



antecedentes o estudios que complementen los efectos identificados, incorporación de tratamientos adicionales a los actualmente realizados en las PTAP, objetivos de la compañía, normativas sectoriales, entre otros aspectos.

Tabla 23 Tabla pareada con asignación de criterios cualitativos de priorización entre efectos.

	Afectación de riqueza y abundancia de especies de vegetación ribereña	Afectación de riqueza y abundancia de especies nativas	Alteración de parámetros fisicoquímicos de aguas superficiales Sedimentación	Alteración del valor paisajístico	Erosión, compactación, alteración de parámetros fisicoquímicos del suelo	Emisión atmosférica de Material Particulado	Emisiones de Ruido ambiental y vibraciones	Receptores sensibles de ruido y MP	Superación de capacidad de carga de la infraestructura vial	Disminución caudal efluente a cuerpo receptor	Emanaciones de olores	Receptores sensibles de ruido y olores	Percolación de líquidos a aguas subterráneas	Espacio disposición final de lodos	Suma
Afectación de riqueza y abundancia de especies de vegetación ribereña	1	2	0,5	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	25
Afectación de riqueza y abundancia de especies nativas	0,5	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	23
Alteración de parámetros fisicoquímicos de aguas superficiales Sedimentación	2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	23
Alteración del valor paisajístico	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	1	2	1	1	1	2	2	2	16
Erosión, compactación, alteración de parámetros fisicoquímicos del suelo	0,5	0,5	0,5	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	20
Emisiones atmosféricas de Material Particulado	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	17
Emisiones de Ruido ambiental y vibraciones	0,5	0,5	1	1	0,5	1	1	1	2	1	1	2	1	2	16
Receptores sensibles de ruido y MP	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	1	1	1	1	12
Superación de capacidad de carga de la infraestructura vial	0,5	0,5	1	1	1	1	0,5	1,0	1	2	2	2	1	2	17
Disminución caudal efluente a cuerpo receptor	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1	1	1	0,5	1	1	2	2	1	14
Emanaciones de olores	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1	1	1	0,5	1	1	1	1	1	12
Receptores sensibles de ruido y olores	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1	0,5	0,5	1	1	2	1	11
Percolación de líquidos a aguas subterráneas	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1	0,5	1	0,5	1	1	11
Espacio disposición final de lodos	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	1	1	1	1	1	10
Suma	9,5	11,0	9,5	16,0	13,5	12,5	15,5	19,0	15,0	18,0	19,0	21,5	21,0	22,0	222,0

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24 Matriz de Saaty aplicado al estudio

Aspecto ambiental	Efectos ambientales	Pesos
Flora y fauna	Afectación de riqueza y abundancia de especies de vegetación ribereña	11%
	Afectación de riqueza y abundancia de especies nativas	10%
Hidrología y calidad de aguas	Alteración de parámetros fisicoquímicos de aguas superficiales. Sedimentación.	10%
	Disminución caudal efluente a cuerpo receptor	6%
	Percolación de líquidos a aguas subterráneas	5%
Paisaje	Alteración del valor paisajístico	7%
Suelo	Erosión, compactación, alteración de parámetros fisicoquímicos del suelo	9%
Aire	Emisiones atmosféricas de Material Particulado	8%
	Emisiones de Ruido ambiental y vibraciones	7%
	Receptores sensibles de ruido y MP	5%
	Emanaciones de olores	5%
	Receptores sensibles de olores	5%
Vialidad	Superación de capacidad de carga de la infraestructura vial	7%
Disposición final	Espacio disposición final de lodos	4%

Fuente: Elaboración propia.

Con estos puntajes se realizó la evaluación de cada uno de los efectos ambientales para cada escenario propuesto, los que se exponen y justifican a continuación.



6.2.2 Flora y fauna

Este efecto tiene relación con que la alta presencia de aluminio y sólidos suspendidos en los cuerpos de agua superficial puede provocar efectos negativos sobre la flora y fauna acuática y de ribera asociada a los cursos de agua. Estos parámetros se asocian al tratamiento de agua potable debido a que en muchos casos la potabilización del agua considera la incorporación de coagulantes derivados del aluminio (Kaggwa et col, 2001).

