



# INFORME TÉCNICO

ANÁLISIS DE ASPECTOS AMBIENTALES  
RELACIONADOS CON EFLUENTES DE PLANTAS DE  
TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE Y EL D.S. 90

ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESAS DE SERVICIOS SANITARIOS  
(ANDESS)



## RESUMEN EJECUTIVO

### Objetivo del estudio

Diagnosticar el estado actual de las Plantas de Agua Potable (PTAP) de empresas sanitarias vinculadas a la Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios (ANDESS) analizando las implicancias ambientales que se derivarían de cumplir el DS90 en sus efluentes de rechazo, de tal forma de proveer de un insumo relevante para la toma de decisiones en los distintos escenarios evaluados.

### Principales hallazgos

1. Existe experiencia normativa en otros países que puede ser considerada a nivel referencial para definir escenarios alternativos posibles. Dentro de ella existen regulaciones específicas para los efluentes de las PTAP que son de particular interés.
2. La implementación de sistemas de tratamiento destinados al cumplimiento del DS90 no resulta inocua ambientalmente, puesto que involucra una serie de impactos ambientales adicionales que deben ser ponderados.
3. Los impactos ambientales que se generan por los sistemas de tratamiento de lodos inciden principalmente en componentes tales como aumento de emisiones atmosféricas de contaminantes locales y globales, ruidos y vibraciones, olores, medio humano (vialidad), lo cual se agrava en entornos urbanos, siendo recomendable considerar alternativas a esta solución.

### Conclusiones

- De la revisión de normativa internacional de destacan dos grandes categorías, las normativas de aplicación general a descargas y aquellas de aplicación específica. En cuanto a las específicas que regulan las descargas



de los efluentes de las PTAP, se reconocen ciertos elementos de particular interés entre los casos: i) la descarga a cuerpos de agua superficial puede estar desde prohibida hasta permitida bajo ciertos criterios, ii) la descarga al alcantarillado es una opción recurrente, iii) se fomenta la valorización de los lodos (aplicación como mejorador de suelos agrícolas). En cuanto a los umbrales definidos en ciertas normas específicas consultadas, se observan valores más estrictos en sólidos suspendidos (y otros parámetros) que lo que actualmente dispone el DS90 en su Tabla N°1. Respecto de esto último, se hace presente que los umbrales que se definen en cada caso deben responder a estudios que den cuenta de las condiciones locales y objetivos ambientales, no siendo extrapolables directamente.

- En Chile existe un procedimiento reglado para elaborar Normas de Emisión, dado por el “Reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión”, aprobado mediante el Decreto N°38, publicado el 22 de julio del año 2013. En caso de optarse por el desarrollo de una norma específica, que sea aplicable para los efluentes de las PTAP, se deberá seguir el procedimiento establecido, que es liderado por el Ministerio del Medio Ambiente con la participación de representantes de los ministerios, servicios y demás organismos competentes, organizados en Comités y Subcomités Operativos.
- Al revisar las alternativas de tratamiento habituales para aguas altas en salinidad o en turbidez, resulta claro que se relacionan con una serie de impactos ambientales que deben ser considerados.
- En ese sentido, se reconoce que tanto el escenario de descarga sin cumplimiento del DS 90, como uno en el que se exige el cumplimiento de este decreto, generan impactos ambientales. En el primero estos efectos tienen relación con impactos ambientales en el cuerpo receptor y su



entorno (hidrología, flora y fauna), mientras que en el escenario, de implementación de un sistema de tratamiento de lodos, se genera otro tipo de impactos ambientales en otros componentes tales como aumento de emisiones atmosféricas de contaminantes locales y globales, ruidos y vibraciones, olores, medio humano (vialidad), paisaje, y no se puede descartar impactos sobre otros temas específicos dependiendo de los nuevos emplazamiento de obras necesarias para el tratamiento (por. Ej. Arqueología, flora y fauna, etc).

- Al realizar una radiografía general a las 169 PTAP asociadas a ANDESS que respondieron la encuesta, se identifica que un 75% estaría afecta al cumplimiento del DS 90, mientras que del resto una fracción importante descarga al alcantarillado. Si bien se analizaron varios aspectos, se destacan los siguientes: i) la mayor parte del caudal efluente descargado se concentra en la RM y tiene su origen en procesos que tratan aguas con alta turbidez; ii) no existe monitoreo sistemático de las descargas, por lo que existe un déficit de información que impide cuantificar la real dimensión del problema (parámetros excedidos y su magnitud). Aun así, es claro que el principal problema de cumplimiento del DS90 es por la cantidad de sólidos suspendidos y en menor medida de ciertos metales; iii) los impactos ambientales más recurrentes que identifican los responsables de las PTAP en un escenario de tratamiento de lodos para cumplir con el DS90, se relacionan con ruido, vialidad y olores molestos, entre otros.
- La evaluación concreta de tres casos seleccionados se realizó en base a una metodología que permitió cuantificar y comparar los dos escenarios indicados, llegándose a la conclusión de que existe un mayor impacto ambiental global en el escenario de implementación de tratamiento de lodos para el cumplimiento del DS90. Dentro de los aspectos relevantes



identificados se destacan las problemáticas ambientales de la gestión de lodos en un entorno urbano.

