

**Universidad de Valparaíso**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Civil Industrial**



**PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES PARA REGADÍO DE PALTOS**

**CASO: EMPRESA AGRÍCOLA LAS MERCEDES MG LTDA.**

Por

**Alejandra Del Pilar Álvarez Gómez**

**TRABAJO DE TÍTULO PARA OPTAR AL GRADO DE LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA  
INGENIERÍA Y TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL**

Prof. Guía: Verónica Morales Cárdenas

Enero de 2017

## AGRADECIMIENTOS

*Primero que todo agradecer a todas aquellas personas que siempre creyeron en mí, los que siempre estuvieron apoyándome en cada momento, brindándome fuerza, cariño, amistad y muchas veces palabras de aliento para seguir hacia delante.*

*A Andrés, padre de mi hija, gran amigo y profesor en muchas ocasiones, sin él se hubiese hecho muy difícil poder decir "misión cumplida". Muchísimas gracias por cada palabra de apoyo, por cada enseñanza y por toda la ayuda para poder seguir adelante y poder llegar a buen término.*

*A mi hija que a pesar de tener 6 años fue mi mayor sostenedora durante estos años, la personita que me daba fuerzas para levantarme cada mañana, la que muchas veces me veía flaquear y con sus palabras justas o un simple abrazo me hacía entender que había que seguir, que nunca es suficiente y que todo con amor y dedicación se puede lograr. Hija todo esto fue gracias, por y para ti.*

*A mi novio, Paulo, por darme las herramientas necesarias para poder terminar este trabajo, sin ti no hubiese sido posible. Gracias también por cada palabra de aliento, por aguantar mi mal humor, por todo el cariño y por ser más que mi pareja, por ser mi amigo y mi compañero durante este proceso.*

*A mis dos grandes amigos Octavio y Cristóbal que siempre estuvieron a mi lado con su alegría y amistad incondicional. Sin su granito de arena hubiese sido todo muy distinto, muchas gracias por confiar en mí cuando a veces ni yo misma lo hacía.*

*A mis dos grandes amigas Carla y Luisa por estar siempre conmigo, ayudándome cada vez que pedía auxilio, por todo el cariño que siempre me han entregado a mí y a mi hija ; pero aún más por la paciencia invertida en nosotras.*

*A mis padres, hermanos y familia que estuvieron a mi lado en cada caída y en cada logro obtenido durante estos 6 años. Gracias por cada gesto y todo el apoyo entregado para poder llegar a ser la profesional que siempre soñaron fuera.*

*A mis grandes amigos que la vida puso en mi camino durante estos 6 años: Rosa, Guillermo, Sebastián, Fernando, Gabriel, Hernán y Gonzalo. Agradezco de todo corazón haberlos conocido, cada uno tan distinto, pero tan significativos durante estos años, a todos ustedes muchas gracias por cada gesto, cada detalle, cada risa, cada momento de estudio, por la paciencia, la confianza y la preocupación por mí.*

*Por último a mi profesora, Verónica Morales, por toda su paciencia, simpatía, empatía y profesionalismo, no pude tener mejor profesora para guiar este trabajo, fue un agrado trabajar con Ud.*

*Muchas Gracias.*

*“Todo lo que puedas hacer o soñar ponte a hacerlo. La osadía está llena de genialidad, poder y magia” GOETHE*

## Tabla de Contenido

<b>CAPÍTULO 1. PRESENTACIÓN .....</b>	<b>6</b>
1.1 Introducción .....	7
1.2 Identificación y planteamiento del problema .....	9
1.3 Hipótesis de la investigación .....	12
1.4 Objetivos de la investigación .....	12
1.4.1 Objetivo general .....	12
1.4.2 Objetivos específicos .....	12
1.5 Alcances y restricciones .....	13
1.5.1 Alcances .....	13
1.5.2 Restricciones .....	13
1.6 Resultados esperados .....	14
1.7 Metodología de trabajo .....	14
1.7.1 Tipo de investigación .....	14
1.7.2 Grupo objetivo .....	15
1.8 Contexto de la investigación .....	15
1.8.1 Mercado .....	15
1.8.2 Información de la empresa .....	16
 <b>CAPÍTULO 2. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	 <b>18</b>
2.1 Gestión del agua .....	18
2.2 Uso del agua .....	19
2.3 Calidad del agua .....	19
2.4 Organismos patógenos .....	20
2.5 Organismos indicadores .....	21
2.6 Eficiencia en remoción de organismos patógenos .....	22
2.7 Normativa y criterios de calidad de agua para diferentes usos .....	22
2.8 Tratamientos para la descontaminación de las aguas servidas .....	23
2.9 Procesos básicos de tratamiento biológico .....	24
2.10 Desinfección .....	25

<b>CAPÍTULO 3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....</b>	<b>28</b>
3.1 Estudio de la problemática .....	28
3.1.1 Requerimientos hídricos del palto .....	31
3.1.2 Situación hídrica de la zona .....	32
3.1.3 Fuentes de aguas residuales disponibles .....	33
<b>CAPÍTULO 4. DESARROLLO .....</b>	<b>34</b>
4.1 Selección de tratamiento a utilizar .....	34
4.2 Planta de tratamiento de aguas residuales mediante Lodos Activados .....	35
4.2.1 Pre tratamiento .....	36
4.2.2 Tratamiento primario .....	36
4.2.3 Tratamiento secundario.....	37
4.2.4 Tratamiento terciario.....	37
4.2.5 Purga .....	38
4.3 Estudio Técnico .....	38
4.3.1 Especificaciones técnicas .....	38
4.3.2 Memoria de cálculo .....	46
4.3.3 Plano estructural.....	63
4.3.4 Localización de la planta de tratamientos .....	67
4.3.5 Cronograma de actividades .....	68
4.3.5 Estimación de costos del proyecto.....	70
<b>CAPÍTULO 5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>72</b>
5.1 Factibilidad económica y financiera .....	72
5.1.1 Conceptos generales de costos de sistemas de tratamiento de aguas residuales .....	72
5.1.2 Gastos en energía eléctrica .....	74
5.1.3 Gastos en productos químicos.....	76
5.1.4 Monitoreo ambiental y control de procesos .....	77
5.1.5 Mantenimiento .....	80
5.1.6 Personal .....	81
5.1.7 Resumen de costos.....	82
5.2 Evaluación económica del proyecto .....	83
5.2.1 Inversiones .....	83
5.2.2 Costos .....	85
5.2.3 Estimación de ventas .....	86
5.2.4 Evaluación del proyecto .....	86

5.2.5 Sensibilización Unidimensional y Bidimensional.....	88
5.3 Evaluación del impacto ambiental y social.....	90
5.3.1 Factores relevantes para el análisis de impacto ambiental .....	91
5.3.2 Caracterización del área de influencia .....	92
5.3.3 Evaluación de impacto ambiental .....	96
5.3.4 Clasificación e importancia de impactos .....	99
5.3.5 Plan de medidas de mitigación, reparación y/o compensación .....	103
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>109</b>
6.1 Conclusiones.....	109
6.2 Recomendaciones y procedimientos necesarios para la implementación del proyecto.....	111
6.2.1 Importancia de la capacitación.....	111
<b>CAPÍTULO 7. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>112</b>
<b>CAPÍTULO 8. ANEXOS .....</b>	<b>114</b>
8.1 Carta de aceptación .....	114
8.2 Consideraciones y normativas para uso de aguas residuales en riego .....	115
8.3 Glosario .....	141
8.4 Tarifas suministro CONAFE, noviembre 2016 .....	144

## Lista de Figuras

<b>FIGURA 1.</b> Ubicación geográfica provincia de Petorca.....	8
<b>FIGURA 2.</b> Distribución de rubro por provincias (2015) .....	10
<b>FIGURA 3.</b> Coeficiente de cultivo de las principales especies frutales .....	11
<b>FIGURA 4.</b> Posición de las exportaciones chilenas.....	16
<b>FIGURA 5.</b> Vista aérea de planta de tratamiento de aguas residuales con la tecnología de lodos activos .....	25
<b>FIGURA 6.</b> Reacción del ozono y formación de ozónidos.....	26
<b>FIGURA 7.</b> Foto de plantaciones sector plano .....	28
<b>FIGURA 8.</b> Foto de plantaciones en cerro .....	28
<b>FIGURA 9.</b> proceso básico de lodos activados .....	35
<b>FIGURA 10.</b> Plano propuesto para el diseño de la planta de tratamiento de lodos activados.....	63

<b>FIGURA 11.</b> Corte A-A .....	64
<b>FIGURA 12.</b> Corte B-B .....	65
<b>FIGURA 13.</b> Corte C-C .....	65
<b>FIGURA 14.</b> Imagen de localización de la planta de tratamientos en la empresa agrícola las mercedes MG Ltda.....	67

## Lista de Tablas

<b>TABLA 1.</b> Precipitaciones de los últimos años con respecto a un año normal .....	33
<b>TABLA 2.</b> Carta GANTT .....	69
<b>TABLA 3.</b> Componentes de los costos relacionados con la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales. ....	72
<b>TABLA 4.</b> Tarifas eléctricas .....	75
<b>TABLA 5.</b> Resumen gastos de energía .....	75
<b>TABLA 6.</b> Resumen gastos de productos químicos.....	77
<b>TABLA 7.</b> Precios unitarios monitoreo de calidad del agua .....	78
<b>TABLA 8.</b> Precios unitarios monitoreo de lodos .....	79
<b>TABLA 9.</b> Precios unitarios de monitoreo trimestral de lodos .....	79
<b>TABLA 10.</b> Gastos en monitoreo ambiental y control de procesos.....	80
<b>TABLA 11.</b> Personal operativo para la planta de tratamiento de aguas residuales.....	81
<b>TABLA 12.</b> Funciones de los cargos establecidos .....	81
<b>TABLA 13.</b> Remuneraciones y gasto total de personal .....	82
<b>TABLA 14.</b> Costos totales considerados para la planta de tratamiento de aguas residuales .....	82
<b>TABLA 15.</b> Detalle inversión en activos fijos considerados para la planta de tratamiento de aguas residuales .....	83
<b>TABLA 16.</b> Detalle inversión en obras civiles consideradas para la planta de tratamiento de aguas residuales .....	84
<b>TABLA 17.</b> Detalle inversión en activos nominales considerados para la planta de tratamiento de aguas residuales .....	85
<b>TABLA 18.</b> Detalle de parámetros de diseño y calidad de afluente y efluente .....	92
<b>TABLA 19.</b> Evaluación de impactos ambientales positivos de la PTAR.....	99
<b>TABLA 20.</b> Evaluación de impactos ambientales negativos de la etapa de construcción de la PTAR .....	100
<b>TABLA 21.</b> Evaluación de impactos ambientales negativos de la etapa de mantención de la PTAR	101
<b>TABLA 22.</b> Evaluación de impactos ambientales negativos de la etapa de operación de la PTAR...	102

# Capítulo 1. Presentación

## 1.1 Introducción

El agua dulce constituye aproximadamente el 0,6% de la cantidad total de agua en el planeta (Hedberg, 1998). Hoy el mundo está enfrentando una gran crisis hídrica, la cual, es atribuida a la escasez de precipitación y limitación del recurso, en adición al aumento en la demanda por los sectores agrícola, urbana e industrial. El sector que más consume agua globalmente es la agricultura (Pearce y Tuner, 1990).

En Chile las regiones áridas y semiáridas son las que más se han resentido con la escasez de agua, ocasionando efectos negativos en las actividades agrícolas que el hombre desarrolla; estas áreas se caracterizan por un clima adverso, con precipitaciones erráticas en cantidad y oportunidad, suelos pocos fértiles, salinos, erosión hídrica y eólica; consecuentemente se prevé en corto plazo un incremento en su superficie. En estas regiones ya se ha discutido mucho, que para hacer una actividad agrícola es indispensable contar con el recurso agua, ya que la precipitación no cubre las demandas de los cultivos. Para satisfacer estas necesidades el hombre ha realizado obras hidráulicas para extraer el agua de los mantos acuíferos provocando en muchas regiones sobre explotación de éstos (Pearce y Tuner, 1990).

El suelo agrícola apto para la producción de cultivos en la provincia de Petorca, se ha visto afectado por la escasez de agua durante los últimos años, lo cual ha provocado que la sustentabilidad de la comuna se encuentre en riesgo, ya que su principal fuente económica es la agricultura. Petorca es una provincia chilena, siendo la más extensa de la Región de Valparaíso. Limita al norte con la Provincia de Choapa; al sur con la Provincia de Valparaíso y la Provincia de Quillota; al oriente con la Provincia de San Felipe de Aconcagua; y al poniente con el Océano Pacífico. Posee una superficie de 4588,9 km<sup>2</sup> y posee una población de 70.610 habitantes. Su capital provincial es la ciudad de La Ligua.



FIGURA 1. Ubicación geográfica provincia de Petorca.

**FUENTE:** 2016, [https://www.google.cl/search?q=ubicacion+geografica+comuna+de+petorca+google+maps&imgcr=P4\\_JBLAIB0tA5M%3A](https://www.google.cl/search?q=ubicacion+geografica+comuna+de+petorca+google+maps&imgcr=P4_JBLAIB0tA5M%3A)

La utilización de aguas residuales en la agricultura se ha incrementado considerablemente en diferentes sectores. La demanda se ha generado como resultado de los recursos hidráulicos limitados, el aumento del uso de agua potable en zonas urbanas y la producción local de alimentos y reconocimiento del valor de los nutrientes en los efluentes residuales (Instituto Nacional de Derechos Humanos, 2014).

Las causas de la escasez hídrica, no estarían solo asociadas al fenómeno de sequía que experimenta la provincia, incidiendo también las actividades empresariales que tienen lugar en la zona, en especial el cambio en el uso de los suelos que generó la agricultura, con el cultivo intenso de paltos y cítricos. El otorgamiento de derechos de agua sobre cuencas extinguidas, son representadas como factores que han contribuido a generar una crisis hídrica que afecta seriamente la calidad de vida de los habitantes de la Provincia de Petorca ((Instituto Nacional de Derechos Humanos, 2014).).

Desde un punto de vista normativo, se estima que la priorización de la función productiva del agua, por sobre su función de consumo humano ha contribuido a la agudización del problema.

El desbalance entre el recurso hídrico y el crecimiento explosivo de la urbe dentro de la comuna de Petorca, ha obligado a priorizar el uso de aguas superficiales y subterráneas para el abastecimiento público. Como consecuencia lógica, la actividad agrícola en la comuna se ha visto seriamente afectada y ha optado por el uso de aguas residuales como una buena solución a su problema.

Los nutrientes presentes en las aguas residuales son adiciones económicas e incentivos para su utilización como fuente de fertilización de los suelos agrícolas. El ahorro económico de fertilizantes y la protección al medio ambiente son motivaciones para la utilización del agua residual en el sector agrícola, particularmente en sectores donde el agua es un bien escaso, sin embargo, las costumbres sociales y culturales muchas veces limitan la posibilidad de introducir esta práctica.

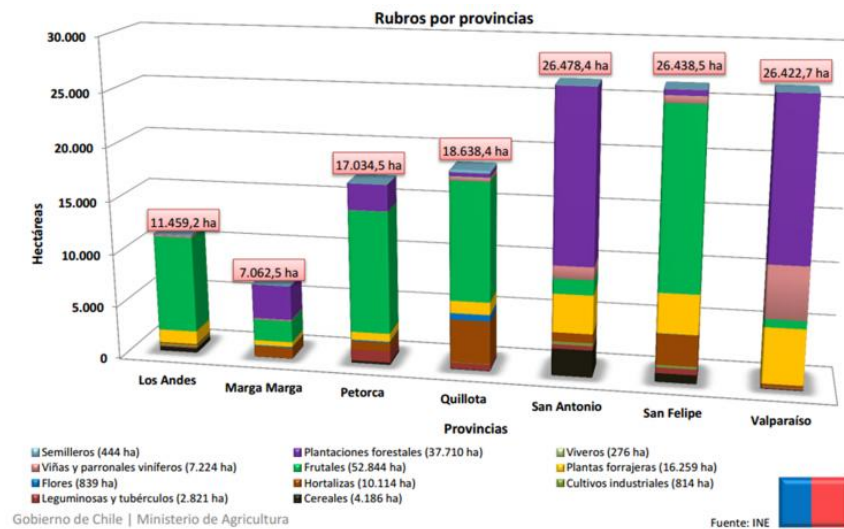
Los sistemas de riego con aguas residuales tratadas contribuyen a aumentar la producción, y en consecuencia a mejorar la salud y la calidad de vida. Además puede evitar la contaminación, proteger el abastecimiento de agua potable y ayuda a la preservación de aguas subterráneas. En muchos casos, los nutrientes presentes en el agua residual tratada, especialmente nitrato y fosfato, pueden hacer innecesario el uso de fertilizantes sintéticos. En general se ha demostrado que el riego con aguas residuales si se supervisa de manera correcta puede llegar a mejorar el rendimiento de los cultivos en cuestión (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2013).

## **1.2 Identificación y planteamiento del problema**

La escasez hídrica que afecta a la provincia de Petorca, obedece a factores tanto naturales, como humanos. En cuanto a los factores naturales, se puede mencionar la sequía que afecta a la zona entre el año 2004 al año 2016 y las características propias de la cuenca. En cuanto al segundo factor, trata de una cuenca intermedia, con cordillera baja, cuyos aportes al sistema acuífero y al agua superficial es cien por ciento pluvial, por lo que la presencia de agua depende de las lluvias que recibe.

Desde hace varias décadas, la provincia de Petorca ha orientado su producción agrícola hacia el cultivo de frutales para la exportación y esta industria es la que se ha visto más afectada con la sequía que afecta a la provincia, comprometiendo su producción, plantaciones y la calidad de sus productos.

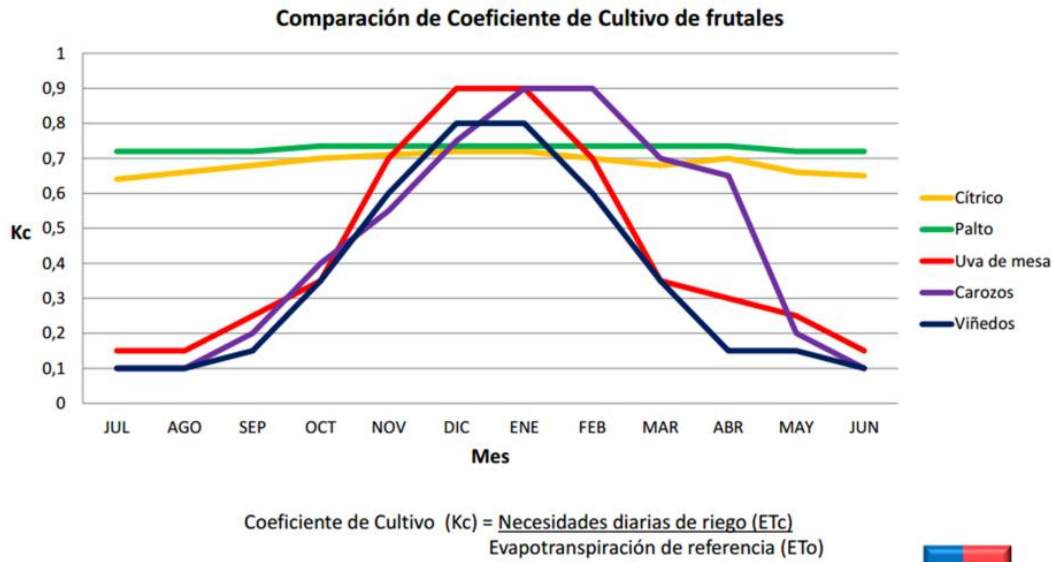
En la provincia de Petorca existen aproximadamente 100.848,90 hectáreas plantadas de paltos de las cuales 101 pertenecen a la empresa Agrícola Las Mercedes MG Ltda., ubicada en la comuna de Cabildo, donde un 48,8% de su superficie total son paltos. Es importante mencionar que para regar una Hectárea de estos árboles se necesitan 0.1 L/segundos de agua aproximadamente. Los paltos en esta zona necesitan alrededor de 950 m<sup>3</sup> de agua al año debido a la calidad del suelo (permeables, de mucho drenaje) y al clima semiárido del sector (Instituto Nacional de Estadísticas, 2014).



**FIGURA 2. Distribución de rubro por provincias (2015)**

**FUENTE:** Situación hídrica actual de la región de Valparaíso, INE 2015

Como se puede apreciar en la imagen anterior en la Provincia de Petorca destaca las plantaciones de árboles frutales, tales como, paltos, limoneros, naranjos, almendros, etc.



**FIGURA 3. Coeficiente de cultivo de las principales especies frutales**

**FUENTE:** Situación hídrica actual de la región de Valparaíso, INE 2015

Como se puede observar en el gráfico los paltos necesitan de un riego constante durante todo el año, es por esto que se debe evaluar la utilización de aguas residuales para el riego éstos como medio de aprovechamiento de los recursos hídricos de una manera más eficiente y de esta forma generar un ahorro a la empresa y una mejor continuidad de sus operaciones, mitigando en parte los efectos de la sequía que afecta a la Provincia y a la comuna en sí.

El presente proyecto analiza la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales en la empresa Agrícola Las Mercedes MG Ltda., específicamente para el riego de sus plantaciones mediante un sistema económico y fácil de operar, de forma tal que se minimicen los efectos de la sequía en la provincia de Petorca, permitiendo el uso y manejo del agua residual tratada con el máximo aprovechamiento de las características que éstas poseen. De esta forma se pretende minimizar los efectos de la sequía en sus operaciones y también dar un uso eficiente a las aguas residuales producidas por las mismas brindándole a la empresa una ventaja competitiva dentro de la industria.

### **1.3 Hipótesis de la investigación**

La implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales en la empresa Agrícola Las Mercedes MG Ltda. Haría que la empresa disminuya sus costos operacionales asociados al riego de sus plantaciones manteniendo un riego continuo y uniforme durante todo el año minimizando los efectos adversos provocados por la sequía de la zona.

### **1.4 Objetivos de la investigación**

#### **1.4.1 Objetivo general**

Diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales para la empresa agrícola Las Mercedes MG Ltda.

#### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar el mejor sistema de tratamiento de aguas residuales para utilizar en regadío.
- Determinar la inversión y los costos de la implementación de la planta de tratamiento.
- Cuantificar la cantidad de agua que se podría aprovechar para riego implementando la planta de tratamientos en la empresa.
- Identificar los posibles impactos (económicos, ambientales y sociales) o efectos generados en la empresa por la implementación de la planta de tratamientos.

## **1.5 Alcances y restricciones**

### **1.5.1 Alcances**

El proyecto explorará la industria agrícola dentro de la provincia de Petorca en donde abarcará únicamente a la empresa Agrícola Las Mercedes MG Ltda., ubicada en la localidad de Cabildo, perteneciente a la Quinta Región, Chile.

Se pretende determinar el tipo de planta de tratamiento de aguas residuales más factible para la empresa en términos económicos y productivos. De esta forma se pretende poder entregarle a ésta una propuesta efectiva para aprovechar de manera eficiente los recursos hídricos disponibles.

### **1.5.2 Restricciones**

El agua residual será extraída sólo de instalaciones pertenecientes a la empresa agrícola Las Mercedes Ltda.

El agua residual tratada será empleada exclusivamente en regadío para las plantaciones de palto tipo Hass en la empresa agrícola Las Mercedes Ltda.

Antes de proceder a la obtención de los datos que caracterizan el agua residual obtenida de las operaciones y de los servicios sanitarios de la empresa se deberá estudiar con cuidado la normativa correspondiente, con la finalidad de tener claras las restricciones que marca la Ley en cuanto al tratamiento de aguas residuales.

La calidad del agua residual tratada será normada por el Decreto Supremo 133. Esta norma fija un criterio de calidad del agua de acuerdo a requerimientos científicos referidos a aspectos físicos, químicos y biológicos para que pueda ser utilizada para regadío.

El proyecto sólo tendrá como fin diseñar una planta de tratamientos de aguas residuales para la empresa comprometida, esto quiere decir que no se diseñará un proyecto de riego para ésta.

## **1.6 Resultados esperados**

Se espera ofrecer a la empresa agrícola Las Mercedes Ltda. una solución efectiva que ayude a ésta a enfrentar los problemas hídricos que la aquejan mediante una planta de tratamiento de aguas residuales para abastecer el requerimiento de agua de sus plantaciones de paltos de manera óptima.

## **1.7 Metodología de trabajo**

### **1.7.1 Tipo de investigación**

Es de tipo mixta ya que es un proceso que recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos. En esta investigación el enfoque cuantitativo se aplica al determinar resultados numéricos en un análisis costo – beneficio de la planta de tratamientos de aguas residuales y el enfoque cualitativo se aplica al describir el estudio del caso y explorar información de los tipos de plantas de tratamientos existentes y de la que se utilizará finalmente.

Considerando las características de ambos enfoques, por una parte el enfoque cuantitativo utiliza la recolección y el análisis de datos para contestar preguntas de investigación y probar hipótesis establecidas, por otra parte, el enfoque cualitativo, se utiliza primero para descubrir y refinar preguntas de investigación y se basa en métodos de recolección de datos sin medición numérica, como las descripciones y las observaciones y por su flexibilidad se mueve entre los eventos y su interpretación, entre las respuestas y el desarrollo de la teoría.

Por otra parte, el estudio es de tipo descriptivo ya que describe los tipos de plantas de tratamientos residuales y la problemática a resolver, sin embargo, también es de tipo correlacional, ya que relaciona el tipo de planta de tratamiento a utilizar para regadío con las condiciones necesarias que tiene que tener el agua para poder ser utilizada en el riego de paltos.

### 1.7.2 Grupo objetivo

El agua residual será extraída sólo de las instalaciones pertenecientes a la empresa agrícola Las Mercedes Ltda, tales como, baños de servicio, de oficinas, de comedores, cocinas y de las mismas operaciones de la empresa, como por ejemplo, el packing.

## 1.8 Contexto de la investigación

### 1.8.1 Mercado

En la última década la industria frutícola de Chile se ha consolidado como uno de los principales polos de exportación del país, con valores de exportación de fruta fresca que alcanzan los US\$ 2.227 millones en el 2013 (Oficina de estudios y políticas agrarias, (ODEPA), 2014).

La Región de Valparaíso concentra la mayor superficie plantada con *paltos* en el país (55,8%) y, consecuentemente, tiene la mayor producción nacional (79,2%) y los mayores retornos de exportación (62,2%).(Instituto de desarrollo agropecuario (INDAP), 2014)

Chile está posicionado como el segundo país líder en la exportación de Paltas al extranjero, como se muestra en la siguiente imagen. (Departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA), 2014).

Dentro de los mercados, Estados Unidos sigue siendo el más importante para el país, -representa el 65% del total de las exportaciones-, a pesar de la competencia de Perú. Europa, que representa el 28% de las exportaciones de paltas chilenas, aumentó en 22% respecto del año anterior, con exportaciones totales de 32.480 toneladas.

## Posición de las exportaciones chilenas

	Uva de mesa	Manzanas	Paltas	Vino	Carne de cerdo
1°	Chile	China	México	U Europea	Estados Unidos
2°	Italia	Chile	Chile	Australia	UE-27
3°	Estados Unidos	Italia	Estados Unidos	Chile	Canada
4°	Sudafrica	Estados Unidos		Estados Unidos	Brasil
5°	México	Polania			China
6°	Turquía	Sudafrica			Chile

Fuente: USDA

**FIGURA 4. Posición de las exportaciones chilenas**

**FUENTE:** Una mirada de la agricultura por regiones, Sociedad nacional de agricultura (SNA) 2015

### 1.8.2 Información de la empresa

Agrícola Las Mercedes MG Ltda., es una empresa familiar ubicada en el sector de Monte Grande, kilómetro 23 camino a La Ligua a Cabildo, Provincia de Petorca, Quinta región. Esta empresa comienza en sus inicios como pioneros en plantaciones de Paltas en el País en los años 50, de esos años a la fecha se han mantenido en el tiempo como productores de Palta para los mercados de exportación y mercado Interno.

Con el avance del tiempo el campo se subdividió en varias agrícolas siendo una de ellas Agrícola Las Mercedes MG Ltda., Las diferentes plantaciones se han ido renovando y perfeccionando en cuanto a patrones, variedades y distancias de plantación, ya que antaño se plantaba a densidades muy bajas y existían variedades que hoy no son comerciales. Hoy solo existe la variedad Hass con polinizantes asociados al 11% aproximadamente con variedad Edranol y Bacon.

Actualmente las plantaciones corresponden a los años 1985 (6x6-6x8), 1988 (6x6), 2002 (7x3) y 2005 (6x3) completando un total de 101 hectáreas.

La empresa posee como infraestructura además un packing para la selección y calibre de la fruta que se entrega en los diferentes mercados, además de toda la infraestructura de maquinaria y equipos para la explotación de los campos.