Por otra parte, los sólidos suspendidos se relacionan con la alta turbidez de los cauces (caso de la PTAP Las Vizcachas) o bien con los efluentes del proceso de tratamiento propiamente tal (lodos de los sedimentadores, aguas de retrolavado de filtros). Sin perjuicio de lo anterior, resulta fundamental tener en consideración las condiciones particulares de los cuerpos fluviales receptores. Por ejemplo, en el río Maipo se producen anualmente varios episodios de alta a muy alta turbidez producto de las condiciones climáticas (deshielo primaveral, lluvias invernales), lo cual es compatible con la existencia de distintas especies nativas.

En la comparación de los escenarios para las PTAP en análisis, se determinó que el mayor impacto ambiental potencial se puede obtener en el escenario sin tratamiento de lodos en comparación al escenario con tratamiento de lodos (sin descargas al cuerpo receptor).

Para el Escenario 3 a evaluar en la PTAP Las Vizcachas, según antecedentes proporcionados por IFARLE (2023), se proyecta que alrededor de un 90% de los lodos se generan en la etapa de pretratamiento, siendo restituidos de manera directa en el cuerpo receptor, mientras que el 10% restante es generado en los procesos de decantación y filtración posteriores, que contemplan la adición de químicos. Dada la magnitud de la disminución del volumen de lodos tratados, se asignó un puntaje intermedio a este escenario en el que se considera que se obtendría un impacto ambiental relevante asociado principalmente a la carga sedimentaria de la descarga que afectaría la turbidez y los sólidos en suspensión.

En el caso de la PTAP Las Vizcachas, el cuerpo receptor correspondiente al río Maipo tiene presencia de especies de peces nativos, tales como *Pigidium aerolatum* (Bagre chico), *Nematogenys inermis* (Bagre grande), *Trichomycterus*

areolatus (Bagrecito) (Duarte, Feito, Jara, Moreno, & Orellana, 1971), estas dos últimas especies consideradas en peligro y vulnerable, respectivamente, por el 16 proceso de Clasificación de especies llevado a cabo por el Ministerio de Medio Ambiente. Bajo este contexto, se busca proteger a estas especies de los efectos mencionados con anterioridad.

En el caso de la PTAP Las Rojas, el cuerpo receptor corresponde al Río Elqui, que se caracteriza por la presencia de especies de flora y fauna acuática con alto porcentaje de especies nativas y endémicas (DGA, 2004). Entre estas destaca la presencia de especies vegetales tales como *Equisetum giganteum* (preocupación menor) y *Mimulus glabatus* (vulnerable), así como también especies de fauna íctica en estado vulnerable como *Basilichthys microlepidotus*, *Galaxias maculatus* y *Odontesthes brevianalis*.

Por último, en relación con la PTAP La Mochita, el cuerpo receptor corresponde al Río Biobío. Este cuerpo de agua es el hábitat de una gran cantidad de especies (Carrasco-Lagos et.al., 2012), entre las que se encuentran en la categoría de conservación "en peligro" los peces *Mordacia lapicida*, *Aplochiton zebra*, *Bullockia maldonadoi*, *Diplimystes nahuelbutensis*, *Percillia gillisi*, entre otros, y los anfibios *Alsode barrioi* y *Rhinoderma darwini*.

Aspecto ambiental #1: Flora y Fauna				
Efecto: Ante la presencia de hierro, aluminio y sólidos suspendidos en el agua, se han evidenciado, efectos sobre la flora y fauna acuática y de ribera presente en los cursos de agua superficial.				
PTAP	Contexto	Puntaje evaluación ambiental		
		Escenario 1:	Escenario 2:	Escenario 3:
Las Vizcachas	Descarga en río Maipo, presencia de especies en categoría Vulnerable y En peligro.	1	0	0,66
Las Rojas	Descarga en Río Elqui	0,66	0	N/A

Aspecto ambiental #1: Flora y Fauna				
Efecto: Ante la presencia de hierro, aluminio y sólidos suspendidos en el agua, se han evidenciado, efectos sobre la flora y fauna acuática y de ribera presente en los cursos de agua superficial.				
PTAP	Contexto	Puntaje evaluación ambiental		
		Escenario 1:	Escenario 2:	Escenario 3:
La Mochita	Descarga en Río Biobío	0,66	0	N/A

Fuente: Elaboración Propia.