- Se evaluó también la generación de emisiones atmosféricas (MP, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, CO, COVs, CO<sub>2</sub>) en los casos de estudio, concluyéndose que existe un aumento debido al transporte requerido por la gestión de los lodos.
- En relación con lo anterior, se exploró un escenario intermedio que aplica para plantas que abaten alta turbidez y generan una cantidad importante de sólidos en su etapa de pretratamiento que no considera adición de productos químicos. Se evaluó restituir al cauce los sólidos del pretratamiento y realizar tratamiento únicamente de los lodos que incorporan tratamiento químico (representan un 10% del total). El resultado, a nivel de impacto ambiental mejoró sustancialmente en relación con el tratamiento del total de los sólidos, y resultó equivalente al mejor escenario.

### **Recomendaciones**

- Generar un plan de monitoreo de los flujos de las PTAP (o al menos campañas puntuales) para mejorar la cantidad y calidad de la información disponible. Esto ayudará a tener un mejor diagnóstico de la situación actual.
- Considerar la variable ambiental en la toma de decisiones para velar por que el set de soluciones a evaluar, y aquella (o aquellas) que sea seleccionada, sea coherente con la que genere una mayor ganancia ambiental, considerando las distintas componentes ambientales.
- Existen varios aspectos adicionales que pueden generar beneficios ambientales, como preferir y fomentar la reutilización de las aguas resultantes de los efluentes cuando sea posible (en los propios procesos o por terceros), y la valorización de los lodos generados (mejoramiento de suelos) por sobre su disposición en rellenos sanitarios.

## Índice de Contenidos

Objetivo del estudio .....	ii
Principales hallazgos .....	ii
Conclusiones .....	ii
Recomendaciones .....	v
1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVO .....	2
3. METODOLOGÍA .....	2
3.1 Revisión bibliográfica general .....	3
3.2 Recopilación y análisis de antecedentes de PTAP a nivel Nacional .....	4
3.3 Análisis de casos .....	5
3.3.1 Evaluación de potenciales efectos .....	5
4. RESULTADOS DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	11
4.1 Alternativas de tratamiento e implicancias ambientales de efluentes de PTOI 12	
4.1.1 Descarga de aguas superficiales .....	12
4.1.2 Descarga en alcantarillado .....	13
4.1.3 Inyección en pozos profundos .....	13
4.1.4 Aplicación en tierra .....	14
4.1.5 Pozas de evaporación .....	15
4.2 Alternativas de tratamiento e implicancias ambientales de efluentes de PTAP que abaten turbidez .....	5
4.2.1 Potenciales Efectos Ambientales de los efluentes .....	6



4.3	Normativa nacional e internacional relacionada a descarga de aguas residuales .....	18
4.4	Consideraciones para el desarrollo de normativa en Chile.....	30
5.	ANÁLISIS DE ANTECEDENTES DE LAS PTAP ASOCIADAS A ANDESS.....	34
5.1	Empresas y filiales .....	34
5.2	Caudal Promedio de Producción .....	35
5.3	Lugar de descarga de RILes actual y aplicabilidad del DS90 .....	36
5.4	Origen de los Riles .....	40
5.5	Tipo de cuerpo receptor descarga actual .....	40
5.6	Caudal Máximo anual de descarga .....	43
5.7	Incidencia del SEIA .....	45
5.8	Tratamiento previo a la descarga .....	46
5.9	Información sobre características de las descargas.....	46
5.10	Problemas de factibilidad .....	49
5.11	Percepción de principales problemas ambientales .....	51
6.	ANÁLISIS DE CASOS.....	55
6.1	Características generales PTAP consideradas.....	55
6.1.1	PTAP Las Vizcachas .....	55
6.1.2	PTAP Las Rojas .....	57
6.1.3	PTAP La Mochita .....	59
6.1.4	Estimación de emisiones .....	61
6.2	Evaluación de efectos .....	64
6.2.1	Análisis Jerárquico Multicriterio .....	64
6.2.2	Flora y fauna .....	68
6.2.3	Calidad de aguas e hidrología .....	70



6.2.4	Percolación de líquidos .....	72
6.2.5	Paisaje .....	73
6.2.6	Suelo .....	75
6.2.7	Aire y emisiones de material particulado .....	76
6.2.8	Ruido y vibraciones .....	81
6.2.9	Olores .....	84
6.2.10	Transporte vial .....	85
6.2.11	Sitio disposición final .....	86
6.2.12	Comparación de los escenarios .....	88
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	94
7.1	Conclusiones .....	94
7.2	Recomendaciones .....	96
8.	Bibliografía .....	98
9.	Anexos .....	102
	Anexo 1. Estimación de emisiones .....	102

### Índice de Tablas

<i>Tabla 1 Criterios de priorización asignados entre pares de efectos ambientales identificados. ....</i>	<i>7</i>
<i>Tabla 2. Puntaje de evaluación del efecto ambiental en escenarios propuestos. .</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 3. Potenciales efectos de las aguas residuales generadas por PTOI .....</i>	<i>1</i>
<i>Tabla 4 Efectos ambientales identificados en el tratamiento de agua potable y lodos. ....</i>	<i>8</i>
<i>Tabla 5 Parámetros y límites máximos de descarga según normativa colombiana. ....</i>	<i>20</i>





