39 hm³ al año y la capacidad de cultivos de paltos o aguacates que tiene la zona de Petorca según tabla 11 son 4.806,9 ha.

Por otra parte, el volumen que se requiere por cultivo en una temporada es de 7.000 m³/ha/año a 16.000 m³/ha/año, por lo que la cantidad de hectáreas que podríamos suministrar con las aguas regeneradas están entre 2.342,6 ha y 1.024,9 ha lo que representa entre un 48,73% a un 21,32% del consumo que tiene la provincia de Petorca.

Considerando un nivel tecnológico bajo en riego por hectárea se estima que se pueden producir 13.000 kilos de palta/ha (Asagrin, 2007) eso equivale a 30.453 t a 13.312 t de paltas regadas con la planta proyectada.

Importante destacar es que si se utilizan el total de las aguas residuales que son descargadas vía emisarios submarinos en la región de Valparaíso el cual alcanza un caudal de 2,6 m³/s (Fundación Chile , 2016) que es equivalente a 81,99 hm³/año con un valor de 7.000 m³/ha/año como demanda se alcanza una capacidad de riego de 11.713 ha de cultivos superando la demanda que necesita el cultivo de la palta y el aguacate mínima por temporada en la provincia de Petorca y abasteciendo un 82,78% de la superficie apta para riego de la provincia.

Costos asociados a la producción de aguas regeneradas

Los costos de las aguas regeneradas tienen un valor de USD 1,71 US\$/m³ el cual respecto a los valores comparativos respecto a la desalinización como fuente de alternativa para el costo operacional es mayor al máximo comentado que es de un 1,2 US\$/m³.

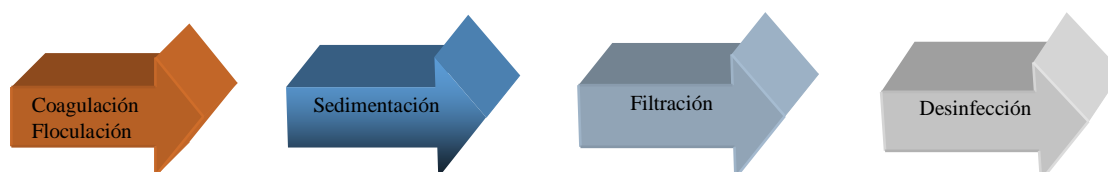
El costo operacional es elevado con un aporte de más de un 90% al costo del tratamiento de la línea de fangos.

7.0 CONCLUSIONES

La conclusión más importante de mencionar es que el reúso del agua es un factor muy relevante para considerar en momentos en que el país está viviendo una de las mayores seguía de su historia a causa principalmente al cambio climático, el cual ha traído como consecuencias una disminución del aporte de agua en las precipitaciones promedio que se tenían.

En este ámbito el avanzar con el uso de las aguas regeneradas implica una alternativa real tanto en calidad de agua y volumen, para el aporte de la demanda agrícola en zonas como la provincia de Petorca que son reconocidamente afectadas.

En lo referente a la calidad de del agua para regar paltos y cumplir con la categoría A de la normativa de las aguas regeneradas, establecemos el siguiente tratamiento de regeneración que asegura una calidad adecuada.



Por otra parte, el avanzar en bajar los costos operacionales, implica optimizar la operación, realizar adecuados estudios de conducción del agua regenerada, complementar con el uso de energías renovables y que la misma planta de aguas residuales genere un reúso de sus recursos energéticos apuntarán a bajar estos costos.

Para el presente trabajo de TFM se concluyó que la línea de fangos tiene el mayor costo operacional por el consumo energético de los procesos de espesado y de deshidratación. Por otra parte, el costo mensual mayor lo tiene la línea de aguas regeneradas, valor que es marcado por el consumo energético del bombeo entre etapas del tratamiento regenerativo. En los gráficos 1 y 2 se puede visualizar la tendencia.

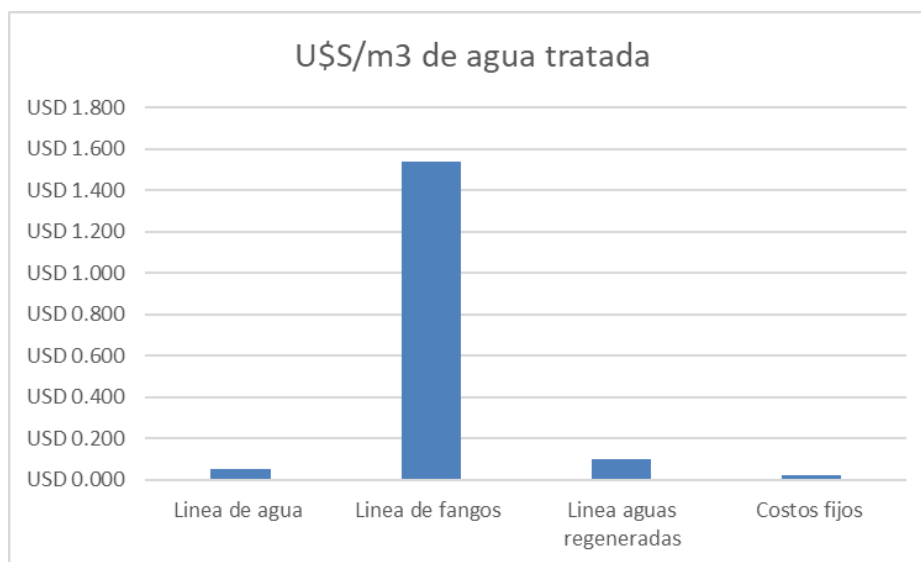


Gráfico 1 Costos operacionales ERAR

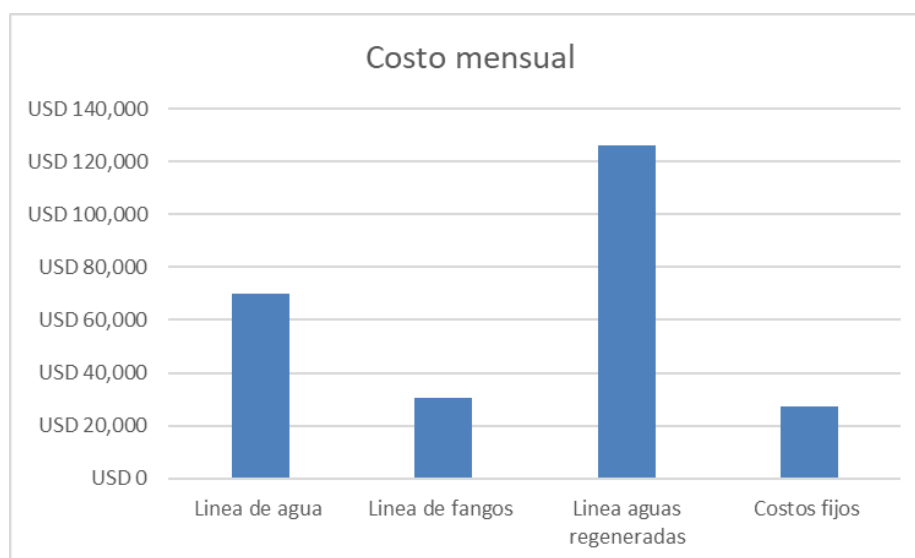


Gráfico 2 Costos mensuales ERAR

Los costos de inversión del proyecto son muy similares para las líneas de tratamiento de agua y línea de tratamiento de aguas regeneradas un 45% y un 42% respectivamente, considerando que los costos energéticos son independientes en este análisis. En la tabla 33 y en la figura 3 se muestran los costos y los porcentajes para cada línea de tratamiento.