6.2.3 Calidad de aguas e hidrología

Los efectos específicos evaluados en este punto tienen que ver con la alteración de los parámetros fisicoquímicos y la sedimentación en el cuerpo receptor, a causa de las descargas producidas tanto por el tratamiento de agua como de lodos.

En la actualidad, en el Escenario 1 (sin tratamiento de lodos), para el caso de la PTAP Las Vizcachas habría una superación del efluente en los parámetros del DS 90: sólidos suspendidos, manganeso y boro. Mientras que para las PTAP Las Rojas y La Mochita no se cuenta con disponibilidad de datos de monitoreo de parámetros fisicoquímicos de las descargas, sin embargo, se estima superación de los umbrales del DS90 en los parámetros turbiedad y hierro en el caso de la primera, y de sólidos suspendidos en la segunda.

En este sentido, la evaluación de los efectos para las tres PTAP consideró con un mayor impacto (puntaje = 1) el hecho de no contar con planta de tratamiento de lodos (Escenario 1), puesto que las superaciones descritas podrían afectar la calidad de aguas de los cuerpos receptores. Se consideró con el puntaje mínimo al escenario 2, donde no existiría descarga al cauce. Por último, se consideró un puntaje intermedio al escenario 3 para el caso de la PTAP Las Vizcachas, dado que la descarga de lodos de pretratamiento mantendría las superaciones en el parámetro sólidos suspendidos.

Cabe mencionar que respecto a la sedimentación, el mayor efecto en el cuerpo receptor tiene una influencia local dado que la dinámica natural del río genera sedimentación en ciertos tramos, pudiendo generar perturbaciones físicas y

químicas que afecten la biota y la dinámica de la cuenca. Por lo anterior, su mayor impacto se consideró dentro de un escenario más conservador, sin tratamiento de lodos (Escenario 1) y en el escenario 3. De todas maneras resulta necesario mencionar que las condiciones particulares de los cuerpos fluviales receptores deben ser considerada según cada caso. Por ejemplo, en el río Maipo se producen anualmente varias crecidas acompañadas de episodios de alta a muy alta turbidez producto de las condiciones climáticas (deshielo primaveral, lluvias invernales), lo cual genera un arrastre, lavado y sedimentación importante en el cauce, que puede volver imperceptibles los efectos de los sedimentos de las descargas.

Aspecto ambiental #2: Hidrología y calidad de aguas				
Efecto: Alteración de parámetros fisicoquímicos de aguas superficiales y sedimentación a causa del vertimiento de lodos a cuerpos receptores.				
PTAP	Contexto	Puntaje evaluación ambiental		
		Escenario 1:	Escenario 2:	Escenario 3:
Las Vizcachas	Descarga en río Maipo. Se desconoce calidad del efluente y su efecto en la sedimentación. Puntaje acorde a escenario más conservador.	1	0	0,66
Las Rojas	Descarga en Río Elqui. Se desconoce calidad del efluente y su efecto en la sedimentación. Puntaje acorde a escenario más conservador	1	0	N/A
La Mochita	Descarga en Río Biobío. Se desconoce calidad del efluente y su efecto en la sedimentación. Puntaje acorde a escenario más conservador	0,66	0	N/A



Fuente: Elaboración Propia.