Tabla 6 Parámetros y límites máximos de descarga según normativa mexicana...	22
Tabla 7 Instrumentos normativos revisados en materia de regulación de descargas de aguas y lodos residuales en PTAP .....	28
Tabla 8. Grupos, filiales, presencia regional y número de PTAP. ....	34
Tabla 9. Suma de caudal promedio de producción de la PTAP [m <sup>3</sup> /s]. ....	36
Tabla 10. Lugar de descarga de los RILes de los PTAP. ....	37
Tabla 11. PTAP que descargan sus RILes en aguas superficiales y aplican al DS90.	38
Tabla 12. Distribución regional de los tipos de cuerpos de agua receptores de RILes de PTAP que descargan en aguas superficiales. ....	41
Tabla 13. Distribución de empresas, filiales y los tipos de cuerpos de agua receptores de RILes de PTAP que descargan en aguas superficiales.....	41
Tabla 14. PTAP que cuentan con RCA por empresas y filiales. ....	45
Tabla 15. PTAP que cuentan con procesos de abatimiento de parámetros de RILes previos a su descarga. ....	46
Tabla 16. Identificación de Empresas y Filiales que cuentan operan PTAP con monitoreo o datos fisicoquímicos de sus descargas. ....	47
Tabla 17. Identificación de problemas de factibilidad .....	50
Tabla 18. Identificación de PTAP y percepción de principales problemas ambientales. ....	52
Tabla 19 Ficha de caracterización PTAP Las Vizcachas .....	55
Tabla 20 Ficha de caracterización PTAP Las Rojas .....	57
Tabla 21 Ficha de caracterización PTAP La Mochita .....	59
Tabla 22 Resumen de la Estimación de Emisiones por contaminante (ton/año) ....	63
Tabla 23 Tabla pareada con asignación de criterios cualitativos de priorización entre efectos. ....	66
Tabla 24 Matriz de Saaty aplicado al estudio .....	67
Tabla 25 Comparación de efectos actuales y potenciales en los distintos escenarios .....	91



## Índice de Figuras

Figura 1 Diagrama general del proceso de tratamiento convencional con tratamiento de lodos.....	8
Figura 2. Distribución nacional de las filiales con Plantas de Tratamiento de Agua Potable.....	35
Figura 3. Distribución de PTAP a las que les aplica el D.S.90.....	39
Figura 4. Distribución de tipo cuerpo receptor de descarga actual.....	42
Figura 5. Primeras 20 PTAP que tienen los mayores valores de caudal máximo anual de descarga.....	43
Figura 6. Distribución del caudal máximo anual de descarga RILes (m <sup>3</sup> /d).....	44
Figura 7. Distribución de PTAP que cuentan con monitoreo o datos fisicoquímicos de descargas.....	48
Figura 8. PTAP donde se identifican problemas de factibilidad de implementación del DS90.....	51
Figura 9. Distribución de PTAP y percepción de principales problemas ambientales.....	54
Figura 10 Ruta entre PTAP Las Vizcachas y El Rutil.....	78
Figura 11 Ruta entre Módulo Las Rojas y Vertedero El Panul.....	79
Figura 12 Rutas entre PTAP La Mochita y relleno sanitario ECOBIO.....	80
Figura 13 Receptores ubicados en las inmediaciones de la PTAP Las Vizcachas. ..	81
Figura 14 Receptores ubicados en las inmediaciones del Módulo las Rojas.....	82
Figura 15 Emplazamiento PTAP La Mochita.....	83



## 1. INTRODUCCIÓN

Conforme a lo solicitado por la Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios (ANDESS), el presente informe constituye una evaluación general a nivel técnico de los aspectos ambientales relacionados con los efluentes de las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) en el contexto de la discusión sobre una eventual regulación de dichos efluentes por medio del Decreto Supremo N° 90/2000 (DS90) del MINSEGPRES o por medio de otros instrumentos de mayor especificidad.

Las PTAP asociadas a ANDESS que podrían tener un mayor impacto en sus operaciones en un escenario de cumplimiento del DS90 se pueden agrupar en dos categorías: aquellas que producen agua potable en base procesos de osmosis inversa (o PTOI), las cuales generan aguas de rechazo con alta salinidad, y aquellas cuyo proceso principal es la separación mediante sedimentación y filtrado, cuyos efluentes contienen lodos que le otorgan altos niveles de sólidos suspendidos (turbiedad).

Es importante mencionar que el DS90 no ha sido exigido en la actualidad para el cumplimiento por parte de las PTAP, sin embargo, desde su vigencia las autoridades estatales han discutido su aplicación a las aguas residuales de los procesos de tales plantas. Actualmente, el decreto se encuentra en proceso de revisión y elaboración del anteproyecto definitivo por parte del Ministerio del Medio Ambiente, quedando como última etapa la tramitación final del documento y su posterior promulgación. Dentro de los nuevos elementos que se incorporan en este decreto, está la exclusión de distintas actividades, dentro de las cuales no se encuentran actualmente las PTAP.



En este contexto, el análisis que se desarrolla a continuación busca evaluar a nivel general las implicancias ambientales de la implementación de sistemas de tratamiento de aguas en las PTAP destinados a eliminar las descargas líquidas o bien a generar un efluente que cumpla con el DS90. Este escenario será comparado con dos escenarios alternativos, uno en el cual se mantiene la situación actual (sin cumplimiento del DS 90) y otro en el cual se plantea una situación intermedia para las PTAP que abaten altos niveles de turbidez (cumplimiento del DS90 por una parte de los efluentes). Para ello se realiza un análisis en base a datos recopilados en distintas PTAP del país, ejemplificándose con tres casos de estudios seleccionados en el norte, centro y sur.