Tabla 33 Costos de inversión por línea de tratamiento

Costos de inversión ERAR	U\$S
Costos línea de agua	USD 5,619,074
Costos línea de fangos	USD 836,749
Costos línea aguas regeneradas	USD 5,183,961
Costos Eléctricos	USD 710,478
Total inversión	USD 12,350,262

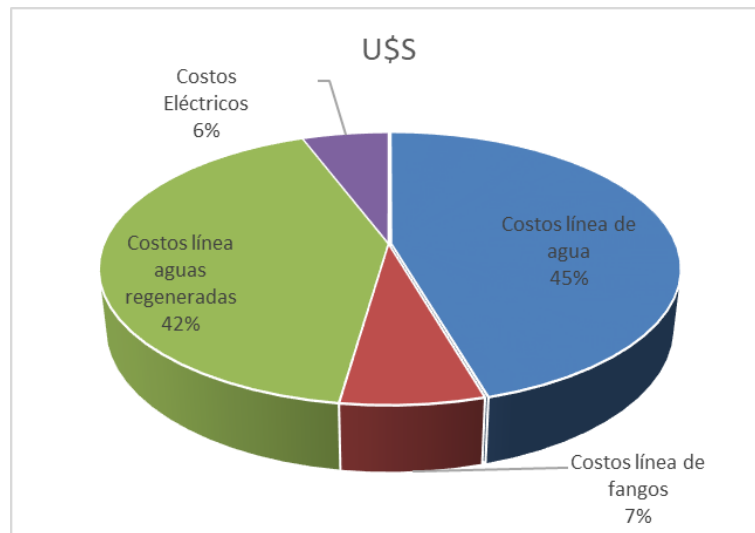


Gráfico 3 Costos de Inversión ERAR

El diseñar adecuadamente los sistemas de aguas residuales para obtener una buena calidad de aguas regeneradas el cual debe ser complementado con un monitoreo frecuente en base a la normativa actual, son factores a considerar para mejorar las actuales plantas o diseñar los nuevos proyectos de este tipo, pensando en que el recurso tendrá un destino final de reúso, el cual no necesariamente es agrícola, también está el uso en otras aplicaciones como lo es ornamentales y urbanos entre otros.

Las aguas regeneradas es un camino de varios a los cuales debemos como sociedad comenzar a relacionarnos, para poder dar solución a los problemas de demanda hídrica que tenemos.

8.0 BIBLIOGRAFÍA

- Asagrin (2007), Estrategias Regionales de Competitividad por Rubro, Palta y Exportación. Región de Valparaíso.
- ASIVA. (2019). Caracterización Económica Provincia de Petorca. Asociación de Empresas de la V Región.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, (2017). Análisis económico de aspectos asociados a la desalinización del agua en la minería. Departamento de Estudios de Extensión y Publicaciones.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, (2018). Situación de los recursos hídricos en Chile.
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile, (2021). Decreto 28 declara zona de escasez a la Provincia de Petorca, Región de Valparaíso.
- Carrasco C.A., (2007). Tratamiento físico químico de aguas residuales. Memoria de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
- Cruz A., Elizalde S., Vera E. (2012). Diseño de una ERAR con reutilización de agua regenerada. Máster en ingeniería y gestión del Agua. Escuela de Organización Industrial.
- D.O.U.E. (2020). Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de mayo de 2020 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua. DOUE nº L 177 de 5/6/2020, pp 32-55.
- Diario Oficial (2019). Normas Generales CVE 1656141, Declara como zona afectada por catástrofe a las comunas de las regiones de Coquimbo y Valparaíso. Núm. 308.- Santiago, 20 de agosto de 2019.
- Dirección General de Aguas. (2016). Atlas del Agua, capítulo 4, Gestión del Agua.
- Fundación Chile, (2016). Aguas Residuales como nueva fuente de agua. Manual elaborado para el Gobierno Regional de Valparaíso.

- Lemus S., Gamalian, Ferreyra E., Gil M., Sepulveda R., Maldonado B., Toledo G., Barrera M., Celedón de H., (2010). El Cultivo del Palto, Instituto de Investigación Agropecuaria INIA, Boletín INIA N°129.
- LGS Integral. (2014). Informe de Intercambio, Dimensionamiento y Valorización de Emisarios Submarinos de la Empresa ESVAL S.A. Proceso Tarifario Periodo 2015 - 2020.
- Martínez J.P., Muena V., Ruiz R., (2014). Nutrición y Fertilidad en Palto. Boletín INIA N° 283, 74 p. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, La Cruz, Chile.
- Metcalf & Eddy, (2003). Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización. Cuarta edición, editorial McGraw-Hill, New York.
- Ministerio del Medio Ambiente y Rural y Marino. (2010). Guía para la Aplicación del R.D. 1620/2007 por el que se establece el Régimen Jurídico de la Reutilización de las Aguas Depuradas. Edit. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino Secretaría General Técnica Centro de Publicaciones.
- Mujeriego R., (1990). Riego con Agua Municipal Regenerada. Primera edición Junta de Saneament de la Generalitat de Catalunya y la Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- NCh3483: (2021), Directrices para la clasificación de la calidad del agua regenerada para el reúso no potable. Primera edición 24 de febrero 2021.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Odepa). (2018), Ministerio de Agricultura de Chile. Región de Valparaíso.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Odepa). (2019), Ministerio de Agricultura de Chile. Región de Valparaíso.
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (Odepa). (2021), Ministerio de Agricultura de Chile. Región de Valparaíso.
- Qasim, S.R. (2018). Wastewater Treatment and Reuse Theory and Design Examples. Editorial CRC Press Taylor & Frances Group. Dallas Texas.

Unión Temporal de Proveedores, Hídrica Consultores Spa y Aquaterra Ingenieros Ltda.
(2017). Estimación de la demanda actual, proyecciones futuras y caracterización
de la calidad de los recursos hídricos en Chile.

9.0 ANEXOS I

Calidad de Aguas

Tablas de calidad de las aguas residuales comuna de Quintero

Tabla 1 Parámetros Físicoquímicos Comuna de Quintero

Parámetro	Unidad	DS90 Tabla 5	02/07/2020	23/07/2020	06/08/2020	27/08/2020	03/09/2020	24/09/2020
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	S.D	378	177	219	340	338	316
Hidrocarburos fijos	mg/L	N.A	< 1.4	< 1.4	< 1.4	< 1.4	< 1.4	< 1.4
Hidrocarburos totales	mg/L	20	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Hidrocarburos volátiles	mg/L	2	<0.2	<0.2	0.2214	<0.13	<0.13	<0.13
Índice de fenol	mg/L	1	0.0289	0.0101	0.0509	0.0755	0.0742	0.1005
Sólidos sedimentables	ml/l/h	20	<1.4	<1.4	<1.4	<1.4	<1.4	<1.4
Detergentes	mg/L	15	5.31	1.3	2.65	5.12	3.43	1.6
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	S.D	164	136	174	180	253	275
Sólidos suspendidos totales	mg/L	300	88	26.3	92	90	95	80
Aceites y grasas	mg/L	150	19.97	6.94	12.3	12.66	15.61	13.31
pH compuesta	mg/L	S.D	7.8	7.7	8	8.1	8.2	7.9
Temperatura compuesta	mg/L	S.D	13	13.4	13.4	13.7	14.3	11.8

Fuente: SNIFA - Sistema Nacional de Información de Fiscalización.

Tabla 2 Parámetros Físicoquímicos Comuna de Quintero

Parámetro	Unidad	DS90 Tabla 5	08/10/2020	29/10/2020	10/12/2020	18/12/2020	07/01/2021	20/01/2021
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	S.D	342	293	286	233	306	434
Hidrocarburos fijos	mg/L	N.A	< 1,4	< 1.4	< 1.4	< 1.4	< 1.4	< 1.4
Hidrocarburos totales	mg/L	20	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Hidrocarburos volátiles	mg/L	2	<0,1300	<0.13	<0.13	<0.13	<0.13	<0.13
Índice de fenol	mg/L	1	0,1281	0.1145	0.0776	0.0515	0.0932	0.0766
Sólidos sedimentables	ml/l/h	20	2	<1.4	<1.4	<1.4	<1.4	<1.4
Detergentes	mg/L	15	4,5	4.74	2.82	3.86	2.01	3.08
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	S.D	214	279	502	157	210	299
Sólidos suspendidos totales	mg/L	300	151	83.8	59	91.7	77	97
Aceites y grasas	mg/L	150	18,75	11.04	8.14	18.08	13.78	19.21
pH compuesta	mg/L	S.D	8,2	8.3	8.4	7.7	9.1	8.8
Temperatura compuesta	mg/L	S.D	14,8	12.9	17.3	12.8	17.4	15.8

Fuente: SNIFA - Sistema Nacional de Información de Fiscalización.