6.2.4 Percolación de líquidos

Este efecto tiene relación con la percolación de líquidos provenientes del secado de lodos, tanto en un área de pretratamiento o disposición temporal como en el área de disposición final. Lo anterior dado que si se consideran canchas de secado en estas etapas, existe la posibilidad de que los líquidos asociados a la humedad de los lodos percolen por el suelo hasta las aguas subterráneas asociadas al área de influencia de cada planta. Para hacer frente a estos impactos se debe considerar la impermeabilización del suelo y un sistema de recuperación de posibles filtraciones, lo cual cobra particular relevancia en zonas con abundante precipitación. En este sentido, se plantea como un riesgo que debe ser tratado mediante planes de contingencia o emergencia.

Al respecto, se considera que en el caso de la PTAS Las Vizcachas el impacto puede ser desestimado debido a que en la evaluación ambiental del proyecto El Rutil sí se tiene en cuenta la impermeabilización de las canchas de secado, situación que se tomaría como referencial en el nuevo establecimiento de tratamiento final de lodos y, por lo cual, el puntaje asignado para los tres escenarios en esta PTAP es cero (0).

Respecto a las PTAP Las Rojas y La Mochita, no se cuenta con antecedentes respecto del diseño de las canchas de secado, pero se asume que serán consideradas. En este sentido la única salvedad con respecto a lo descrito para Las Vizcachas tiene relación con un mayor riesgo de lixiviación en La Mochita debido principalmente a la mayor pluviosidad del área de emplazamiento, por lo que la solución propuesta debiese considerar medidas más robustas diseñadas en consideración del factor meteorológico.

Cabe señalar que el puntaje de priorización de este efecto es del 5% respecto del total, por lo cual la influencia de las consecuencias ambientales de este efecto es baja en comparación con otros efectos identificados.

Aspecto ambiental #3: Percolación de líquidos				
Efecto: Percolación de líquidos a aguas subterráneas				
PTAP	Contexto	Puntaje evaluación ambiental		
		Escenario 1:	Escenario 2:	Escenario 3:
Las Vizcachas	De considerarse canchas de secado en una etapa previa a la disposición final de lodos, existe la posibilidad de una percolación de líquidos asociados a los lodos húmedos si es que no se considera una correcta impermeabilización.	0	0	0
Las Rojas	De considerarse canchas de secado en una etapa previa a la disposición final de lodos, existe la posibilidad de una percolación de líquidos asociados a los lodos húmedos si es que no se considera una correcta impermeabilización	0	0	N/A
La Mochita	De considerarse canchas de secado en una etapa previa a la disposición final de lodos, existe la posibilidad de una percolación de líquidos asociados a los lodos húmedos si es que no se considera una correcta impermeabilización.	0	0,33	N/A

Fuente: Elaboración Propia.

6.2.5 Paisaje

Para el caso de PTAP Las Vizcachas, a partir de la revisión bibliográfica, se identifica en el área de influencia que su valor paisajístico y atributos han sido poco estudiados por la literatura local, por lo tanto, no es posible estimar una potencial



afectación significativa al componente paisaje. Sin embargo, el contexto de menor urbanización, ruralidad cercana y ubicación junto al río, sumado a la zonificación del área en el Plan Regulador Metropolitano (Áreas Verdes y Habitacional Mixta), dan cuenta al menos de una percepción positiva de los actores locales en torno a los atributos paisaje del área de influencia. Estas condiciones indican la necesidad de realizar un levantamiento de información más profundo en torno al componente paisaje para así poder estimar objetivamente una potencial afectación bajo un escenario de implementación de la planta de tratamiento de lodos para PTAP Las Vizcachas.

En el caso de la PTAP Las Rojas, esta se emplaza en un área definida como Área Rural 2, y cuyo paisaje está dominado por áreas agrícolas, así como industrias y viviendas particulares. El área donde eventualmente se instalaría el proceso de tratamiento de lodos corresponde a un predio denominado Módulo Las Rojas cuya ocupación actual es industrial y se localiza a 200 m de la PTAP en la misma categoría de uso de suelo. Al respecto, no se prevé que la construcción y operación de las nuevas maquinarias para el procesamiento de lodos vaya a generar un cambio significativo en las vistas de este predio en el contexto de su emplazamiento, lo que desestima un impacto significativo en el valor paisajístico.