## 2. OBJETIVO

Diagnosticar el estado actual de las Plantas de Agua Potable (PTAP) de empresas sanitarias vinculadas a la Asociación Nacional de Empresas de Servicios Sanitarios (ANDESS) analizando las implicancias ambientales que se derivarían de cumplir el DS90 en sus efluentes de rechazo, de tal forma de proveer de un insumo relevante para la toma de decisiones en los distintos escenarios evaluados.

## 3. METODOLOGÍA

El primer aspecto que se aborda en el informe es la realización de una revisión bibliográfica de los potenciales impactos a nivel general que se podrían generar por los efluentes de las PTAP, incluyendo dentro de las fuentes consultadas a la literatura académica especializada en la materia, la documentación técnica publicada por el Servicio de Evaluación Ambiental de Chile, e informes técnicos elaborados por las empresas asociadas a ANDESS. Se incluyó también una revisión



de normativa internacional relacionada a descargas de RILes con el fin de identificar cómo ha sido abordado en otros contextos territoriales y normativos.

Posteriormente se realiza un diagnóstico general de las PTAP asociadas a ANDESS para caracterizarlas y conocer los aspectos relevantes en relación con el DS90 y eventuales problemáticas ambientales derivadas. Para ello se realizó una encuesta que fue distribuida por ANDESS entre sus asociados, cuyos resultados fueron compilados e integrados en una base de datos para su posterior análisis.

Por último, se analizaron con mayor detalle tres casos seleccionados por ANDESS y que entregan una mirada a distintas realidades territoriales. Dentro de los casos se incluye uno del norte, centro y sur del país, respecto de los cuales se proveyó de información sobre sus descargas y alternativas de gestión bajo los distintos escenarios evaluados.

A continuación se describen con mayor detalle las actividades efectuadas:

### **3.1 Revisión bibliográfica general**

Se realizó una revisión bibliográfica a través de buscadores web, sitios gubernamentales, organizaciones internacionales y académicas con el objeto de analizar beneficios ambientales del tratamiento del descarte de agua para potabilización y sus posibles impactos, teniendo además como foco la generación de efluentes, tipos de tratamientos y posibles soluciones para disminuir tanto su generación como su impacto ambiental.

Paralelamente, se revisaron normativas ambientales internacionales aplicadas al tratamiento de lodos en plantas de tratamiento de agua potable con el objetivo de tener un contexto general de la situación normativa en la producción y/o descarga de lodos a cursos de agua superficial.



Un aspecto fundamental consistió en la revisión de la documentación técnica publicada por el Servicio de Evaluación Ambiental, dentro de la cual se consultaron las siguientes guías y criterios:

- Criterio de Evaluación en el SEIA: Contenidos Técnicos para la Evaluación Ambiental del Recurso Hídrico, 2022.
- Guía para la descripción de proyectos de plantas desalinizadoras en el SEIA, 2023.

### **3.2 Recopilación y análisis de antecedentes de PTAP a nivel Nacional**

Se realizó una recopilación de antecedentes relativos a las características principales de las plantas de tratamiento de agua potable, y de los procesos que se realizan en ellas, mediante una encuesta elaborada por la presente consultoría, con el objeto de recabar información estandarizada de las PTAP relacionadas con ANDESS, que incluyó lo siguiente:

- Empresas Sanitarias involucradas.
- PTAP asociadas a cada una (nombre, ubicación geográfica con coordenadas, tamaño en base a capacidad de tratamiento).
- Cuáles de ellas tienen descarga a cuerpos de agua superficial o subterránea, nombre del cuerpo de agua y caudal medio anual de la descarga.
- Cuáles de ellas actualmente están sujetas al cumplimiento del DS 90.
- Información general de monitoreo: listado de PTAP que poseen monitoreos de calidad de agua de la descarga: parámetros medidos, frecuencia, resultados.

Posteriormente, se analizó la información recopilada, generando gráficas y cartografías temáticas que dan cuenta del diagnóstico de los aspectos de



relevancia relacionados con los efluentes de las PTAP, considerando características tales como la localización geográfica, empresas sanitarias, aplicabilidad del DS90, tipo de cuerpo de agua de disposición del efluente, origen de Riles, caudal máximo anual de descarga, disponibilidad de datos de monitoreo fisicoquímico, problemas de factibilidad y percepción de principales problemáticas ambientales.

Además, se analizaron los antecedentes de las PTAP para identificar los potenciales impactos ambientales que puedan presentarse, de manera general, en las distintas matrices socioambientales. Para ello se analizó, por una parte, la información sobre la calidad de agua de los efluentes proporcionada por las empresas concesionarias que disponen de esta información, específicamente de los parámetros que actualmente no cumplirían con los límites establecidos por el DS 90.

### **3.3 Análisis de casos**

Por último, ANDESS seleccionó 3 PTAP para realizar un análisis de mayor nivel de detalle. Estas corresponden a la PTAP Las Vizcachas de Aguas Andinas, localizada en Puente Alto (Región Metropolitana), a la PTAP Las Rojas de Aguas del Valle, localizada en sector Punta de Piedra en La Serena (Región de Coquimbo) y por último la PTAP La Mochita de ESSBIO, localizada en Concepción (Región del Biobío).