Tablas de calidad de las aguas residuales comuna de Con-Con

Tabla 3 Parámetros Físicoquímicos Comuna de Con-Con

Parámetro	Unidad	DS90 Tabla 5	14/07/2020	21/07/2020	28/07/2020	04/08/2020	11/08/2020	18/08/2020
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	N.A	306	354	372	364	510	362
Estaño	mg/L	1	<0.03	<0.03	<0.03	<0.15	<0.15	<0.15
Hidrocarburos fijos	mg/L	N.A	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40
Hidrocarburos totales	mg/L	20	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hidrocarburos volátiles	mg/L	2	<0.2	<0.2	<0.1300	0.2475	<0.1300	<0.1300
Índice de fenol	mg/L	1	0.0253	0.0358	0.0189	0.0227	0.0195	0.0722
Sólidos sedimentables	ml/l/h	20	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40	6	1.5
Detergentes	mg/L	15	4.05	3.72	3.31	1.72	4.27	4.45
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	N.A	147	142	165	177	219	168
Sólidos suspendidos totales	mg/L	300	82	86	92	102	166	126

Aceites y grasas	mg/L	150	14.48	15.95	16.06	17.64	20.71	20.98
pH compuesta	mg/L	Adm	7.9	8.2	7.9	8.3	8.2	8.3
Temperatura compuesta	mg/L	°C	8.5	9.3	9.3	9.3	11.2	11.7

Fuente: SNIFA - Sistema Nacional de Información de Fiscalización.

Tabla 4 Parámetros Físicoquímicos Comuna de Con-Con

Parámetro	Unidad	DS90 Tabla 5	08/09/2020	15/09/2020	22/09/2020	14/10/2020	20/10/2020	02/12/2020
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	N.A	337	379	484	354	514	322
Estaño	mg/L	1	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15
Hidrocarburos fijos	mg/L	N.A	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40
Hidrocarburos totales	mg/L	20	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hidrocarburos volátiles	mg/L	2	<0.1300	<0.1300	<0.1300	<0.1300	<0.1300	<0.1300
Índice de fenol	mg/L	1	0.0433	0.062	0.1071	0.0768	0.0256	0.0215
Sólidos sedimentables	ml/l/h	20	0.0433	<1.40	<1.40	10.5	<1.40	<1.40
Detergentes	mg/L	15	2.92	2.95	4.71	2.71	3.3	2.01
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	N.A	270	322	377	330	278	229
Sólidos suspendidos totales	mg/L	300	142	93	99	322	87	122
Aceites y grasas	mg/L	150	16.23	19.75	14.69	15.81	15.68	19.22
pH compuesta	mg/L	Adm	7.6	7.7	7.7	7.7	7.6	7.8
Temperatura compuesta	mg/L	°C	12.2	11.1	11.6	10.1	12	11.9

Fuente: SNIFA - Sistema Nacional de Información de Fiscalización.

Tabla 5 Parámetros Físico Químicos Comuna de Con-Con

Parámetro	Unidad	DS90 Tabla 5	15/12/2020	22/12/2020	05/01/2021	12/01/2021	19/01/2021	19/01/2021
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	N.A	292	239	351	283	388	444
Estaño	mg/L	1	0.2	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15	0.19
Hidrocarburos fijos	mg/L	N.A	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40
Hidrocarburos totales	mg/L	20	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hidrocarburos volátiles	mg/L	2	<0.1300	<0.1300	<0.1300	<0.1300	<0.1300	<0.1300
Índice de fenol	mg/L	1	<0.0003	0.0336	0.0291	0.055	0.1211	0.0219
Sólidos sedimentables	ml/l/h	20	<1.40	<1.40	2	<1.40	<1.40	<1.40
Detergentes	mg/L	15	4.7	2.49	3.09	2.71	5.07	4.57
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	N.A	119	222	184	186	239	151
Sólidos suspendidos totales	mg/L	300	100	90	95	81	110.9	141
Aceites y grasas	mg/L	150	15.4	9.86	16.35	14.61	18.98	21.28
pH compuesta	mg/L	Adm	7.9	7.8	7.5	7.4	7.4	7.8
Temperatura compuesta	mg/L	°C	12.4	11.7	12.6	12.5	12.4	10.3

Fuente: SNIFA - Sistema Nacional de Información de Fiscalización.

Tablas de calidad de las aguas residuales comuna de Higerillas

Tabla 6 Parámetros Físicoquímicos Comuna de Higerillas

Parámetro	Unidad	DS90 Tabla 5	14/07/2020	21/07/2020	28/07/2020	11/08/2020	18/08/2020	20/08/2020
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	N.A	360	283	253	352	305	387
Estaño	mg/L		<0.03	<0.03	<0.03	<0.15	0.19	0.16
Hidrocarburos fijos	mg/L	N.A	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40
Hidrocarburos totales	mg/L	20	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hidrocarburos volátiles	mg/L	2	<0.2	<0.2	<0.1300	<0.1300	<0.1300	<0.1300
Índice de fenol	mg/L	1	0.0382	0.0222	0.0253	0.0492	0.0538	0.0592
Sólidos sedimentables	ml/l/h	20	4	2.5	<1.40	<1.40	<1.40	3
Detergentes	mg/L	15	3.4	3.58	3.73	4.04	3.53	2.68
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	N.A	174	133	188	178	137	180
Sólidos suspendidos totales	mg/L	300	113	149	70	67	62	127
Aceites y grasas	mg/L	150	16.71	21.8	14.01	15.42	14.96	18.95
pH compuesta	mg/L	Adm	8.1	8.3	7.9	8.2	8.2	8
Temperatura compuesta	mg/L	°C	10	9.7	9.2	10.4	10.3	10.2

Fuente: SNIFA - Sistema Nacional de Información de Fiscalización.

Tabla 7 Parámetros Físicoquímicos Comuna de Higerillas

Parámetro	Unidad	DS90 Tabla 5	08/09/2020	15/09/2020	22/09/2020	20/10/2020	27/10/2020	02/12/2020
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	N.A	229	273	348	364	438	331
Estaño	mg/L		<0.15	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15	<0.15
Hidrocarburos fijos	mg/L	N.A	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40
Hidrocarburos totales	mg/L	20	<5	<5	<5	<5	<5	<5
Hidrocarburos volátiles	mg/L	2	<0.1300	<0.1300	<0.1300	<0.1300	<0.1300	<0.1300
Índice de fenol	mg/L	1	0.0495	0.0828	0.0182	0.0509	0.059	0.0646
Sólidos sedimentables	ml/l/h	20	2.5	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40
Detergentes	mg/L	15	1.93	2.92	4.96	3.05	4.03	1.57
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	N.A	167	244	238	195	257	161
Sólidos suspendidos totales	mg/L	300	115	85	58.5	65	106	85
Aceites y grasas	mg/L	150	19.41	17.3	18.44	13.73	13.27	16.22
pH compuesta	mg/L	Adm	8.2	7.6	7.6	7.6	8	7.6
Temperatura compuesta	mg/L	°C	11.2	12.6	12.6	10.8	14.8	12.3

Fuente: SNIFA - Sistema Nacional de Información de Fiscalización.