La empresa cuenta además con Certificaciones Global Gap y Tesco como buenas prácticas Agrícolas, que se renovarán en Diciembre de este año. También cuenta con certificados de Buenas Prácticas Laborales, la cual avala la buena relación de la empresa en el ámbito laboral.

**Datos de la empresa:**

<b>Rut :</b>	76107510-1
<b>Dirección :</b>	Fundo Monte Grande Sin Número, Cabildo
<b>Teléfono :</b>	(56-33) 276 1538

## Capítulo 2. Marco conceptual

### 2.1 Gestión del agua

La gestión del recurso agua es un tema sobre el que se ha hecho énfasis en los últimos años. La tendencia actual a nivel mundial, a raíz del incremento de la demanda del recurso y el deterioro de la calidad y disponibilidad del mismo, ha sido la fuerza impulsora para la investigación y el desarrollo tecnológico de alternativas para el tratamiento y recuperación de las fuentes de aguas residuales.

En Chile, la disponibilidad y calidad del agua está comprometida a lo largo del país, ya sea por su disponibilidad o de su calidad adecuada para el uso y consumo humano. Por ejemplo, en la región Norte del país la mayoría de las fuentes de agua están contaminadas o han disminuido su capacidad de sostener la vida, por la contaminación directa o indirecta de las actividades de la minería, el efecto de la desertificación, la generación de aguas servidas y la disposición de basura en los lechos de los ríos por los asentamientos humanos (Política nacional para los recursos hídricos, 2015)

En otras regiones del país el problema de contaminación hídrica se atribuye a las malas prácticas agrícolas y ganaderas, a la falta de alcantarillados y mala disposición de la basura y a las actividades industriales, plantas termoeléctricas, refinerías, etc.; las cuales tienen efecto en la salud de las personas, destruyen los ecosistemas, causan pérdida del recurso, y tienen efectos indirectos en la economía del país (Chile Sustentable, 2014).

## **2.2 Uso del agua**

Dentro de los usos del agua se puede distinguir el uso consuntivo y el uso no consuntivo. El uso consuntivo impide que el agua esté disponible para uso posterior, al menos que se devuelva en forma de lluvia. El uso no consuntivo del agua la deja disponible (después de un tratamiento si es necesario), para nuevo uso sin pasar por un ciclo hidrológico (Viessman and Hammer, 1993).

La agricultura, en virtud de la evaporación y de la absorción e infiltración del agua que se utiliza en los cultivos, es responsable de que casi el 90% de agua no esté disponible para uso ulterior en el mundo. El agua para uso doméstico constituye alrededor del 10 % de la cantidad total. Los contaminantes de las aguas urbanas equivalen a menos del 0,5% de su masa, de modo que la purificación para nuevo uso es técnicamente factible. El 70 % de toda el agua extraída del sistema hídrico se devuelve a la porción de aguas superficiales del ciclo hidrológico donde, a menos que se trastorne demasiado en los sistemas naturales, rejuvenece en parte por la acción de procesos naturales. (Glynn y Heinke, 1999).

## **2.3 Calidad del agua**

El agua tiene características físicas, químicas y microbiológicas, que se ven afectadas por sustancias disueltas o suspendidas en ella, por lo que es necesario tratarla para que sea adecuada para su uso. El agua también es reservorio de microorganismos patógenos causantes de enfermedades y en tal situación no es apta para el consumo humano. Los requisitos de calidad de agua se establecen dependiendo de los usos que se le den a la misma. Esta calidad se ajusta según los estándares físicos, químicos, y biológicos que fija el usuario. El agua se evalúa en cuanto a calidad en términos de sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas.

El manual *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 1992), constituye un compendio de métodos analíticos que se siguen en Estados Unidos y Canadá para evaluar la calidad de las aguas (Glynn y Heinke, 1999). Según Brown y Saldivia (2000), la calidad del agua en Chile en el año 1998, tuvo un cumplimiento de un 99,4% de las normas referidas a calidad bacteriológica, un 99,9% en lo relacionado con las normas de desinfección, un 96,5% para los parámetros físicos y un 98,8% para los parámetros químicos, los cuales todos se encuentran normados.

## **2.4 Organismos patógenos**

Un organismo patógeno, es un agente que causa infección en un huésped vivo. Entre los organismos patógenos que tienen la virulencia suficiente para infectar humanos en condiciones apropiadas, se cuentan ciertas especies de bacterias, virus, algas y hongos, así como protozoarios y organismos helmínticos.

Los organismos patógenos son incapaces de crecer en el agua, pero pueden sobrevivir en ella por varios días. Los patógenos capaces de formar esporas o quistes tienen la capacidad de existir fuera de un huésped durante un tiempo mucho más largo. Por ejemplo, las esporas de *Clostridium tetani*, el patógeno, que causa la infección del tétano, sobreviven durante años en la naturaleza (Glynn y Heinken, 1999).

La supervivencia de los organismos patógenos sometidos a los tratamientos modernos de aguas residuales, es un problema mayor de salud, que está asociado con la utilización de estas aguas en la industria y el riego de cultivos (Feachmen, 1983). Una gran variedad de bacterias entéricas patógenas puede estar presente en el agua potable y aguas residuales. Con la creciente demanda de los recursos hídricos, se puede esperar un crecimiento en la contaminación de aguas superficiales y subterráneas por organismos patógenos, teniendo incidencia éstos en el brote de epidemias de origen hídrico. Entre estas bacterias entéricas, se puede mencionar la *Salmonella*, *Shigella*, *Campylobacter*, *Echerichia coli*, *Vibro colera*, *Leptospira* y *Yersenia* (Kabler, 1959).

## 2.5 Organismos indicadores

Para la detección de los patógenos, se ha determinado la utilización de indicadores, o el concepto de microorganismo indicador, que no necesariamente relaciona la concentración de cada uno de los posibles patógenos en el agua, sino que evalúa su grado de contaminación por contaminación fecal de humanos y animales (Castillo, 2001). Entre las limitaciones de los organismos utilizados como indicadores podemos mencionar: especificidad, la resistencia a los tratamientos y desinfección, presencia en el agua junto a los patógenos, supervivencia en el agua, y multiplicación en el ambiente (Cabelli et al., 1982, Cabelli, 1983).

Las principales características de un buen organismo indicador son: (1) su ausencia implica la existencia de patógenos entéricos; (2) la densidad de los organismos indicadores está relacionada con la probabilidad de la presencia de patógenos; y (3) en el medio los organismos indicadores sobreviven un poco más que los patógenos. (Glynn y Heinke, 1999). Así, los indicadores bacterianos son utilizados para determinar la presencia de material fecal y su uso es asegurar la efectividad del tratamiento y calidad final del agua potable. Para asegurar la calidad y los aspectos sanitarios del tratamiento de aguas residuales, reuso de efluentes, etc., se utilizan patógenos como indicadores.

La Organización Mundial de la Salud ha identificado las actividades económicas de la agricultura como uno de los futuros desafíos para la salud pública. Recientes brotes de cyclospora y hepatitis A, pueden ser causados por el reuso de aguas contaminadas para riego lo que hace necesario el uso de nuevos indicadores para contaminación fecal además de los coliformes (Elmund et al., 1999).

## **2.6 Eficiencia en remoción de organismos patógenos**

Estudios realizados por el Centro de Estudios Peruanos de Ingeniería Sanitaria (CEPIS) demuestran la eficiencia de remoción de patógenos a través de diferentes sistemas de tratamiento de aguas residuales.

Los biofiltros ocupan una eficiencia de 0-2 para bacterias y helmintos; y de 0-1 para virus y quistes, en una escala logarítmica de 0-4. (Saénz, 2002). Los virus y las bacterias entéricas presentes en los lodos y aguas servidas utilizados para el riego y fertilización de cultivos pueden sobrevivir en condiciones extremas, inclusive en los procesos de cosecha y mercadeo del producto.

El uso de agua servida tratada, puede ser seguro para el riego de cultivo, si reciben hasta un tratamiento terciario (Mahboob et al., 1990).

## **2.7 Normativa y criterios de calidad de agua para diferentes usos**

La protección de la salud pública, la calidad de las aguas naturales y el control de las descargas de contaminantes al ambiente, es tema de consideración en la mayoría de los países para el desarrollo de normativas y regulaciones. Estas normativas consideran los niveles máximos aceptables de diversos parámetros físicos, químicos, biológicos, y radiológicos entre otros.

En Chile la autoridad encargada de la elaboración de normas es el Instituto Nacional de Normalización (INN). Las normas son preparadas por un comité de expertos, son sometidas a consulta pública y son posteriormente oficializadas por el Consejo del INN. En el caso de las normas de calidad microbiológica de las aguas, estas regulaciones están incluidas dentro de las normativas respectivas, según sea su uso. Las normas de calidad bacteriológica de las aguas en Chile son las de agua potable, uso en riego de cultivos de consumo crudo, para recreación con contacto y para el cultivo de mariscos y peces. Estas normas, con excepción de algunos parámetros, no contemplan aspectos epidemiológicos ni análisis de riesgos.

Las Normas Chilenas que tienen que ver con la calidad microbiológica del agua y el riesgo directo para la salud que tiene relación con los objetivos de este estudio, son la NCH1.333 de 1978, modificada en 1987, en la que se establece la normativa para el riego de cultivos de consumo crudo y el Decreto N°90 sobre las descargas de agua residuales en los cuerpos de aguas marinas y superficiales.

Las directrices de calidad de agua de la Organización Mundial de la Salud OMS establecen los parámetros microbiológicos para el agua dependiendo del uso, ya sea potable, para el riego de cultivos agrícolas o para la acuicultura. En estas directrices se basa la elaboración de normas de calidad de agua de la mayoría de los países de América Latina. Estas directrices recomiendan, para el tratamiento de aguas residuales que se usan en riego de cultivos que se consumen cocidos y para acuicultura, que se realicen tratamientos primario y secundario, además de su desinfección. Se determinó que los cultivos que no se destinaban directamente a consumo humano podían regarse con efluentes del tratamiento primario de aguas servidas (OMS, 1997).

## **2.8 Tratamientos para la descontaminación de las aguas servidas**

Según la Organización Mundial de la Salud, uno de los grandes desafíos en los países de América Latina en el siglo XXI, será la búsqueda de soluciones al deterioro de los recursos hídricos, ocasionado por la falta de tratamiento y disposición de las aguas servidas.

Existe en la actualidad un amplio rango de métodos biológicos para la detección y monitoreo de contaminantes en las aguas servidas. Las alternativas de tratamientos biológicos consisten básicamente en aclimatar una flora bacteriana (biomasa), que utiliza materia orgánica como alimento (sustrato), convirtiéndola en gases ( $\text{CO}_2$ ) que escapan a la atmósfera y en tejido celular de las bacterias, que pueden ser removidos por sedimentación. También, existe tratamiento final para la desinfección de efluentes de aguas residuales y agua potable con microorganismos patógenos como es la utilización de radiación ultravioleta (UV), la cual representa costos más elevados que la desinfección por cloro.

En la actualidad, la utilización de radiación ultravioleta se ha tornado competitiva a determinadas órdenes de magnitud en términos de población equivalente (Huaman y Lazcano, 1999). El cloro produce formación de trihalometanos compuestos cancerígenos y mutagénicos, así como la formación de productos cancerígenos en la mezcla del cloro con ácidos húmicos y fúlvicos (Hernández, 2001).

## **2.9 Procesos básicos de tratamiento biológico**

Existen diferentes métodos de tratamiento biológico. Los más conocidos son los lechos bacterianos y los lodos activados. En ambos tipos de tratamiento, se emplean cultivos biológicos para conseguir una descomposición aeróbica y oxidación de la materia orgánica, pasando a compuestos más estables.

Se obtiene así un mayor rendimiento que el alcanzado por una sedimentación primaria, y por una depuración de tipo químico. Existe una diferencia operacional entre ambos procesos para llevar a cabo la descomposición de la materia orgánica. En ambos casos, el éxito radica en mantener las condiciones aeróbicas, que son necesarias para el ciclo vital de los organismos, y en controlar la cantidad de materia orgánica que descompongan.

En el tratamiento biológico por lechos bacterianos o filtros percoladores se encuentran entre los sistemas de tratamiento biológico de aguas residuales más antiguos. Se trata de un sistema de depuración biológico aerobio cuyo funcionamiento se basa en hacer circular, a través de un medio poroso, aire y agua residual.

En el tratamiento biológico por lodos activados el residuo se estabiliza biológicamente en un reactor bajo condiciones aeróbicas. Durante el crecimiento y mezcla los organismos floculan formando una masa activa denominada lodos activados. El ambiente aeróbico se logra mediante el uso de aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos. La tecnología de Lodos Activados es una de las más difundidas a nivel mundial. Los objetivos que persigue el tratamiento biológico del agua residual son la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables y la estabilización de la materia orgánica (SINIA, 2015)



**FIGURA 5. Vista aérea de planta de tratamiento de aguas residuales con la tecnología de lodos activos**

**FUENTE:** Informe sobre Tecnología de lodos activados, Sistema nacional de información ambiental (SINIA), 2015

## 2.10 Desinfección

La desinfección es un proceso de destrucción o inactivación de los microorganismos patógenos. Cuando se habla de esterilización implica la destrucción o inactivación total de todos los microorganismos (bacterias, virus, algas, nemátodos, protozoos, etc.).

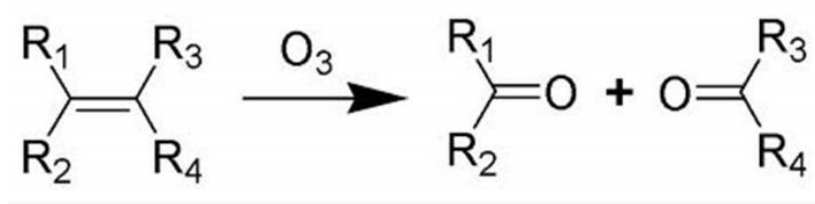
También es una práctica que se utiliza en los procesos finales de aguas servidas del tipo convencional. Los sistemas de desinfección más utilizados en las aguas residuales pueden concretarse en cloración, ozonización y radiación ultravioleta)

La cloración es un medio sencillo y eficaz para desinfectar el agua y hacerla potable. Consiste en introducir productos clorados (pastillas de cloro, lejía, etc.) en el agua para matar los microorganismos en ella contenidos. Normalmente, tras un tiempo de actuación de unos 30 minutos, el agua pasa a ser potable. Gracias al efecto remanente del cloro, continúa siéndolo durante horas o días (en función de las condiciones de almacenamiento).

La ozonización, también conocida como ozonación es una buena alternativa a la cloración, cuando en el agua hay fenoles y otras sustancias orgánicas precursoras de trihalometanos. Los fenoles por la adición de cloro forman clorofenoles de sabor y olor

desagradables, aún en concentraciones tan pequeñas como 0,01 mg./L. Los precursores de trihalometanos suelen ser sustancias orgánicas naturales como los ácidos húmicos, fúlvicos y tánicos, generalmente de procedencia vegetal, que a la vez comunican a las aguas superficiales una determinada coloración. Sobre estas sustancias orgánicas, con enlaces dobles entre átomos de carbono, actúa el ozono rompiéndolos y a medida que esto sucede, no solo el color va desapareciendo, sino que los propios precursores de los trihalometanos se van eliminando.

Reacción Ozonización:



**FIGURA 6. Reacción del ozono y formación de ozónidos**

**FUENTE:** 2016, <http://www.quimicaorganica.org/reacciones-alquenos/354-ozonolisis-de-alquenos.html>

La radiación UV proporciona una inactivación rápida y eficiente de los microorganismos mediante un proceso físico. Cuando las bacterias, los virus y los protozoos se exponen a las longitudes de onda germicidas de la luz UV, son incapaces de reproducirse e infectar. Se ha demostrado que la luz UV es eficaz frente a microorganismos patógenos, como los causantes del cólera, la polio, la fiebre tifoidea, la hepatitis y otras enfermedades bacterianas, víricas y parasitarias.

Los efectos de la inactivación dependen del tipo de microorganismos, de la dosis y tipo de desinfectante empleado y el tiempo de contacto. Las características de los desinfectantes incluyen ser: tóxicos para los microorganismos y no tóxicos para el hombre y otros organismos superiores, solubles, homogéneos en la solución y estables, inertes con otras materias; y tener una disponibilidad permanente, sin efecto sobre la calidad de las aguas.

Para la utilización de la desinfección de las aguas servidas, se debe tomar en cuenta los efectos de eliminación de microorganismos en las distintas etapas del proceso de depuración. La concentración de los patógenos en los efluentes de aguas servidas es generalmente alta y muy variada. Además, no todos los tipos de patógenos presentan igual sensibilidad a los desinfectantes. (McJunkin, 1988).

## Capítulo 3. Diagnóstico de la situación actual

### 3.1 Estudio de la problemática

El Tipo de Plantación (Paltos Hass) que existe en la empresa es de carácter plano, sin embargo, en algunos sectores las plantaciones están sobre camellones a distancias de 6x6 - 6x8 - 7x3 Metros.



**FIGURA 7. Foto de plantaciones sector plano**

**FUENTE:** 2016, Empresa agrícola Las Mercedes MG Ltda.



**FIGURA 8. Foto de plantaciones en cerro**

**FUENTE:** 2016, Empresa agrícola Las Mercedes MG Ltda.

El sistema de riego utilizado por la empresa es mediante goteo, 3 líneas por hilera. Antiguamente algunos sectores se regaban por microaspersión pero debido a la escases de agua se cambió a goteros ya que es más eficiente en cuanto a costos y se aprovecha mejor el agua.

Este método de riego (por goteo) es utilizado principalmente en la implantación y durante el primer año de vida del palto, sin embargo, como existe poca disponibilidad de agua se ha debido seguir utilizando este método ya que tiene una serie de ventajas, tales como, bajo gasto de agua, menor gasto de energía eléctrica, disminución de costos, fácil control de malezas y mayor eficiencia en la fertilización.

Este sistema se puede seguir utilizando siempre y cuando se cuente con los siguientes antecedentes: Suelo de muy buena calidad (ojalá lo más cercano a un suelo franco) y de gran profundidad (a lo menos 1,2 a 1,5 m de suelo libre de cualquier impedimento), la superficie mojada debe ser en lo posible de un 70% o más, que significa poner tres líneas de goteros, si estamos hablando de una plantación de 6 m de distancia entre las plantas.

Los Paltos necesitan alrededor de 950 m<sup>3</sup> de riego en el año en este sector debido al tipo de suelo existente, ya que éste es muy permeable, existe mucho drenaje, normalmente sólo se repone un 80% de la evaporación.

Una variable importante a considerar en la propuesta de tratamiento de aguas residuales es la Conductividad Eléctrica (CE) en el agua, ya que los paltos son muy susceptibles a las altas concentraciones de cloruros, queman sus hojas y terminan por defoliarse y por ende perjudica a la operación misma de la empresa. Es por esto que se debe escoger un sistema de tratamientos de aguas residuales que elimine estas sales de las aguas para que puedan ser utilizadas en el riego de estas plantaciones.

El cloro es uno de los elementos que más abundan en el agua de riego. Éste aparece como anión cloruro (Cl<sup>-</sup>). El cloruro es indispensable para el desarrollo de la planta, ya que actúa en procesos vitales como la fotosíntesis, transporte de cationes, apertura y cierre de estomas y división celular. Las plantas lo requieren en pequeñas cantidades (no más de 0.5 meq/L en la solución del suelo), pero cuando su concentración es muy alta el cloruro puede convertirse en un elemento tóxico.

El cloruro es absorbido por las plantas en forma activa. Su movimiento de las raíces a las hojas es rápido, siempre acompañando cationes. El cloruro se concentra sobre todo en las hojas, pero se puede encontrar en concentraciones relativamente altas en otras partes de la planta.

Los daños que puede provocar el cloruro en los paltos son los siguientes:

- Necrosis de las puntas de las hojas, que avanza con la acumulación de cloruros.
- En casos graves aparecen necrosis también en las puntas de las ramas.
- Caída de hojas, flores y frutos.
- Reducción de la conductividad de los estomas.
- Reducción del potencial hídrico de las hojas.
- Reducción de la fotosíntesis.
- Fruta pequeña y baja producción.
- Inhibición del crecimiento de la planta.
- Inhibición del crecimiento de las raíces

Al no contar con la cantidad de agua suficiente por la sequía que afecta la zona debido a bajas precipitaciones, los riegos tienden a ser cortos, lo que produce altas concentraciones de sales minerales en el suelo, produciendo entonces la quema de las hojas y defoliaciones. Es importante contar con niveles de agua suficientes y constantes para poder mejorar la calidad de los riegos y esporádicamente prologarlos a riegos de 30 ó 40 mm de agua, de esta forma se producirá un lavado de los cloruros que afectan al palto disminuyendo los riesgos a las plantaciones existentes.

### 3.1.1 Requerimientos hídricos del palto

El riego es un factor importante para un correcto manejo del palto. Este árbol es extremadamente sensible al exceso de agua, que reduce la disponibilidad de oxígeno para las raíces y que además favorece el desarrollo de hongos, que causan la pudrición de las raíces. El palto también es sensible al *déficit hídrico*, especialmente durante periodos de formación del fruto.

Para el palto, el riego es fundamental desde comienzo de la primavera, ya que en esta época se produce la floración, cuaja y caída de los frutos, etapas consideradas críticas en cuanto a demanda de agua, en especial durante la cuaja, en que cualquier desbalance parcial puede afectar negativamente la productividad. El periodo más sensible para el desarrollo del palto es durante la primavera e inicios del verano, ya que es aquí donde se desarrolla el sistema radical, crece la parte vegetativa, se producen los mayores requerimientos de zinc, boro y calcio y se definen el número de células en el fruto, del cual depende el calibre potencial a obtener (Instituto de investigaciones agropecuarias (INIA), 2014).

Durante la etapa de división celular del fruto, un estrés hídrico genera menor número de células lo que se expresa en frutos alargados; durante el verano provoca que la elongación de las células no se logre adecuadamente, determinando frutos de menor tamaño y redondeados.

El manejo del agua en el huerto durante la floración, es crucial para la formación de frutos, en especial si los árboles están plantados en suelos arenosos, que retienen poca la humedad. Cuando el agua es limitada, las flores son las primeras en percibir el estrés, pudiendo sufrir un daño irreversible.

La segunda etapa de la caída de la fruta en el ciclo de crecimiento es el periodo más crítico para la administración del agua. Esta es una etapa de ajuste de la carga que se produce durante el verano, época en que lo más probable es la ocurrencia de caída de la fruta, pero aminora el impacto del ajuste de carga en el rendimiento final (INIA, 2014).

Durante el último periodo de crecimiento y maduración rápidos, un riego efectivo reduce la caída del fruto y aumenta su tamaño final. Este efecto es particularmente importante en los cultivadores de plantaciones densas, como por ejemplo la Hass, en términos de obtener un alto porcentaje de fruta del tamaño que tiene mejor acogida en el mercado.

Otra variable importante a considerar y a evaluar es la inversión que se debe hacer para implementar la planta de tratamiento de aguas residuales dentro de la empresa y el costo de su funcionamiento, ya que si el costo de implementar este sistema de tratamiento de aguas es muy alto, no se verá justificada su inversión y el proyecto no será considerado como viable. Es por esto que se debe buscar una técnica que cumpla tanto con los aspectos económicos buscados por la empresa como con los aspectos técnicos, ya que deben cumplir con la normativa vigente y con los requerimientos necesarios para el riego de este tipo de plantación (INIA, 2014).

### **3.1.2 Situación hídrica de la zona**

Según datos entregados por la empresa agrícola Las Mercedes MG Ltda. entre los años 2007 y 2014 existió un déficit importante de precipitaciones anuales (Ver figura 9). Éstos déficit han traído grandes consecuencias en las operaciones de la empresa, ya que ésta ha tenido que talar muchas de sus hectáreas de paltos para poder dar prioridad a los que son más productivos o porque simplemente el agua no alcanza para regar la totalidad existente, lo que ha producido grandes pérdidas para la empresa.

El año 2015 influenciado por el fenómeno del niño y como consecuencia un aumento en las precipitaciones, existe un superávit de un 10,27%, lo que ha ayudado en parte a normalizar dentro de todas las operaciones y mejorar la calidad de los frutos y el estado de los árboles, sin embargo, si bien se está observando un panorama alentador, la escasez de agua en la zona es una problemática que está muy lejos de desaparecer, por lo que se debe buscar la forma de utilizar el agua de una forma más responsable y eficiente, sustentando la iniciativa de tratar las aguas residuales provenientes de las operaciones de la empresa.

<b>Fundo Monte Grande (Las Mercedes MG Ltda.)</b>			
<b>Cabildo, provincia de Petorca, V región</b>			
<b>Normal zona aprox.</b>		<b>298,8 mm</b>	
<b>Agua caída</b>			
<b>Temporada</b>	<b>mm</b>	<b>Súper avit / déficit</b>	
2007	148,00	-50,47	%
2008	290,00	-2,95	%
2009	256,50	-14,16	%
2010	197,50	-33,90	%
2011	201,50	-32,56	%
2012	222,00	-25,70	%
2013	166,00	-44,44	%
2014	168,00	-43,78	%
2015	329,50	10,27	%

**TABLA 1. Precipitaciones de los últimos años con respecto a un año normal**

**FUENTE:** 2016, Empresa agrícola Las Mercedes MG Ltda.

### **3.1.3 Fuentes de aguas residuales disponibles**

El agua residual que se tiene considerada para aplicar el tratamiento será extraída de los servicios sanitarios de la empresa.

Según un estudio de la OMS, en Chile se estima el consumo de agua per cápita es 135 Litros diarios y teniendo en cuenta que en la empresa trabajan en promedio 60 personas al día, da un total de 4.050 Litros de agua al día, los que deberán ser sometidos a tratamiento en la planta que se pretende construir.

## Capítulo 4. Desarrollo

### 4.1 Selección de tratamiento a utilizar

Para poder determinar cuál era el tipo de tratamiento más adecuado para el diseño de la planta de tratamientos de aguas residuales que se requiere se tomaron en cuenta los siguientes criterios:

- Costo de construcción y diseño de la planta: Es importante que el tratamiento que se utilice cumpla con los requerimientos económicos propuestos por la empresa, ya que esta busca minimizar sus gastos operacionales mediante el uso de esta tecnología, por lo que pretenden que el tratamiento sea lo más económico posible.
- Dimensión de la planta: La planta tendrá lugar dentro de la empresa, por lo tanto, debe cumplir con los requerimientos de infraestructura señalados por la empresa.
- Tipo de desinfección más adecuado: El método de desinfección que se utilizará es importante ya que el cloro residual es un factor importante para la empresa por el tipo de cultivos que ésta tiene.
- Agua residual apta para riego: El tratamiento tiene que tener como fin poder entregar a la empresa agua que se pueda utilizar para el riego de sus cultivos, cumpliendo con las normativas vigentes para el uso de aguas residuales para riego.
- Impacto ambiental: El tratamiento deberá cumplir con las normas ambientales vigentes y deberá ser una alternativa viable en términos de contaminación e impacto ambiental tanto para la empresa como para las personas que trabajen en ella.
- Operación de la planta: La planta debe ser fácil de operar y mantener para no generar problemas en la empresa en el corto plazo.

Teniendo en cuenta los criterios mencionados anteriormente se determinó que el tratamiento mediante Lodos Activados es el más adecuado para la planta de tratamientos que requiere la empresa.

## 4.2 Planta de tratamiento de aguas residuales mediante Lodos Activados

Una planta de tratamientos de aguas residuales mediante Lodos Activados es un tratamiento biológico de cultivo suspendido, donde el residuo se estabiliza biológicamente en un reactor bajo condiciones aeróbicas. Durante el crecimiento y mezcla los organismos flocculan formando una masa activa denominada lodos activados. El ambiente aeróbico se logra mediante el uso de aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos.

Este tratamiento consta de cinco procesos, de un Pre tratamiento, de un Tratamiento primario, uno secundario, de uno terciario y finalmente de un proceso llamado pura; Los cuales a su vez constan de sub procesos.



**FIGURA 9. Proceso básico de lodos activados**

FUENTE: 2016,

<http://www.tesisred.net/bitstream/handle/10803/5909/08Mjkm08de18.pdf?sequence=8>

## **4.2.1 Pre tratamiento**

### *4.2.1.1 Desarenador*

Es una estructura de hormigón armado diseñada para retener la arena que traen las aguas servidas a fin de evitar que ingresen al proceso de tratamiento y lo obstaculicen creando problemas en el funcionamiento de éste.

### *4.2.1.2 Cámara de rejas*

Estructura ubicada en la entrada del recinto de la planta. Tiene por finalidad retener cuerpos extraños o sólidos gruesos que puedan alterar posteriormente el proceso de tratamiento, por ejemplo, tablas, ramas, basura, etc. Estas rejas son de fierro, con inclinación de 30°, Consta de 10 barras de 5 mm de espesor, con separación entre ellas de 15 mm.