El análisis efectuado consistió en una descripción general de los 3 casos, singularizando las características de cada una de ellas y posteriormente una evaluación de los potenciales efectos ambientales de las aguas residuales generadas por las PTAP en análisis en 3 escenarios. Este último análisis se detalla a continuación:

#### **3.3.1 Evaluación de potenciales efectos**

La evaluación de potenciales efectos se realizó en 3 pasos:



i. Matriz de efectos

En primer lugar, a partir de la revisión bibliográfica sobre los potenciales efectos ambientales de las aguas residuales generadas por PTAP (Acápitem 4.2.1 Potenciales Efectos Ambientales de los efluentes), se realizó un cruce entre esta información y las diferentes actividades asociadas tanto a la operación de una planta de tratamiento de aguas como a la construcción y operación de una planta de tratamiento de lodos. Este cruce de información decantó en una matriz con nueve (9) actividades asociadas a la potabilización y tratamiento de lodos vs. diez (10) componentes ambientales, en donde la intersección de ellos posiciona el efecto ambiental descrito en la literatura.

ii. Análisis Jerárquico Multicriterio

En segundo lugar, se realizó un análisis jerárquico multicriterio, para poder comparar dichos efectos y determinar la importancia de cada uno de ellos.

Se consideró pertinente el desarrollo de este análisis ya que la descripción de los efectos ambientales identificada en el paso previo dio cuenta que algunos de estos efectos podrían tener mayor importancia que otros bajo la realidad de las plantas de tratamiento de agua potable abordadas en este servicio, por ende, habría que considerar que no todos los efectos ambientales tienen igual peso.

En base a lo anterior, el análisis jerárquico multicriterio (Saaty, 1980) se aplica de manera precisa al desarrollo de una evaluación ambiental general, ya que está diseñada para resolver problemas complejos con criterios múltiples, a través de una jerarquización de criterios según evaluación experta respecto a la importancia relativa de cada efecto ambiental, en este caso. Para ello se realiza una tabla de doble entrada con las variables que se quieren incorporar a la evaluación ambiental, realizando de esta forma un contraste de preferencia entre pares de





critérios, con el objeto de obtener dichos criterios con un puntaje de priorización. La ventaja de este análisis en la aplicación del presente servicio es que se pueden incluir tanto datos cuantitativos como aspectos cualitativos de las variables.

Para este estudio de caso se hizo una evaluación entre pares de acuerdo con:

1. Antecedentes revisión bibliográfica
2. Espacialización de características del territorio.

La evaluación entre pares se realiza de acuerdo con la asignación de criterios (Tabla 1) y sus respectivos puntajes, ejercicio que fue realizado considerando los dos criterios anteriormente señalados.

*Tabla 1 Criterios de priorización asignados entre pares de efectos ambientales identificados.*

Valor	Descripción
0.5	Medianamente preferible
1	Igualmente preferible
2	Preferible
3	Extremadamente preferible

*Fuente: Elaboración propia.*

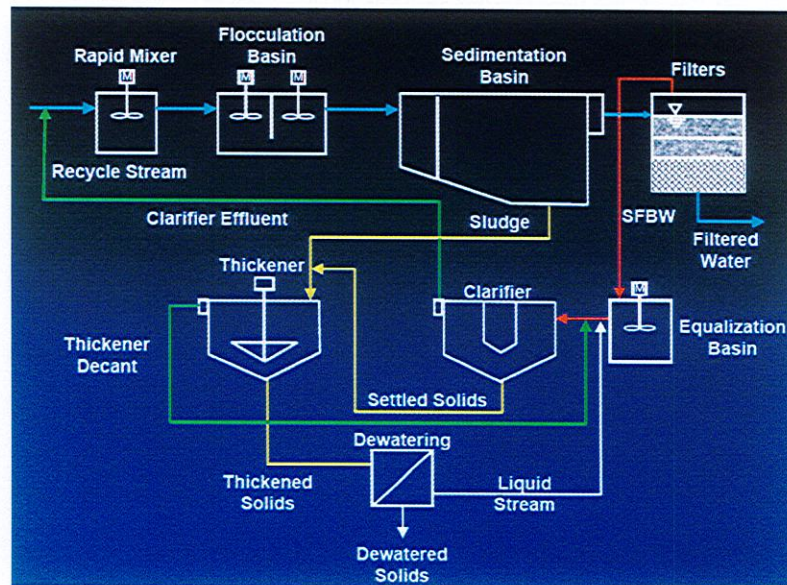
El resultado de la asignación de criterios de prioridad permitió conocer los pesos relativos de cada uno de los efectos ambientales incorporados en la matriz de efectos.

- iii. Evaluación de efectos

En tercer lugar, para cada una de las plantas de tratamiento de agua potable bajo análisis, se evaluaron los siguientes escenarios propuestos:

- **Escenario 1: situación actual de las PTAP sin cumplimiento de DS 90.**
- **Escenario 2: PTAP cumplen con DS 90 para lo cual se implementa tratamiento de lodos.** Cabe mencionar que este esquema general de tratamiento propuesto para cumplir con el DS 90 considera cero descargas de efluentes líquidos ya que todos los líquidos son recirculados en el proceso. Por tanto, la única salida corresponde a lodos deshidratados (Figura 1).