Tabla 8 Parámetros Físico Químicos Comuna de Higerillas

Parámetro	unidad	DS90 Tabla 5	15/12/2020	22/12/2020	05/01/2021	12/01/2021
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	N.A	190	185	271	347
Estaño	mg/L		<0.15	<0.15	0.23	<0.15
Hidrocarburos fijos	mg/L	N.A	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40
Hidrocarburos totales	mg/L	20	<5	<5	<5	<5
Hidrocarburos volátiles	mg/L	2	<0.1300	<0.1300	<0.1300	<0.1300
Índice de fenol	mg/L	1	<0.0003	0.0278	0.0188	0.0513

Solidos sedimentables	ml/l/h	20	<1.40	<1.40	<1.40	<1.40
Detergentes	mg/L	15	3.91	2.39	3.48	3.15
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	N.A	156	182	138	165
Solidos suspendidos totales	mg/L	300	91	71	92	92
Aceites y grasas	mg/L	150	14.83	7.93	17.6	18.73
pH compuesta	mg/L	Adm	8	8	8	8
Temperatura compuesta	mg/L	°C	11.2	11.6	10.9	11.5

Fuente: SNIFA - Sistema Nacional de Información de Fiscalización.

Tabla 9 coliformes fecales comuna de Quintero

Mes	año	Parámetro	Unidad de Expresión	Valor Medido Promedio	D.S.90 (Tabla N° 5) ¹	Métodos de Ensayo
Julio	2020	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	5.8E+06	N.N	NCh2313/23 Of.95
Agosto	2020	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1.4E+07	N.N	NCh2313/23 Of.95
Septiembre	2020	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	6.7E+06	N.N	NCh2313/23 Of.95
Octubre	2020	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	8.2E+06	N.N	NCh2313/23 Of.95
Diciembre	2020	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1.1E+07	N.N	NCh2313/23 Of.95
Enero	2021	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	5.7E+06	N.N	NCh2313/23 Of.95

Fuente: SNIFA - Sistema Nacional de Información de Fiscalización.

Tabla 10 coliformes fecales comuna de Con-Con

Mes	año	Parámetro	Unidad de Expresión	Valor Medido Promedio	D.S.90 (Tabla N° 5) ¹	Métodos de Ensayo
Julio	2020	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2.5E+06	N.N	NCh2313/23 Of.95
Agosto	2020	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	3.0E+06	N.N	NCh2313/23 Of.95
Septiembre	2020	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2.4E+06	N.N	NCh2313/23 Of.95
Octubre	2020	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	4.6E+06	N.N	NCh2313/23 Of.95
Diciembre	2020	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	3.8E+06	N.N	NCh2313/23 Of.95
Enero	2021	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	3.0E+06	N.N	NCh2313/23 Of.95

Fuente: SNIFA - Sistema Nacional de Información de Fiscalización.

Tabla 11 coliformes fecales comuna de Higerillas

Mes	año	Parámetro	Unidad de Expresión	Valor Medido Promedio	D.S.90 (Tabla N° 5) ¹	Métodos de Ensayo
Julio	2020	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	2.8E+06	N.N	NCh2313/23 Of.95
Agosto	2020	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	7.7E+06	N.N	NCh2313/23 Of.95
Septiembre	2020	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	1.8E+06	N.N	NCh2313/23 Of.95
Octubre	2020	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	3.6E+06	N.N	NCh2313/23 Of.95
Diciembre	2020	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	3.5E+06	N.N	NCh2313/23 Of.99
Enero	2021	Coliformes Fecales	NMP/100 ml	3.0E+06	N.N	NCh2313/23 Of.100

Fuente: SNIFA - Sistema Nacional de Información de Fiscalización.

Tabla 12 Análisis físico químico completo para las tres localidades

Parámetro	Unidad	Quintero	Con-Con	Higuerillas	Promedio
		08/10/2020	06/10/2020	14/10/2020	
Aluminio	mg/L	0.23	0.33	0.34	0.3
Arsénico	mg/L	0.004	0.0017	0.0011	0.002
Cadmio	mg/L	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002
Cianuro	mg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Cobre total	mg/L	0.04	0.03	0.04	0.04
Cromo hexavalente	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Cromo total	mg/L	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020
Demanda química de oxígeno	mg/L	342	668	376	462
Estáño	mg/L	< 0.15	<0.15	<0.15	<0.15
Fluoruro	mg/L	0.3	0.2	0.6	0.37
Hidrocarburos fijos	mg/L	< 1.4	<1.40	<1.40	<1.40
Hidrocarburos totales	mg/L	< 5	<5	<5	<5
Hidrocarburos volátiles	mg/L	<0.1300	<0.1300	<0.1300	<0.1300
Índice de fenol	mg/L	0.1281	0.049	0.0164	0.0645
Manganeso	mg/L	0.05	0.08	0.04	0.057
Mercurio	mg/L	< 0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
Molibdeno	mg/L	< 0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Níquel	mg/L	< 0.01	<0.01	<0.01	<0.01
pH	Adim	8.33	7.37	7.5	7.73
Plomo	mg/L	< 0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Selenio	mg/L	0.0008	0.0007	0.0011	0.00087
Sólidos sedimentables	mg/L	2	<1.40	4.5	2.63
Sulfuros	mg/L	< 0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Detergentes SAAM	mg/L	4.5	3.74	2.56	3.6
Zinc	mg/L	0.062	0.075	0.105	0.081
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	214	312	253	259.67
Sólidos suspendidos totales	mg/L	151	48	152.9	117.3
Aceites y grasas	mg/L	18.75	11.85	15.36	15.32
pH Compuesta	Adm	8.2	7.5	7.8	7.83
Temperatura compuesta	°C	14.8	11.9	10.2	12.3

Fuente : SNIFA - Sistema Nacional de Información de Fiscalización.

ANEXOS II

Caudales monitoreados

Tabla 13 de caudales , para los meses de estudio comuna de Quintero

Mes	Año	Volumen efluente m ³ /mes	Caudal máximo efluente día m ³ /d	Caudal máximo puntual efluente l/s
Julio	2020	102325,51	5000	105,8
Agosto	2020	140256	8150	99,9
Septiembre	2020	139845	5096	107,7
Octubre	2020	128403	5096	107,7
Diciembre	2020	148758	5526	174
Enero	2021	171101	6947	153

Fuente : SNIFA - Sistema Nacional de Información de Fiscalización.

Tabla 14 de caudales , para los meses de estudio comuna de Con-Con

Mes	Año	Volumen tratada m ³ /mes	Caudal máximo efluente día m ³ /d	Caudal máximo puntual efluente l/s
Julio	2020	204.428	7.367	151
Agosto	2020	216.849	9.236	186,2
Septiembre	2020	208.3	7.504	195
Octubre	2020	212.481	7.651	242
Diciembre	2020	212.481	7.651	242
Enero	2021	217.357	8.426	220

Fuente : SNIFA - Sistema Nacional de Información de Fiscalización.

Tabla 15 de caudales , para los meses de estudio comuna de Higerillas

Mes	Año	Volumen efluente tratada m ³ /mes	Caudal máximo efluente día m ³ /d	Caudal máximo puntual efluente l/s
Julio	2020	116.857	4.696	100
Agosto	2020	77.013	4.503	96,2
Septiembre	2020	132.642	132.642	100,3
Octubre	2020	139.841	5.239	110,4
Diciembre	2020	129.283	5.134	176
Enero	2021	116.791	4.677	163

Fuente : SNIFA - Sistema Nacional de Información de Fiscalización.