## **4.2.2 Tratamiento primario**

### *4.2.2.1 Tanque de aireación*

En el estanque de aireación al agua se le agrega aire a través de difusores dispuestos en el fondo del estanque. El agua a tratar y el lodo activado recirculado entran en este tanque y se mezclan con aire disuelto o con agitadores mecánicos. El suministro del aire suele ser uniforme a lo largo de toda la longitud del canal. Durante el período de aireación, se produce la adsorción, floculación y oxidación de la materia orgánica.

### **4.2.3 Tratamiento secundario**

#### *4.2.3.1 Sedimentador*

Comúnmente llamado clarificador o tanque de sedimentación. Es un dispositivo usado para separar por gravedad las partículas en suspensión en una masa de agua. Estas partículas se unen mediante un proceso químico conocido como floculación permitiendo la decantación de los lodos.

En la parte baja o fondo del sistema se acumulan los lodos o fangos; el exceso debe ser decantado y compactado mediante una línea o corriente de purga y otra parte usualmente es recirculada hacia los fondos por una corriente de derivación.

### **4.2.4 Tratamiento terciario**

#### *4.2.4.1 Desinfección*

La desinfección del agua es necesaria como uno de los últimos pasos en la planta de tratamiento de agua residual, para prevenir que esta sea dañina para la salud.

El propósito de la desinfección en el tratamiento de las aguas residuales es reducir substancialmente el número de organismos vivos en el agua que se descargará nuevamente dentro del ambiente.

La desinfección que se utilizará en este caso será de cloración, la cual se llevará a cabo en una cámara de contacto, en el interior de esta cámara se encuentra un clorador que contiene dos tubos ranurados, en los cuales se introducen tabletas cloradoras (hipoclorito de calcio) . La cámara de contacto deberá ser diseñada con la finalidad de que dicha agua se mantenga en contacto con el cloro durante un periodo aproximado de 30 minutos con la finalidad de eliminar toda clase de bacterias existentes en el agua.

La cloración es el procedimiento de desinfección de aguas mediante el empleo de cloro o compuestos clorados y es también la forma más común de desinfección de las aguas residuales debido a su bajo historial de costo y del largo plazo de la eficacia.

#### **4.2.5 Purga**

Los residuos del tratamiento de las aguas residuales, lodos en exceso, no pueden ser desechados sin un tratamiento adecuado.

La purga del lodo activo es la remoción de sólidos que se generan del sistema de fangos activos. El exceso de lodo se elimina del sistema siendo bombeado directamente del fondo del clarificador (Sedimentador), de la misma línea de recirculación o directamente del tanque de aireación.

El objetivo de la purga de lodos es mantener un número óptimo de microorganismos en el sistema de tratamiento, esto ayuda a mantener un buen nivel de tratamiento, la purga de lodos también mantiene a las bacterias con una adecuada actividad.

El exceso de lodos se llevará a un lecho de secado eliminando el mayor porcentaje posible del agua contenida en estos para luego poder utilizarlos como abono o fertilizante para las operaciones de la empresa, si esta lo encuentra conveniente.

### **4.3 Estudio Técnico**

#### **4.3.1 Especificaciones técnicas**

Las presentes Especificaciones Técnicas se refieren a la construcción de las obras civiles de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en la empresa Agrícola Las Mercedes MG Ltda. Es importante señalar que tanto las obras como materiales y procedimientos cumplirán con las exigencias indicadas en las presentes especificaciones técnicas y a los planos correspondientes.

Las obras especificadas mediante estas especificaciones técnicas corresponden a:

1. Obras Civiles de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas.
2. Control de Calidad.

En el caso que hubiese discrepancias entre los planos de forma y las presentes especificaciones técnicas, el orden de prioridad es el siguiente:

1. Planos Básicos
2. Especificaciones técnicas
3. Planos Ingeniería detalles obras civiles determina espesores de muro y detalles estructurales de la planta.

Estas especificaciones técnicas comprenden las obras necesarias para la construcción y habilitación hidráulica de la planta de tratamiento de aguas servidas ubicada en la empresa Agrícola Las Mercedes MG Ltda.

La planta de tratamiento será en base a la modalidad Lodos activados con aireación mecánica y masa fija. La construcción de la planta se realiza con planos aprobados en revisión y firmados en original.

#### *4.3.1.1 Condiciones técnicas*

- Instalación de faenas: Se realizará la instalación provisoria del equipamiento necesario y casetas para el normal desarrollo de las obras. El mandante entregará agua, luz y fuerza a un costado del emplazamiento definitivo de las obras.
- Trazado y replanteo: El trazado se realizará de acuerdo a los planos de forma proporcionados. Se deberá dejar indicado en el plano de forma las cotas de radier tanto de la última cámara como también de los estanques correspondientes a la planta de tratamiento y el lugar de entrega del efluente tratado.

- Excavaciones: Las excavaciones de los estanques y cámaras se ejecutarán hasta alcanzar el nivel indicado por los planos básicos o de forma. El sello se hará en forma manual, deberá ser perfectamente horizontal y tendrá que ser compactado en forma mecánica. Cualquier sobre excavación deberá ser rellenada con hormigón de calidad H10.
- Rellenos: Los rellenos de la sobre-excavación podrán realizarse con material proveniente de las excavaciones siempre y cuando no exista tierra vegetal o elementos orgánicos. El nivel de relleno deberá quedar a la cota que indique el plano de estructuras de la planta.
- Rellenos estructurales: Los rellenos se deberán ejecutar de acuerdo a las siguientes especificaciones técnicas y mecánica de suelos:

El material para relleno será una base estabilizada, podrá ser natural o preparado en planta. La compactación deberá ser de un 85% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado.

La colocación del material se hará una vez que los muros de hormigón armado estén hormigonado y descimbrado. El material se colocará por capas de 0.20 metros de espesor como máximo y se compactará con placa motorizada. En caso de detectarse densidades bajo la especificada se compactará hasta alcanzar el 85% indicado.

- Hormigón armado: El hormigón que se emplee será tipo H-30 para estanques, con un nivel de confianza del 90% según plano de cálculo estructural así como calidad, diámetro, largo, forma y ubicación de los elementos de acero los que se amarrarán con alambre negro N°18 de modo de evitar que se desplacen. Se deberán dejar las pasadas necesarias así como instalar las piezas de transferencias entre estanques correspondientes al sistema de tratamiento.

- Emplantillado: Los radieres deberán ejecutarse sobre emplantillado de acuerdo a plano de cálculo. El hormigón tendrá una dosificación mínima de 127.5 kg de cemento/m<sup>3</sup> de hormigón.
- Fundaciones: El plano de cálculo estructural está basado en la información contenida en un estudio mecánica de suelos.
- Impermeabilización: A los muros interiores de hormigón armado se les aplicará un tratamiento de impermeabilización flexible y elástico a base de polímeros acrílicos en dispersión acuosa realizado de acuerdo con especificaciones del fabricante, interior considerar Sika Top 107 Flex o similar, para exterior en contacto con terreno aplicar Igol Primer y denso. Se debe realizar pruebas de estanqueidad para revisar que los muros de los estanques no tengan problemas de filtración.
- Pasadas de muros: Se dejarán todas las pasadas indicadas en el plano de forma. Estas deberán ser ejecutadas dejando la pieza de transferencia inserta en la enfierradura antes del hormigonado, para luego dejar una saliente final de 0,2m por lado y lado. La ubicación será indicada en plano de pasadas hidráulicas y eléctricas.

#### 4.3.1.2 Obras Civiles.

- Movimientos de tierra: La excavación para las obras civiles señaladas, incluye una sobre excavación de 1,0 metro de ancho en torno a los muros exteriores para la colocación y retiro de los moldajes.
- Relleno de excavaciones: En este ítem se considera, el relleno de las sobre excavaciones. Se rellenará con el material proveniente de las excavaciones compactado a 85% del ensayo Proctor Estándar.

El ensayo de compactación Proctor es uno de los más importantes procedimientos de estudio y control de calidad de la compactación de un terreno. A través de él es posible determinar la densidad seca máxima de un terreno en relación con su grado de humedad, a una energía de compactación determinada.

- Hormigones: Hormigón tipo H-30 para todas las estructuras armadas (estanques hidráulicos) y Hormigón de 120 Kg de cemento/ m<sup>3</sup>, para emplantillado de las obras consultadas.

El hormigón deberá cumplir con lo establecido en las Normas INN siguientes:

1. NCh 148 Of1968. Cemento - Terminología, Clasificación Especificaciones Generales.
2. NCh 162 Of1977. Cemento - Extracción de muestras.
3. NCh 163 Of1979. Áridos para morteros y hormigones. Requisitos generales.
4. NCh 164 EOf1976. Áridos para morteros y hormigones. Extracción y preparación de muestras.
5. NCh 165 Of1977. Áridos para morteros y hormigones. Tamizados y determinación de la granulometría.
6. NCh 170 Of1985. Hormigón – Requisitos Generales.
7. NCh 171 EOf1975. Hormigón - Extracción y preparación de muestras.
8. NCh 172 Of1952. Mezcla, colocación en obras y curado del hormigón.
9. NCh 1017 EOf1975. Hormigón -. Confección y curado en obras de probetas para ensayos de compresión y curado.
10. NCh 1018 EOf1977. Hormigón - Preparación de mezclas de pruebas de laboratorio
11. NCh 1019 EOf1974. Construcción - Hormigón - Determinación de la docilidad del hormigón. Método de asentamiento del cono de Abrams.
12. NCh 1789 Of1986. Hormigón – Determinación de la uniformidad obtenida en el mezclado del hormigón fresco.
13. NCh 2182. Of1995. Hormigón y mortero – Aditivos – Clasificación y requisitos.
14. NCh 2256/1. Of 2001. Morteros – Parte 1: Requisitos Generales.

- Enfierradura: Este ítem considera acero redondo tipo A63-42H, para todos los elementos estructurales de la planta de tratamiento.

La calidad del acero que se emplee deberá cumplir con las siguientes Normas Chilenas INN:

1. NCh 203. Of1977. Acero para uso estructural. Requisitos.
  2. NCh 204. Of1978. Barras laminadas en caliente para hormigón armado.
  3. NCh 205 Of1968. Acero – Barras reviradas para hormigón armado.
  4. NCh 210 Of1967. Acero – Barras con resaltes para hormigón armado.
  5. NCh 211. Of1969. Barras con resaltes para hormigón armado. Requisitos para los resaltes.
  6. NCh 429. EOf57: Hormigón Armado I Parte.
  7. NCh 430.Of1961: Hormigón Armado II Parte.
  8. NCh 519. Of19. Aceros. Barras con resaltes de alta resistencia para hormigón armado.
- Moldajes: Los moldajes para su uso con el hormigón serán tratados en la superficie de contacto con un compuesto que impida su adherencia con este, el cual consistirá en un aceite mineral o similar que no produzca manchas en la superficie del hormigón.

#### 4.3.1.3 Obras Complementarias

- Según Plano considerar PVC clase 10 para líneas de distribución hidráulica impulsadas por bombas, clase 6 para tuberías hidráulicas de transferencia gravitacional, se debe realizar pruebas de presión hidráulica de 3 Bar a tuberías.
- Toda tubería sobre terreno para ingreso e interconexión a estanques además a bombas es ejecutada por constructora y se debe considerar PVC clase 10 con recubrimiento anti-uv.
- El acabado de los pisos exterior se utiliza Gravilla y tierra compactada para urbanización del recinto.

- Estructuras construidas en acero considerar pasarelas, barandas, escaleras, calidad de acuerdo a diseño y protección galvanizado en caliente por Inmersión Norma ASTM A-123 o según requerimiento con pintura anticorrosivo y esmalte sintético.
- Se debe considerar junta de dilatación entre radier de tránsito y muros.
- Terminaciones de acabado piso y muros afinados.

#### 4.3.1.4 Control de Calidad

- *Excavaciones:* Se harán de acuerdo a los planos de fundaciones, basados estrictamente al perfil que se indique. El fondo será siempre plano y horizontal.

Se tomarán las medidas necesarias para evitar derrumbes y no se permitirá la acumulación de escombros antes de hormigonar, a una distancia inferior a 1,50 metros del borde de la excavación.

Las profundidades que indiquen los planos para las excavaciones deberán tomarse en relación a los niveles definitivos del terreno, siempre que se respete la profundidad del terreno firme de fundación.

Se consultan los rellenos y rebajes exteriores necesarios para dejar el terreno natural, de acuerdo con las cotas de nivel que aparecen en los planos.

Se considera un protocolo topográfico de Nivelación y Replanteo previo a las labores de Excavación.

Una vez concluidas las excavaciones se deberá realizar una verificación topográfica del nivel de sello de fundaciones.

- Enfierradura: La enfierradura deberá ser verificada antes de su montaje en cuanto a geometría, diámetro de los elementos a colocar y distancia entre ellos, la enfierradura deberá ser separada del moldaje y del sello de fundación mediante calugas de hormigón.
- Moldaje: El moldaje podrá ser de metal o madera, en cualquiera de los dos casos se deberá reforzar adecuadamente para evitar deformaciones por la presión interna.
- Hormigonado: El hormigón será vaciado desde una altura máxima de acuerdo a normas y recomendaciones del proveedor. El vibrado deberá hacerse con vibrador de inmersión operado por personal calificado y con sonda de diámetro y RPM de acuerdo densidad de enfierradura.
- Rellenos: Para los rellenos no podrá usarse tierra vegetal, escombros. El contenido de arcilla no excederá de un 50% con relleno compactado Ripio  $\square$   $< 25\text{mm}$ , si fuese necesario se mejorará la calidad del material agregándole arena gruesa lavada. Los rellenos se ejecutarán por capas de no más de 0,10 m. de espesor, o según mecánica de suelos.
- Extracción de escombros: El excedente de los escombros procedentes de las excavaciones y rebajas del terreno que no se haya utilizado en los rellenos interiores, como asimismo todos los escombros que se acumulan durante la ejecución de la obra, serán enviados a botadero autorizado
- Instalación eléctrica: Todas las canalizaciones eléctricas enterradas serán en PVC Conduit y sobre terreno acero galvanizado, y deberán ser colocadas previo al hormigonado de los elementos correspondientes, se considera construcción de cámaras eléctricas y malla de tierra con su estudio de diseño por parte de la constructora. La ubicación de las tuberías eléctricas para abastecer los equipos y cámaras está indicada en plano Emplazamiento General eléctrico, se debe considerar enlanchado toda la conducción eléctrica hasta la alimentación de los equipos. Se debe considerar iluminación interior del galpón de la PTAR.

#### 4.3.1.5 Galpón Planta de Tratamiento

El galpón corresponde a la zona de cancha secado. La estructura de techumbre deberá ser realizada en perfiles metálicos de acuerdo a normativa chilena, constituida por perfil y costaneras, Acero A37-24 ES y terminación superficial con anticorrosivo y esmalte sintético.

#### 4.3.2 Memoria de cálculo

En el presente estudio se presentan los cálculos básicos para el control del proceso de una planta de tratamientos mediante lodos activados.

Es importante resaltar que los cálculos aquí detallados se realizarán en base a parámetros obtenidos en terreno.

Los parámetros para el diseño de la planta de tratamientos son los siguientes:

<i>Población</i>	<i>60</i>	<i>Habitantes</i>
<i>Dotación</i>	<i>135</i>	<i>L/hab/día</i>
<i>Factor de Recuperación</i>	<i>0.8</i>	
<i>Caudal de Infiltración</i>	<i>0.6</i>	<i>L/s</i>
<i>Caudal medio</i>	<i>0.075</i>	<i>L/s</i>
<i>Caudal peak</i>	<i>0.3</i>	<i>L/s</i>
<i>Coliformes Fecales</i>	<i>1·10<sup>7</sup></i>	<i>NMP/100ml</i>

#### 4.3.2.1 Tratamiento propuesto

Algunas especificaciones importantes a considerar sobre el tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados son:

1. El tratamiento propuesto corresponde a una depuración de las aguas residuales a través de un Reactor biológico aerobio completamente agitado y de mezcla completa desde el punto de vista del flujo. Operacionalmente opera en forma continua y forma que desarrolla su biomasa es de tipo suspendida en configuración de lodo activado.

El tratamiento está orientado solo a la depuración de la materia carbonosa biodegradable por los microorganismos que utilizan el oxígeno y no a tratamientos específicos de eliminación de fósforo y nitrógeno, puesto que la configuración de lodo activado en tanque completamente agitado, no genera zonas anaerobias o anóxicas que puedan eventualmente favorecer dichos procesos.

Como cualquier proceso biológico aireado en configuración de lodo activado, los microorganismos para poder depurar la materia carbonosa requieren el consumo interno de elementos como nitrógeno, fósforos y oligoelementos, por lo que existe un consumo de estos elementos para formar parte de la reproducción de los microorganismos en el estanque biológico. La relación de consumo corresponde a 100:5:1 = Materia carbonosa: Nitrógeno: Fosforo. Si existe más Nitrógeno y fósforo respecto a la relación con la materia carbonosa, estos deben ser eliminados en tratamiento terciarios que no están considerados en este proyecto. Como todo proceso de aireación completa y en configuración de lodo activado, debe considerar en el consumo de oxígeno el paso de nitrógeno orgánico a nitrógeno – Nitrito.

2. La concentración de biomasa suspendida corresponde a la utilizada en configuraciones de lodo activado detallada en las bibliografías existentes, en su modalidad de mezcla completa, aireación extendida, alta carga entre otras empleando una concentración de biomasa que dependiendo de la modalidad varía entre 1,5 a 10 Kg/m<sup>3</sup>.
3. La aireación en el estanque completamente agitado, debe proporcionar un nivel de oxígeno mayor a 2 mg/L en todo el estanque.

4. El estanque completamente agitado, no genera zonas con gradientes de concentración debido a que la configuración de lodo activado se caracteriza por presentar
  - Variables en estado estacionario, es decir, sus variables se hacen constante en el estanque agitado
  - Temperatura y propiedades del fluido constante
  - Coeficiente de reproducción celular es constante  $Y_{obs}$ .
5. Al no existir zonas diferenciadas debido a que es un estanque completamente aireado y en régimen, el sistema no favorece la generación de bacterias que puedan consumir el oxígeno combinado en forma de nitrógeno por lo que el nitrato presente se mantiene constante. Se requiere sistemas adicionales de tratamiento en caso de requerir eliminación de nitrógeno.
6. El sistema posee 100% de su volumen en forma aerobia, como lo establece la bibliografía para lodos activados.
7. El sistema no posee zonas anoxigenadas, debido a que corresponde a un sistema de lodo activado en un reactor biológico aerobio completamente agitado y de mezcla completa.
8. El sistema al ser un reactor biológico aerobio completamente agitado y de mezcla completa, no presenta zonas de transición de oxígeno.
9. El oxígeno en todo el estanque es una variable que debe ser chequeada como cualquier sistema de tratamiento biológico en configuración de lodo activado.
10. En los sistemas de tratamiento en configuración de reactor biológico aerobio completamente agitado, de mezcla completa y configuración de lodo activado, se debe proporcionar el oxígeno requerido procurando asegurar un oxígeno residual igual o mayor a 2 mg/L. De esta manera se aumenta o disminuye (en caso de exceso) las revoluciones de los sistemas de aireación.
11. La aireación se realiza con un aireador mecánico que proporciona el oxígeno requerido.
12. Todas las mediciones de oxígenos se realizan en el estanque de aireación de acuerdo a lo especificado en bibliografías para la configuración de lodos activados en estanque completamente agitados y aireados.

#### 4.3.2.2 Diseño

- Reja desbaste manual:

Las consideraciones para el diseño de esta reja deben ser las siguientes:

- Separación ente barras
- En desbaste de Finos: 15mm
- Número de rejillas.
- Función de cada instalación, sus tipos y características, seguridad de funcionamiento continuo.
- Velocidad de paso del agua residual
- Condicionada por arriba: El material retenido puede ser lavado y arrastrado por el agua forzando las barras.
- Condicionada por abajo: Posible sedimentación de arenas y cuerpos densos.
- Velocidad de aproximación en la cámara de rejillas ( $v_c$ ): 0,30 - 0,60 m/s aprox.
- Velocidad de paso entre las barras de la rejilla ( $v_r$ ): 0,60 - 1,2 m/s aprox.
- Volumen de material retenido en las rejillas

Las consideraciones para el dimensionado de esta reja deben ser las siguientes:

- Parámetros fundamentales
- Velocidad
- Pérdida de carga
- Anchura del canal en zona de rejillas.
- Pérdida de carga a través de una reja en m.

Los datos a fijar según los parámetros de diseño son:

- Ancho del canal en zona de rejillas            600 (mm)
- Ancho del canal de entrada                    600 (mm)
- Separación útil entre barras                    15 (mm)
- Número de barras                                39 (Un)

- Estanque de ecualización: El estanque de ecualización cumple con la función de retener el caudal peak que ingresa al sistema de tratamiento, actuando como un estanque pulmón que acumula el caudal peak, de manera de no alterar el sistema biológico y los sedimentadores.

Los datos a fijar según los parámetros de diseño son:

- **Caudal**: 8,10 m<sup>3</sup>/día
- **DBO<sub>5</sub>**: 350 mg/L (es la cantidad de oxígeno disuelto que se requiere para la descomposición de la materia orgánica por los microorganismos transcurridos 5 días y se expresa en mg de O<sub>2</sub>/L)
- **SST**: 350 mg/L (Indica la cantidad de sólidos presentes, en suspensión y que pueden ser separados por medios mecánicos. Algunas veces se asocia a la turbidez del agua).
- **NKT**: 60 mg/L (El nitrógeno total Kjeldahl es un indicador que refleja la cantidad total de nitrógeno en el agua analizada, es un parámetro importante en estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) ya que mide el nitrógeno total capaz de ser nitrificado a nitritos y nitratos y, posteriormente y en su caso, desnitrificado a nitrógeno gaseoso).

**Nota:** Los valores entregados en DBO<sub>5</sub>, SST y NKT son estimados y asumidos por el ingeniero.

Los parámetros de salida del estanque son:

<i>DBO<sub>5</sub></i>	<i>30</i>	<i>mg/L</i>
<i>SST</i>	<i>60</i>	<i>mg/L</i>
<i>NKT</i>	<i>30</i>	<i>mg/L</i>

- Pre - tratamiento: El estanque de pre tratamiento cumple con la función de retener el caudal peak que ingresa al sistema de tratamiento actuando como un estanque pulmón que acumula el caudal peak de manera de no alterar el sistema biológico y los sedimentadores, con este estanque se logra una homogenización de las Aguas Servidas.
- Sistema de tratamiento biológico: El sistema combina dos tecnologías para remover en forma biológica la carga orgánica.
- Unidades que componen el sistema:

### **1. Sistema de lodos activados**

En las aguas residuales se ponen en contacto con una población microbiana mixta en forma de suspensión floculenta en un sistema aireado y agitado.

### **2. Sistema de Aireador Mecánico**

Un biofilm microbiano se acumula sobre un medio de soporte parcialmente sumergido que gira lentamente sobre un eje horizontal, dentro de un tanque a través del cual circula el agua residual.

El sistema consigue que la aireación y agitación del lodo activado se realice a través del aireador mecánico que sumerge y comprime el aire atrapado en la superficie por las cavidades interdiscales.

- Diseño del sistema de tratamiento biológico: El diseño del sistema de tratamiento es realizado de acuerdo a las *Normas Alemanas (GERMAN ATV STANDARD)*.

Para realizar el diseño del sistema de tratamiento biológico, se determina la edad del lodo ( $t_{DS}$ ) y la concentración de sólidos suspendidos en el licor de mezcla (DSAT).

Para lograr en el sistema de tratamiento biológico la degradación de la materia orgánica ( $DBO_5$ ) debe diseñarse el sistema con una edad del lodo de 10 días. El sistema

de tratamiento biológico opera con una concentración de sólidos suspendidos en el licor de mezcla de 3,0 Kg/m<sup>3</sup>.

Para determinar la producción específica de lodo en exceso, se utiliza la siguiente expresión:

$$SS_B = 0,6 \cdot \left( \frac{DS_o}{DBO_5} + 1 \right) - \frac{0,072 \cdot 0,6 \cdot F}{\frac{1}{t_{DS}} + 0,08 \cdot F} \quad (\text{Kg SS/Kg DBO}_5) \quad \text{EC-1}$$

$$F = 1,072^{(T-15)} \quad \text{EC-2}$$

Dónde:

- SSB** : Producción específica de lodo (Kg SS/Kg DBO<sub>5</sub>)  
**DS<sub>o</sub>/DBO<sub>5</sub>** : Relación entre la cantidad de sólidos suspendidos y la DBO<sub>5</sub> presente en el agua servida que ingresa al sistema biológico.  
**T** : Temperatura del Aguas Servidas (°C)  
**t<sub>DS</sub>** : Edad del lodo (día)

El cálculo de la producción de lodos es estimado a partir de la temperatura mínima, mientras que el requerimiento de oxígeno es estimado a partir de la temperatura máxima. Reemplazando la temperatura mínima de 15°C en las ecuaciones junto a las otras variables, se obtiene un valor en la producción específica de lodo de 0,96 (Kg SS/Kg DBO<sub>5</sub>).

El valor de carga de lodo (BDS) y carga volumétrica (BV), se determina a partir de las siguientes expresiones:

$$B_{DS} = \frac{1}{SS_B \cdot t_{DS}} \quad (\text{Kg DBO}_5/\text{Kg SS} \cdot \text{d}) \quad \text{EC-3}$$

$$B_V = \frac{DS_{AT}}{SS_B \cdot t_{DS}} \quad (\text{Kg DBO}_5/\text{m}_3 \cdot \text{d}) \quad \text{EC-4}$$

Reemplazando los valores en las ecuaciones anteriores se obtiene:

- **Bds** = 0,104 Kg DBO<sub>5</sub>/Kg SS·d    Valor de F/M (Kg DBO<sub>5</sub> / Kg Microorganismos x día)
- **BV** = 0,67 Kg DBO<sub>5</sub>/m<sub>3</sub>·d

Como la degradación de la carga orgánica se realiza a través de lodo activado y la masa fija que se encuentra adherida al aireador mecánico, se debe determinar qué cantidad de materia orgánica es degradada por la masa fija.

- Capacidad de degradación del film                    = 8 gr DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>·d
- Área del aireador mecánico                            = 27,95 m<sup>2</sup> (Determinado a partir del requerimiento de oxígeno del sistema)
- Carga orgánica degradada en el aireador mecánico    = 0,248 Kg DBO<sub>5</sub>/d

En base a estos parámetros de diseño la carga orgánica que debe ser degradada en el sistema biológico (Bd) es 1,914 Kg DBO<sub>5</sub>/d, a partir de este valor y reemplazando en la siguiente fórmula se obtiene el volumen requerido en el sistema biológico, cuyo valor corresponde a 3,78 m<sup>3</sup>.

$$V_{AT} = \frac{B_d}{B_V} \quad (\text{m}^3) \quad \text{EC-5}$$

- Sistema de aireación: El cálculo del consumo de oxígeno se determina conforme a las recomendaciones de la ATV A-131. El dimensionamiento del sistema de aireación cubre las demandas para la oxidación de la materia orgánica y para la oxidación de los compuestos de nitrógeno (NKT) a nitratos.