Para el caso de la PTAP LA Mochita, la instalación de nuevo equipamiento para atender el procesamiento de lodos se emplazaría dentro del mismo predio actual de la PTAP. Al respecto esta se encuentra dentro de un contexto urbano, marcado por la artificialidad del paisaje. Por tanto, por una parte se descarta un cambio significativo respecto de lo que hoy existe en el predio y por consecuencia la existencia de un impacto significativo en el valor paisajístico.

Aspecto ambiental #4: Paisaje				
Efecto: Alteración del valor paisajístico del área de emplazamiento				
PTAP	Contexto	Puntaje evaluación ambiental		
		Escenario 1:	Escenario 2:	Escenario 3:
Las Vizcachas	Suelo clasificado como Área verde y habitacional mixto. Se debe evaluar el impacto en el valor paisajístico. Acá se toma en cuenta el escenario más conservador	0	0,66	0,33
Las Rojas	Suelo clasificado como Área Rural 2. Nuevas instalaciones en terreno muy cercano que tiene un uso industrial	0	0	N/A
La Mochita	Suelo clasificado como Habitacional Mixto. Nuevas instalaciones dentro del mismo predio.	0	0	N/A

6.2.6 Suelo

Este efecto tiene que ver con la erosión, compactación y alteración de parámetros fisicoquímicos del suelo, características que están reflejadas y sectorizadas, en general, por los Planes Reguladores comunales y Metropolitano.

El Plan Regulador Metropolitano clasifica en 3 zonas el área potencial de emplazamiento de la planta de tratamiento de lodos de la PTAP Las Vizcachas; en donde la mayor área considerada cae en la categoría "Área verde y recreación" siendo un área restrictiva para las actividades sanitarias proyectadas. Dada esta condición es que se evalúa con un mayor impacto el escenario donde se considera la construcción de la planta de tratamiento de lodos, con un puntaje intermedio al escenario 3, considerando que en este escenario la planta requerida utilizaría una menor superficie.

Por su parte el Plan Regulador Intercomunal del Elqui, clasifica el área de emplazamiento de la SPAP Las Rojas y el área Módulos Las Rojas, como "Área Rural 2". Esta categoría es compatible con la instalación de industrias calificadas inofensivas y molestas, dentro de la cual se consideran instalaciones de este tipo.

En un eventual escenario con tratamiento de lodos se localizaría dentro de los límites del actual predio del módulo Las Rojas, por lo que no se prevé un impacto significativo en ninguno de los 2 escenarios.

Con respecto al Plan Regulador Metropolitano de Concepción, clasifica la zona de emplazamiento de la PTAP La Mochita como "Zona Habitacional Mixta", la que permite el uso Industrial y de Almacenamiento inofensivos. Al igual que en el caso de la PTAP Las Rojas no se prevé un impacto significativo en ninguno de los 2 escenarios.

Aspecto ambiental #5: Suelo				
Efecto: Erosión, compactación, alteración de parámetros fisicoquímicos del suelo				
PTAP	Contexto	Puntaje evaluación ambiental		
		Escenario 1:	Escenario 2:	Escenario 3:
Las Vizcachas	Suelo clasificado como Área verde y habitacional mixto. Se identifica categoría de riesgo severo.	0	1	0,66
Las Rojas	Suelo clasificado como Área Rural 2 que permite la instalación de tratamiento de lodos.	0	0	N/A
La Mochita	Suelo clasificado como Habitacional Mixto que permite la instalación de tratamiento de lodos	0	0	N/A

Fuente: Elaboración Propia.