ANEXOS III

Tabla costos de inversión del proyecto, equipos

Tabla 16 Costos de línea de aguas

Línea de aguas	Descripción del equipamiento	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Decantador primario	Estruagua	2	USD 478,029	USD 956,057.14
Difusores	SSI	3509	USD 24	USD 84,717.29
Sopladores	DOSIVAC DS 2800 (3 unidades en stand by)	10	USD 25,637	USD 256,371.43
Montaje de tuberías galvanizadas	Montaje de parrillas	6	USD 39,794	USD 238,762.10
Instrumentación	Medidores de caudal	6	USD 7,857	USD 47,142.86
Controlador DBO	Controlador IQ 282 XT	1	USD 4,429	USD 4,428.57
Sensor de DBO en línea entrada	Optical COD/TOC/DOC/BOD/SACUVT-254 and TSS probe with	1	USD 41,429	USD 41,428.57
Sensor de DBO en línea salida sedimentadores	Optical COD/TOC/DOC/BOD/SACUVT-254 and TSS probe with	1	USD 41,429	USD 41,428.57
Controlador pH	Controlador IQ 282 XT	1	USD 4,429	USD 4,428.57
Sensor de pH entrada planta	YSI IQ Sonda de pH con amplificador, sonda IQ .	1	USD 2,714	USD 2,714.29
Sensor de pH a la salida de los sedimentadores	YSI IQ Sonda de pH con amplificador, sonda IQ .	1	USD 2,714	USD 2,714.29
Controlador Solidos Suspendos	Controlador IQ 282 XT	1	USD 4,429	USD 4,428.57
Sensor de solidos suspendidos s la entrada de la planta	Optical COD/TOC/DOC/BOD/SACUVT-254 and TSS probe with	1	USD 41,429	USD 41,428.57
Sensor de solidos suspendidos s la salida de los sedimentadores	Optical COD/TOC/DOC/BOD/SACUVT-254 and TSS probe with	1	USD 41,429	USD 41,428.57
Controlador OD	Controlador IQ 282 XT	3	USD 4,429	USD 13,285.71
Sensor de OD	YSI IQ Sonda óptica de O D, 0-20.00 mg / l	6	USD 7,857	USD 47,142.86
Total				USD 1,827,907.96

Tabla 17 Costos de línea de fangos

Línea de fangos	Descripción del equipamiento	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Espesador de lodos	Estruagua	1	USD 73,041	USD 73,041.43
Espesador Centrifuga	Hiller , 2m3h - 4 m3/h	1	USD 178,338	USD 178,337.71
Preparador de polímeros (Espesador y deshidratación)	PREPARADOR DE POLIMERO PL 3000	1	USD 48,025	USD 48,025.22
Equipo centrifuga deshidratación de lodos	Hiller , 2m3h - 4 m3/h	1	USD 178,338	USD 178,337.71
Instrumentación	Medidores de caudal	4	USD 7,857	USD 31,428.57
Bomba recirculación sedimentador secundario a primario	Bomba de tornilla alimentación Centrifuga 2.6 m3h@ 2 bar	1	USD 3,906	USD 3,906.44
Bomba alimentación Espesador sedimentador secundario	Bomba de tornilla alimentación Centrifuga 2.6 m3h@ 2 bar	1	USD 3,906	USD 3,906.44
Bomba de purga de lodos sedimentador secundario	Bomba de tornilla alimentación Centrifuga 2.6 m3h@ 2 bar	1	USD 3,906	USD 3,906.44
Bomba alimentación Centrifuga	Bomba de tornilla alimentación Centrifuga 2.6 m3h@ 2 bar	2	USD 3,906	USD 7,812.89
Total				USD 528,702.86

Tabla 18 Costos de línea de fangos

Línea de aguas regeneradas	Descripción del equipamiento	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Estanque de Coagulación	Toro, Estanque armado en FRP 100m ³	1	USD 41,810	USD 41,810.19
Montaje TK Coagulación	Parins, montaje en terreno	1	USD 15,067	USD 15,066.74
Estanques de Floculación	Toro, Estanque armado en FRP 234m ³	4	USD 99,440	USD 397,761.84
Montaje TK Floculación	Parins, montaje en terreno	4	USD 15,067	USD 60,266.94
Sedimentador lamelar	Equipos con una configuración 9+1	10	USD 65,917	USD 659,169.71
Desinfección AOP	Equipo de Desinfección AOP	4	USD 283,642	USD 1,134,567.50
Filtros de arena	Equipo de acero carbono fabricación local	7	USD 131,834	USD 922,837.59
Estanque de acumulación de aguas regeneradas	Permastrore, Vitricado, 4000m ³	2	USD 438,095	USD 876,190.48
Montaje TK 4000 m ³ Vitricado	Permastrore, Vitricado, 4000m ³	2	USD 47,084	USD 94,167.10
Instrumentación	Medidores de caudal	16	USD 7,857	USD 125,714.29
Controlador DBO , SST, ORP, pH	Controlador IQ 282 XT	1	USD 4,429	USD 4,428.57
Sensor DBO	Optical COD/TOC/DOC/BOD/SACUVT-254 and TSS probe with	1	USD 41,429	USD 41,428.57
Sensor SST	Optical COD/TOC/DOC/BOD/SACUVT-254 and TSS probe with	1	USD 41,429	USD 41,428.57
Sensor de pH	YSI IQ Sonda de pH con amplificador, sonda IQ .	1	USD 2,714	USD 2,714.29
Sensor ORP	YSI IQ Sonda ORP con amplificador, sonda IQ	1	USD 2,714	USD 2,714.29
Sensor de nivel US	Estanque de Coagulación-Floculación - Agua regenerada	7	USD 3,571	USD 25,000.00
Bombas	Bombas línea de Agua-Fangos-Regenerada	1	USD 296,844	USD 296,843.79
Bombas sedimentador a Coagulación - Floculación	Calpeda/N4 125-315A 208 m ³ /h @ 33 mca	12	USD 6,035	USD 72,415.25
Bomba estanque sedimentador lamelar a lechos filtrantes	Calpeda/N4 125-400B 312 m ³ /h @ 30 mca	7	USD 6,733	USD 47,131.95
Bomba de retro lavados de lechos filtrantes	Calpeda/N4 150-400A 480 m ³ /h @ 37 mca	7	USD 8,252	USD 57,764.36
Skid de dosificación Coagulante floculante	Grundfos	2	USD 28,571	USD 57,142.86
Dosificación Hipoclorito	Skid dosificación hipoclorito	2	USD 21,429	USD 42,857.14
Total				USD 5,019,422.02

Tabla 19 Costos línea de tableros de fuerza y control

Fuerza y Control	Descripción del equipamiento	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Tableros de fuerza y control	Se considera un 5% del total	1	USD 710,478	USD 710,478.29

Costos de inversión obras civiles

Tabla 20 Estanque de homogenización obras civiles	Unidades	Valores
Largo	m	40
Ancho	m	20
Altura	m	5
Espesor pared	m	0.2
Espesor Base	m	0.3
Área Base de estanque	m ²	800.0
Área Pared de estanque	m ²	600.0
Volumen del estanque	m ³	4000
Volumen Base del estanque	m ³	240.0
Volumen Pared del estanque	m ³	120.0
Factor de seguridad 10%	m ³	36.0

Tabla 21 Estanque de homogenización obras civiles

Detalle	Unidad	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Hormigón	m3	396.0	USD 94.92	USD 37,588
Enfierradura	kg	31680.0	USD 0.79	USD 25,059
Moldaje	m2	1200.0	USD 13.04	USD 15,646
Emplantillado H5	m3	99.0	USD 66.14	USD 6,548
Excavaciones	m3	5200.0	USD 3.49	USD 18,167
Retiro escombros	m3	4160.0	USD 2.61	USD 10,859
Rellenos compactados	m3	624.0	USD 11.07	USD 6,910
Total				USD 120,777

Tabla 22 Costos finales estanque homogenización

Mano de Obra Estanque , 25% del material	USD 30,194
Total mano de obra más material	USD 150,972
Total + factor de seguridad	USD 173,617
Total de equalizadores costo	USD 347,235
Total unitario en dólares con utilidad 15%	USD 204,256
Total	USD 408,512

Tabla 23 Decantador primario obras civiles

Descripción	Unidades	Valores
Diámetro	m	38
Altura	m	4
Espesor pared	m	0.2
Espesor Base	m	0.25
Área Base de estanque	m ²	1133.5
Área Pared de estanque	m ²	477.3
Volumen Base del estanque	m ³	283.4
Volumen Pared del estanque	m ³	95.5
Factor de seguridad 15%	m ³	56.8

Tabla 24 Decantador primario obras civiles

Detalle	Unidad	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Hormigón	m3	435.7	USD 94.92	USD 41,354
Enfierradura	kg	43566.7	USD 0.79	USD 34,461
Moldaje	m2	954.6	USD 13.04	USD 12,446
Emplantillado H5	m3	130.7	USD 66.14	USD 8,645
Excavaciones	m3	4420.8	USD 3.49	USD 15,445
Retiro escombros	m3	4862.9	USD 2.61	USD 12,694
Rellenos compactados	m3	530.5	USD 11.07	USD 5,875
Total				USD 130,919