El consumo específico de oxígeno para la digestión de los compuestos orgánicos incluida la demanda para la respiración endógena, a una temperatura de 15°C y con una edad del lodo de 10 días es:

$$OV_c = 1,60 \frac{KgO_2}{KgDBO_5} \quad EC-6$$

Por lo tanto, el consumo medio de oxígeno es:

$$OV = OV_c \quad EC-7$$

El requerimiento de oxígeno para la nitrificación es realizado asumiendo lo siguiente:

- La concentración máxima de NO<sub>3</sub>-Ne en el efluente de la planta de tratamiento de Aguas Servidas será de 5 mg/l, lo que equivale a 1,19 Kg NO<sub>3</sub>-Ne/d.
- La cantidad de nitrógeno compuesto a nitrificar en el reactor biológico (NO<sub>3</sub>-Nd), será la diferencia entre el NKT que se nitrificó y el NO<sub>3</sub>-Ne que permite el efluente. Para esto se asume una nitrificación de un 90% de los compuestos nitrogenados presentes en las Aguas Servidas en forma de NKT.

$$NO_3 - Nd = 0,90 \times NKT - NO_3 - Ne \quad EC-8$$

$$NO_3 - Nd = 0,9 \quad (Kg/d)$$

El requerimiento específico de oxígeno para la oxidación de los compuestos nitrogenados NKT, se calcula, entonces, según la siguiente expresión:

$$OV_N = \frac{(4,6 \times NO_3 - Ne + 1,7 \times NO_3 - Nd)}{B_d} \quad \text{EC-9}$$

$$OV_N = 0,158 \frac{KgO_2}{KgDBO_5}$$

Por lo tanto, el consumo medio de oxígeno es:

$$OV = OV_C + OV_N \quad \text{EC-10}$$

$$OV = 1,60 + 0,158 = 1,76 \frac{KgO_2}{KgDBO_5}$$

- Corrección del oxígeno por la temperatura:

La corrección de la transferencia de oxígeno a una temperatura de 20°C se determina a partir de la siguiente expresión:

$$O_L = \frac{C_s}{C_s - C} \quad \text{EC-11}$$

Dónde:

**OL** = Factor de corrección debido a la temperatura

**CS** = Concentración de saturación de oxígeno a 20°C = 8,84 mg/L

**C** = Concentración de mínima de oxígeno deseada en el estanque biológico = 2,0 mg/L

- Corrección del oxígeno por la altura:

La corrección de la transferencia de oxígeno por la altura, se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$O_H = 1 - \frac{H}{9450} \quad \text{EC-12}$$

Dónde:

**OH** = Factor de corrección debido a la altura

**H** = Altura (m.s.n.m) = 200 msnm (metros sobre el nivel del mar)

Luego la demanda de oxígeno requerido en el sistema es la siguiente:

- Requerimiento de oxígeno considerando las correcciones de altura y temperatura:

Oxígeno requerido:

$$OV_R = \frac{O_L \cdot OV}{O_H} \quad \text{EC-13}$$

$$OV_R = 2,27 \frac{KgO_2}{KgDBO_5}$$

A partir del requerimiento de oxígeno que se muestra en la siguiente tabla, se debe seleccionar el modelo que cumple con el requerimiento y además entregue el volumen requerido para el sistema de tratamiento biológico (VAT).

		Kg O <sub>2</sub> / d	Kg O <sub>2</sub> / hr
O <sub>2r</sub>	Requerimiento de oxígeno de los lodos activados a caudal medio	5,52	0,23

La comprobación del diseño se determina en relación a la carga que debe remover el lodo activado y el aireador mecánico:

Capacidad de remoción del film	0,008	Kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>2</sup> día
Capacidad de remoción del lodo activado (BR)	0,67	Kg DBO <sub>5</sub> /m <sup>3</sup> día

Al reemplazar los valores de remoción del film y lodo activado en la ecuación de diseño, se determina si cumple con la cantidad de B<sub>d</sub>:

Si no se cumple con el requerimiento se modifican las dimensiones de la distribución de la rueda en el estanque de tratamiento, de manera de cumplir la ecuación de diseño.

Luego, el equipo de tratamiento biológico posee las siguientes dimensiones:

Número de módulos	1	
Largo	3,0	m
Ancho	1,5	m
Altura nivel	1,0	m
Volumen total	4,5	m <sup>3</sup>

- Sedimentador: El diseño del sedimentador se realiza de acuerdo a los cálculos de la ATV, para el caudal medio de 8,10 m<sup>3</sup>/d.

Para su dimensionamiento se fija en primer lugar el Índice de Lodos (IL) y el Índice Volumétrico de Lodos (IVL), de acuerdo a la calidad de lodo a esperar para el proceso de estabilización simultanea de lodos con el sistema biológico y de acuerdo a la norma ATV los parámetros son los siguientes:

- **IL** = 100 ml/g
- **IVL** = IL x TS<sub>BB</sub> = 100 x 3 = 300 ml/L

Se selecciona un sedimentación con un 100% de retorno de lodos con un área efectiva de 3,0 m<sup>2</sup>. La carga hidráulica superficial, calculada con el caudal medio, para cada sedimentador será:

$$TS[m/h] \cdot IVLD[L/Kg] \cdot SSTLM[Kg/m^3] \leq 500[L/m^2 \cdot h] \quad \text{EC-14}$$

Dónde:

**TS** : Tasa hidráulica superficial a caudal de diseño = 0,01

**IVLD** : Índice volumétrico de lodo = 100

**SSTLM** : Sólidos suspendidos en el licor de mezcla = 3

Reemplazando los valores en el EC-14, se obtiene el valor de 3 L/m<sup>2</sup>/h

Las dimensiones del sedimentador son:

<i>Cantidad de Sedimentadores</i>	<i>1</i>	
<i>Ancho</i>	<i>1.0</i>	<i>m</i>
<i>Largo</i>	<i>3.0</i>	<i>m</i>

**TRH** (tiempo de retención hidráulico) = Volumen total del sedimentador/Caudal influente =  
**6 horas**

- Cámara de contacto – desinfección: La cloración es efectuada con un tiempo de contacto mínimo de 30 minutos para el caudal de diseño. El objetivo de esta etapa de proceso es eliminar los agentes patógenos del efluente clarificado que proviene del sedimentador y entregar un efluente con una concentración de Coliformes fecales menor a 1000 NMP/100mL.

Las dimensiones internas del clorador son:

<i>Número Canales</i>	4	
<i>Numero Cloradores</i>	1	
<i>Altura Líquido</i>	1	m
<i>Volumen Total</i>	8	m <sup>3</sup>

Los parámetros de diseño de la cámara de contacto son:

<i>Coliformes Fecales Iniciales</i>	1 10 <sup>7</sup>	NMP/100 mL
<i>Coliformes Fecales Finales</i>	≤1000	NMP/100 mL
<i>Tiempo de Contacto</i>	12	min a Q medio máx.
<i>Caudal Medio Max. Total</i>	8,10	m <sup>3</sup> /d

Para lograr una eliminación efectiva de coliformes se consideran los siguientes factores:

- Tiempo de contacto
- Cloro residual

Para determinar la concentración de cloro residual, se utiliza la siguiente ecuación:

$$(N_t/N_o) = (1 + 0,2 \cdot C_t \cdot t)^{-3}$$

Dónde:

**Nt** = cantidad de coliformes finales NMP/100 ml.

**NO** = cantidad de coliformes iniciales NMP/100 ml.

**t** = tiempo de contacto min. a caudal medio.

**Ct** = concentración residual mg/L.

Evaluando la ecuación con los parámetros de diseño se obtiene una cantidad de cloro residual de **3,25 mg/L**. *El cual cumple con los parámetros necesarios para no producir daño en los paltos de la empresa.*

Para lograr este valor de cloro residual se debe dosificar entre 2 a 8 mg/l. La cantidad de cloro a agregar en la desinfección, se trabaja en el rango de reacción al breakpoint (punto básico de una curva que representa la variación del nivel de cloro residual de un agua tratada) En dicha etapa el cloro libre reacciona con compuestos de nitrógeno que posee el efluente de la planta de tratamiento de aguas servidas, de manera que se forma un cloro residual combinado. La adición de cloro más allá del breakpoint, producirá un aumento del cloro libre disponible (el cual estará en exceso)

A partir de la información anterior se ha determinado que la concentración de cloro óptima para realizar la desinfección se encuentra entre 4 a 6 mg/L, seleccionándose un valor de 5 ppm (partes por millón). La dosificación de hipoclorito de sodio se realiza en base a cloro líquido. Hipoclorito de sodio al 10% en masa y densidad de 1,17 g/mL.

- Tratamiento de lodos:

1. **Producción específica de lodos** = 0,90 Kg lodo seco/kg DBO<sub>5</sub>

2. **Masa lodo seco** =  $Y_{\text{Lodo}} \times \text{DBO}_{\text{removido}}$  = 1,85 Kg lodo seco/día

- Estanque digestor de lodos: El estanque digestor de lodos tiene el objetivo de estabilizar el lodo purgado de los sedimentadores y realizar la digestión de este. El diseño del estanque es realizado en base a la cantidad de lodo producido en el sistema en forma teórica.

La cantidad de lodo teórico purgado en forma diaria es 1,85 Kg SS/d. Se diseña 1 digester con una capacidad de 1,85 Kg SS/d.

Cada digester se diseña para una capacidad de acumulación de los lodos de 11 días, con un lodo concentrado en el sedimentador al 1,0%, requiriéndose un volumen de 2,50 m<sup>3</sup>.

El diseño del digester está basado en los siguientes parámetros:

1. El promedio de sólidos por volumen = 0.75 Kg SS/d por m<sup>3</sup> de digester.
2. Demanda máxima de oxígeno del lodo = 0,12 Kg O<sub>2</sub>/ por Kg de Lodo Seco.
3. Para estabilizar el lodo se debe eliminar 1/3 de la masa de este, la cual no requiere demanda de oxígeno.
4. En base a los parámetros la demanda, la cantidad de oxígeno que se debe suministrar al sistema es de 0,66 KgO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>·d.
5. Se diseña el digester con un volumen útil de 3 m<sup>3</sup>.

Las dimensiones del digester son las siguientes:

- Largo = 2,0 m
- Ancho = 1,5 m
- Profundidad útil = 1,0 m

El aire es suministrado en el digester con un (1) aireador SISA JET el sistema incorpora 115,5Kg O<sub>2</sub>/d.

- Canchas de secado:

Las canchas de secado serán construidas con el sistema GFS, este sistema se caracteriza por ser:

1. Simple
2. Practico
3. Operacionalmente económico

El dimensionamiento de la cancha de secado se determina con la cantidad de lodo que sale del digester. La carga máxima de lodos del sistema GFS es 12,95 Kg lodos secos / semana, con una frecuencia de limpieza de 1 ciclo por semana.

En base a los parámetros de diseño y según la producción de lodos secos, se obtienen los siguientes parámetros:

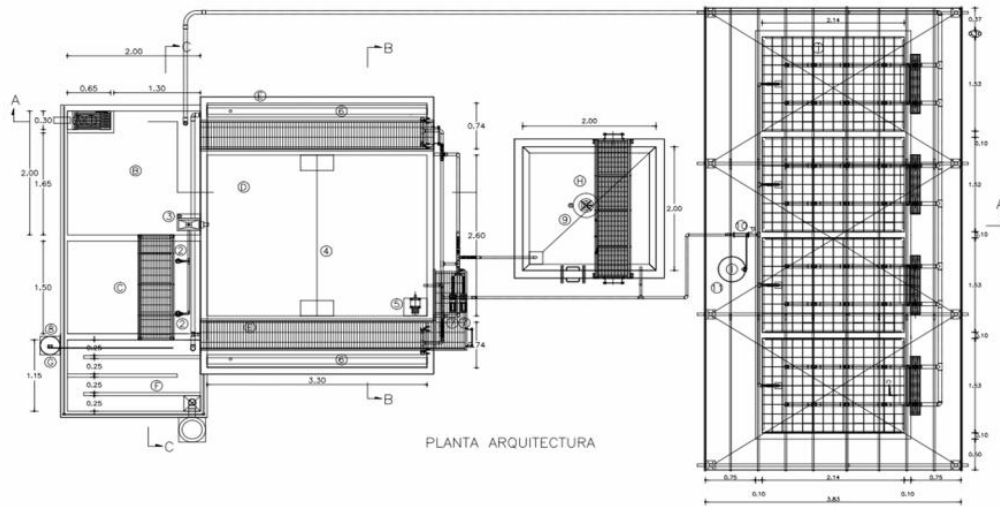
1. Área requerida = 3 m<sup>2</sup>
2. Nº de placas = 30 placas
3. La carga máxima de lodo en el sistema debe ser 5,0 Kg lodo seco / m<sup>2</sup> / ciclo.

Para una ubicación adecuada de las placas son seleccionadas 30 placas, distribuidas de la siguiente forma:

- Número de módulos = 1
- Número de placas por módulo = 30
- Número de placas ancho = 5
- Número de placas largo = 6

Se verifica la carga de lodo seco / m<sup>2</sup>, cuyo resultado es **4,31 Kg lodo seco / m<sup>2</sup> / ciclo.**

### 4.3.3 Plano estructural



**FIGURA 10. Plano propuesto para el diseño de la planta de tratamiento de lodos activados**

**FUENTE:** 2016, Ingeniero Civil Constructora Ingesep Ltda.

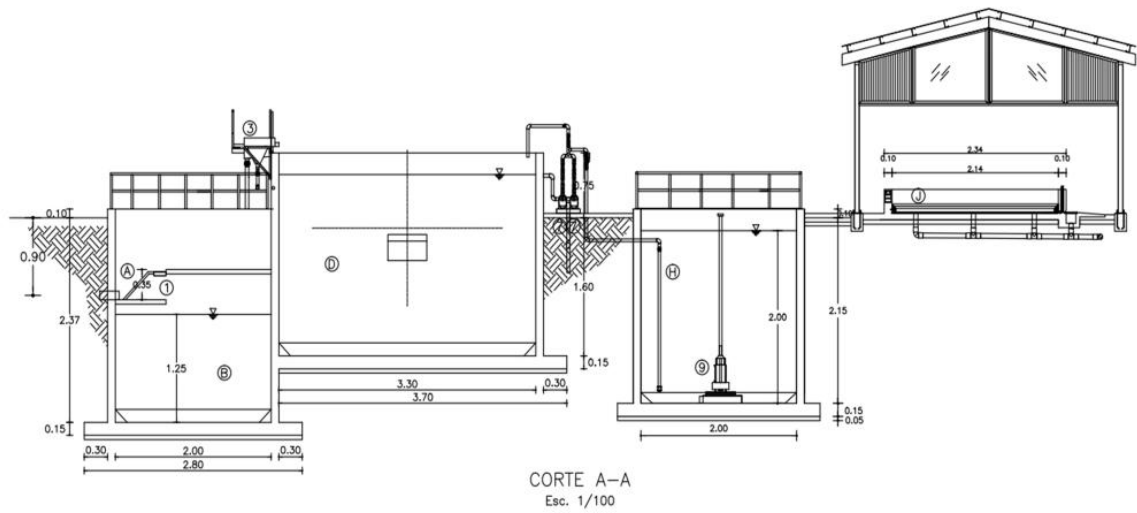
La planta de tratamiento de aguas residuales propuesta para la empresa tiene una superficie de 120 m<sup>2</sup> aproximadamente.

Los **estanques** están representados por letras, tales como se muestran en las representaciones gráficas de la planta.

- A: Cámara de rejás
- B: Estanque de Pre – Tratamiento
- C: Cámara de elevación
- D: Biológico
- E: Sedimentadores
- F: Estanque de Cloración
- G: Estanque de Cloro
- H: Digestor de lodos
- I: Polímero
- J: Cancha de secado

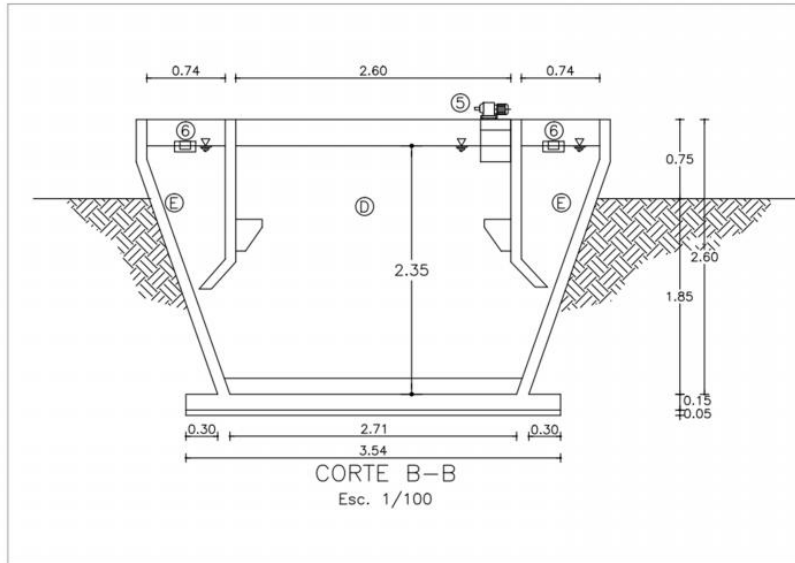
Los **equipos** están representados por números, tales como se muestran en las representaciones gráficas de la planta.

- Reja de desbaste
- Bomba de elevación
- Regulador de flujo
- Aireador STM
- Motorreductor
- Vertedero
- BBA. Purga lodos
- BBA. Dosificadora de cloro
- Aireador digestor de lodos



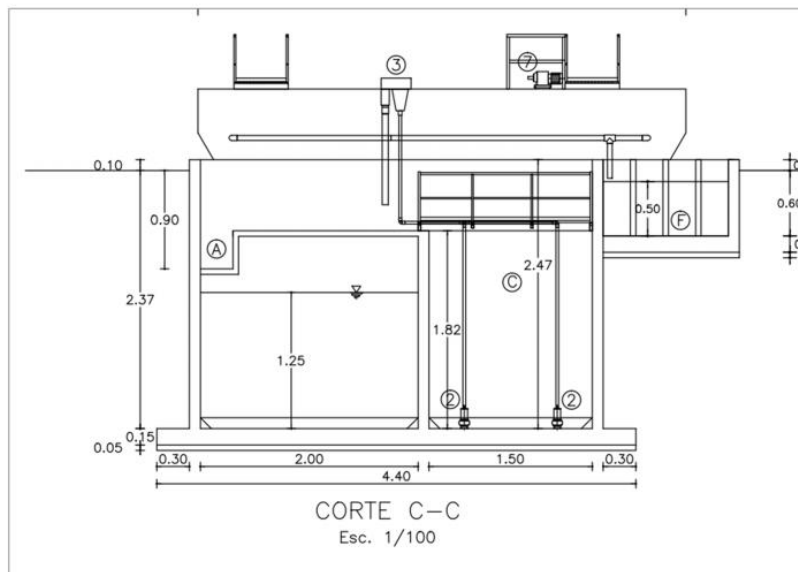
**FIGURA 11. Corte A-A**

**FUENTE:** 2016, Ingeniero Civil Constructora Ingesepe Ltda.



**FIGURA 12. Corte B-B**

**FUENTE:** 2016, Ingeniero Civil Constructora Ingesep Ltda.



**FIGURA 13. Corte C-C**

**FUENTE:** 2016, Ingeniero Civil Constructora Ingesep Ltda.

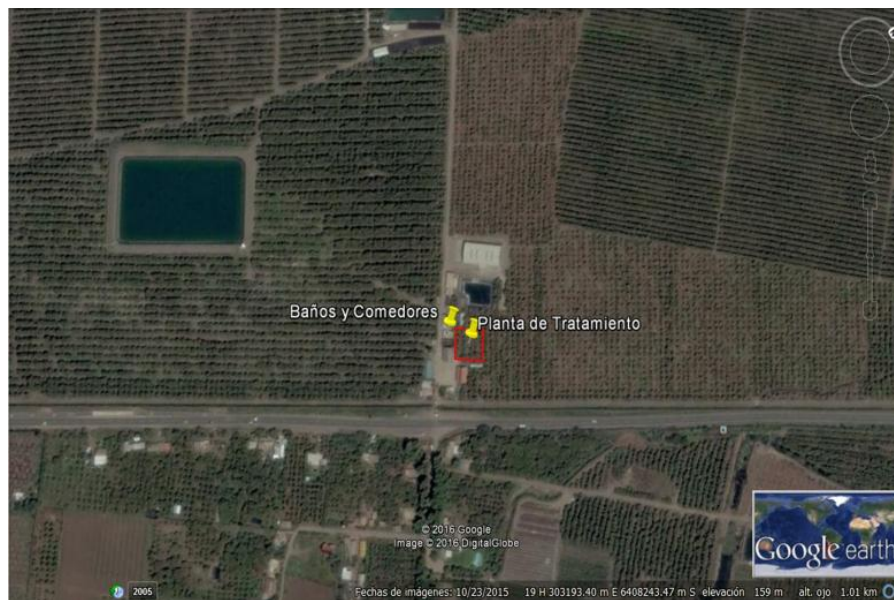
Es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones para dar lectura a estos planos:

- Todas las cotas están en metros
- El nivel de losa (NL) y nivel de terreno (NT) pueden ser iguales o superiores, sin embargo el NL no puede ser inferior al NT
- Las Zapatas serán de 0.6 m aproximadamente, sujetas a cambios según mecánicas de suelo.
- La posición del vertedero será a 0.5 metros bajo la parte superior del muro en cada Sedimentador.
- El espesor de muros será de 0.2 metros y el espesor de radier de 0.3 metros.

#### 4.3.4 Localización de la planta de tratamientos

Para la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales propuesta se necesita aproximadamente una superficie de 25 x 20 metros. Esta información fue entregada a la empresa recibiendo como respuesta por parte de ellos una observación positiva y confirmación de la factibilidad de localizar la planta dentro de la empresa.

La empresa estimó necesario que la planta se construya en un área adjunta a los servicios sanitarios desde donde se extraerá el agua residual necesaria para el funcionamiento de la planta. Fue imposible para ésta entregar un plano de las instalaciones y de la empresa misma, sin embargo, sí enviaron una foto tomada desde la aplicación Google Earth, en donde señalaron en color rojo (como muestra la figura número 15) explícitamente donde ellos estiman conveniente construir la planta de tratamientos, satisfaciendo correctamente con los requerimientos señalados para la construcción de ésta.



**FIGURA 14. Imagen de localización de la planta de tratamientos en la empresa agrícola las Mercedes MG Ltda.**

**FUENTE:** 2016, Empresa agrícola Las Mercedes MG Ltda.

#### 4.3.5 Cronograma de actividades

La gestión de tiempos del proyecto incluye los procesos requeridos para asegurar la ejecución del proyecto en el tiempo determinado. El cronograma y el tiempo que se requiere para dar a cabo cada una de las actividades señaladas serán representados en días.

La obra se desarrollará en un total de 150 días (Tabla 2), teniendo diversas actividades, las cuales dependen una de otras y en algunos casos se realizarán de forma paralela.

Entre los procesos principales en el desarrollo del cronograma de tiempos se encuentran:

- *Definición de las actividades*
- *Secuencia de actividades*
- *Estimación de la duración de las actividades*



#### 4.3.5 Estimación de costos del proyecto

La construcción de la planta de tratamiento mediante lodos activados para la empresa agrícola Las Mercedes MG Ltda. alcanza un total de \$30.294.746 Millones de pesos. En este valor se incluye el costo de contratar a una empresa responsable de construir la obra.

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIOS	
				UNITARIO	TOTAL
				\$	\$
<b>1</b>	<b>OBRAS DE INSTALACION DE RED</b>				
<b>A.-</b>	<b>INSTALACION DE FAENAS</b>				
A.1	Instalación de Faenas	Gl	1	350.000	350.000
					<b>350.000</b>
<b>B.-</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRA</b>				
B.1	Excavación en zanja	m <sup>3</sup>	78,0	5.000	390.000
B.2	Relleno de encamado, relleno lateral y relleno inicial	m <sup>3</sup>	31,2	12.000	374.400
B.3	Relleno final	m <sup>3</sup>	23,4	6.500	152.100
B.4	Mejoramiento de suelo	m <sup>3</sup>	23,4	9.000	210.600
B.5	Retiro de excedentes	m <sup>3</sup>	54,6	6.000	327.600
					<b>1.454.700</b>
<b>C.-</b>	<b>INTERCONEXIONES ALCANTARILLADO</b>				
C.1	SUMINISTRO DE CAÑERIAS Y PIEZAS ESPECIALES				
	<b>Cañerías</b>				
C.1.1	Cañería PVC-C6 D= 180 mm	ml	45	6.500	292.500
C.1.2	Cañería PVC-C6 D= 110 mm	ml	65	5.000	325.000
C.1.3	Lavado de tuberías	Gl	1	120.000	120.000
					<b>737.500</b>
C.2	TRANSPORTE, COLOCACION Y PRUEBA DE CAÑERIAS Y PIEZAS ESPECIALES				
	<b>Cañerías</b>				
C.2.1	Cañería PVC-C6 D= 180 mm	ml	45	2.500	112.500
C.2.2	Cañería PVC-C6 D= 110 mm	ml	65	2.500	162.500
	<b>Pruebas</b>				
C.2.3	Prueba y Recepción de Obras	Gl	1	200.000	200.000
					<b>475.000</b>
<b>D</b>	<b>OBRAS DE HORMIGON</b>				
D.1	Cámaras de Inspección Pública tipo A	Nº	4	350.000	1.400.000
D.2	Cámaras de Inspección Pública tipo B	Nº	6	210.000	1.260.000
D.3	Tapa para Cámara Inspección tipo acera	Nº	4	100.000	400.000
D.4	Tapa para Cámara Inspección tipo calzada	Nº	6	130.000	780.000
D.5	Suministro de escalines	Nº	60	3.500	210.000
					<b>4.050.000</b>
<b>2</b>	<b>OBRAS DE DESCARGA AL RIO</b>				
2.1	Movimiento de Tierras	m <sup>3</sup>	39	6.500	253.500
2.2	Instalación de tuberías	ml	50	10.000	500.000
2.3	Muro boca	Nº	1	600.000	600.000
					<b>1.353.500</b>
<b>3</b>	<b>OBRAS DE CIERRE</b>				
<b>A.-</b>	<b>CIERRE PERIMETRAL</b>				
A.1	Cerco de Malla ACMA	ml	120,0	9.500	1.140.000
					<b>1.140.000</b>
<b>4</b>	<b>URBANIZACION FINAL</b>				
4.1	Material estabilizado de caminos PTAS	m <sup>3</sup>	36,4	10.500	382.200
4.2	Obras de Paisajismo	gl	1	300.000	300.000
					<b>682.200</b>

<b>5</b>	<b>INFRAESTRUCTURA COMPLEMENTARIA</b>				
5.1	Bodegas, Sala, Control y Baños	m2	30	12.000	360.000
					<b>360.000</b>
<b>6</b>	<b>PLANTA DE TRATAMIENTO</b>				
<b>A.- SISTEMA DE LODOS ACTIVADOS</b>					
A.1	Difusores de aire	Nº	20	15.000	300.000
A.2	Soplador de aire modelo R-200 o similar	Nº	5	120.000	600.000
A.3	Equipamiento sedimentadores	Gl	1	500.000	500.000
					<b>1.400.000</b>
<b>B.- SISTEMA DE TRATAMIENTO DE LODOS</b>					
B.1	Difusores sistema de tratamiento de lodos	Nº	20	15.000	300.000
B.2	Bomba de Purga de lodos	Nº	2	350.000	700.000
B.3	Techumbre y paredes de cancha de secado	m2	40	10.000	400.000
					<b>1.400.000</b>
<b>C.- SISTEMA DE DESINFECCION</b>					
C.1	Bomba dosificadora SEKO INVIKTA 633 o similar	Nº	2	500.000	1.000.000
					<b>1.000.000</b>
<b>D.- SISTEMA DE MEDICION DE CAUDAL</b>					
D.1	Medidor de caudal ultrasónico marca Siemens modelo Sitrans L.o similar	Nº	2	300.000	600.000
					<b>600.000</b>
<b>E.- ADICIONALES</b>					
E.1	Suministro de bomba de aguas servidas de baños	Nº	1	150.000	150.000
					<b>150.000</b>
<b>F.- TABLERO ELECTRICO</b>					
F.1	Tablero eléctrico	Nº	1	350.000	350.000
					<b>350.000</b>
<b>G.- GRUPO ELECTROGENO</b>					
G.1	Grupo electrogeno planta de tratamiento	Nº	1	600.000	600.000
					<b>600.000</b>
<b>7</b>	<b>PLANTA ELEVADORA</b>				
<b>A.- SUMINISTRO, TRANSPORTE E INSTALACION DE EQUIPOS DE ELEVACION</b>					
A.1	Bomba sumergible con todos sus accesorios	Nº	3	350.000	1.050.000
A.2	Bomba Achique	Nº	1	500.000	500.000
					<b>1.550.000</b>
<b>B.- VALVULA VENTOSA TRIFUNCIONAL CAÑERIA DE IMPULSION PEAS</b>					
B.1	Válvula ventosa trifuncional	Nº	1	480.000	480.000
					<b>480.000</b>
<b>C.- TABLERO ELECTRICO</b>					
C.1	Tablero electrico	Nº	1	350.000	350.000
					<b>350.000</b>
<b>D.- GRUPO ELECTROGENO</b>					
D.1	Grupo electrogeno planta elevadora	Nº	1	600.000	600.000
					<b>600.000</b>
<b>E.- OTROS</b>					
E.1	Reja de desbaste galvanizada	Nº	1	500.000	500.000
					<b>500.000</b>
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 19.582.900,00</b>
<b>GASTOS GENERALES 20%</b>					<b>\$ 3.916.580,00</b>
<b>UTILIDADES 10%</b>					<b>\$ 1.958.290,00</b>
<b>COSTO NETO</b>					<b>\$ 25.457.770,00</b>
<b>IVA 19%</b>					<b>\$ 4.836.976,30</b>
<b>COSTO TOTAL DE LA OBRA</b>					<b>\$ 30.294.746,30</b>

## Capítulo 5. Análisis e interpretación de los resultados

### 5.1 Factibilidad económica y financiera

#### 5.1.1 Conceptos generales de costos de sistemas de tratamiento de aguas residuales

Los costos de una planta de tratamiento de aguas residuales pueden ser clasificados principalmente en dos categorías: los costos de inversión inicial, y los costos de funcionamiento (administración, operación, mantenimiento)

<b>COSTOS</b>	<b>ACTIVIDAD</b>
<b>INVERSIÓN</b>	Estudios preliminares y estudios de suelo
	Diseño de ingeniería
	Construcción
	Terreno
	Gastos administrativos, legales y financieros
<b>OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	Energía eléctrica
	Productos Químicos
	Transporte de lodos
	Disposición de lodos
	Análisis de agua
	Análisis de lodos
	Control de procesos
	Mantenimiento de equipos
<b>PERSONAL</b>	Jefe de planta
	Operador calificado
	Ingeniero electromecánico
	Seguridad

**TABLA 3. Componentes de los costos relacionados con la implementación de sistemas de tratamiento de aguas residuales.**

**FUENTE:** 2016, Elaboración propia en base a necesidades del proyecto

En la inversión inicial de una obra de ingeniería es necesario tener en cuenta, aparte de los costos directos de construcción, otros costos que deben ser cuantificados ya que elevan significativamente el monto de la inversión, tales como: estudios de pre-inversión (estudios técnicos necesarios para estimar la factibilidad del proyecto y realizar el diseño de las obras requeridas), interventoría (supervisión técnica de la obra en la fase de construcción), Administración, imprevistos y utilidades. En este caso los estudios de pre-inversión no se tomarán en cuenta ya que están hechos.