6.2.7 Aire y emisiones de material particulado

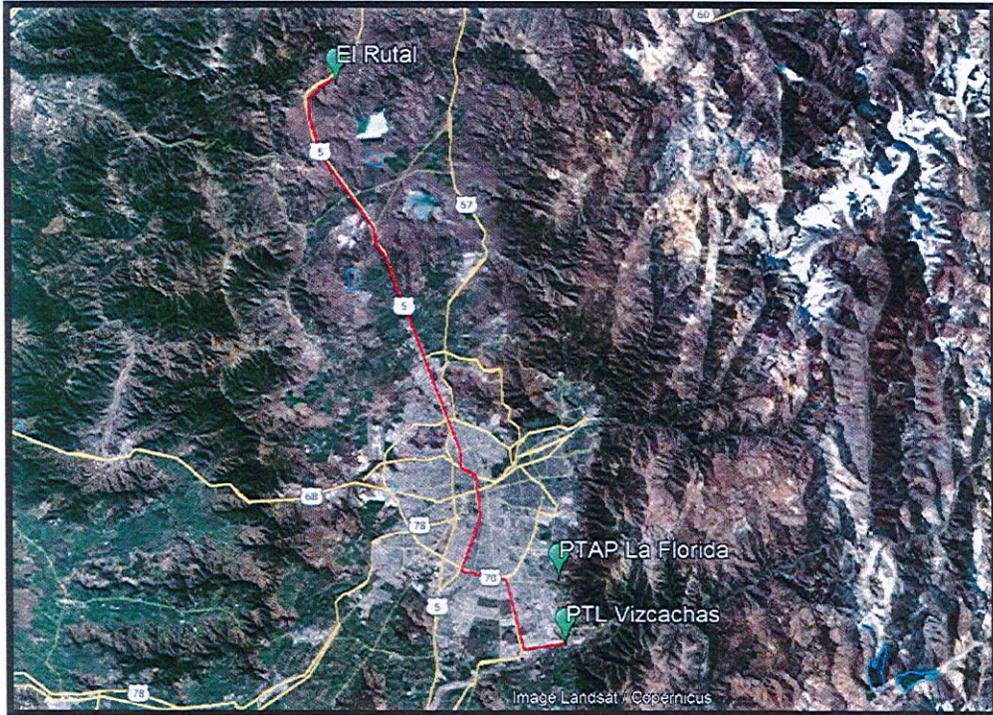
Se identificó el efecto producto de las emisiones atmosféricas de material particulado considerando varias actividades y factores. Bajo este contexto la mayor contribución de emisiones se estima que proviene del transporte de lodos hacia el área de disposición y/o tratamiento final. En el numeral 6.1.4 del presente informe se presenta una estimación cuantitativa de las principales emisiones para



los tres casos de estudio. A continuación se presenta un análisis más general según la metodología ya indicada que aplica para la comparación de distintos impactos.

En el caso de PTAP Las Vizcachas, en base a las estimaciones realizadas por (Cetaqua, 2019) el número de camiones diarios que transportaría los lodos desde la PTAP Vizcachas hasta el sitio de disposición se contabilizan en 761 camiones/día, considerando que los lodos contengan un 50% de humedad. A mayor abundamiento, uno de los supuestos evaluados en este estudio es la disposición de los lodos en un sitio de similares características a El Rotal que dista a 90 km aproximadamente de la PTAP Las Vizcachas, atravesando 15 comunas de la Región Metropolitana (Figura 10). Dados estos antecedentes, la evaluación de este efecto asigna un máximo impacto (puntaje = 1) al escenario 2 con tratamiento de lodos y un impacto nulo al escenario 1 puesto que no habría transporte. En el caso del escenario 3, donde habría tratamiento del 10% del total de lodos generados y su posterior transporte se asignó un puntaje de 0,3.

Figura 10 Ruta entre PTAP Las Vizcachas y El Rutil.



Fuente: Elaboración propia

En el caso de la PTAP Las Rojas, se estima un número de viajes entre la planta y el relleno sanitario Panul (Figura 11) de 34 viajes mensuales en un trayecto de 36,2 km que pasa por las zonas urbanas de La Serena y Coquimbo. Por esto se asignó un puntaje nulo al escenario 1 y un puntaje de 0,5 al escenario 2.