Figura 1 Diagrama general del proceso de tratamiento convencional con tratamiento de lodos



Fuente: Gentileza de IFARLE.

Adicionalmente, en el caso de la PTAP Las Vizcachas se evaluó un tercer escenario, correspondiente al siguiente:



- **Escenario 3 (mixto): PTAP sin tratamiento de lodos de pretratamiento y con tratamiento de lodos que reciben aditivos químicos.** Cabe mencionar que el tercer escenario planteado (Escenario 3) surge como un escenario mixto, puesto que considera el tratamiento de solo una parte de los lodos generados. Esto se basa en el hecho de que en las PTAP que abaten alta turbidez cuentan con infraestructura que permite separar de forma gravitacional cerca del 90% de los sólidos (IFARLE, 2023), dada por los desarenadores y predecantadores, en las cuales no se agrega ningún aditivo<sup>1</sup>, generándose así lodos que representan la condición basal de los sedimentos del cauce y pueden ser restituidos sin generar efectos adicionales debido a su composición.

Cada efecto ambiental fue analizado cuantitativa o cualitativamente en función de los antecedentes disponibles pudiendo determinar para cada uno de los escenarios propuestos, aquel que representa una mayor generación de impactos ambientales, vinculándolo a cada una de las situaciones y contextos de las PTAP Las Vizcachas, Las Rojas y La Mochita.

Posteriormente se asignó una puntuación a cada efecto según criterio experto del equipo consultor, basado en la determinación de impactos ambientales y la relación entre los escenarios. El puntaje asignado a cada efecto se muestra a continuación en la Tabla 2, distribuyendo un punto (1) entre ambos escenarios, tomando por ejemplo valor "1" aquel que presenta un mayor impacto ambiental, "0" aquel que presenta un menor impacto ambiental o "0,5" en el caso de que en ambos escenarios el impacto ambiental sea similar, entre otros valores intermedios posibles de asignar.

<sup>1</sup> En ciertos casos podría agregarse una dosis mínima, cuya concentración remanente en los sólidos decantados resulta despreciable.



Tabla 2. Puntaje de evaluación del efecto ambiental en escenarios propuestos.

Peso	Categoría
0	Bajo
1	Alto
0,33	Medio-bajo
0,66	Medio-alto
0,5	Medio

Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, se calculó la evaluación final de cada escenario propuesto en base a una suma ponderada entre el puntaje del efecto proporcionado por el análisis jerárquico multicriterio y el puntaje de evaluación de este.



## 4. RESULTADOS DE LA REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En Chile, las PTAP generan agua de alta calidad para consumo humano desde diversas fuentes. La calidad del agua varía geográficamente: el Norte Grande tiene agua con altas concentraciones de sales y en algunos casos arsénico; el Norte Chico tiene menos salinidad, pero más calcio y magnesio; la zona central mejora en salinidad, pero tiene turbidez en una condición de variabilidad extrema dada por la estación del año y las condiciones climáticas; el sur tiene buena calidad con excepciones en hierro y manganeso; y en la zona austral, el color puede ser un problema (Acuña, 2015).

Dependiendo de estas condiciones, se aplican diferentes tratamientos. La mayoría de las fuentes solo necesitan tratamiento convencional consistentes en un proceso físico inicial sin adición de elementos y/o compuestos químicos<sup>2</sup> (desarenadores y predecantadores), seguida por un proceso físico-químico con adición de compuestos y/o elementos (coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección), que se ajusta según los parámetros críticos (como arsénico, hierro y manganeso) que superan la norma NCh 409/2005. Para aguas salinas, se suelen usar procesos de membrana, también denominadas plantas de tratamiento por osmosis inversa (PTOI).

El tratamiento de aguas para el consumo humano ha dado origen al problema de manejo y disposición de las aguas residuales que se producen durante el tratamiento del agua potable. De acuerdo con ANDESS, los dos principales tipos de aguas residuales que se generan en Chile provienen de PTOI y de PTAP que deben abatir turbidez, dentro de las cuales existe un grupo de plantas que debe tratar agua de alta a muy alta turbidez. Para el caso de las PTOI, el volumen de las

---

<sup>2</sup> En ciertos casos podría agregarse una dosis mínima, cuya concentración remanente en los sólidos decantados resulta despreciable.



aguas residuales (corriente de rechazo) puede alcanzar el 50% del agua tratada. Para el caso de un proceso en que se requiere remover la turbidez, el volumen de las aguas residuales que se producen es de aproximadamente el 5% del agua tratada. La principal dificultad que se presenta en el manejo de estas aguas es su contenido de sólidos suspendidos, algunos metales y productos químicos que se aplican (Martínez, 2012).

Las descargas de aguas residuales en Chile se realizan por tres vías; descarga al mismo cuerpo de agua natural de donde fue captado, descarga a canales, y descarga a un sistema de alcantarillado (Acuña, 2015). A continuación, se describen las alternativas de tratamiento y sus implicancias ambientales para los dos tipos de aguas residuales más comunes que son las aguas de rechazo de PTOI y las aguas residuales con alta turbiedad.