Los costos de operación y mantenimiento son los que se generan para garantizar el buen desempeño de las operaciones y procesos de tratamiento del agua y asegurar que las instalaciones sean operadas y mantenidas eficientemente.

Los factores que determinan los costos de operación y mantenimiento de una instalación de tratamiento de aguas residuales están asociados a la complejidad de la tecnología utilizada, el tamaño de la misma y la capacidad local de soportar esta complejidad.

Los costos de operación y mantención que se estimarán en esta etapa se obtienen mediante estudios que realiza la empresa de ingeniería INGESEP LTDA a empresas modelos.

Los conceptos de gastos considerados para la planta de tratamiento de aguas servidas son los siguientes:

- Energía eléctrica
- Productos químicos
- Transporte y disposición de lodos
- Monitoreos ambientales y control de procesos
- Mantención y reparación de equipos
- Gastos de administración

### 5.1.2 Gastos en energía eléctrica

La metodología empleada considera sólo aquellos gastos indispensables para el desarrollo de las funciones operacionales (operación y mantenimiento). Por lo tanto, se consideran los gastos de operación y mantenimiento desde el punto de vista de la empresa modelo, la que administra sus recursos en forma eficiente, minimizando los costos estrictamente a las necesidades de la empresa.

La empresa suministradora de energía eléctrica involucrada en este estudio corresponde a La compañía CONAFE.

Las tarifas eléctricas se han obtenido de la página web correspondiente a la empresa distribuidora de energía eléctrica.

La determinación del costo de la energía eléctrica implica determinar tanto el consumo de energía (kW/h) como el cargo por potencia (kW), además de la incorporación del cargo fijo.

En general, la valorización de la energía eléctrica consumida por una instalación es:

$$EE = \text{Cargo fijo (\$/cliente/mes)} + \text{Consumo de Energía (kWh)} * \text{Cargo por energía (\$/kWh)} + \text{Consumo de potencia (kW)} * \text{Cargo por potencia (\$/kW/mes)}$$

Para los efectos de cuantificar ya sea las potencias como la energía consumida por cada unidad de proceso, se tabulan los consumos obtenidos de algunas plantas de tratamiento de diferentes tamaños.

- Tarifas eléctricas: Las tarifas eléctricas vigentes para la empresa distribuidora de energía eléctrica son las siguientes:

Empresa distribuidora de energía eléctrica	Área	Tarifa cargo fijo (\$/mes)	Tarifa cargo energía (\$/kwh)	Tarifa cargo potencia presente en punta (\$/kw/mes)
CONAFE	Monte Grande (Cabildo)	1.227,54	86,183	14.647,60

**TABLA 4. Tarifas eléctricas**

FUENTE: Noviembre 2016, www.conafe.cl

- Gastos de energía de la PTAR:

Tecnología	Consumo energía (kwh/año)	Potencia instalada (kw)	Empresa	Gasto EE total (\$/año)
Lodos activados	6.523,16	2	CONAFE	753.831,41

**TABLA 5. Resumen gastos de energía**

FUENTE: 2016, Elaboración propia

Es importante recordar que estos valores son aproximados y están sujetos a una evaluación previa.

### 5.1.3 Gastos en productos químicos

Los gastos de productos químicos, considerando la planta diseñada para satisfacer la demanda de caudal diario. Se cuantifican los recursos necesarios para cubrir el gasto de productos químicos asociado a las actividades que son netamente asignables y atribuibles al tratamiento de aguas servidas.

La metodología empleada considera sólo aquellos gastos indispensables para el desarrollo de las funciones operacionales (operación y mantenimiento). Por lo tanto, se consideran los gastos de operación y mantenimiento desde el punto de vista de la empresa modelo, la que administra sus recursos en forma eficiente, minimizando los costos estrictamente a las necesidades de la empresa.

La determinación del costo de los productos químicos se realiza a través de relaciones basadas en la aplicaciones de dosificaciones de productos químicos vinculadas a un inductor, generalmente el caudal (volumen por unidad de tiempo o peso). En general, la valorización de los productos químicos es del tipo:

$$\text{Consumo(Kg/año)} = \text{Dosificación(mg/L)} * \text{Caudal(L/s)} * 86.400(\text{s/día}) * 365 \\ (\text{días/año}) / 1.000.000(\text{mg/Kg})$$

El consumo de productos químicos considera las características de pureza de los diferentes productos comerciales empleados.

Las dosificaciones aplicadas dependen de la tecnología de tratamiento utilizada y se resumen a continuación.

- Cloración: En general se considera una dosificación de 6 mg/L de cloro para la desinfección. El precio unitario del cloro considerado es 6.500 \$/kg, corresponde al precio promedio calculado en base a la información enviada por la empresa en estudio. La pureza considerada para el producto comercial es del 10 % (Hipoclorito de Sodio).

- Polímero para espesamiento de lodos: Se utiliza en la planta de lodos activados que cuentan con sistemas de deshidratación mecánica. La dosificación es de 5,2 g/Kg lodo seco y el precio de este polímero es de 1.500 pesos por kilo aproximadamente.
- Sulfato de aluminio: El sulfato de aluminio se utiliza en la planta para la remoción de fósforo y de esta forma cumplir con los estándares necesarios. La dosificación de este compuesto es de 71,7 mg por Litro y el precio es de 57 pesos por Kg aproximadamente.

Los gastos en productos químicos resultantes son:

Tratamiento	Gasto en cloro (\$/año)	Gastos en polímeros (\$/año)	Gastos en sulfato de aluminio (\$/año)	Gasto neto de productos químicos (\$/año)
LODOS ACTIVOS	154.700	52.670	12.082,90	219.452,9

**TABLA 6. Resumen gastos de productos químicos**

**FUENTE:** 2016, Elaboración propia

#### 5.1.4 Monitoreo ambiental y control de procesos

En este punto se presenta la determinación de los gastos de análisis, monitoreos ambientales y control de procesos, ya sea para calidad de agua como para lodos generados, con el propósito de dar cumplimiento a los requerimientos ambientales solicitados por la autoridad y también aquellos necesarios para el control interno de la PTAR, ya sea para insumos y gastos de operación. En resumen, se procederá a valorizar el costo unitario, en términos de UF/mes.

Para proceder a la valorización de los respectivos programas de monitoreo, se consultaron precios unitarios utilizados para el monitoreo de calidad de agua correspondientes a un laboratorio ubicado en la Región Metropolitana.

Cabe señalar que el muestreo y transporte al laboratorio, ya sea puntual o compuesto para el análisis de Agua y lodos será realizado por personal de la empresa.

En las siguientes tablas se detalla los precios unitarios aproximados ocupados para cada monitoreo:

<b>ANÁLISIS</b>	<b>PRECIO UNITARIO (UF)</b>
DBO <sub>5</sub>	0,48
SST	0,15
NKT	0,22
PT	0,21
AYG	0,4
PE	0,3
CF	0,58
TCE	0,97
TCM	0,97
pH	0,036
T	0,036

**TABLA 7. Precios unitarios monitoreo de calidad del agua**

**FUENTE:** 2016, Elaboración propia

<b>ANÁLISIS</b>	<b>PRECIO UNITARIO (UF)</b>
INC	0,38
HUMEDAD	0
pH	0,03
FOSFORO	0,209
NITRITOS	0,44
NITRATOS	0,18
NITROGENO KJELDAHL	0,29
NITROGENO TOTAL	0,22
POTASIO	0,18
ARSENICO	0,43
CADMIO	0,2
COBRE	0,2
MERCURIO	0,45
MOLIBDENO	0,26
NIQUEL	0,2
SELENIO	0,5
ZINC	0,2
SOLIDOS TOTALES	0,15
SOLIDOS VOLATILES	0,1

**TABLA 8. Precios unitarios monitoreo de lodos**

**FUENTE:** 2016, Elaboración propia

<b>ANÁLISIS</b>	<b>PRECIO UNITARIO (UF)</b>
COLIFORMES FECALES	0,38
HUMEDAD	0,12
pH	0,03

**TABLA 9. Precios unitarios de monitoreo trimestral de lodos**

**FUENTE:** 2016, Elaboración propia

En la siguiente tabla, se presenta el costo total de análisis de monitoreo ambientales y control de procesos para la planta de tratamiento de aguas servidas mediante de lodos activos propuesta.

Tecnología	Gastos en monitoreo ambiental y control de procesos (\$/año)			
	Análisis de agua	Análisis de lodos	Control de procesos	Total
Lodos activados	2.048.020	113.034	788.610	2.949.664

**TABLA 10. Gastos en monitoreo ambiental y control de procesos**

**FUENTE:** 2016, Elaboración propia

### 5.1.5 Mantenición

El costo de mantención estimado para la planta de tratamiento de aguas servidas propuesta asciende a la suma de **\$ 3.600.000** de pesos al año, este fue estimado en base a averiguaciones e investigaciones respectivas a diversas plantas de tratamientos de aguas servidas.

### 5.1.6 Personal

A continuación se presenta al personal asociado a la operación y mantención de la planta de tratamiento de aguas residuales.

ITEM	N°	JORNADA
<b>Administración</b>		
Jefe de planta	1	0,5
<b>Operación</b>		
Ingeniero electromecánico	1	0,5
Operador calificado	2	1

**TABLA 11. Personal operativo para la planta de tratamiento de aguas residuales**

FUENTE: 2016, Elaboración propia

CARGO	DESCRIPCIÓN
Jefe de planta	Responsable de la operación del tratamiento de aguas servidas y de la infraestructura a su cargo. Planifica y administra las actividades haciendo uso eficiente de los recursos.
Operador calificado	Realiza la operación del sistema de tratamiento, manteniendo la correcta funcionalidad del proceso de tratamiento de aguas residuales, administra los equipos a su cargo y corrige parámetros operacionales optimizando el funcionamiento de este sistema.
Electromecánico	Responsable de la reparación y mantención de los equipos y maquinaria de la planta de tratamiento, coordina la mantención eléctrica y mecánica requerida.

**TABLA 12. Funciones de los cargos establecidos**

FUENTE: 2016, Elaboración propia

La tabla siguiente muestra las remuneraciones brutas mensuales para los cargos establecidos y descritos anteriormente acordadas con la empresa agrícola Las Mercedes M.G. Ltda. También se muestra el cálculo total anual de los gastos asociados a personal.

<b>CARGO</b>	<b>REMUNERACIÓN BRUTA MENSUAL (\$)</b>
Jefe de planta	800.000
Operador calificado	350.000
Electromecánico	600.000
<b>TOTAL MENSUAL</b>	<b>1.750.000</b>
<b>TOTAL ANUAL</b>	<b>21.000.000</b>

**TABLA 13. Remuneraciones y gasto total de personal**

**FUENTE:** 2016, Elaboración propia

### 5.1.7 Resumen de costos

En la siguiente tabla se hace un resumen de todos los costos anuales anteriormente mencionados involucrados en la instalación de la planta de tratamiento de aguas residuales propuesta.

<b>TECNOLOGÍA</b>	<b>COSTO DE INVERSIÓN</b>	<b>COSTO DE OPERACIÓN</b>	<b>COSTO DE MANTENCIÓN</b>	<b>COSTOS ADMINISTRATIVOS</b>
<b>LODOS ACTIVADOS</b>	\$ 37.369.308	\$ 3.922.579	\$ 3.600.000	\$ 21.000.000

**TABLA 14. Costos totales considerados para la planta de tratamiento de aguas residuales**

**FUENTE:** 2016, Elaboración propia

## 5.2 Evaluación económica del proyecto

Los objetivos principales de este estudio son determinar la viabilidad de la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales y cómo esta impactaría en las operaciones de la empresa en términos económicos. Para ello, en esta sección se comenzará analizando una a una las partidas necesarias para la construcción de los flujos de caja y el posterior cálculo de las variables necesarias para la toma de decisiones.

### 5.2.1 Inversiones

#### 5.2.1.1 Inversión en activos fijos

Dadas las características del proyecto, representan la mayor inversión. Incluyen la infraestructura y obras civiles, maquinarias y equipos, montaje de máquinas, mobiliario e inversiones menores (ver tabla 29).

<b>Maquinarias y Equipos</b>	<b>Costos</b>
Difusores de aire	300.000
Sopladores de aire modelo R-200 o similar	600.000
Equipamiento sedimentadores	500.000
Difusores sistema de tratamiento de lodos	300.000
Bombas de Purga de lodos	700.000
Bombas dosificadora SEKO INVIKTA 633 o similar	1.000.000
Medidor de caudal ultrasónico marca Siemens modelo Sitrans L o similar	600.000
Tableros eléctricos	700.000
Válvula ventosa trifuncional	480.000
Grupo electrógeno planta elevadora	600.000
Bombas sumergible con todos sus accesorios	1.050.000
Grupo electrógeno planta de tratamiento	600.000
Bomba Achique	500.000
<b>Total</b>	<b>\$7.930.000</b>

**TABLA 15. Detalle inversión en activos fijos considerados para la planta de tratamiento de aguas residuales**

FUENTE: 2016, Elaboración propia

El terreno necesario para la construcción y funcionamiento de la planta ya es parte de los activos de la empresa, ya que se encuentra dentro de las actuales dependencias.

El ítem de construcción de la planta considera la edificación de la planta y el acondicionamiento de esta. También se consideró la construcción de una bodega de insumos. Se debe realizar una inversión correspondiente a alcantarillado, conexiones eléctricas, red de agua, etc., de cual no se posee una cotización formal, por lo que se utilizó un valor referencial propuesto por la constructora (ver tabla 30).

Obras Civiles	Costos
Instalación y montaje PTAR	11.292.900
Bodegas, Sala de control y Baños	360.000
<b>Total</b>	<b>\$ 11.652.900,00</b>

**TABLA 16. Detalle inversión en obras civiles consideradas para la planta de tratamiento de aguas residuales**

**FUENTE:** 2016, Elaboración propia

#### 5.2.1.2 Inversión en activos nominales

La inversión en activos nominales o intangibles, corresponden a los desembolsos realizados por concepto de servicios o derechos adquiridos necesarios para la puesta en marcha del proyecto. Incluyen los gastos de organización, patentes, licencias, puesta en marcha, capacitación, etc.

Dentro de los gastos de organización se encuentran todos los desembolsos originados por la coordinación de obras de instalación y por el diseño de los sistemas y procedimientos administrativos de gestión y apoyo.

Los gastos de puesta en marcha son todos aquellos que deben realizarse al iniciar el funcionamiento de las instalaciones, tanto en la etapa de pruebas preliminares como en las de inicio de la operación y hasta que alcancen un funcionamiento adecuado.

<b>Inversión</b>	<b>Valor</b>
Organización	10.711.846
Puesta en marcha	4.574.562
Imprevistos	2.500.000
<b>Total</b>	<b>\$ 17.786.408,30</b>

**TABLA 17. Detalle inversión en activos nominales considerados para la planta de tratamiento de aguas residuales**

**FUENTE:** 2016, Elaboración propia

### *5.2.1.3 Inversión en capital de trabajo*

El capital de trabajo necesario para el proyecto se estimó como el total de la suma de las pérdidas de las operaciones de la empresa de los dos primeros años una vez instalada la planta de tratamiento. Esto a raíz del tipo de operación de la empresa y el tiempo de la recuperación de la inversión en cuestión.

## **5.2.2 Costos**

### *5.2.2.1 Costos Variables*

Los costos variables incluyen los costos directos e indirectos, tales como, costos por fertilizaciones, poda, control de malezas, aplicación de agroquímicos, colocar y sacar colmenas, acarreo de cosecha, cosecha (cortado, seleccionado y embalado), maquinarias insumos (fertilizantes, fungicidas, insecticidas, herbicida, otros), costos financieros, de administración, impuestos, etc.

### *5.2.2.2 Costos fijos*

Los costos fijos corresponden a los costos operacionales, administrativos y de mantenimiento de la empresa de tratamientos de aguas residuales, los que se detallaron anteriormente.

### *5.2.2.3 Depreciación*

Por simplicidad se optó por una depreciación lineal. Los años de vida útil (5 años) fueron extraídos de los valores entregados por el Servicio de Impuestos Internos en la Tabla de vida útil de los bienes físicos del activo fijo inmovilizado. El valor libro de los activos es cero ya que se depreciarán completamente y su valor de mercado es de \$1.427.400 pesos.

### **5.2.3 Estimación de ventas**

La capacidad de producción de la empresa depende de la productividad de sus plantaciones por hectárea. Una hectárea produce entre 5.000 y 15.000 Kg por hectárea.

Actualmente la cantidad anual vendida de este tipo de palta corresponde aproximadamente a 5.000 Kg/ha anuales, por lo que al término del Segundo año de operación se espera tener una producción de 15.000 Kg/ha anuales, teniendo a partir de ahí una tasa de crecimiento de 76%, calculada como un promedio del crecimiento de las ventas de los último 5 periodos de operación de la empresa.

### **5.2.4 Evaluación del proyecto**

#### *5.2.4.1 Consideraciones generales*

- El proyecto se evaluó en un horizonte de 5 años.
- Una tasa de impuesto a las empresas de un 20%
- Se consideró a \$677 pesos el dólar, ya que este valor fue obtenido de la bolsa de comercio como el promedio del dólar de los últimos 5 años.
- Se consideró una tasa de descuento del 12%, tomando en cuenta proyectos anteriores como referencia. Ya que es la cifra establecida por INDAP para evaluaciones de proyectos agrícolas.
- Dado que es un flujo puro, se consideró utilizar capital propio para las inversiones del periodo 0.

## 5.2.4.2 Flujo de caja

## FLUJO DE CAJA IMPLEMENTACIÓN PTAR

AÑO	0	1	2	3	4	5
Q (kg/ha)		5.000,00	8.800,00	15.488,00	15.488,00	15.488,00
Precio Dólar		677,00	677,00	677,00	677,00	677,00
Precio Venta		988,42	988,42	988,42	988,42	988,42
<b>INGRESOS POR VENTA</b>		<b>\$ 143.320.900,00</b>	<b>\$ 252.244.784,00</b>	<b>\$ 443.950.819,84</b>	<b>\$ 443.950.819,84</b>	<b>\$ 443.950.819,84</b>
Costos variables		-\$ 130.559.450,00	-\$ 225.867.848,50	-\$ 368.164.593,06	-\$ 368.164.593,06	-\$ 368.164.593,06
Gastos fijos		-\$ 28.522.579,00	-\$ 28.522.579,00	-\$ 28.522.579,00	-\$ 28.522.579,00	-\$ 28.522.579,00
Depreciación		-\$ 1.586.000,00	-\$ 1.586.000,00	-\$ 1.586.000,00	-\$ 1.586.000,00	-\$ 1.586.000,00
Ganancia de Capital		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1.427.400,00
Pérdida del ejercicio anterior		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>UAI</b>		<b>-\$ 17.347.129,00</b>	<b>-\$ 3.731.643,50</b>	<b>\$ 45.677.647,79</b>	<b>\$ 45.677.647,79</b>	<b>\$ 47.105.047,79</b>
Impuestos		\$ 3.469.425,80	\$ 746.328,70	-\$ 9.135.529,56	-\$ 9.135.529,56	-\$ 9.421.009,56
<b>UDI</b>		<b>-\$ 13.877.703,20</b>	<b>-\$ 2.985.314,80</b>	<b>\$ 36.542.118,23</b>	<b>\$ 36.542.118,23</b>	<b>\$ 37.684.038,23</b>
Depreciación		\$ 1.586.000,00	\$ 1.586.000,00	\$ 1.586.000,00	\$ 1.586.000,00	\$ 1.586.000,00
Ganancia de Capital		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	-\$ 1.427.400,00
Pérdida del ejercicio anterior		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>FLUJO OPERACIONAL</b>		<b>-\$ 12.291.703,20</b>	<b>-\$ 1.399.314,80</b>	<b>\$ 38.128.118,23</b>	<b>\$ 38.128.118,23</b>	<b>\$ 37.842.638,23</b>
Inversión		-\$ 33.644.746,30	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Capital de Trabajo		-\$ 22.206.399,50	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
Valor Liquidación		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1.427.400,00
<b>FLUJO NO OPERACIONAL</b>		<b>-\$ 55.851.145,80</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 1.427.400,00</b>
<b>FLUJO DE CAJA</b>		<b>-\$ 55.851.145,80</b>	<b>-\$ 12.291.703,20</b>	<b>-\$ 1.399.314,80</b>	<b>\$ 38.128.118,23</b>	<b>\$ 39.270.038,23</b>
<b>FLUJO DE CAJA ACUMULADO</b>		<b>-\$ 55.851.145,80</b>	<b>-\$ 68.142.849,00</b>	<b>-\$ 69.542.163,80</b>	<b>-\$ 31.414.045,57</b>	<b>\$ 6.714.072,66</b>

VAN	\$ 5.711.418,19
TIR	14%
PAYBACK	4,01

4 AÑOS Y 36 DÍAS

### 5.2.5 Sensibilización Unidimensional y Bidimensional

Los análisis de sensibilidad se utilizan para observar el rango en que se pueden mover ciertas variables para mantener otra variable constante. En el caso de la evaluación del proyecto, se utilizan para ver cuando pueden aumentar o disminuir las variables más relevantes del modelo, manteniendo el VAN positivo o igual a cero.

#### 5.2.5.1 Sensibilización unidimensional

El siguiente análisis unidimensional muestra cuanto puede aumentar o disminuir una variable y obtener un VAN positivo. Se analizó la variable precio del dólar bajo la variable Q (producción) constante.

		PRECIO DÓLAR						
		\$ 5.711.418,19	\$ 639,23	\$ 642,00	\$ 677,00	\$ 679,00	\$ 718,00	\$ 733,00
Q (Kg/ha)	5.000	\$ 54,62	\$ 418.918,19	\$ 5.711.418	\$ 6.013.846,77	\$ 11.911.203,91	\$ 14.179.418,19	

### 5.2.5.2 Sensibilización bidimensional

El siguiente análisis bidimensional muestra el efecto conjunto de la variación de dos variables, en este caso el precio del dólar el cual influye directamente en el precio de venta y la producción, sobre el VAN. El rango destacado en azul muestra las combinaciones de precio y costo de producción que permiten obtener un VAN mayor al calculado con el precio del dólar y la producción estimada. Por el contrario, el rango destacado con rojo, muestra las combinaciones de precio del dólar y la producción que arrojan un VAN menor al calculado con los valores utilizados en el flujo.

	PRECIO DÓLAR							
	\$ 5,711.418,19	\$ 592,00	\$ 642,00	\$ 677,00	\$ 683,00	\$ 718,00	\$ 733,00	
<b>3.000</b>	\$ -379.311.519	\$ -374.775.090	\$ -371.599.590	\$ -371.055.219	\$ -367.879.719	\$ -366.518.790	\$ -366.518.790	
<b>3.500</b>	\$ -286.269.088	\$ -280.976.588	\$ -277.271.838	\$ -276.636.738	\$ -272.931.988	\$ -271.344.238	\$ -271.344.238	
<b>4.000</b>	\$ -193.226.657	\$ -187.178.086	\$ -182.944.086	\$ -182.218.257	\$ -177.984.257	\$ -176.169.686	\$ -176.169.686	
<b>4.500</b>	\$ -100.184.227	\$ -93.379.584	\$ -88.616.334	\$ -87.799.777	\$ -83.036.527	\$ -80.995.134	\$ -80.995.134	
<b>5.000</b>	\$ -7.141.796	\$ 418.918	\$ 5.711.418	\$ 6.618.704	\$ 11.911.204	\$ 14.179.418	\$ 14.179.418	
<b>5.500</b>	\$ 85.900.635	\$ 94.217.420	\$ 100.039.170	\$ 101.037.185	\$ 106.858.935	\$ 109.353.970	\$ 109.353.970	
<b>6.000</b>	\$ 178.943.065	\$ 188.015.922	\$ 194.366.922	\$ 195.455.665	\$ 201.806.665	\$ 204.528.522	\$ 204.528.522	
<b>6.500</b>	\$ 271.985.496	\$ 281.814.424	\$ 288.694.674	\$ 289.874.146	\$ 296.754.396	\$ 299.703.074	\$ 299.703.074	
<b>7.000</b>	\$ 365.027.927	\$ 375.612.927	\$ 383.022.427	\$ 384.292.627	\$ 391.702.127	\$ 394.877.627	\$ 394.877.627	

### 5.3 Evaluación del impacto ambiental y social

Cuando se planifica y gestiona adecuadamente un proyecto de aprovechamiento de aguas residuales éste ejerce efectos ambientales positivos incrementando el rendimiento agrícola.

El cuidado del medio ambiente obedece a diversos factores; entre los más importantes se encuentran los siguientes:

- Evitar la contaminación de cuerpos de aguas superficiales debido al vertimiento directo de las aguas residuales en ríos, lagos o mares. De esta manera, se reducen significativamente algunos problemas de contaminación ambiental, tales como el agotamiento del oxígeno disuelto y la eutroficación, entre otros.
- Conservar o emplear de manera más racional los recursos de agua dulce, sobre todo en zonas áridas y semiáridas. Esto posibilita que el agua residual convenientemente tratada se aplique al uso agrícola.
- Reducir la necesidad de fertilizantes artificiales, con la consiguiente disminución de gastos en energía y de la contaminación industrial.
- Conservar el suelo por enriquecimiento con lodos activados y prevenir la erosión del terreno.
- Luchar contra la desertificación y recuperar zonas áridas mediante el riego.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales se construyen con el propósito de proteger el ambiente y la salud, por consiguiente, su impacto ambiental debería ser positivo. Sin embargo, al hacer el análisis de este impacto, debe considerarse la posibilidad de que se presenten aspectos negativos (Fair, G.M., J.C. Geyer, y D.A. Okun, 1966)

Los criterios para evaluar el impacto de un sistema integrado de tratamiento y uso de aguas residuales son múltiples y complejos. Pero hay muchos aspectos, quizá los más importantes o trascendentes, para los cuales es difícil cuantificar en unidades monetarias su impacto ya sea positivo o negativo (Sáenz Forero, R. 1995).

Con el objeto de facilitar el ordenamiento de estos aspectos (positivos y negativos), se ha sugerido agruparlos en:

- Impacto social
- Impacto económico
- Impacto ambiental

La empresa agrícola Las Mercedes MG Ltda presentó la necesidad de desarrollar un proyecto de construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados, el cual pretende minimizar los efectos producidos por la sequía que afecta a la provincia de Petorca hace más de 10 años.

A este proyecto se le efectuará un análisis de impacto ambiental, por lo tanto es necesario tener presente que de acuerdo a lo establecido en la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente.

### **5.3.1 Factores relevantes para el análisis de impacto ambiental**

La planta utilizará la tecnología de Lodos Activados Convencionales con digestión anaeróbica de lodos. Este tratamiento está compuesta por los procesos unitarios denominados: Tratamiento Preliminar, Tratamiento Primario, Tratamiento Secundario y Desinfección, mientras que la "Línea de lodos", estará conformada por los procesos de Espesamiento, Digestión Anaeróbica, Deshidratación y Disposición Final.