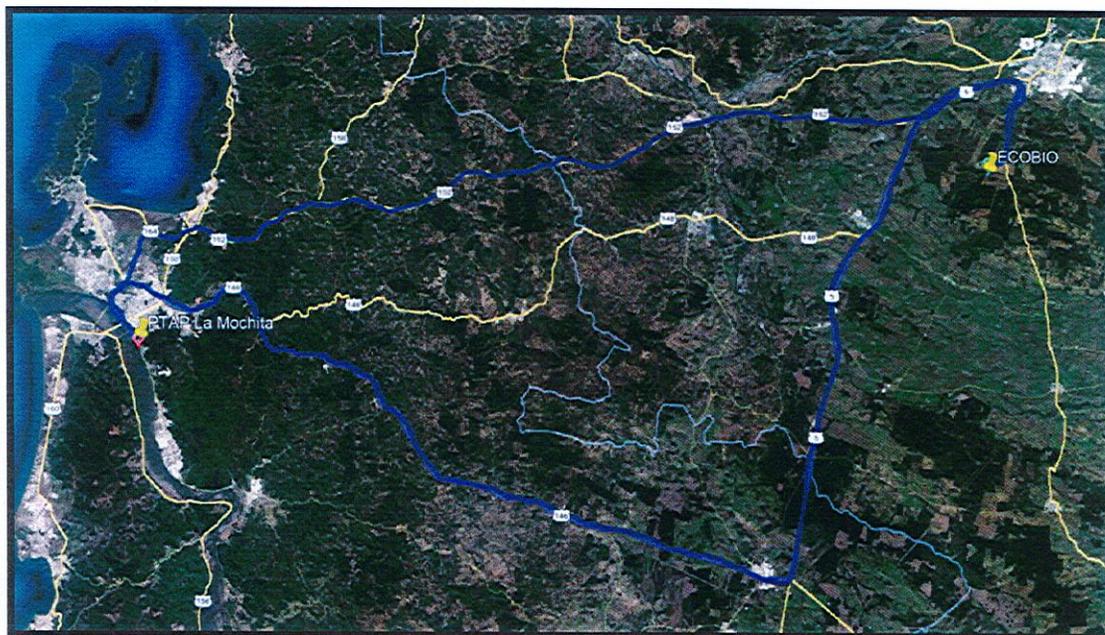
Figura 11 Ruta entre Módulo Las Rojas y Vertedero El Panul



Fuente: Elaboración propia

Por último, en relación a la eventual disposición de lodos de la PTAP La Mochita en el Relleno Sanitario Volta ECOBIO, se consideran dos posible rutas (de 108 y 129 km aproximadamente) en un trayecto que pasa por la zona urbana de Concepción (Figura 12). Dados estos antecedentes, la evaluación de este efecto asigna un puntaje de 0,5 al escenario 2 con tratamiento de lodos y un impacto nulo al escenario 1 puesto que no habría transporte.

Figura 12 Rutas entre PTAP La Mochita y relleno sanitario ECOBIO



Fuente: Elaboración propia

Aspecto ambiental #6: Aire y emisiones de material particulado				
Efecto: Emisiones atmosféricas de Material Particulado				
PTAP	Contexto	Puntaje evaluación ambiental		
		Escenario 1:	Escenario 2:	Escenario 3:
Las Vizcachas	El lodo tratado sería transportado a un sitio para tratamiento y disposición final..	0	1	0,33
Las Rojas	El lodo tratado sería transportado al relleno sanitario el Panul para tratamiento y disposición final.	0	0,33	N/A

Aspecto ambiental #6: Aire y emisiones de material particulado				
Efecto: Emisiones atmosféricas de Material Particulado				
PTAP	Contexto	Puntaje evaluación ambiental		
		Escenario 1:	Escenario 2:	Escenario 3:
La Mochita	El lodo tratado sería transportado al relleno sanitario Ecobio para tratamiento y disposición final	0	0,33	N/A

Fuente: Elaboración Propia.

6.2.8 Ruido y vibraciones

Las vibraciones y ruido ambiental se asocian con mayor preponderancia al transporte de los lodos, siendo de gran consideración el número de camiones que debiese ingresar y salir de estas PTAP diariamente.