#### **4.1 Alternativas de tratamiento e implicancias ambientales de efluentes de PTOI**

En la revisión bibliográfica efectuada, se encontró que el abatimiento de las aguas de rechazo de las plantas desalinizadoras puede realizarse de las siguientes cinco maneras (Panagopoulos, 2019 y Pinto, 2021):

##### **4.1.1 Descarga de aguas superficiales**

Se realiza una descarga directa al cuerpo de agua original y es utilizada en un 90% de plantas cercanas al mar. La salmuera se diluye rápidamente utilizándose difusores eficientes para minimizar el impacto ecológico. Impactos: Capacidades limitadas de asimilación natural que causan efectos adversos en el entorno marino si se exceden. Puede causar posiblemente contaminación térmica, reducción del oxígeno disuelto en las aguas receptoras, eutrofización, toxicidad y aumento del pH. La dilución depende de las condiciones hidrodinámicas locales. Se requieren



buenos conocimientos, programas de monitoreo y planificación para las aguas receptoras.

#### **4.1.2 Descarga en alcantarillado**

La descarga en alcantarillado es un método de eliminación de salmuera usado principalmente por plantas de desalinización de pequeña escala. Esta opción puede afectar negativamente a las PTAS debido al alto contenido de sólidos disueltos totales (TDS) en la salmuera. La alta salinidad puede dificultar el tratamiento biológico en las PTAS, especialmente si la concentración de SDT excede los 3000 mg/L, y también puede comprometer el cumplimiento del DS90 respecto del parámetro cloruro<sup>3</sup>. Por ello, la capacidad de la PTAS debe ser al menos 20 veces mayor al volumen diario de descarga de salmuera para mantener niveles seguros de SDT. Además, puede requerirse un pretratamiento básico para eliminar trazas de metales pesados. Impactos: Puede inhibir el crecimiento bacteriano en las PTAS. Sobrecarga la capacidad existente de la PTAS, disminuyendo su capacidad hidráulica utilizable. Raramente utilizado en plantas de desalinización de agua de mar.

#### **4.1.3 Inyección en pozos profundos**

La Inyección en Pozos Profundos es un método para la eliminación de salmuera que consiste en inyectarla en un acuífero subterráneo profundo, aislado de acuíferos de agua más superficiales. Este método es común en plantas de desalinización de agua salobre de todos los tamaños. La salmuera se inyecta en un pozo que tiene múltiples capas de revestimiento y sellado. Rocas porosas contienen la salmuera, mientras que formaciones de arcilla y roca impermeable impiden la contaminación de acuíferos de agua. La profundidad de estos pozos varía entre

---

<sup>3</sup> La Tabla N°1 del DS90 fija en 400 mg/L el límite para la descarga de cloruro a cuerpos de agua fluviales sin capacidad de dilución.



500 y 1500 metros, según las condiciones geológicas del sitio. No es viable en áreas con alta actividad sísmica. Este método se considera generalmente cuando no hay otras alternativas viables. Impactos: La principal preocupación ambiental es el potencial de contaminación de acuíferos cercanos que podrían usarse como fuente de agua potable. Antes de construir un pozo de inyección, se deben realizar estudios hidrogeológicos detallados, pruebas de perforación y evaluaciones ambientales.

En el caso de Chile, si bien el Decreto Supremo N° 46/2002 (DS 46), que establece normas de emisión de residuos líquidos en aguas subterráneas, no prohíbe la descarga de residuos líquidos provenientes de plantas desalinizadoras (ver su artículo 2), establece serias limitaciones para el caso particular de los efluentes de rechazo de las PTOI. En particular, dichos efluentes cuentan con altas concentraciones de parámetros tales como cloruros, arsénico, entre otros, que los hacen calificar como una Fuente Emisora y estar por tanto afectados al cumplimiento de los umbrales establecidos. Dado lo restrictivo de los umbrales y las características del efluente, resulta muy complejo -o derechamente infactible- llegar al estándar requerido. Solo por mencionar un ejemplo, el umbral de cloruro exigido para una condición de vulnerabilidad baja es de 250 mg/L, lo cual es sustancialmente menor a las concentraciones esperables del efluente.

Por último, cabe señalar que debido a la gran actividad sísmica propia en nuestro país, esta alternativa implica altos riesgos de contaminación de aguas subterráneas de buena calidad.

#### **4.1.4 Aplicación en tierra**

La aplicación en tierra es un método de eliminación de salmuera que implica el riego de plantas y pastos tolerantes a la sal. Este método se usa principalmente para volúmenes bajos de salmuera y está limitado por el clima, la demanda





estacional y la disponibilidad de terreno adecuado. La cantidad de salmuera usada depende de la tolerancia a la salinidad de cada planta y del suelo. El riego puede afectar negativamente al acuífero subterráneo si incrementa su salinidad. La elección de este método depende de varios factores como clima, disponibilidad de tierra, tasa de percolación y normativas. Impactos: Dependiente de las necesidades de riego estacionales y del clima. Se necesita un sistema de almacenamiento y distribución de salmuera. Puede afectar la vegetación existente. Potencial contaminación del suelo y del agua subterránea, lo que aumenta la salinidad del suelo y del agua subterránea. La producción a gran escala puede llevar a la salinización del suelo.