### 5.3.1.1 Parámetro de diseño

PARÁMETROS	AFLUENTE		EFLUENTE	
Caudal	8,1	m <sup>3</sup> /día	≤ 1.000	m <sup>3</sup> /día
DBO <sub>5</sub>	350	mg/L	≤ 35	mg/L
SST	350	mg/L	≤ 35	mg/L
NKT	60	mg/L	≤ 50	mg/L
Producción de lodos	-	-	1,85	Kg lodo seco/ día

**TABLA 18. Detalle de parámetros de diseño y calidad de afluente y efluente**

**FUENTE:** 2016, Elaboración propia

### 5.3.2 Caracterización del área de influencia

- Área de Influencia Directa General: Sitio de 500 m<sup>2</sup> donde se construirá la planta de tratamiento de aguas residuales, perteneciente a la empresa agrícola Las Mercedes MG, en la ciudad de Cabildo perteneciente a la provincia de Petorca.
- Área de Influencia Indirecta General: Está constituida por 101 hectáreas de Paltos pertenecientes a la empresa agrícola Las Mercedes MG.

### 5.3.2.1 Medio físico

- **Clima y meteorología**

El clima de la zona corresponde a la prolongación de las condiciones imperantes en la IV Región, catalogándose como Clima Mediterráneo Subtropical Semiárido; se caracteriza por variaciones térmicas de escasa importancia, con una temperatura media anual de 14,4° C, una máxima media del mes más cálido, Febrero, de 26. 5° C y una mínima media del mes más frío, Julio, de 4. 5° C.

Los cielos son limpios a causa de la baja humedad atmosférica; las lluvias que son escasas, se caracterizan por un alto grado de irregularidad, por lo que las sequías son bastante frecuentes; la precipitación anual alcanza promedios cercanos a 300 mm, siendo Julio el mes más lluvioso. Estas condiciones climáticas favorecen el uso del suelo para cultivos agrícolas.

- **Geomorfología**

La comuna de Cabildo se localiza en el valle medio del río La Ligua (32°25'-32°27'S y 71°05' - 71°01'W), limitado por los últimos cordones transversales que unen la Cordillera de los Andes con la Cordillera de la Costa.

Morfológicamente se inserta en un área montañosa en la cuenca media y superior del río La Ligua, la cual se presenta alargada en sentido este-oeste y con mayor desarrollo en la vertiente sur, correspondiente a la subcuenca del estero Los Angeles.

Límita al Noreste con: Petorca, al Sureste: Putaendo, al Oeste: La Ligua y al Este: provincia de Los Andes y provincia de Choapa, paso fronterizo Las Llaretas, Laguna El Chepical.

Esta Comuna integra la zona intermedia de la Región, y es el inicio del Valle del Río Ligua, al que abastece con quebradas tributarias, caracterizadas por un profundo encajonamiento en la Cordillera de la Costa.

Cabildo se encuentra situado a 178 metros sobre el nivel del mar. Situada a 180 km al norte de Santiago y a 140 kilómetros de Valparaíso, con una superficie de 1455,3 km<sup>2</sup> que hacen de Cabildo la comuna con la 2° superficie más grande de la región.

- **Hidrología y calidad de aguas**

La única fuente de agua del sector la constituye la hoya hidrográfica del río La Ligua y sus afluentes, los esteros Alicahue y Los Angeles.

La hoya del río La Ligua tiene 2066 km<sup>2</sup> y 115 km. de largo. Los afluentes formadores se originan en la Cordillera de los Andes y tienen como colector al estero Alicahue. Desde el sur recibe al estero Los Angeles que es colector de una extensa cuenca situada entre los Altos de Putaendo y de Catemu; más al oeste confluyen los esteros La Patagua y Jaururo y poco antes de la desembocadura, el estero Las Salinas ubicado al NE de Papudo.

El río La Ligua constituye el principal agente modelador del área, como asimismo los numerosos afluentes que conforman una red de drenaje tupida y suficiente para erosionar efectivamente los cordones montañosos y la parte baja.

### 5.3.2.2. Medio biótico

- **Flora y vegetación**

El área cubierta por la comuna de Cabildo se emplaza en un ambiente de rasgos semiáridos, caracterizado por la alternancia de una larga fase de escasas o nulas precipitaciones con fases cortas de abundante pluviosidad; ello determina que la vegetación natural existente este adaptada a estas condiciones medioambientales, donde predomina el déficit hidrológico.

La vegetación predominante en la comuna es particularmente arbustiva, en gran parte espinosa y con presencia de cactáceas. Entre estas destacan: quisco que crece mayormente hacia la costa. Entre las plantas espinosas acompañantes está sobre todo el espinillo, la gavilla , el cuerno de cabra.. Otras especies xerófitas presente son el churco, el carbonillo, el colliguay, chagual o puya, también llamado cardón y maguey el guayacán, el molle, el pimiento, el litre, el quillay y el espino.

Cabe mencionar que la vegetación nativa se encuentra altamente intervenida, de tal manera que el paisaje original está casi totalmente alterado y sólo permanecen restos de la cubierta primitiva en las cabeceras de las quebradas más húmedas. Por su parte las laderas presentan vegetación dispersa destinada al pastoreo para caprinos o bien cultivos de paltos, especialmente en su sección más baja.

- **Fauna**

Destacamos la existencia de importantes aves como por ejemplo la tenca común que elabora sus nidos en los quiscos, la loica chilena, el aguilucho común, águila, cóndor, codorniz, tórtola, perdiz y torcaza, ya presente más al norte, y algunos reptiles como la lagartija y la culebra de cola larga y roedores pequeños como el degú y el cururo o guanque, vizcacha, zorros y algunos carnívoros que podemos encontrar escasamente en los sectores elevados, como es el caso del puma cordillerano.

### *5.3.2.3 Medio socioeconómico*

- **Demografía**

En este caso, el área de influencia indirecta del proyecto lo constituyen las personas que trabajan en la empresa, las cuales se verán afectadas por la implementación del proyecto de construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales.

### *5.3.2.4 Medio construido*

- **Agua Potable y alcantarillado**

La empresa cuenta con agua potable domiciliaria y servicio de alcantarillado, administrada por la Municipalidad de Cabildo.

## **5.3.3 Evaluación de impacto ambiental**

### *5.3.3.1 Impactos positivos asociados al proyecto*

#### **a) Impacto socioeconómico**

- Empleos generados por la construcción, operación y mantenimiento de la planta.
- Protección de la salud de los consumidores de los productos generados con el uso de aguas residuales.
- Ampliación de la frontera agrícola.
- Costos más bajos por metro cúbico tratado.
- Conservación de los nutrientes para los cultivos.
- Conservación del agua para los períodos de sequía.
- Fertilización de suelos agrícolas con lodos tratados que contienen materia orgánica y minerales.

**b) Impacto ambiental**

- Disminución de la carga orgánica lanzada a los ríos.
- Disminución de la carga microbiológica descargada al ambiente.
- Generación de entornos ecológicos y mantenimiento de la capacidad de reproducción del ecosistema.

*5.3.3.2 Impactos negativos asociados al proyecto***a) Impacto socioeconómico**

- Pérdida de valor de los terrenos de la empresa.
- Efectos adversos a la salud de trabajadores y operarios por la falta o inadecuada aplicación de medidas de protección.
- Disminución de terrenos para la producción agrícola (cuando los agricultores tienen que ceder parte de sus terrenos para el tratamiento).
- Pérdida de agua por evaporación en los estanques de estabilización.

**b) Impacto ambiental**

- Contaminación del agua subterránea a causa de elementos contaminantes no removidos por el sistema de tratamiento.
- Generación de malos olores por diseño, operación y mantenimiento inadecuados;
- Deterioro del suelo por incremento de la tasa de salinización y saturación del agua, si no se presta la debida atención a las necesidades de filtración y drenaje.
- Durante la etapa de operación, se producirán material particulado y gases.
- Posibilidad de contaminación de canales de regadíos aledaños al proyecto por descargas de residuos sólidos o por descargas accidentales de combustibles, aceites de máquinas o vehículos durante la etapa de construcción

- Posible contaminación de napas subterráneas por infiltración de sustancias orgánicas, combustibles, desechos, etc. Durante la etapa de construcción, mantenimiento y operación de la planta.
- Contaminación por emisiones de polvo o material particulado durante la etapa de construcción
- Generación de nivel de presión sonora superior a 20 dB (A) el máximo permitido por el D.S. N° 146 durante la etapa de construcción construcción

### 5.3.4 Clasificación e importancia de impactos

#### 5.3.4.1 Impactos positivos

ETAPA DE CONSTRUCCIÓN				
IMPACTO	COMPONENTE	ELEMENTO	CALIFICACIÓN	
<b>1. MEDIO SOCIOECONÓMICO</b>				
1.	Aumento de fuentes de trabajo para mano de obra	Económico	Actividades económicas	Positivo menor
<b>ETAPA DE MANTENIMIENTO</b>				
<b>IMPACTO</b>				
<b>COMPONENTE</b>				
<b>ELEMENTO</b>				
<b>CALIFICACIÓN</b>				
<b>1. MEDIO SOCIOECONÓMICO</b>				
1.	Aumento de fuentes de trabajo	Económico	Actividades económicas	Positivo menor
2.	Protección de la salud de los consumidores de los productos generados con el uso de aguas residuales tratadas en la planta	Social	Calidad de vida	Positivo relevante
<b>ETAPA DE OPERACIÓN</b>				
<b>IMPACTO</b>				
<b>COMPONENTE</b>				
<b>ELEMENTO</b>				
<b>CALIFICACIÓN</b>				
<b>1. MEDIO SOCIOECONÓMICO</b>				
1.	Ampliación de la frontera agrícola	Económico	Actividades económicas	Positivo menor
2.	Costos más bajos por metro cúbico tratado	Económico	Actividades económicas	Positivo
3.	Aumento de fuentes de trabajo	Económico	Actividades económicas	Positivo menor
<b>2. MEDIO AMBIENTAL</b>				
1.	Conservación de agua para los periodos de sequía	Hidrología	Cantidad de agua disponible para riego	Positivo relevante
2.	Conservación de nutrientes para los cultivos	Edafología	Calidad de suelo	Positivo relevante
3.	Fertilización de suelos agrícolas con lodos tratados	Edafología	Calidad de suelo	Positivo

**TABLA 19. Evaluación de impactos ambientales positivos de la PTAR**

FUENTE: 2016, Elaboración propia

## 5.3.4.2 Impactos negativos

ETAPA DE CONSTRUCCIÓN				
IMPACTO	ELEMENTO	CALIFICACIÓN	MEDIDAS DE MANEJO	
<b>1. MEDIO SOCIOECONÓMICO</b>				
<b>1.1 ECONÓMICO</b>				
1.	Disminución de terrenos para producción agrícola	Pérdida económica	Negativo menor	Medida de compensación
<b>1.2 SOCIAL</b>				
1.	Efectos adversos a la salud de trabajadores por falta o inadecuada aplicación de medidas de protección	Salud	Negativo mitigable	Medidas de mitigación
<b>2. MEDIO AMBIENTAL</b>				
<b>2.1 CALIDAD DEL AIRE</b>				
1.	Contaminación por emisiones de polvo o material particulado	Partículas en suspensión	Negativo menor	Medidas de mitigación
<b>2.2 CALIDAD DE AGUAS</b>				
1.	Posibilidad de contaminación de canales de regadíos aledaños al proyecto por descargas de residuos sólidos o por descargas accidentales de combustibles, aceites de máquinas o vehículos	Calidad de aguas superficiales	Negativo menor	Ambientales generales y plan de contingencias
2	Posible contaminación de napas subterráneas por infiltración de sustancias orgánicas, combustibles, desechos, etc.	Calidad de aguas subterráneas	Negativo mitigable	Medidas de mitigación y plan de contingencias.
<b>2.3 RUIDO</b>				
1.	Generación de nivel de presión sonora superior a 20 dB (A) el máximo permitido por el D.S. N° 146	Nivel de presión sonora	Negativo mitigable	Medida de compensación

TABLA 20. Evaluación de impactos ambientales negativos de la etapa de construcción de la PTAR

FUENTE: 2016, Elaboración propia

ETAPA DE MANTENIMIENTO				
IMPACTO	ELEMENTO	CALIFICACIÓN	MEDIDAS DE MANEJO	
<b>1. MEDIO SOCIOECONÓMICO</b>				
<b>1.2 SOCIAL</b>				
1.	Efectos adversos a la salud de trabajadores por falta o inadecuada aplicación de medidas de protección	Salud	Negativo mitigable	Medidas de mitigación
<b>2. MEDIO AMBIENTAL</b>				
<b>2.1 CALIDAD DEL AIRE</b>				
1.	Generación de malos olores	Calidad del aire	Negativo mitigable	Medidas de mitigación
2.	Generación de material particulado y gases	Material particulado y gases	Negativo menor	Medidas de compensación
<b>2.2 CALIDAD DE AGUAS</b>				
1.	Posible contaminación de napas subterráneas por infiltración de sustancias orgánicas, combustibles, desechos, etc.	Calidad de aguas subterráneas	Negativo mitigable	Medidas de mitigación y plan de contingencias.

**TABLA 21. Evaluación de impactos ambientales negativos de la etapa de mantención de la PTAR**

**FUENTE:** 2016, Elaboración propia

ETAPA DE OPERACIÓN				
IMPACTO	ELEMENTO	CALIFICACIÓN	MEDIDAS DE MANEJO	
<b>1. MEDIO SOCIOECONÓMICO</b>				
<b>1.1 ECONÓMICO</b>				
1.	Pérdida de agua por evaporación en los estanques de estabilización	Pérdida económica	Negativo menor	Plan de contingencia
<b>1.2 SOCIAL</b>				
1.	Efectos adversos a la salud de trabajadores por falta o inadecuada aplicación de medidas de protección	Salud	Negativo mitigable	Medidas de mitigación
<b>2. MEDIO AMBIENTAL</b>				
<b>2.1 CALIDAD DEL AIRE</b>				
1.	Generación de malos olores, gases y material particulado	Calidad del aire	Negativo mitigable	Medidas de mitigación
2.	Generación de material particulado y gases	Material particulado y gases	Negativo menor	Medidas de compensación
<b>2.2 CALIDAD DE AGUAS</b>				
1.	Posible contaminación del agua subterránea a causa de elementos contaminantes no removidos por el sistema de tratamiento	Calidad de aguas subterráneas	Negativo mitigable	Medidas de mitigación y plan de contingencias.
2.	Posible contaminación de napas subterráneas por infiltración de sustancias orgánicas, combustibles, desechos, etc.	Calidad de aguas subterráneas	Negativo mitigable	Medidas de mitigación y plan de contingencias.
<b>2.3 CALIDAD DE SUELO</b>				
3.	Deterioro del suelo por incremento de la tasa de salinización y saturación del agua, si no se presta la debida atención a las necesidades de filtración y drenaje.	Calidad del suelo	Negativo mitigable	Medidas de mitigación y plan de contingencias.

**TABLA 22. Evaluación de impactos ambientales negativos de la etapa de operación de la PTAR**

FUENTE: 2016, Elaboración propia

### 5.3.5 Plan de medidas de mitigación, reparación y/o compensación

El Plan de Manejo está diseñado para aminorar o evitar los posibles impactos del proyecto sobre el sistema ambiental. Este Plan está estructurado para cada uno de los componentes ambientales, analizados en la Línea de Base y para cada etapa del proyecto, incluyendo las medidas correspondientes a los distintos impactos. Para cada componente se señalan las medidas que debieran implementarse para darle cumplimiento.

A continuación se presentan algunos de los impactos potenciales del proyecto, las actividades generadoras de ellos y la medida de manejo respectiva.

#### 5.3.5.1 Etapa de construcción

- Impacto en la Salud: Efectos adversos en la salud de trabajadores por falta o inadecuada aplicación de medidas de protección.

#### **Medidas a considerar:**

1. Tener un plan de emergencia
2. Planificación de evacuación
3. Sistemas de alerta (alarmas, luces intermitentes)
4. Ejercicios, test y simulacros de emergencia
5. Charlas preventivas a trabajadores.
6. Revisión por un prevencionista de riesgos
7. Educación y capacitación ambiental y dotación de equipo de protección adecuada.

- Impacto en Aire: Aumento material particulado, aumento de gases (maquinarias y vehículos).

**Medidas a considerar:**

1. Uso de vehículos y maquinarias en buen estado de mantención.
2. Humidificar caminos y acopio de materiales.
3. No realizar quemas.
4. Transporte de materiales en camiones debidamente cubiertos.
5. Circulación de vehículos a bajas velocidades al interior del recinto y accesos.

- Impacto en nivel de presión sonora: Generación de nivel de presión sonora superior a 20 dB.

**Medidas a considerar:**

1. Controlar la emisión de los focos de ruido, seleccionando y controlando adecuadamente los equipos que lo originan.
2. Exigir certificados de emisión sonora.
3. Presionar en la aplicación de técnicas de reducción de la emisión de dichos equipos por parte de los fabricantes o usuarios, etc.
4. Protección directa de trabajadores mediante aislamiento adecuado al ruido, mediante protectores auditivos.

### 5.3.5.2 Etapa de mantenimiento

- Impacto en la salud: Posibles efectos adversos a la salud de trabajadores por falta o inadecuada aplicación de medidas de protección.

**Medidas a considerar:**

1. Tener un plan de emergencia
2. Planificación de evacuación
3. Sistemas de alerta (alarmas, luces intermitentes)
4. Ejercicios, test y simulacros de emergencia
5. Charlas preventivas a trabajadores.
6. Revisión por un prevencionista de riesgos
7. Educación y capacitación ambiental y dotación de equipo de protección adecuada.

- Impacto en la calidad del aire: Generación de malos olores.

**Medidas a considerar:**

1. Medición diaria de sulfuros disueltos de las distintas aportaciones incorporadas a la planta. Las condiciones de operación y temperatura varían y por ello hay que tener un seguimiento combinado con estos parámetros.
2. “Instrucciones de Calidad y Medioambiente” para el seguimiento de los sistemas de depuración de la emisión.
3. “Instrucción de Calidad y Medioambiente” para el control de la inmisión en distintos puntos definidos en el interior y entorno

- Impacto en la calidad de aguas subterráneas: *Posible contaminación de napas subterráneas por infiltración de sustancias orgánicas, combustibles, desechos, etc.*

**Medidas a considerar:**

1. Construcción de trampas de grasas
2. Ordenanzas Municipales respecto al manejo de aceites usados con sus prohibiciones y sanciones.
3. Monitoreo semanal.
4. Llevar un registro permanente para identificar cualquier cambio que pueda generar algún nivel de riesgo.

*5.3.5.3 Etapa de operación*

- Impacto en la salud: *Efectos adversos a la salud de trabajadores por falta o inadecuada aplicación de medidas de protección.*

**Medidas a considerar:**

1. Tener un plan de emergencia
2. Planificación de evacuación
3. Sistemas de alerta (alarmas, luces intermitentes)
4. Ejercicios, test y simulacros de emergencia
5. Charlas preventivas a trabajadores.
6. Revisión por un prevencionista de riesgos
7. Educación y capacitación ambiental y dotación de equipo de protección adecuada.

- Impacto en la calidad del aire: Generación de malos olores, gases y material particulado.

**Medidas a considerar:**

1. Uso y operación de calderas que cumplan con la normativa vigente.
  2. Uso de quemador de gases residuales certificado.
  3. Pantalla vegetal en el perímetro de la planta.
  4. Estabilización de lodos, destruyendo en la digestión como mínimo un 38% de sólidos volátiles.
  5. Medición diaria de sulfuros disueltos de las distintas aportaciones incorporadas a la planta. Las condiciones de operación y temperatura varían y por ello hay que tener un seguimiento combinado con estos parámetros.
  6. “Instrucciones de Calidad y Medioambiente” para el seguimiento de los sistemas de depuración de la emisión.
  7. “Instrucción de Calidad y Medioambiente” para el control de la inmisión en distintos puntos definidos en el interior y entorno
- Impacto en la calidad de aguas subterráneas: Posible contaminación de napas subterráneas por infiltración de sustancias orgánicas, combustibles, desechos, etc.

**Medidas a considerar:**

1. Construcción de trampas de grasas
2. Ordenanzas Municipales respecto al manejo de aceites usados con sus prohibiciones y sanciones.
3. Monitoreo semanal.
4. Llevar un registro permanente para identificar cualquier cambio que pueda generar algún nivel de riesgo.

- Impacto en la calidad del suelo: Deterioro del suelo por incremento de la tasa de salinización y saturación del agua, si no se presta la debida atención a las necesidades de filtración y drenaje.

**Medidas a considerar:**

1. Mantener los intervalos correctos entre la filtración y el drenaje.
2. Análisis constantes del contenido de sales en el suelo.

## **Capítulo 6. Conclusiones y recomendaciones**

### **6.1 Conclusiones**

Luego del presente estudio realizado, fue posible determinar los factores más importantes y relevantes para la toma de decisión de la empresa Agrícola Las Mercedes MG Ltda respecto a la ampliación de sus operaciones a través de la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para el regadío de sus paltos.

En términos generales, se concluye que la hipótesis del presente trabajo se cumple parcialmente, es decir que el agua tratada por la PTAR puede aplicarse en regadío sin provocar efectos adversos, siempre y cuando se considere los requisitos de la normativa vigente y criterios adicionales, mitigando los efectos causados por la sequía que afecta a la provincia de Petorca hace más de 10 años pudiendo mantener un riego continuo y uniforme durante todo el año en un 30% de sus plantaciones.

Se logró diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) para la empresa, la cual cumple todos los requerimientos exigidos por ésta cumpliendo el objetivo general de este trabajo. La planta tiene una superficie de 500 metros cuadrados, la que será ubicada en un sector establecido por la empresa aledaño a los servicios sanitarios de esta misma.

De los tipos de tratamiento de aguas residuales se determinó que para el proyecto el sistema de tratamiento mediante lodos activados es el mejor ya que se puede aumentar los rendimientos de los procesos. Una ventaja de este sistema es que se utiliza para grandes comunidades, donde los flujos de caudal de agua residual son constantes durante el día, a diferencia de los otros sistemas de tratamiento que son pensados para pequeñas comunidades en donde el caudal de agua residual es más controlado. Se determinó que el tipo de desinfección adecuado para este caso es la cloración por contacto ya que el agua una vez tratada tiene que cumplir con los estándares establecidos en la NCH 1.333, de esta forma poder utilizarla en el riego de las plantaciones de la empresa en cuestión.

La PTAR diseñada tiene una capacidad de 8.100 Litros de agua al día y tiene una eficiencia de remoción de un 99% de Coliformes fecales, un 91.43% de remoción de DBO<sub>5</sub> y un 82.85% de remoción de SST.

La inversión que debe hacer la empresa para implementar esta PTAR asciende a la suma de \$37.369.308 millones de pesos y los costos anuales por operación, mantenimiento y administración de esta planta ascienden a la suma de \$3.922.579, \$3.600.000 y \$21.000.000 millones de pesos respectivamente.

Un beneficio obtenido de la PTAR a la empresa al utilizar este tipo de tratamiento es la producción de lodos, los cuales serán utilizados como abono en sus plantaciones y como mejoramiento de suelos, haciéndolos más productivos. La aplicación de lodos tiene efectos positivos en los suelos, ya que disminuye la densidad aparente, aumenta la estabilidad de agregados, incrementa la retención de agua, aporta nutrientes y materia orgánica, y mejora el rendimiento de diferentes cultivos.

De los valores del VAN \$ 5.711.418,19 y el TIR 14% obtenidos en el flujo de caja podemos concluir que el proyecto es una buena opción a desarrollar a mediano plazo. Por otro lado, los análisis de sensibilidad muestran diferentes variantes que puede tomar el proyecto, lo que se espera y estima que en 5 años el rendimiento por hectárea será de 15.000 Kg aproximadamente.

Se identificaron impactos positivos relevantes e impactos negativos relevantes. Respecto a los impactos negativos, éstos serán localizados, existiendo medidas de compensación, mitigación, prevención y control, las que apuntan a mejorar y disminuir sustancialmente estos impactos frente al entorno del proyecto.

## **6.2 Recomendaciones y procedimientos necesarios para la implementación del proyecto**

### **6.2.1 Importancia de la capacitación**

Todos los trabajadores que realizan labores en instalaciones asociadas a plantas de tratamiento, deben ser instruidos en los riesgos identificados y los procedimientos seguros que deben seguir. Lo recomendable es implementar un programa de entrenamiento teórico- práctico que incluya como mínimo las siguientes materias:

- Redes de alcantarillado: características propias y de los vertidos que conducen, generación de contaminantes, fuentes de origen y características de los mismos.
- Procedimientos seguros para el trabajo en las distintas tareas asociadas a operaciones de control, mantenimiento y diversos tipos de emergencias que se pudiesen generar.
- Equipamiento y sistemas de control de la empresa.
- Instrumento de medición
- Correcto uso de equipos de protección respiratoria y de ventilación por inyección de aire.
- Primeros auxilios, técnicas de rescate, reconocimiento de síntomas y procedimientos de acción.
- Higiene básica y autocuidado
- Análisis de riesgos, planificación de tareas y consideración de situaciones de emergencia. Aplicación a casos. Este entrenamiento teórico práctico debe complementarse con simulacros de situaciones reales de emergencia a cargo de la supervisión, para evaluar el grado de preparación del personal y la organización para enfrentar situaciones reales que podrían presentarse.

Esto permitirá definir programas de reforzamiento, modificación de procedimientos, asignación de responsabilidades, incorporación de equipamiento, entre otros, haciendo efectivos los procedimientos y optimizando los recursos que disponga la empresa para el control de los riesgos.

## Capítulo 7. Bibliografía

**AMBAR-CONSULTORA E INGENIERÍA AMBIENTAL. 1999.** Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas de San José de Maipo. Empresa de Grupo Arze, Reciné y Asociados. Santiago, Chile.

**BROWN F., E. y SALDIVIA M., J. 2000.** Informe nacional sobre la gestión del agua en Chile.

**CAUSSE INGENIERÍA, INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, LTDA. 1998.** Planta de tratamiento de aguas servidas de San José de Maipo: Evaluación Económica.

**CHILE SUSTENTABLE. 2002.** Disponibilidad y uso sustentable del agua en Chile. <<http://www.ciedperu.org/agualtiplano/revista/art4.htm>> [Consulta: en línea el 6 de mayo de 2016].

**GACHON J., F. 1997.** Declaración de Impacto Ambiental de la Ampliación de la Planta de tratamiento de aguas servidas El Melón.

**GLYNN, H.J.; y HEINKE, G.W. 1999.** Ingeniería Ambiental. Edición 2da. Prentice Hall Hispanoamericana; S.A. pág. 778.

**INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1987.** Norma Chilena 1.333. Requisitos de Calidad de agua para Diferentes Usos. 30p.

**INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN). 1995.** Decreto Supremo N°90. 30p.

**INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (INE). 2002.** <<http://www.ine.cl>>. [Consulta: en línea el 11 de mayo de 2016].

**ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). 1997.** Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Guía técnica, CEPIS-OPS. <<http://www.cepis.org.pe/eswww/fulltext/aguresi/direc/direct.html>> [Consulta: en línea el 6 de junio de 2016].

**SAÉNZ, R. 2002.** Introducción y uso de aguas residuales en Agricultura y Acuicultura. Textos Completos. CEPIS-OPS/OMS

**DAVID W. PEARCE Y R. KERRY TURNER, 1990.** Economics of Natural Resources and Environment. Edición Primera. The Johns Hopkins University Press.

**ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA GRICULTURA, 2013.** Reutilización del agua en la agricultura. <<http://www.fao.org/3/a-i1629s.pdf>> [Consulta: en línea el 17 de mayo de 2016].

**INSTITUTO NACIONAL DE DERECHOS HUMANOS, 2014.** Informe de observación de la provincia de Petorca.

<<http://bibliotecadigital.inhd.cl/bitstream/handle/123456789/774/Informe.pdf?sequence=1>>[Consulta: en línea el 15 de mayo de 2016].

**VISSMAN, W. JR. and HAMMER, M.J. 1993.** Water Supply and Pollution Control, 5ª. Ed. New York; Harper Collins.

**KABLER P. 1959.** Removal of pathogenic microorganisms by sewage treatment processes. Sewage and Wastes (31):1373.

**ELMUND, K.; M. J. ALLEN; and E. RICE. 1999.** Comparison of Escherichia coli, total coliform and fecal coliform populations as indicators of wastewater treatment efficiency. Water Environment Research, Alexandria, (71) 3: 332p.

**CABELLI V.J. 1983.** Microbiological water quality for bathing: Epidemiological Studies. JWPCF 10 TH Edition (55):1306-1314.

**MAHBOOB, A.; QUERESHI and QUERESHI, A.A. 1990.** Efficiency of removal of coliforms, faecal coliforms and coliphages in the tubli sewage treatment plant, bahrain. Water Research, 12(24):1459-1461.

**HUAMAN C.M.; y LAZCANO CARREÑO, C.1999.** Trabajo de Investigación: desinfección de efluentes de agua de desecho y potable con el sistema Trojan UV 300 PTP. SEDAPAL-LA ATARJEA-LIMA PERU. Laboratorio de Biología y Desinfección.