Tabla 25 Costos finales estanque Decantadores Primarios

Mano de obra Decantador , 25% del material	USD 32,730
Total mano de obra más material	USD 150,556
Total + factor de seguridad	USD 173,140
Total Decantadores (2) costo	USD 346,280
Total unitario en dólares con utilidad 15%	USD 203,694
Total con utilidad	USD 407,388

Tabla 26 Reactor anoxico obras civiles

Descripción	Unidades	Valores
Largo	m	5
Ancho	m	15
Altura	m	25
Espesor pared	m	0.2
Espesor Base	m	0.3
Área Base de estanque	m ²	75.0
Área Pared de estanque	m ²	1000.0
Volumen del estanque	m ³	1875
Volumen Base del estanque	m ³	22.5
Volumen Pared del estanque	m ³	200.0
Factor de seguridad 15%	m ³	33.4

Tabla 27 Reactor anoxico obras civiles

Detalle	Unidad	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Hormigón	m ³	255.9	USD 94.92	USD 24,288
Enfierradura	kg	20470.0	USD 0.79	USD 16,192
Moldaje	m ²	2000.0	USD 13.04	USD 26,077
Emplantillado H5	m ³	64.0	USD 66.14	USD 4,231
Excavaciones	m ³	2437.5	USD 3.49	USD 8,516
Retiro escombros	m ³	1950.0	USD 2.61	USD 5,090
Rellenos compactados	m ³	292.5	USD 11.07	USD 3,239
Total				USD 87,632

Tabla 28 Costos finales estanque reactor anoxico

Mano de obra reactor anoxico , 25% del material	USD 21,908
Total mano de obra más material	USD 109,540
Total + factor de seguridad	USD 125,971
Total reactor anoxicos (6) costo	USD 251,943
Total unitario en dólares con utilidad 15%	USD 144,867
Total	USD 289,734

Tabla 29 Reactor biológico obras civiles

Descripción	Unidades	Valores
Largo	m	25
Ancho	m	14
Altura	m	5
Espesor pared	m	0.2
Espesor Base	m	0.3
Área Base de estanque	m ²	350.0
Área Pared de estanque	m ²	390.0
Volumen del estanque	m ³	1750
Volumen Base del estanque	m ³	105.0
Volumen Pared del estanque	m ³	78.0
Factor de seguridad 15%	m ³	27.5

Tabla 30 Reactor aeróbico obras civiles

Detalle	Unidad	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Hormigón	m ³	210.5	USD 94.92	USD 19,976
Enfieradura	kg	16836.0	USD 0.79	USD 13,317
Moldaje	m ²	780.0	USD 13.04	USD 10,170
Emplantillado H5	m ³	52.6	USD 66.14	USD 3,480
Excavaciones	m ³	2275.0	USD 3.49	USD 7,948
Retiro escombros	m ³	1820.0	USD 2.61	USD 4,751
Rellenos compactados	m ³	273.0	USD 11.07	USD 3,023
Total				USD 61,066

Tabla 31 Costos finales estanque reactor aeróbico

Mano de obra reactor aeróbico , 25% del material	USD 15,267
Total mano de obra más material	USD 76,333
Total + factor de seguridad	USD 87,783
Total reactor aeróbico (6) costo	USD 526,696
Total unitario en dólares con utilidad 15%	USD 103,274
Total	USD 619,644

Tabla 32 Sedimentador secundario obras civiles

Descripción	Unidades	Valores
Largo	m	39
Ancho	m	13
Altura	m	5
Espesor pared	m	0.2
Espesor Base	m	0.3
Área Base de estanque	m ²	507.0
Área Pared de estanque	m ²	520.0
Volumen del estanque	m ³	2535
Volumen Base del estanque	m ³	152.1
Volumen Pared del estanque	m ³	104.0
Factor de seguridad 15%	m ³	38.4

Tabla 33 Reactor sedimentador secundario obras civiles

Detalle	Unidad	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Hormigón	m ³	294.5	USD 94.92	USD 27,955
Enfierradura	kg	23561.2	USD 0.79	USD 18,637
Moldaje	m ²	1040.0	USD 13.04	USD 13,560
Emplantillado H5	m ³	73.6	USD 66.14	USD 4,870
Excavaciones	m ³	3295.5	USD 3.49	USD 11,513
Retiro escombros	m ³	2636.4	USD 2.61	USD 6,882
Rellenos compactados	m ³	395.5	USD 11.07	USD 4,379
Total				USD 87,797

Tabla 34 Costos finales sedimentador secundario

Mano de obra sedimentador secundario , 25% del material	USD 21,949
Total mano de obra más material	USD 109,746
Total + factor de seguridad	USD 126,208
Total sedimentador secundario (6) costo	USD 757,246
Total unitario en dólares con utilidad 15%	USD 148,480
Total	USD 890,877

Tabla 35 Obras civiles estanque de coagulación

Descripción	Unidad	Valor
Largo	m	5
Ancho	m	5
Cantidad	S.D	1
Espesor de radier	m	0.2
Volumen de concreto	m	5
\$/m ³	\$	150000
Mano de Obra Estanque	\$	750,000
Factor de seguridad 15%	\$	112,500
Total dólares 15% utilidad	USD	1,338

Tabla 36 Obras civiles estanque de floculación

Descripción	Unidad	Valor
Largo	m	10
Ancho	m	10
Cantidad	S.D	1
Espesor de radier	m	0.2
Volumen de concreto	m	20
\$/m ³	\$	150000
Mano de Obra Estanque	\$	3,000,000
Factor de seguridad 15%	\$	450,000
Total dólares 15% utilidad	USD	5,351

Tabla 37 Obras civiles sedimentador lamelar

Descripción	Unidad	Valor
Largo	m	12
Ancho	m	24
Cantidad	S.D	1
Espesor de radier	m	0.2
Volumen de concreto	m	57.6
\$/m ³	\$	150000
Mano de Obra Estanque	\$	8640000
Factor de seguridad 15%	\$	1296000
Total dólares 15% utilidad	USD	15410.61

Tabla 38 Obras civiles lechos filtrantes

Descripción	Unidad	Valor
Largo	m	8
Ancho	m	14
Cantidad	S.D	1
Espesor de radier	m	0.2
Volumen de concreto	m	22.4
\$/m ³	\$	150000
Mano de Obra Estanque	\$	3,360,000
Factor de seguridad 15%	\$	504,000
Total dólares 15% utilidad	USD	5993.02

Tabla 39 Obras civiles estanques de aguas regeneradas

Descripción	Unidad	Valor
Largo	m	30
Ancho	m	60
Cantidad	S.D	1
Espesor de radier	m	0.2
Volumen de concreto	m	360
\$/M3	\$	150000
Mano de Obra Estanque	\$	54,000,000
Factor de seguridad 15%	\$	5,400,000
Total dólares 15% utilidad	USD	92128.66

Costos de estructuras metálicas

Tabla 40 costos de estructuras metálicas reactor anoxico

Descripción	Unidad	Valores
Largo	m	25
Ancho	m	14
Altura	m	5
Espesor	m	0.005
Cantidad		2
Área base de fondo	m ²	350
Área de paredes	m ²	390
Volumen de fierro base	m ³	1.75
Volumen de fierro paredes	m ³	1.95
Densidad de fierro	kg/m ³	8000
Peso de fondo	kg	14,000.0
Peso de paredes	kg	15,600.0
Atiezadores	kg	11,840.0
Peso Total	kg	41,440.0
Precio por kg trabajado	\$/Kg	1500
Precio de pieza	\$	62,160,000
Total 2 reactores	USD	163,896