#### **4.1.5 Pozas de evaporación**

Las pozas o estanques de evaporación son una forma de eliminar salmueras que emplea cuencas poco profundas revestidas. En ellas, la salmuera se evapora lentamente gracias a la energía solar. Tras la evaporación del agua, los minerales precipitan como cristales de sal que se recolectan periódicamente. Este método es común en áreas secas o semi-secas. Debe diseñarse y operarse cuidadosamente para evitar la contaminación del agua subterránea. Por lo general, las normas ambientales exigen que los estanques sean impermeables y, en casos de altos niveles de metales traza, se necesita un doble revestimiento. Impactos: Se necesitan grandes áreas de terreno. Dependiente del clima: solo en un clima seco con alta evaporación y baja precipitación. Riesgo de contaminación del suelo y agua subterránea subyacentes. Los acuíferos de agua subterránea pueden contaminarse en caso de filtración del estanque.

Cada método tiene pros, contras y costos que varían según factores como ubicación, geología del subsuelo, disponibilidad de terrenos, clima, calidad de agua, volumen de descarga y requerimientos técnicos.



En base a la información proporcionada por ANDESS en relación con distintas PTOI, se aprecia que las alternativas técnicas seleccionadas a nivel de ingeniería conceptual son:

- Descarga al mar
- Descarga en pozas de evaporación

Estas soluciones estarían siendo propuestas por la empresa Aguas Atacama.

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada se encontró que cada uno de los procesos de abatimiento y disposición de las aguas de rechazo generan entre 3 a 6 impactos por método empleado. Estos impactos se asocian a 7 macro temas: Flora y Fauna, Ecosistema, Calidad de las aguas, Paisaje, Suelo, y Medio Humano.

En base a esta información, se construyó la matriz general de los principales efectos ambientales derivados de las actividades de descarga de una PTOI, resultado que se muestra a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Potenciales efectos de las aguas residuales generadas por PTOI

#	Alternativa / Componente	Impactos ecosistémicos	Flora	Fauna	Recurso hídrico	Paisaje	Suelo/lecho marino	Medio Humano
1	Descarga al mar	Modificación, intervención o pérdida de hábitat por modificación del fondo marino o alteración del borde costero. Impactos acumulativos o sinérgicos con otras descargas. Afectación o pérdida de bancos naturales de recursos hidrobiológicos. Fragmentación y pérdida de hábitat.	Perturbación o pérdida de individuos o comunidades de flora bentónica	Perturbación o pérdida de individuos o comunidades de fauna bentónica y plancton. Pérdida o alteración de hábitats por cambios en la calidad del agua y sedimentos. Alteración de los índices de abundancia y diversidad de poblaciones de fauna y flora. Alteración de la estructura de comunidades, principalmente de fauna bentónica.	Cambio en la calidad de la columna de agua. Aportación excesiva de salmuera al sistema natural.	Artificialidad Intrusión visual. Modificación de atributos estéticos. Alteración al acceso costero ocasiona menoscabo o pérdida de las actividades turísticas.	Cambio en la calidad de sedimentos.	Alteración de la calidad de vida incluyendo quehaceres cotidianos. Afectación de actividades acuícolas o de pesquería. Obstrucción de rutas de navegación de grupos humanos. Imposibilidad o afectación del ejercicio o manifestación de tradiciones, cultura o intereses comunitarios.

#	Alternativa / Componente	Impactos ecosistémicos	Flora	Fauna	Recurso hídrico	Paisaje	Suelo/lecho marino	Medio Humano
2	Descarga en alcantarillado				<p>Corrosión en la red de distribución de las aguas residuales por el alcantarillado.</p> <p>Aumento de niveles de salinidad de las aguas en la PTAS receptora lo que puede generar inhibición de la actividad microbiana en los digestores y cambios en la flotabilidad por la salinidad, pudiendo afectar el proceso de clarificación.</p> <p>Precipitación de sales.</p> <p>Ralentización de la descomposición de la materia orgánica.</p>			

#	Alternativa / Componente	Impactos ecosistémicos	Flora	Fauna	Recurso hídrico	Paisaje	Suelo/lecho marino	Medio Humano
3	Inyección en pozos profundos				Contaminación de acuíferos cercanos que podrían usarse como fuente de agua potable.			
4	Aplicación en tierra	Pérdida de biodiversidad	Puede afectar la vegetación existente por estrés osmótico, toxicidad por iones. Disminución de la biodiversidad vegetal, seleccionándose sólo las más tolerantes a la salinidad.	Disminución de la biodiversidad, los microorganismos y fauna como lombrices podrían verse afectados. Alteración de la cadena trófica alimentaria.	Potencial contaminación del agua subterránea por lixiviación de sales. Potencial afectación de la calidad del agua en pozos y fuentes cercanas. Cambio en el patrón de infiltración o recarga. Alteración del flujo subterráneo pasante. Cambio en los niveles de agua subterránea.		Potencial contaminación del suelo. Aumento de la salinidad del suelo. Desequilibrio de nutrientes. Pérdida de suelo por cambios en la estructura del suelo, generando erosión.	Impacto en la agricultura debido a pérdida de tierras arables y disminución en la productividad.



#	Alternativa / Componente	Impactos ecosistémicos	Flora	Fauna	Recurso hídrico	Paisaje	Suelo/lecho marino	Medio Humano
5	Pozas o estanques de evaporación				Riesgo de contaminación del agua subterránea subyacentes.		Uso de grandes áreas de terreno. Riesgo de contaminación del suelo subyacentes.	

Fuente: Elaboración propia a partir de Panagopoulos (2019), Pinto (2021) y SEA (2022, 2023).