**OFICINA DE ESTUDIOS Y POLÍTICAS AGRARIAS, 2014.** Agricultura Chilena 2014, una perspectiva a mediano plazo.

<<http://www.sna.cl/ww/admin/spaw2/uploads/files/Agricultura%202014.pdf>> [Consulta: en línea el 11 de Mayo de 2016].

**INSTITUTO DE DESARROLLO AGROPECUARIO, 2014.** Estrategias Regionales de Competitividad por Rubro. [en línea]. <[http://www.indap.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/paltaexportacion-vr\\_estrategiaregionalxrubro.pdf?sfvrsn=0](http://www.indap.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/paltaexportacion-vr_estrategiaregionalxrubro.pdf?sfvrsn=0)>[Consulta: en línea el 11 de Mayo de 2016].

**WASTEWATER AND USE IN AGRICULTURE, PESCOD, M.B. 1992.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. (FAO Irrigation and drainage paper 47). [Consulta: en línea el 16 de Octubre de 2016].

## Capítulo 8. Anexos

### 8.1 Carta de aceptación

#### AUTORIZACION

Agrícola Las Mercedes MG Ltda., RUT: 76.107.510-1, domiciliada en camino La Ligua a Cabildo km. 23 de la Comuna de Cabildo, autoriza a Alejandra Alvarez Gómez, RUT: 17.319.386-6, para que utilice la información necesaria en el desarrollo de su proyecto de Tesis y por ende trabajar en el campo para llevar a cabo su cometido.

Se extiende la presente Autorización para ser presentada en la Universidad de Valparaíso de Chile, facultad de Ingeniería de Santiago.

Atentamente,



Mario Opazo Regginatto  
Ingeniero Agrónomo  
Gerente General

## **8.2 Consideraciones y normativas para uso de aguas residuales en riego**

### **1. CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS O EFLUENTES TRATADOS PARA USO EN RIEGO.**

El estudio Criterios de Calidad de Aguas ó Efluentes Tratados para uso en Riego ha sido realizado en la División de Recursos Hídricos y Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile .Este estudio es parte del estudio Criterios de Calidad de Suelos y de Aguas o Efluentes Tratados para uso en Riego, solicitado por el Servicio Agrícola y Ganadero, SAG, a la Universidad de Chile. El tema Criterios de Calidad de Suelos ha sido desarrollada por la Facultad de Ciencias Agronómicas.

El uso en riego (consumo y evapotranspiración) de aguas de baja calidad es una práctica cada vez más frecuente en el mundo. A menudo este tipo de aguas es el único recurso hídrico disponible, por lo que aunque la eficiencia de la cosecha no sea óptima, constituye un valioso retorno económico para quienes la practican. En otros casos, su utilización en agricultura puede solucionar serios problemas de manejo y disposición final, siempre y cuando no impacte negativamente el medio ambiente, la calidad de las cosechas, ni la salud de los trabajadores.

El presente estudio contiene una caracterización de los recursos hídricos, tanto aguas naturales como intervenidas, disponibles para uso en riego ; antecedentes generales sobre tratamiento de aguas residuales; descripción básica de los requerimientos de calidad de agua de riego; antecedentes sobre experiencias, tanto internacionales como nacionales, en uso de aguas naturalmente de baja calidad o intervenidas; antecedentes sobre los parámetros de calidad de aguas relevantes al caso chileno; una propuesta de criterios de calidad de aguas para uso en riego y recomendaciones. Dentro de este marco el estudio aporta antecedentes para orientar un proceso regulatorio del uso de aguas de baja calidad en riego que podría abrir interesantes perspectivas económicas al país, al mismo tiempo que proteger el medio ambiente.

## 2. CARACTERIZACION DE RECURSOS HIDRICOS PARA USO RIEGO EN CHILE

### 2.1 Caracterización de la Calidad de aguas naturales y ocurrencia natural de metales

De acuerdo a los antecedentes geológicos e hidrológicos del país, de manera general, los flujos de agua subterránea y superficial cortarán unidades geológicas similares en todo el territorio nacional, con distancias relativamente cortas y con gradientes topográficos relativamente altos. Por esta razón, no se asigna un rol de importancia a la litología como elemento contaminante del agua.

Los hipotéticos elementos contaminantes estarán relacionados con las concentraciones, naturalmente anómalas de elementos, que corresponden a yacimientos. El grado de contaminación dependerá también de la cantidad de agua que esté al alcance del contaminante. Se consideran con mayor potencial de riesgo de contaminación por minerales a las regiones de baja precipitación, principalmente entre la I y la V.

La Tabla 1 muestra los elementos potencialmente contaminantes, en función de los yacimientos existentes en las distintas Regiones del país.

**Tabla 1**  
**Posibles Compuestos Contaminantes**

REGION	POSIBLE MINERAL CONTAMINANTE
I	Al, Bo, Li, Mo, Ag, Ba, Asbest, Sb, Na, U
II	Al, Bo, Li, Mo, Ag, Be, Ba, So, Na, U
III	Al, Bo, Li, Mo, Va, Ag, Ba, Sb, Na, U
IV	Mo, Va, Ag, Ba, Asbest., Sb, U
V y METROP	Al, Mo, Ba
VI	Al, Mo, Sb, U
VII	Al, Li, Va, Asbesto
VIII	Al, Ni, Asbesto
IX	Al, Mo, Ni, Asbesto
X	Al, Ni, Asbesto., Sb
XI	Mo, Ag, U
XII	Sb

## 2.2 Caracterización de Calidad de Aguas Intervenidas

### 2.2.1 Aguas Residuales Domésticas

La Tabla 2 muestra un resumen de las características típicas de aguas servidas según su clasificación en agua débil, media o fuerte.

**Tabla 2**  
**Características Aguas Servidas Domésticas**

Parámetro	Unidad	Débil	Media	Fuerte
Sólidos Totales	mg/l	350	720	1200
Sólidos Disueltos	mg/l	250	500	850
Fijos	mg/l	145	300	525
Volátiles	mg/l	105	200	325
Sólidos Suspendidos	mg/l	100	220	350
Fijos	mg/l	20	55	75
Volátiles	mg/l	80	165	275
Sólidos Sedimentables	ml/l	5	10	20
DBO <sub>5</sub>	mg/l	110	220	400
DOO	mg/l	250	500	1000
COT	mg/l	80	160	290
Nitrógeno Total	mg/l	20	40	85
N-orgánico	mg/l	8	15	35
N-amoniaco	mg/l	12	25	50
N-NO <sub>2</sub>	mg/l	--	--	--
N-NO <sub>3</sub>	mg/l	--	--	--
Fósforo Total	mg/l	4	8	15
P orgánico	mg/l	1	3	5
P inorgánico	mg/l	3	5	10
Cloruros	mg/l	30	50	100
Sulfatos	mg/l	20	30	50
Alcalinidad	mg/l	50	100	200
Aceites y Grasas	mg/l	50	100	150
Comp. Org. Volátiles	µg/l	<100	100-400	>400
Coliformes fecales	NMP/100ml	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup>	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>9</sup>

Fuente : Metcalf & Eddy. 1990.

Cabe destacar que en Chile, aún cuando las aguas son clasificadas como medias a fuertes en la mayoría de los casos, en general, esto sólo se refiere a su composición en términos de DBO<sub>5</sub> y SST.

Para efectos de reuso en riego los parámetros que interesan son aquellos de tipo inorgánico, principalmente, que podrían afectar el crecimiento de las plantas o la permeabilidad del suelo.

Estas sustancias inorgánicas disueltas no experimentan una modificación significativa durante el tratamiento de las aguas servidas y por lo tanto es esperable que las concentraciones sean similares a las del agua potable más los incrementos que ocurren debido al uso doméstico de éstas. En la Tabla 3 se indican los incrementos esperados en algunos parámetros respecto a los valores en el agua potable.

**Tabla 3**  
Incrementos típicos de la concentración de minerales  
debido a los usos domésticos del agua

Parámetro	Incremento, mg/l
<b>Aniones</b>	
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> )	50 – 100
Carbonato (CO <sub>3</sub> )	0 – 10
Cloruro (Cl)	25 – 50
Nitrato (NO <sub>3</sub> )	20 – 40
Fosfato (PO <sub>4</sub> )	5 – 15
Sulfato (SO <sub>4</sub> )	15 - 30
<b>Cationes</b>	
Calcio (Ca)	6 – 16
Magnesio (Mg)	4 – 10
Potasio (K)	7 – 15
Sodio (Na)	40 - 70
<b>Otros Componentes</b>	
Sílice (SiO <sub>2</sub> )	2 – 10
Alcalinidad total (CaCO <sub>3</sub> )	60 – 120
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	150 – 380
Aluminio (Al)	0.1 – 0.2
Boro (B)	0.1 – 0.4
Fierro (Fe)	0.2 – 0.4
Manganeso (Mn)	0.2 – 0.4

Fuente: Metcalf & Eddy, 1990.

### 2.2.2 Residuos Industriales Líquidos

La calidad de los residuos industriales líquidos, en general, es ampliamente variable no sólo durante el día, sino también dentro de industrias del mismo rubro. La Tabla 4 muestra los rangos de variación de calidad que reporta la literatura internacional.

**Tabla 4**  
Algunos Parámetros de Interés en Residuos Industriales Líquidos

Industrias	DBO, mg/l	SST, mg/l	Nitrógeno Orgánico, mg/l
Conservas Vegetales	90 – 3.000	200 – 2.300	
Conservas frutas	240 – 1.600	185 – 640	
Cítricos	80 – 950	25 – 140	
Lácteos	1.890	560	73
Cárneos	520 – 32.000	220 – 15.210	33 – 5.400
Pescados	42 – 112.500	2.500 – 66.400	
Cervecería	750 – 1.000	800 – 1.000	13 - 24
Textiles			
Algodón	300 – 800	30 – 100	
Rayón	960 – 2.800	1.040 – 7.250*	
Nylon	90 – 1.360	320 – 2.280*	

### 2.2.3 Efluentes de Producción Pecuaria (Purines)

Estudios realizados en Chile indican que en promedio, los efluentes están entre 5 y 20 l/cabeza/d. La composición promedio, en base a muestreos en distintos planteles, se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5**  
**Composición de Purines en Planteles Chilenos**

Componente	Concentración <sup>(1)</sup>	Concentración <sup>(2)</sup>
PH	6,5	6,4
Conductividad Específica, mmohs/cm	11.050	--
NO <sub>3</sub> -N, mg/l	60	--
NH <sub>4</sub> -N, mg/l	1.446	560
N total, mg/l	--	1.190
DBO, mg/l	13.000	17.660
SST, mg/l	28.682	9.180
SDT, mg/l	4.890	--
Fosfato, mg/l	--	680

(1) Purines crudos, Tapia (2004)

(2) Purines post prensa, Rebolledo (2003)

#### 2.2.4 Efluentes de Tranques de Relaves.

Las Tablas 6 y 7 muestran información de rangos de concentraciones en aguas claras de relave de la minería del cobre.

**Tabla 6**  
**Concentraciones de calidad de aguas de relave**

	EC (mmhos/cm)	Ca [meq/l]	Mg [meq/l]	Na [meq/l]	RAS
Rango	591 - 796	4,84 - 5,99	<0,01 - 0,07	0,70 - 0,87	0,36 - 0,50
Promedio	712	5,42	0,04	0,78	0,43

Fuente: CICA Ingenieros Consultores, 1999. Uso potencial de Aguas Claras de Relaves en el sector silvagrícola. Estación experimental Ovejera, CODELCO Chile División Andina.

**Tabla 7**  
**Concentraciones de calidad de aguas de relave**

	Cl <sup>-</sup> [meq/l]	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> [meq/l]	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> [meq/l]
Rango	0,23 - 0,39	4,33 - 6,00	0,34 - 0,70
Promedio	0,31	5,17	0,52

Fuente: CICA Ingenieros Consultores, 1999. Uso potencial de Aguas Claras de Relaves en el sector silvagrícola. Estación experimental Ovejera, CODELCO Chile División Andina.

#### 2.2.5 Efluentes de Tratamiento de Lixiviados de Rellenos Sanitarios

La Tabla 8 muestra antecedentes internacionales sobre rango de valores para algunos parámetros de calidad de lixiviados.

**Tabla 8**  
**Rango de Concentración de Diferentes Parámetros en Lixiviado de Relleno Sanitario**

PARAMETRO	RANGO	UNIDADES
TSD	584 - 55,000	mg/L
CE	480 - 72,500	µmho/cm
TSS	2 - 140,800	mg/L
DBO5	ND - 196,000	mg/L
DQO	6.6 - 99,000	mg/L
COT	ND - 40,000	mg/L
pH	3.7 - 8.9	
Alcalinidad Total	ND - 15,050	mg/L
Dureza	0.1 - 225,000	mg/L
Cloruro, Cl	2 - 11,375	mg/L
Calcio, Ca	3 - 2,500	mg/L
Sodio, Na	12 - 6,100	mg/L
Nitrógeno Total Kjeldahl, NTK	2 - 3,320	mg/L
Hierro, Fe	ND - 4,000	mg/L
Potasio, K	ND - 3,200	mg/L
Magnesio, Mg	4 - 780	mg/L
Amoníaco, NH4	ND - 1,200	mg/L
Sulfato, SO4	ND - 1,850	mg/L
Aluminio, Al	ND - 85	mg/L
Zinc, Zn	ND - 731	mg/L
Manganeso, Mn	ND - 400	mg/L
Fósforo Total, P	ND - 234	mg/L
Boro, B	0.87 - 13	mg/L
Bario, Ba	ND - 12.5	mg/L
Níquel, Ni	ND - 7.5	mg/L
Nitrato, NO3	ND - 250	mg/L
Plomo, Pb	ND - 14.2	mg/L
Cromo, Cr	ND - 5.6	mg/L
Antimonio, An	ND - 3.19	mg/L
Cobre, Cu	ND - 9.0	mg/L
Taio, Ta	ND - 0.78	mg/L
Cianuro, CN	ND - 6	mg/L
Arsénico, As	ND - 70.2	mg/L
Molibdeno, Mo	0.01 - 1.43	mg/L
Estaño, Sn	ND - 0.16	mg/L
Nitrito, NO2	ND - 1.46	mg/L
Selenio, Se	ND - 1.85	mg/L
Cadmio, Cd	ND - 0.4	mg/L
Plata, Ag	ND - 1.96	mg/L
Berilio, Be	ND - 0.36	mg/L
Mercurio, Hg	ND - 3.0	mg/L
Turbiedad	40 - 500	UT

La Tabla 9 muestra un caso particular de lixiviados obtenidos en dos rellenos sanitarios ubicados en Santiago.

**Tabla 9**  
**Análisis Químico de los Lixiviados de Rellenos Sanitarios Chilenos**

Parámetros	Unidades	Santa Marta		KDM	
Ácido Acético	g/L	n.d.	-	-	-
Ácido Butírico	g/L	ad.	-	-	-
Ácido Caproico	g/L	12.7	-	-	-
Ácido Propiónico	g/L	n.d.	-	-	-
Ácido Valérico	g/L	n.d.	-	-	-
Alcalinidad Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	14,650	14,150	20,250	11,700
Amoniaco	mg/LN- NH <sub>3</sub>	8,526	1,397	876	-
Cadmio	mg/L Cd	< 0.01	< 0.005	< 0.005	< 0.005
Cloruros	mg/L Cl	4,292	4,094	2,209	2,084
Cobre	mg/LCu	0.19	0.45	0.27	0.16
Conductividad	μS/cm	27,700	25,400	20,400	21,200
DBO <sub>5</sub>	mg/L	11,800	34,000	44,500	48,000
DQO	mg/L	71,250	47,550	57,450	53,800
Dureza Total	mg/L CaCO <sub>3</sub>	16,800	10,282	9,973	10,940
Fósforo	mg/LP	65.9	35.4	56.7	48.6
Hierro	mg/L Fe	7.75	660	270	266
Manganeso	mg/LMn	5.15	43	56.3	63.2
Nitratos	mg/L N - NO <sub>3</sub>	16.4	5.3	4.44	0.15
Nitritos	mg/LN- NO <sub>2</sub>	<0.01	0.5	< 0.01	< 0.01
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L N	17,500	2,391	1,568	980
pH		6.54	7.72	5.91	5.94
Plomo	mg/LPb	<0.03	<0.03	< 0.03	< 0.03
Sólidos Disueltos Fijos	g/L	21.0	12.8	5.5	7.7
Sólidos Disueltos Totales	g/L	24.4	16.9	15.0	1.6
Sólidos Totales	g/L	44.8	35.7	37.0	38.9
Sólidos Totales Fijos	g/L	22.8	17.0	17.7	20.3
Sulfatos	mg/L SO <sub>4</sub>	1391	971	1,076	1202
Zinc	mg/LZn	1.44	10.5	4.81	1.39

### 2.2.5 Aguas Residuales de la Industria Vitivinícola y Písquera

En la Tabla 10 se presenta informaci3n nacional sobre las principales característicás físicoquímicas.

Tabla 10  
Caracterizaci3n de Aguas Residuales de la Industria Písquera

Tipo de agua residual	DBO <sub>5</sub>	PH	DQO	S3lidos Totales	S3lidos Sedimentables
Agua de lavado	4000-15000	4.3		4000-10000	80-250
Vinaza	22000	3.1	40300	105	<0.1
Alcoholaza	1050	4.4	1950	33	<0.1

Fuente: Adaptado de DIA Planta Pisco Elqui - Pisco Control

### 2.2.7 Aguas Residuales Industria Alimenticia y similares.

Se considera que estas aguas residuales son las con mayor potencial de uso en riego por su alto contenido de nutrientes. La Tabla 11 muestra estas característicás.

Tabla 11  
Caracterizaci3n de Aguas Residuales de la Industria Alimenticia

RIL	Constituyentes contaminantes	N mg/l	P mg/l	K mg/l
Destilería	Alcalis, ácidos, soda, compuestos de cloro	25	1	20
Cervecería/maltería	Levaduras, carbohidratos, sólidos sedimentables	40	5	50
Procesamiento pescado	Grasas, aceites, ácidos orgánicos, sal	500	---	---
Puré de papas	Ninguno	550	140	95
Conservas	Sales, ácidos orgánicos, detergentes, sustancias corrosivas	60	10	35
Lácteos	desinfectantes	35	10	20

## **2.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES Y SU POTENCIAL USO EN RIEGO**

### ***2.3.1 Consideraciones sobre el tratamiento de aguas residuales***

Aun cuando el riego con aguas servidas constituye una forma efectiva de tratamiento, es necesario proveer algún tipo de tratamiento antes de utilizar estas aguas en la agricultura. A objeto de proteger la salud pública; prevenir condiciones molestas durante el almacenamiento y aplicación; y prevenir el daño a los cultivos y suelos.

El tratamiento generalmente aplicado a las aguas servidas, consiste en una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos para remover especialmente sólidos suspendidos, materia orgánica y microorganismos patógenos. Los procesos frecuentemente usados incluyen tratamiento preliminar, primario, secundario y algunas veces, tratamiento terciario o avanzado.

La desinfección se utiliza como etapa final para la inactivación de microorganismos patógenos. Los procesos avanzados, entre los que se incluye remoción de nutrientes, procesos de membrana para la remoción de compuestos inorgánicos disueltos o procesos de adsorción u oxidación para la remoción de sabor y olores, se aplican en casos en que los requerimientos de calidad en el efluente son más estrictos. En Chile, a excepción de la remoción de nutrientes en algunas plantas, no se aplican procesos avanzados en las aguas servidas domésticas.

En la Tabla 12 se resume la calidad del efluente obtenida en distintos procesos y en la Tabla 13 la evolución de la calidad del efluente dependiendo de las distintas etapas de tratamiento.

**Tabla 12**  
Procesos de Tratamiento de Aguas Residuales y Contenido de Contaminantes e Efluentes

PROCESO TRATAMIENTO	CONTENIDO DE CONTAMINACION EN EFLUENTES			
	Orgánico	Nutrientes N y P	Patógenos	Metales y Orgánico Traza
Primario	Alto	Alto	Alto	Alto
Primario Avanzado	Medio	Medio	Medio	Medio
Secundario LA	Bajo	Medio	Medio	Medio
Tratamiento Terciario: Afluente ha sido sometido a tratamiento secundario previo				
Remoción Nutrientes	Bajo	Bajo	Medio	Medio
Procesos Membrana	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Procesos Químicos	Bajo	Bajo	Medio	Medio
Desinfección			Bajo	

**Tabla 13**  
Evolución de los Contaminantes en las Etapas de Tratamiento

Etapas	DBO mg/l	SST mg/l	N mg/l	P mg/l
Aguas Servidas Crudas	250	220	50	10
Efluente Tratamiento Primario	180	100	45	9
Efluente Tratamiento Secundario Convencional o Intensivo	30	30	40	9
Remoción Nutrientes (aplicado en Conjunto o después tratamiento Secundario convencional)	20	20	10	1
Efluente Tratamiento Secundario No Convencional o Extensivo	60	80+	45	9

### 2.3.2 Tratamiento de Aguas Residuales en Chile

#### i) Aguas Servidas Domésticas.

La Tabla 14 muestra un resumen con la situación de tratamiento en el país y el volumen de aguas servidas tratadas que estaría disponible anualmente para ser utilizado en riego. En las Regiones I, II, IV y V, una gran parte de las aguas servidas son eliminadas al mar mediante emisarios submarinos, de modo que no sería posible su reuso. En la zona sur, debido a sus características, tampoco se requeriría reutilizar aguas tratadas, de modo que en estricto rigor, el volumen disponible sería del orden de un 65% del indicado (aprox. 300.000.000 m<sup>3</sup>/año), correspondiendo en la región metropolitana a un caudal del orden de 6,6 m<sup>3</sup>/s. Las tecnologías de tratamiento que se utilizan actualmente, en el país, para el tratamiento de las aguas servidas se indican en la Tabla 15.

**Tabla 14**  
**Tratamiento de Aguas Servidas en Chile**

Región	Población Habitantes	Dotación l/hab/d	Número PTAS	Cobertura %	Volumen AS m3/año
I	415,247	158.9	4	96.1%	18,515,551
II	465,104	156.7	5	98.9%	21,047,388
III	245,514	154.6	4	77.5%	8,589,548
IV	520,116	150.0	21	95.2%	21,687,589
V	1,430,500	170.8	26	77.6%	55,363,087
RM			14		209,915,097
A. Andinas	5,561,081	199.3		64.2%	207,770,746
A. Cordillera	433,095	374.6		0.0%	0
A. Manquehue *	17,801	889.1		46.4%	2,144,351
Los Dominicos	15,653	778.3		0.0%	0
SMAPA *	618,446	212.1		98.4%	37,689,502
Servicomunal	71,882	191.1		88.5%	3,549,825
VI - VIII	2,145,702	158.3	43	75.4%	74,783,282
VII	633,809	149.4	14	34.5%	9,539,178
IX	594,516	146.3	15	12.9%	3,276,276
X ESSAL	538,585	148.3	17	50.7%	11,824,593
X A. Décima	131,758	153.8	1	92.2%	5,455,658
XI	69,343	159.5	5	71.4%	2,305,921
XII	14,986	179.1	1	10.6%	83,075
<b>Total</b>	<b>13,923,138</b>		<b>170</b>		<b>483,625,569</b>

\* Las empresas A. Manquehue y SMAPA tratan sus aguas servidas a través de las instalaciones de Aguas Andinas.

**Tabla 15**  
**Tecnologías de Tratamiento de Aguas Servidas utilizadas en Chile**

Tipo de Tratamiento	Número de Plantas	Cumple D.S. 90
Emisario Submarino	22	No, descarga mar
Lodos Activados Convencionales	16	Siempre
Lodos Activados Aireación	62	Siempre
Extendida	42	No Siempre (DBO, SST, N, P)
Lagunas Aireadas	23	Generalmente No (DBO, SST, N, P)
Lagunas Estabilización	2	Si
Biofiltros	3	No
Otros		

Parámetros en paréntesis corresponden a aquellos que pueden incumplir la Norma.

Las plantas de lodos activados (convencionales y aireación extendida) tratan las aguas residuales de un 60% de la población servida y a seguran además, la mejor calidad de efluente. Sin embargo es más común que los efluentes de lagunas aireadas y lagunas de estabilización sean utilizados en actividades de riego, dado que estos sistemas se utilizan en zonas más rurales y por lo tanto cerca del punto de uso. Los otros efluentes se utilizan en forma indirecta dado que al descargar a cuerpos superficiales, son mezclados con aguas naturales y posteriormente utilizados para el riego de predios agrícolas.

## ii) Aguas Residuales Industriales

De acuerdo al catastro realizado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios, el año 1996 se contabilizaron del orden de 2.500 industrias a nivel nacional, de las cuales unas 1.780 se consideraban generadoras de residuos industriales líquidos. Un 65% de las industrias generadoras está conectada al alcantarillado, en tanto el 35% restante elimina sus efluentes a algún cuerpo receptor (Tabla 16)

**Tabla 16**  
**Destino de las Descargas de RILes**

Cuerpo Receptor	Industrias, %
Alcantarillado	65.7
Ríos	6.7
Lagos	0.3
Mar	6.8
Canales Riego	2.9
Suelo	14.4
Otros	3.2

Cabe destacar que las industrias que descargan al sistema de alcantarillado, descargan finalmente a un cuerpo receptor, el que en general puede ser un río o el mar. Es interesante considerar que algunas industrias descargan a canales de riego y un alto porcentaje lo hace al suelo, generalmente en operaciones de riego.

En la Tabla 17 se resume el universo total de industrias que posee un sistema de tratamiento autorizado por la Autoridad Competente.

**Tabla 17**  
**Industrias con Sistema de Tratamiento Autorizado**

Región	Alcantarillado	Curso Superficial	Suelo	Riego	Tratamiento Tercerizado	Otros	Total
I	1	0	0	0	0	0	1
II	3	0	0	0	0	0	3
III	0	0	0	0	0	0	0
IV	2	1	0	1	0	0	4
V	9	12	2	7	0	0	30
VI	2	8	0	12	0	0	22
VII	5	9	0	4	0	0	18
VIII	14	15	3	1	1	0	34
IX	3	3	0	0	0	0	6
X	11	30	7	2	0	0	50
XI	3	6	1	0	0	0	10
XII	4	2	2	0	0	0	8
RM	132	34	8	27	1	3	205
<b>Total</b>	<b>189</b>	<b>120</b>	<b>23</b>	<b>54</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>391</b>

De acuerdo a la Tabla 17 aproximadamente un 30% de las instalaciones industriales que no descargan al alcantarillado tiene tratamiento autorizado y de este porcentaje un 40% descarga al suelo o a sistemas de riego. La mayoría de la industrias que descarga al suelo (a través de riego o directamente a suelo desnudo) corresponde a actividades agropecuarias, industria vitivinícola, industrias pesqueras y alimentos. De este modo existe, actualmente, en el país, uso de aguas residuales industriales en riego directo (o infiltración) que se practica en forma autorizada.

### **2.3.3 Niveles de Tratamiento Requeridos en las Aguas Residuales para Minimizar Impactos**

El reciclaje de aguas tratadas requiere de medidas efectivas para proteger la salud pública y el medio ambiente. Los riesgos resultantes son función de los métodos de aplicación y condiciones locales. La Tabla 18 muestra los niveles de tratamiento requeridos en función del tipo de cultivo.

**Tabla 18**  
**Requerimientos de Calidad para Reuso de Efluentes Tratados en Riego**

USOS	Remoción DBO y DQO	Remoción Nutrientes	Remoción Patógenos	Remoción Metales y Orgánicos traza	Cloro residual desinfección	Remoción SST y turbiedad	Remoción Sabor y Olor	Remoción Salinidad
Riego Forestal	X	-	X	X	-	X	X	O
Riego Cultivos Restringidos	X	-	X	X	-	X	X	O
Riego Cultivos Limitados	XX	-	XX	XX	XX	XX	X	X
Riego todos los Cultivos y Productos	XXX	-	XXX	XXX	XXX	XXX	XX	X
Recarga Acuíferos	XXX	XXX	XXX	XXXX	XX	XXX	XXX	-
No es necesario								
O No es esencial								
X Necesidad Leve								
XX Necesidad Moderada								
XXX Fuerte Necesidad								
XXXX Requerimiento Estricto								

Aun cuando la mayor experiencia en riego con aguas residuales se refiere al uso de aguas servidas domésticas, es necesario reconocer que existen variados efluentes industriales que representan una importante fuente de aguas para riego, especialmente en el caso de industrias procesadoras de alimentos, donde el volumen y las características de las aguas residuales posibilitan su reuso. En la Tabla 19 se resume las características de las aguas residuales de algunas industrias procesadoras de alimentos, así como también los niveles de tratamiento necesarios de ser aplicados.