Tabla 41 Costos de estructuras metálicas reactor aeróbicos

Descripción	Unidad	Valores
Largo	m	25
Ancho	m	14
Altura	m	5
Espesor	m	0.005
Cantidad		6
Área base de fondo	m ²	350
Área de paredes	m ²	390
Volumen de fierro base	m ³	1.75
Volumen de fierro paredes	m ³	1.95
Densidad de fierro	kg/m ³	8000
Peso de fondo	kg	14,000.0
Peso de paredes	kg	15,600.0
Atiezadores	kg	11,840.0
Peso Total	kg	41,440.0
Precio por kg trabajado	\$/Kg	1500
Precio de pieza	\$	62,160,000
Total 6 reactores	USD	491,688

Tabla 42 costos de estructuras metálicas sedimentador primario

Sección Recta		
Descripción	Unidad	Valores
Largo	m	38
Ancho	m	38
Altura	m	4
Espesor	m	0.005
Cantidad		2
Área de paredes	m2	456
Volumen de fierro base	m3	0.00
Volumen de fierro paredes	m3	2.28
Densidad de fierro	kg/m3	8000
Peso de paredes	kg	18,240.0
Atiezadores	kg	5,472.0
Peso Total	kg	23,712.0
Precio por kg trabajado	\$/Kg	1500
Precio de pieza	\$	35,568,000
Precio de pieza más 15% utilidad	USD	110,331

Tabla 43 Sección piramidal sedimentador primario

Descripción	Unidad	Valores
Largo	m	38
Ancho	m	38
Altura	m	1.5
Espesor	m	0.005
Cantidad		2
Área base de fondo	m2	0.09
Área de paredes	m2	152
Volumen de fierro base	m3	0.000
Volumen de fierro paredes	m3	0.76
Densidad de fierro	kg/m3	8000
Peso de fondo	kg	3.6
Peso de paredes inclinadas	kg	6,080.0
Atiezadores	kg	3,041.8
Peso Total	kg	9,125.4
Precio por kg trabajado	\$/Kg	1500
Precio de pieza	\$	13,688,100
Precio total más 15% de utilidad	USD	42,460

Tabla 44 costos de estructuras metálicas sedimentador secundario

Sección Recta		
Descripción	Unidad	Valores
Largo	m	39
Ancho	m	13
Altura	m	5
Espesor	m	0.005
Cantidad		6
área de paredes	m ²	325
Volumen de fierro paredes	m ³	1.63
Densidad de fierro	kg/m ³	8000
Peso de paredes	kg	13,000.0
Atiezadores	kg	3,900.0
Peso Total	kg	16,900.0
Precio por kg trabajado	\$/Kg	1500
Precio de pieza	\$	25,350,000
Precio total más 15% de utilidad	USD	235,905

Tabla 45 Sección piramidal sedimentador secundario

Descripción	Unidad	Valores
Largo	m	39
Ancho	m	13
Altura	m	1.5
Espesor	m	0.005
Cantidad		6
Área base de fondo	m ²	0.09
Área de paredes	m ²	156
Volumen de fierro paredes	m ³	0.78
Densidad de fierro	kg/m ³	8000
Peso de fondo	kg	3.6
Peso de paredes inclinadas	kg	6,240.0
Atiezadores	kg	3,121.8
Peso Total	kg	9,365.4
Precio por kg trabajado	\$/Kg	1500
Precio de pieza	\$	14,048,100
Precio total más 15% de utilidad	USD	130,731

Tabla 46 Costos de materiales digestor primario

Descripción	Unidad	Valores
Largo	m	13
Ancho	m	13
Altura	m	8.5
Espesor	m	0.005
Área base de fondo	m ²	169
Área de paredes	m ²	331.5
Volumen de fierro base	m ³	0.85
Volumen de fierro paredes	m ³	1.66
Densidad de fierro	kg/m ³	8000
Peso de fondo	kg	6,760.0
Peso de paredes	kg	13,260.0
Atiezos	kg	8,008.0
Peso Total	kg	28,028.0
Precio por kg trabajado	\$/Kg	1500
Precio de pieza	\$	42,042,000
Precio total más 15% de utilidad	USD	65,207

Tabla 47 Costos de materiales digestor secundario

Descripción	Unidad	Valores
Largo	m	10
Ancho	m	10
Altura	m	7
Espesor	m	0.005
Área base de fondo	m ²	100
Área de paredes	m ²	210
Volumen de fierro base	m ³	0.50
Volumen de fierro paredes	m ³	1.05
Densidad de fierro	kg/m ³	8000
Peso de fondo	kg	4,000.0
Peso de paredes	kg	8,400.0
Atiezos	kg	4,960.0
Peso Total	kg	17,360.0
Precio por kg trabajado	\$/Kg	1500
Precio de pieza	\$	26,040,000
Precio total más 15% de utilidad	USD	40,388

Tabla 48 Costos de materiales cámara de contacto

Descripción	Unidad	Valores
Largo	m	76
Ancho	m	2.5
Altura	m	2.5
Espesor	m	0.005
Área base de fondo	m ²	190
Área de paredes	m ²	202.5
Volumen de fierro base	m ³	0.95
Volumen de fierro paredes	m ³	1.01
Densidad de fierro	kg/m ³	8000
Peso de fondo	kg	7,600.0

Peso de paredes	kg	8,100.0
Atiezadores	kg	6,280.0
Peso Total	kg	21,980.0
Precio por kg trabajado	\$/Kg	1300
Precio de pieza	\$	28,574,000
Precio total más 15% de utilidad	USD	44,318

Tabla 49 Costos de estructuras metálicas espesador de lodos

Sección Recta		
Descripción	Unidad	Valores
Largo	m	2.6
Ancho	m	2.6
Altura	m	1
Espesor	m	0.005
Área de paredes	m ²	7.8
Volumen de fierro paredes	m ³	0.04
Densidad de fierro	kg/m ³	8000
Peso de paredes	kg	312.0
Atiezadores	kg	93.6
Peso Total	kg	405.6
Precio por kg trabajado	\$/Kg	1500
Precio de pieza	\$	608,400
Precio total más 15% de utilidad	USD	802.08

Tabla 50 Sección piramidal sedimentador primario

Descripción	Unidad	Valores
Largo	m	2.6
Ancho	m	2.6
Altura	m	1.4
Espesor	m	0.005
Área base de fondo	m ²	0.09
Área de paredes	m ²	10.4
Volumen de fierro paredes	m ³	0.05
Densidad de fierro	kg/m ³	8000
Peso de fondo	kg	3.6
Peso de paredes inclinadas	kg	416.0
Atiezadores	kg	209.8
Peso Total	kg	629.4
Precio por kg trabajado	\$/Kg	1500
Precio de pieza	\$	944,100
Precio total más 15% de utilidad	USD	1,464

ANEXO IV

Costos Operacionales

Parámetros Línea de Agua

Caudal de tratamiento	1872	m ³ /h
Utilización	100%	

1. Difusores

Marca y modelo	Repicky , EG-300	
Cantidad	100	
Costo	15,00	U\$S/unidad
Frecuencia cambio	36	meses
Costo específico	0,0000309	U\$S/m3 de agua tratada
Costo mensual	41,67	U\$S

2. Energía eléctrica

Bombas y otros	334,914	kW
Costo energía	0,098192557	U\$S/kW
Costo específico	0,0176	U\$S/m3 de agua tratada
Costo mensual	23677,96458	U\$S

3. Mantenimiento reactores anoxicos

Período	60	meses
Costo	8000	U\$S
Costo específico	0,00010	U\$S/m3 de agua tratada
Costo mensual	133	U\$S

4. Mantenimiento reactores Aeróbicos

Período	60	meses
Costo	6000	U\$S
Costo específico	0,00007	U\$S/m3 de agua tratada
Costo mensual	100	U\$S

5. Sopladores

Período	36	meses
Costo	6000	U\$S
Costo específico	0,0001	U\$S/m3 de agua tratada
Costo mensual	167	U\$S

6. Tuberías

Período	60	meses
Costo	10000	U\$S
Costo específico	0,0001	U\$S/m3 de agua tratada
Costo mensual	167	U\$S