**Tabla 19**  
**Industrias de Alimentos, Características de sus Aguas y**  
**Tratamiento para Reuso**

Industria	Contaminantes	Pre-tratamiento	N (mg/L)	P (mg/L)	K (mg/L)
Destilerías	Ácidos y álcalis, soda, compuestos clorados	Tratamiento secundario, neutralización	25	1	20
Cervecerías	Levaduras, carbohidratos, sólidos sedimentables	Tratamiento secundario, neutralización	40	5	50
Procesado pescados	Grasa, aceites, ácidos orgánicos, escamas, sales	Tratamiento secundario, separación de grasas, desinfección, desodorización	500	--	--
Conservas	Sal, ácidos orgánicos, detergentes	Tratamiento secundario, neutralización, desodorización	60	10	35
Lácteos	Ácidos orgánicos, desinfectantes	Tratamiento secundario	35	10	20
Azúcar	Materia orgánica, Sólidos	Tratamiento secundario	50	10	--
Proc. Papas		Tratamiento secundario	550	140	95
Almidón		Tratamiento secundario, neutralización	300	45	415

### 3. REQUERIMIENTOS DE CALIDAD DE AGUA PARA RIEGO

La calidad físico-química del agua de riego está determinada no sólo por la cantidad total de sales presentes en el agua sino también por el tipo de sales, las que pueden permanecer en el suelo una vez que el agua se evapora o pueden ser captadas por los cultivos. Los problemas derivados del uso en riego de aguas de baja calidad pueden ser modificados por suelo, clima y cosecha, al igual que por la experiencia y conocimiento del usuario del agua.

Como resultado de esto algunos organismos internacionales, expertos en el tema agrícola, recomiendan no establecer límites a los constituyentes del agua; más bien recomiendan evaluar su conveniencia de uso en base a las condiciones de uso del agua que podrían incidir en la acumulación de los constituyentes del agua y las que pueden restringir el rendimiento de la cosecha. La calidad del agua de riego debe evaluarse en función de la severidad de los problemas que producirá su uso prolongado en el tiempo.

En el caso del agua de riego los principales problemas en suelos derivados de una calidad deficiente son: salinidad, disminución de tasa de infiltración y toxicidad por iones específicos.

Otros problemas que también se consideran en la evaluación de calidad del agua de riego son los producidos por un exceso de nutrientes, bicarbonato, sulfato, pH anormal, magnesio, grasas y aceites, inestabilidad del agua y formación de depósitos (dureza del

agua). Todos estos problemas se asocian a parámetros de calidad de agua que son fácilmente cuantificables.

### 3.1 Salinidad

Contribuyen a este problema las sales solubles y fácilmente transportadas por el agua. El problema se produce cuando las sales se acumulan en la zona de la raíz. Una salinidad excesiva del agua de riego afecta negativamente los cultivos, reduciendo la disponibilidad del agua-suelo, disminuyendo el crecimiento y restringiendo el desarrollo de las raíces. En aguas de alta salinidad, la toxicidad del Na y Cl se hacen evidentes.

El riego con agua de alta salinidad requiere grandes volúmenes de agua extra para lixiviación, lo que conduce a problemas de drenaje, que deben ser enfrentados con buenas prácticas de manejo agrícola. Los parámetros que permiten evaluar un potencial problema de salinidad son la conductividad específica (CE) y los sólidos disueltos totales (SDT). La Tabla 20 muestra información sobre restricción de uso de aguas para riego en función de los dos constituyente anteriores.

**Tabla 20**  
**Restricción de Uso de Aguas para Riego según CE y SDT**

Parámetro	Unidad	Grado de restricción en uso		
		ninguno	Débil a moderado	severo
CE	ds/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
SDT	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000

Las aguas de riego que contienen una proporción alta de sales débilmente solubles como calcio, bicarbonato y sulfato, pueden formar depósitos blancos en hojas y frutas cuando se usa aspersores para el riego. Aunque este depósito no involucra toxicidad, muchas veces limita la comercialización. Estos depósitos también pueden obstruir los aspersores, por lo que puede ser necesario cambiar a una forma alternativa de riego.

### 3.2 Tasa de infiltración

Se considera que el agua de riego genera un problema de infiltración cuando la tasa de infiltración normal del agua se reduce significativamente y el agua permanece en la superficie del suelo mucho tiempo o infiltra demasiado lento para abastecer al vegetal, provocando permanentes inundaciones que pueden extenderse mas allá de los límites del

predio y por lo tanto generar un impacto ambiental rural. Además de la calidad del agua inciden en este problema algunos factores relacionados con el suelo. Cuando los suelos se inundan temporalmente debido a la reducida tasa de infiltración, si no se tiene buena aeración, mucho del N-NO<sub>3</sub> presente puede ser rápidamente denitrificado y perdido desde el suelo a la atmósfera como N<sub>2</sub> gas.

Una reducción severa en la tasa de infiltración, debido a la calidad del agua, se puede relacionar con aguas de muy baja salinidad o con alta razón de adsorción de sodio (RAS). Información sobre la restricción de uso de agua debido a reducción de la tasa de infiltración se presenta en la Tabla 21.

**Tabla 21**  
**Restricción de Uso de Aguas para Riego según SAR y CE**

Parámetro			Grado de restricción en uso		
			Ninguno	Débil a moderado	Severo
SAR	0 - 3	CE (ds/m)	> 0.7	0.7 - 0.2	< 0.2
	3 - 6		> 1.2	1.2 - 0.3	< 0.3
	6 - 12		> 1.9	1.9 - 0.5	< 0.5
	12 - 20		> 2.9	2.9 - 1.3	< 1.3
	20 - 40		> 5.0	5.0 - 2.9	< 2.9

### 3.3 Toxicidad

Los problemas de toxicidad se producen si ciertos constituyentes (iones) del agua son captados por la planta y acumulados hasta alcanzar concentraciones lo suficientemente altas para producir daño a las cosechas o reducción de rendimientos. El grado de daño dependerá de la duración de la exposición, creciente acción del ión tóxico, sensibilidad de la cosecha y volumen del agua transpirada por el vegetal.

### 3.3.1 Iones Sodio (Na), Cloruro (Cl) y Boro (B)

El Na no sólo puede afectar la estructura del suelo sino también tener efectos tóxicos en las plantas. Se pueden desarrollar condiciones muy desfavorables cuando la concentración de Na excede la de Ca + Mg.

La toxicidad por cloruro es muy común en agua de riego. El cloruro no es absorbido por el suelo, por lo que se moviliza con la solución de suelo, es captado por plantas y se acumula en hojas. Si su concentración en las hojas excede la tolerancia del cultivo, se desarrollarán sistemas de daño hasta quemar la hoja, efecto que en algunos cultivos limita su comercialización. La toxicidad por cloruro puede ocurrir también por absorción directa por las hojas cuando se riega por aspersión. El boro, a diferencia del sodio, es un elemento esencial para el crecimiento de las plantas, pero si está presente en cantidades significativamente mayores que las requeridas se transforma en tóxico. La toxicidad del boro puede afectar a casi todos los cultivos, pero al igual que la salinidad hay un amplio rango de tolerancia entre cultivos. En Tabla 22 se muestran valores para estos iones.

**Tabla 22**  
**Restricción de Uso de Aguas para Riego según Toxicidad por Iones Específicos**

Parámetro	Unidades	Grado de restricción de uso		
		ninguno	Débil a moderado	Severo
<b>SODIO(Na)</b>				
Riego superficial	SAR	<3	3 – 9	> 9
Riego aspersión	me/l	<3	> 3	
<b>CLORURO(Cl)</b>				
Riego superficial	me/l	<4	4 – 10	> 10
Riego aspersión	me/l	<3	> 3	
<b>BORO(B)</b>				
	mg/l	<0.7	0.7 – 3.0	> 3.0

### 3.3.2 Metales

En la actualidad existe poca experiencia documentada que permita fijar normas o límites máximos sobre la concentración de metales en agua de riego. Recientemente, los resultados de investigaciones sobre disposición en suelo de aguas residuales han mostrado que la mayoría de los elementos traza se fijan y acumulan rápidamente en suelos y como este proceso es casi irreversible, aplicaciones repetidas de iones metálicos

por sobre las concentraciones requeridas por las plantas, contaminan el suelo y pueden llegar a hacerlo improductivo o a las cosechas inutilizables.

Estudios recientes sobre uso de aguas servidas en riego muestran que más del 85% de los elementos traza (metales pesados) aplicados se acumulan en el suelo y la mayoría se acumula en los primeros centímetros superficiales. Aunque las plantas captan elementos trazas, la captación es, normalmente, tan pequeña que no se puede esperar que esto sólo reduzca significativamente los elementos traza en el suelo en un período de tiempo razonable.

Respecto a metales, la literatura especializada señala algunas particularidades que se destacan a continuación:

- Solamente los metales asociados con la fracción soluble y adsorbidos son los que estarán realmente, disponibles para que las plantas los capturen.
- La acumulación de metales en las plantas depende de su solubilidad, de su forma química y de su facilidad para ser absorbidos. La absorción es favorecida por la acidez del agua en la interfase planta-suelo.
- La movilidad del metal y por lo tanto su captura y toxicidad a plantas está fuertemente influenciada por la presencia en suelos de óxidos de Fe y Al . Algunas veces, el factor más importante en la captura de metales por la planta es el Fe.
- En algunos casos un aumento de pH del suelo, por adición de cal, puede aumentar la solubilidad de los metales, pero esto no siempre se traducirá en aumento de la captura de metales por la planta, porque el metal solubilizado puede estar en una especie no disponible para la planta.
- La movilidad y disponibilidad del metal también puede ser influenciada por la textura del
- suelo.
- En el transporte de metales puede influir, a veces, la adición de surfactantes a los pesticidas y herbicidas.
- La movilidad y disponibilidad de metales se reduce en suelos con matrices orgánicas y fosfatadas por aumento en su capacidad de adsorción y por lo tanto los problemas de toxicidad disminuyen.

- Los mecanismos que afectan la movilidad y disponibilidad de los metales son adsorción/desorción, precipitación/disolución y formación de complejos.
- El pH es el principal factor que influencia la adsorción de metales en óxidos e hidróxidos del suelo.
- La movilidad, disponibilidad y toxicidad de metales en suelos puede estar fuertemente afectada por presencia de iones competitivos.
- El riesgo potencial de metales pesados en suelos, con respecto a su movilidad y significado ecotoxicológico, está determinado por su partición sólido-solución más que por el contenido de metales totales.
- 

### **3.4 Otros constituyentes**

#### ***3.4.1 Nitrógeno en exceso***

El N presente en el agua de riego tiene el mismo efecto que el N fertilizante aplicado al suelo y un exceso causará los mismo problemas que un exceso de fertilizante, es decir, sobre estimulación de crecimiento, retraso en maduración y deterioro en calidad del vegetal. Cuando la presencia de N en aguas es significativa, se recomienda que se considere como parte integral del programa de fertilización. La sensibilidad de los cultivos al exceso de N en agua de riego, varía con la etapa del crecimiento. Altos niveles de N pueden resultar beneficiosos en las primeras etapas, pero causar problemas en etapas posteriores de floración y frutas, esto hace necesario un programa de manejo que contemple el uso de aguas con diferentes niveles de N según etapa de crecimiento.

#### ***3.4.2 Bicarbonatos***

Durante épocas calurosas y secas la presencia de altas concentraciones de bicarbonatos en agua de riego, puede producir y hacer visibles manchas blancas, en las hojas, por depósito de carbonatos durante la evaporación. El bicarbonato en exceso, aunque no se considera un ión tóxico, en general, puede producir deficiencia en Zn.

### **3.4.3 Sulfato**

El ión sulfato no produce efectos específicos en suelos y plantas, sin embargo, contribuye a aumentar la salinidad de la solución de suelo.

### **3.4.4 pH anormal**

Un agua de riego con un pH fuera del rango considerando normal (6.5 – 8.4) puede producir un desbalance nutricional o contener un ión tóxico. Algunas veces las aguas con baja salinidad ( $CE < 0.2$  dS/m) tienen pH anormal por su baja capacidad amortiguadora.

Un agua de estas características, normalmente, causará pocos problemas en suelos o cosecha pero es muy corrosiva, por lo que puede impactar significativamente los equipos de riego.

### **3.4.5 Magnesio**

El Magnesio puede jugar un rol muy importante en los efectos del Na y Ca.

### **3.4.6 Grasas y Aceites**

La presencia de aceites y grasas en el agua de riego impacta directamente al suelo, al producir un recubrimiento de los agregados del suelo, los que desarrollarán fenómenos hidrofóbicos que resultan en disminución de la capacidad de infiltración y almacenaje de agua para las plantas.

La presencia de aceites y grasas en el agua de riego también puede producir una disminución de la capacidad de intercambio catiónico incidiendo en la fertilidad del suelo. Otro efecto que puede producirse es el desarrollo de fenómenos de anoxia radicular y bacteriana al impedirse el intercambio gaseoso entre el suelo y atmósfera.

### **3.4.7 Inestabilidad del agua y formación de depósitos.**

Un agua es inestable cuando presenta tendencia a depositar sales o disolver los materiales con los cuales entra en contacto. El agua de riego que contiene una alta proporción de sales débilmente solubles como calcio, bicarbonato y sulfato puede presentar problemas de formación de depósitos de sales blancas en hojas y plantas cuando se usa en riego por aspersión.

Aunque esto no constituye toxicidad, los depósitos pueden constituir un problema para la comercialización de los vegetales.

### **3.5 Calidad de Aguas y Técnicas de Regadío**

La calidad del agua de riego tiene un rol importante en la selección de la técnica de regadío. Las técnicas de riego superficial se pueden utilizar con aguas de baja calidad , mientras que el riego tecnificado por aspersión o goteo, requiere efluentes de alta calidad debido al riesgo de taponamiento del sistema de regadio por los sólidos suspendidos en el agua. El método de riego afecta directamente tanto la eficiencia del uso de agua como la acumulación de sales. Las sales se mueven con el agua a los sectores donde el agua se evapora más rápidamente y son lixiviadas a mayores profundidades a medida que el agua drena por gravedad.

### **3.6 Normativas sobre Aguas y Efluentes Tratados Usados en Riego**

En términos generales no existen normativas nacionales o internacionales que se refieran, específicamente, al tema de uso de efluentes industriales en actividades agrícolas, con la excepción de las aguas resultantes del tratamiento de aguas residuales domésticas. La gran mayoría de los países cuya legislación ha sido revisada se enfoca a definir guías o requerimientos mínimos para el agua de riego, haciendo hincapié en determinados parámetros que pueden ser asociados a residuos líquidos de determinadas actividades industriales. Se revisaron documentos de: Canadá (1999); Australia y Nueva Zelandia (2000); Sudafrica (1996); Estados Unidos (2004); FAO (1984) y Chile (D.S. 609, D.S. 90 y Nch 1333).

#### 4. ANTECEDENTES SOBRE PARAMETROS RELEVANTES A LA SITUACION CHILENA

Se han identificado como parámetros relevantes respecto al potencial uso en riego de aguas o afluentes tratados algunos constituyentes del agua cuya ocurrencia se fundamenta, principalmente, en las características geológicas, el tipo de actividades económicas desarrolladas y la situación demográfica del país.

Los parámetros más relevantes corresponden a metales pesados y metaloides, sulfatos y boro; materias orgánicas como grasas y aceites; nutrientes (excesos de N); dureza y sólidos suspendidos y turbiedad. Algunos de estos parámetros como pH, sólidos suspendidos, y dureza interesan, especialmente, al regante porque inciden en el diseño y operación de los sistemas de riego localizados (por goteo). La dureza además, si es del tipo carbonatada puede producir depósito de sales en hojas y frutas lo que puede limitar la comercialización de los cultivos. Los otros parámetros, en general, resultan de interés por su influencia en el rendimiento y calidad de cultivos y uso sustentable del suelo.

La remoción del agua de muchos de estos contaminantes, para el uso en riego del agua puede, en muchos casos, resultar compleja y de alto costo por lo que se deberán adoptar buenas prácticas de manejo o evaluar la posibilidad de sustitución de cultivos.

#### 5. PROPUESTA DE CRITERIOS DE CALIDAD DE AGUAS O EFLUENTES TRATADOS PARA USO EN RIEGO

La proposición de criterios está basada, principalmente, en los antecedentes internacionales revisados. Las Tablas 29 a 37 aportan los antecedentes que fundamentan las proposiciones.

**Tabla 29**  
**Limites Recomendados de Molibdeno aplicables en aguas de riego.**

Concentración de Mo	Aplicación
0,01 mg/L promedio* 0,05 mg/L máximo*	Suelos pobremente drenados usados para cultivos de forraje con tasa de Cu/Mo <2:1 en aguas de riego
0,02 mg/L promedio* 0,05 mg/L máximo*	Suelos bien drenados usados para cultivos de forraje o, suelos pobremente drenados usados para cultivos de forraje con tasa de Cu/Mo ≥2:1 en aguas de riego
0,03 mg/L promedio*	Riego de cultivos no forrajeros

\* valores máximo y promedio aplicados durante la temporada de riego, con valores promedio que son calculados de muestras recojidas a un mínimo de una vez por semana por cinco semanas en un período no mayor a 30 días.

Fuente: BRITISH COLUMBIA WATER QUALITY GUIDELINES

**Tabla 30**  
**Efectos del Zinc en Rendimiento de Cultivos y la Sustentabilidad del Suelo.**

Rango de Concentración (mg/L)	Rendimiento del Cultivo y Sustentabilidad del Suelo
Rango de calidad de aguas objetivo < 1,0	Tóxico para muchas plantas a una concentración de 1 mg/L y menos en soluciones de nutrientes. El rango de calidad de aguas objetivo debería proteger a la mayoría de las plantas desde concentraciones tóxicas de zinc absorbidas incluso cuando crecen sobre suelos arenosos ácidos.
1,0 – 5,0	Concentración máxima aceptable para suelos neutros a alcalinos de textura fina.
> 5,0	Aceptable para riego sólo en cortos tiempos en base a un sitio específico.

Fuente: SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES

**Tabla 31**  
**Rangos de Tolerancia o Sensibilidad al Boro de Cultivos Agrícolas**

Tolerancia	Concentración de Boro en Agua de Riego (mg/l)	Cultivo Agrícola
Muy Sensible	< 0,5	Mora
Sensible	0,5 – 1,0	Durazno, cereza, ciruela, uva, cebolla, ajo, camote, trigo, cebada, girasol, frutillas, alcachofa, porotos
Sensible Moderadamente	1,0 – 2,0	Pimienta roja, arveja, zanahoria, rábano, papa, pepino
Tolerante Moderadamente	2,0 – 4,0	Lechuga, repollo, apio, avena, maíz, alcachofa, tabaco, trébol, calabaza
Tolerante	4,0 – 6,0	Tomate, alfalfa, perejil, betarraga, remolacha
Muy Tolerante	6,0 – 15,0	Espárragos

Fuente: BRITISH COLUMBIA WATER QUALITY GUIDELINES

**Tabla 32**  
**Efectos del Boro en Cultivos.**

Rango de Concentración (mg/L B)	Síntomas de daño en cultivos
< 0,5	Debería prevenir la acumulación de boro a niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz) salvo en las plantas más sensibles.
0,5 – 1,0	Cultivos muy sensibles al boro acumulan niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz). Ellos empiezan a mostrar síntomas de daños en las hojas y/o disminución de rendimiento.
1,0 – 2,0	Cultivos sensibles al boro acumulan niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz). Ellos empiezan a mostrar síntomas de daños en las hojas y/o disminución de rendimiento.
2,0 – 4,0	Cultivos moderadamente sensibles al boro acumulan niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz). Ellos empiezan a mostrar síntomas de daños en las hojas y/o disminución de rendimiento.
4,0 – 6,0	Cultivos moderadamente tolerantes al boro acumulan niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz). Ellos empiezan a mostrar síntomas de daños en las hojas y/o disminución de rendimiento.
6,0 – 15,0	Cultivos tolerantes al boro acumulan niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz). Ellos empiezan a mostrar síntomas de daños en las hojas y/o disminución de rendimiento.
> 15,0	Cultivos muy tolerantes al boro acumulan niveles tóxicos (a través del consumo por la raíz). Ellos empiezan a mostrar síntomas de daños en las hojas y/o disminución de rendimiento.

Fuente: SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES

Tabla 33  
Efectos del Cloruro en Rendimiento y Calidad de Cultivos.

Rango de Concentración (mg/L Cl)	Rendimiento y Calidad del Cultivo
< 100	Debería prevenir la acumulación de cloruro a niveles tóxicos salvo en las plantas más sensibles, incluso cuando el cloruro consumido es a través de la absorción de la hoja, esto es el follaje del cultivo es mojado.
< 140	Debería prevenir la acumulación de cloruro a niveles tóxicos salvo en las plantas más sensibles, cuando el cloruro consumido es a través de la absorción por las raíces, esto es el agua es aplicada a la superficie del suelo por lo tanto se excluye la humedad del follaje del cultivo.
140 – 175	Sólo problemas leves con la acumulación de cloruro a niveles tóxicos a los cultivos pueden ser esperados cuando el cloruro consumido es a través de la absorción de las raíces, esto es el agua es aplicada a la superficie del suelo por lo tanto se excluye la humedad del follaje del cultivo.
100 – 175	Los cultivos sensibles a la absorción de la hoja acumulan niveles tóxicos de cloruro cuando su follaje es humedecido. Ellos muestran daños en la hoja y disminución del rendimiento.
175 - 350	Algunos problemas con la acumulación de cloruro a niveles tóxicos a cultivos moderadamente sensibles pueden ser esperados cuando el consumo de cloruro es a través de absorción de la raíz, esto es, el agua es aplicada a la superficie del suelo por lo tanto se excluye la humedad del follaje del cultivo.  Los cultivos moderadamente sensibles a la absorción de la hoja acumulan niveles tóxicos de cloruro cuando su follaje es humedecido. Ellos muestran síntomas de daños en la hoja y disminución del rendimiento.
350 – 700	Todos los cultivos moderadamente sensibles y cultivos más moderadamente tolerantes acumulan cloruro a niveles tóxicos para los cultivos cuando el cloruro consumido es a través de absorción por la raíz, esto es, el agua es aplicada a la superficie del suelo por lo tanto se excluye la humedad del follaje del cultivo.  Los cultivos moderadamente tolerantes a la absorción de la hoja acumulan niveles tóxicos de cloruro cuando su follaje es humedecido. Ellos muestran síntomas de daños en la hoja y disminución del rendimiento.
> 700	Problemas crecientes con la acumulación de cloruro a niveles tóxicos para los cultivos pueden ser esperados cuando el consumo de cloruro es a través de la absorción por la raíz, esto es, el agua es aplicada a la superficie del suelo por lo tanto se excluye la humedad del follaje del cultivo.  Los cultivos tolerantes a la absorción de la hoja acumulan niveles tóxicos crecientes de cloruro cuando su follaje es humedecido. Ellos muestran síntomas de daños en la hoja y disminución del rendimiento.

Fuente: SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES

**Tabla 34**  
**Restricción de Uso de Aguas para Riego según CE y SDT**

Parámetro	Unidad	Grado de restricción en uso		
		ninguno	Débil a moderado	Severo
CE	ds/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
SDT	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000

**Tabla 35**  
**Relación Sulfato y Conductividad Eléctrica en Aguas**

Concentración Sulfato (mg/l)	Conductividad Eléctrica $\mu$ hos/cm
500 – 800	770 – 1.200
800 – 1.000	1.200 – 1.500
1.000 – 1.500	1.500 – 2.300
1.500 – 2.000	2.300 – 3.100
2.000 – 2.500	3.100 – 4.000

**Tabla 36**  
**Guía para Calidad del Agua para Uso en Riego : Sólidos Disueltos Totales**

Concentración de SDT [mg/l]	Grado de Restricción en el Uso.
450	Sin restricción de uso.
450 – 2000	Restricción débil a moderada.
>2000	Restricción moderada a severa.

Fuente: Wastewater quality guidelines for agricultural use. FAO irrigation and drainage paper 47.

**Tabla 37**  
**Efectos de Sólidos Suspendedos en Emisores de Riego.**

Rango de Concentración (mg/L SST)	Efecto sobre Emisores de Riego
< 50	Prácticamente no hay problemas con la obstrucción de emisores de riego por goteo.
50 – 100	Problemas leves a moderados con la obstrucción de los emisores de riego por goteo.
> 100	Problemas graves en aumento con la obstrucción de los emisores de riego por goteo.

Fuente: SOUTH AFRICAN WATER QUALITY GUIDELINES

### 8.3 Glosario

- **Ácido Fúlvico:** Es una sustancia natural que se produce en el suelo mediante la descomposición de materia orgánica, que es absorbida por las plantas y transmitida a las personas a través de estas.
- **Ácido Húmico:** Son unos de los principales componentes de las sustancias húmicas, las cuales son los constituyentes principales del humus, materia orgánica del suelo.
- **Adsorción:** Fenómeno por el cual un sólido o un líquido atrae y retiene en su superficie gases, vapores, líquidos o cuerpos disueltos.
- **Agua Residual:** Son cualquier tipo de agua cuya calidad se vio afectada negativamente por influencia antropogénica.
- **Anóxicas:** son zonas de agua marina, agua dulce o de aguas subterráneas en las que el oxígeno disuelto está agotado. Esta condición se encuentra generalmente en las áreas con un limitado intercambio de agua y con procesos de eutrofización en progreso.
- **Antropogénica:** Efectos, procesos o materiales que son el resultado de actividades humanas, a diferencia de los que tienen causas naturales sin influencia humana.
- **Cloruros:** son compuestos que llevan un átomo de cloro en estado de oxidación formal -1. Por lo tanto corresponden al estado de oxidación más bajo de este elemento ya que tiene completada la capa de valencia con ocho electrones.
- **Coliformes:** Designa a un grupo de especies bacterianas que tienen ciertas características bioquímicas en común e importancia relevante como indicadores de contaminación del agua y los alimentos.
- **Cota:** Altura que presenta un punto sobre un plano horizontal que se usa como referencia.

- **Descimbrado:** Retirar el molde que se coloca para que tome forma el concreto, esto se realiza con una barreta, martillos con los que se retira los cachetes de la cimbra.
- **Emplantillado:** Sello de fundación que se aplica sobre la base, cuya función es soportar la carga de la fundación separándola y aislándola del suelo.
- **Estomas:** Cada una de las aberturas microscópicas que hay en la epidermis de las hojas para facilitar los intercambios de gases entre la planta y el exterior.
- **Estrés Hídrico:** Se habla de estrés hídrico cuando la demanda de agua es más importante que la cantidad disponible durante un periodo determinado o cuando su uso se ve restringido por su baja calidad.
- **Fenoles:** Los fenoles o compuestos fenólicos son compuestos orgánicos en cuyas estructuras moleculares contienen al menos un grupo fenol, un anillo aromático unido a al menos un grupo funcional.
- **Floculación:** Coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico llamado coagulante. Lafloculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microfloculos y después en los floculos más grandes que pueden ser depositados llamados floculo.
- **Fosfato:** Sal formada por combinación del ácido fosfórico con una base; se encuentra en estado natural y se utiliza como abono o en la obtención del ácido fosfórico y de los superfosfatos.
- **Helmíntico:** El término helminto, que significa gusano, se usa sobre todo en parasitología, para referirse a especies animales de cuerpo largo o blando que infestan el organismo de otras especies.
- **Nematodos:** Son gusanos nematelmintos del superfilo Ecdysozoa. Estos animales disponen de aparato digestivo con forma de conducto recto, que ocupa toda la extensión del cuerpo.
- **Nitratos:** Son sales o ésteres del ácido nítrico  $\text{HNO}_3$

- **Organismo patógeno:** Organismos, incluidos virus, bacterias o quistes, capaces de causar una enfermedad (tifus, cólera, disentería) en un receptor (por ejemplo una persona).
- **Protozoos:** Grupo de animales eucariotas formados por una sola célula, o por una colonia de células iguales entre sí, sin diferenciación de tejidos y que vive en medios acuosos o en líquidos internos de organismos superiores.
- **Sequía:** se puede definir como una anomalía transitoria en la que la disponibilidad de agua se sitúa por debajo de los requerimientos estadísticos de un área geográfica. El agua no es suficiente para abastecer las necesidades de las plantas, los animales y los humanos.
- **Suelo Franco:** Se suele denominar suelo franco a las partes superficiales del terreno cuya composición cuantitativa está en proporciones óptimas o muy próximas a ellas. Es suelo de elevada productividad agrícola, en virtud de su: Textura relativamente suelta -propiciada por la arena- Fertilidad -aportada por los limos.
- **Trihalometano:** Compuestos químicos volátiles que se generan durante el proceso de potabilización del agua por la reacción de la materia orgánica, aún no tratada, con el cloro utilizado para desinfectar.