7. Residuos desbaste

Cantidad	123	ton
Costo	243	U\$S/ton
Frecuencia cambio	1	meses
Costo específico	0,022	U\$S/m3 de agua tratada
Costo mensual	29918,7	U\$S

8. Arenas

Cantidad retiro mensual	41	ton
Costo	243,24	U\$\$/ton
Frecuencia cambio	1	meses
Costo específico	0,0073992	U\$\$/m3 de agua tratada
Costo mensual	9972,89	U\$\$

9. Grasas

Cantidad retiro mensual	5,46	ton
Costo	243,24	U\$\$/ton
Frecuencia cambio	1	meses
Costo específico	0,0009854	U\$\$/m3 de agua tratada
Costo mensual	1328,10	U\$\$

10. Total Línea de Agua

Costo específico	0,049	U\$\$/m3 de agua tratada
Costo mensual	65506	U\$\$

Tabla 52 Costos operativos línea de fangos

Parámetros Línea de Fangos

Caudal de tratamiento	2,14	m ³ /h
Utilización	43%	

1. Inyección Floculante Espesado 6%

Floculante	Química del Sur	
Costo	2,20	U\$\$/kg
Dosis	0,3	ppm
Costo específico	0,0015421	U\$\$/m3 de lodo tratado
Costo mensual	1,02	U\$\$ @24 h/día; 30 días/mes

2. Inyección Floculante Deshidratado 2-3%

Floculante	Química del Sur	
Costo	2,2	U\$\$/kg
Dosis	0,3	ppm
Costo específico	0,00066	U\$\$/m3 de lodo tratado
Costo mensual	1,016928	U\$\$ @24 h/día; 30 días/mes

3. Energía eléctrica

Bombas y otros	26,72948	kW
Costo energía	0,098192557	U\$\$/kW
Costo específico	1,2265	U\$\$/m3 de lodo tratado
Costo mensual	812,5872992	U\$\$

4. Mantenimiento y repuestos equipos

Período	60	meses
Costo	5000	U\$\$
Costo específico	0,054	U\$\$/m3 de lodo tratado

Costo mensual	83	U\$\$
5. Residuos solidos		
Cantidad retiro mensual	122	ton
Costo	243	U\$\$/ton
Frecuencia cambio	1	meses
Costo específico	0,022	U\$\$/m3 de agua tratada
Costo mensual	29675,4	U\$\$
6. Total		
Costo específico	1,305	U\$\$/m3 de lodo tratado
Costo mensual	30573	U\$\$

Tabla 53 Costos operativos línea aguas regeneradas

Parámetros Línea de Aguas Regeneradas		
Caudal de tratamiento	1872	m3/h
Utilización	100%	
1. Inyección de coagulante		
Coagulante	Química del Sur	
Costo	1,58	U\$\$/kg
Dosis	5	ppm
Costo específico	0,0079100	U\$\$/m3 de agua regenerada
Costo mensual	10661	U\$\$ @24 h/día; 30 días/mes
2. Inyección Floculante		
Floculante	Química del Sur	
Costo	2,2	U\$\$/kg
Dosis	0,3	ppm
Costo específico	0,000132	U\$\$/m3 de agua regenerada
Costo mensual	889,5744	U\$\$ @24 h/día; 30 días/mes
3. Inyección de Hipoclorito de Sodio		
Inyección de Hipoclorito de Sodio	Química del Sur	
Costo	1,3	U\$\$/kg
Dosis	2	ppm
Costo específico	0,00867	U\$\$/m3 de agua regenerada
Costo mensual	3504,384	U\$\$ @24 h/día; 30 días/mes
4. Cambio de medios Arena Filtrante		
Marca y modelo	S.D	
Cantidad	302664,6	
Costo	0,310	U\$\$/unidad
Frecuencia cambio	36	meses

Costo específico	0,0019337	U\$/m3 de agua regenerada
Costo mensual	2606,2785	U\$

5. Lámparas UV

Marca y modelo	S.D	
Cantidad	48	
Costo	337,65	U\$/unidad
Frecuencia cambio	12	meses
Costo específico	0,0010021	U\$/m3 de agua regenerada
Costo mensual	1350,61	U\$

6. Energía eléctrica

Bombas y otros	1267,12	kW
Costo energía	0,09819256	U\$/kW
Costo específico	0,0665	U\$/m3 de agua regenerada
Costo mensual	89583,6617	U\$

7. Mantenión de Sedimentadores , Estanques e Instrumentación

Período	36	meses
Costo	20000	U\$
Costo específico	0,000412	U\$/m3 de agua regenerada
Costo mensual	556	U\$

8. Total Aguas Regeneradas

Costo específico	0,0865	U\$/m3 de agua regenerada
Costo mensual	109152	U\$

Tabla 54 Costos operativos personal de planta

1. Jefe de Planta		
Cantidad	1	
Costo	3000	U\$/unidad
Frecuencia cambio	1	meses
Costo específico	0,0022258	U\$/m3
Costo mensual	3000	U\$
2. Jefe de Turno		
Cantidad	4	
Costo	2000	U\$/unidad
Frecuencia cambio	1	meses
Costo específico	0,0059354	U\$/m3
Costo mensual	8000	U\$
2. Operadores Sala de Control		
Cantidad	4	
Costo	1500,00	U\$/unidad
Frecuencia cambio	1	meses

Costo específico	0,0027778	U\$/m3
Costo mensual	6000	U\$
3. Operadores Mantenimiento		
Cantidad	2	
Costo	1000,00	U\$/unidad
Frecuencia cambio	1	meses
Costo específico	0,0013889	U\$/m3
Costo mensual	2000	U\$
4. Analista Quimico		
Cantidad	2	
Costo	1000,00	U\$/unidad
Frecuencia cambio	1	meses
Costo específico	0,0018519	U\$/m3
Costo mensual	2000	U\$
4. Seguridad		
Cantidad	8	
Costo	800,00	U\$/unidad
Frecuencia cambio	1	meses
Costo específico	0,0088889	U\$/m3
Costo mensual	6400	U\$
5. Total		
Costo específico	0,023	U\$/m3
Costo mensual	27400	U\$

Costos energéticos

Tabla 55 Costos energéticos

	Descripción equipos	Cantidad	Energía por equipo (kW)	Energía (kW) Total
Decantador primario	Estruagua	2	7.457	14.914
Sopladores	DOSIVAC DS 2800 (3 unidades en stand by)	10	40	320
Espesador de lodos	Estruagua	1	7.457	7.457
Espesador Centrifuga	Hiller , 2m3h - 4 m3/h	1	5.5	5.5
Preparador de polímeros (Espesador y deshidratación)	PREPARADOR DE POLIMERO PL 3000	1	4.77248	4.77248
Equipo centrifuga deshidratación de lodos	Hiller , 2m3h - 4 m3/h	1	5.5	5.5
Bomba recirculación sedimentador secundario a primario	Bomba de tornilla alimentación Centrifuga 2.6 m3h@ 2 bar	1	0.7	0.7
Bomba alimentación Espesador sedimentador secundario	Bomba de tornilla alimentación Centrifuga 2.6 m3h@ 2 bar	1	0.7	0.7
Bomba de purga de lodos sedimentador secundario	Bomba de tornilla alimentación Centrifuga 2.6 m3h@ 2 bar	1	0.7	0.7
Bomba alimentación Centrifuga	Bomba de tornilla alimentación Centrifuga 2.6 m3h@ 2 bar	2	0.7	1.4
Desinfección UV	Equipo de Desinfección AOP	4	16.5	66

Bombas sedimentador a Coagulación - Floculación	Calpeda/N4 125-315A 208m3h@ 33 mca	12	29.828	357.936
Bomba estanque sedimentador lamelar a lechos filtrantes	Calpeda/N4 125-400B 312m3h@ 30 mca	7	44.742	313.194
Bomba de retro lavados de lechos filtrantes	Calpeda/N4 150-400A 480 m3h@ 37 mca	7	74.57	521.99
Skid de dosificación Coagulante floculante	Grundfos	2	2	4
Dosificación Hipoclorito	Skid dosificación hipoclorito	2	2	4
Total				1628.76