En el contexto territorial de la PTAP Las Vizcachas (Figura 13) existen áreas urbanas colindantes con receptores humanos a una distancia de 30 m de la localización proyectadas de la planta de lodos.

Figura 13 Receptores ubicados en las inmediaciones de la PTAP Las Vizcachas.



Fuente: Elaboración propia

En el caso de la PTAP Las Rojas (Figura 14), las áreas colindantes al Módulo Las Rojas son principalmente zonas agrícolas, sin embargo en el sector de acceso al predio existen escasas viviendas particulares a menos de 30 m.

Figura 14 Receptores ubicados en las inmediaciones del Módulo las Rojas



Fuente: Elaboración propia

Por último, en relación a la PTAP La Mochita, se emplaza en una zona habitacional mixta, habiendo receptores colindantes con el predio de la PTAP.

Figura 15 Emplazamiento PTAP La Mochita



Fuente: Elaboración propia

Bajo estos antecedentes, el mayor impacto de este efecto se consideró en el escenario con planta de tratamiento de lodos, evaluando con mayor puntaje este escenario y con puntaje nulo al Escenario 1. En el caso de la PTAP Las Vizcachas se consideró un puntaje intermedio al escenario 3 debido a una disminución en el transporte.

Aspecto ambiental #7: Aire, emisiones de ruido y receptores				
Efecto: Emisiones de Ruido ambiental y vibraciones. Receptores sensibles de ruido				
PTAP	Contexto	Puntaje evaluación ambiental		
		Escenario 1:	Escenario 2:	Escenario 3:
Las Vizcachas	Emisiones de ruido y vibraciones durante la construcción y operación de la planta de lodos. Emisiones de MP, ruido y vibraciones	0	1	0,66

Aspecto ambiental #7: Aire, emisiones de ruido y receptores				
Efecto: Emisiones de Ruido ambiental y vibraciones. Receptores sensibles de ruido				
PTAP	Contexto	Puntaje evaluación ambiental		
		Escenario 1:	Escenario 2:	Escenario 3:
	por transporte de lodos en camiones.			
Las Rojas	Emisiones de ruido y vibraciones durante la construcción y operación de la planta de lodos. Emisiones de MP, ruido y vibraciones por transporte de lodos en camiones.	0	0,66	N/A
La Mochita	Emisiones de ruido y vibraciones durante la construcción y operación de la planta de lodos. Emisiones de MP, ruido y vibraciones por transporte de lodos en camiones.	0	0,66	N/A

Fuente: Elaboración Propia.

6.2.9 Olores

Se considera la emisión de olores dado por el tratamiento y disposición de lodos. Específicamente el desagüe de la planta de tratamiento de lodos recaería en el equalizador del sistema de tratamiento contemplado, etapa en la que se asocia la generación de olores y problemas con vectores producto del almacenamiento de dichas aguas. En este sentido, se evalúa con mayor puntaje de impacto al escenario 2 con planta de tratamiento de lodos y con puntaje nulo al Escenario 1. En el caso de la PTAP Las Vizcachas se consideró con un puntaje intermedio al Escenario 3 debido al menor volumen de lodos a tratar.

Aspecto ambiental #8: Aire, emisiones de olores y receptores				
Efecto: Emisiones de olores				
PTAP	Contexto	Puntaje evaluación ambiental		
		Escenario 1:	Escenario 2:	Escenario 3:
Las Vizcachas	Emisiones de olores durante la operación de la planta de lodos y disposición final de los mismos.	0	1	0,33
Las Rojas	Emisiones de olores durante la operación de la planta de lodos y disposición final de los mismos.	0	0,66	N/A
La Mochita	Emisiones de olores durante la operación de la planta de lodos y disposición final de los mismos.	0	0,66	N/A

Fuente: Elaboración Propia.

6.2.10 Transporte vial

Este se refiere al efecto que tendría el número de camiones que transporten el lodo a tratamiento y disposición final desde las PTAP analizadas.

En este sentido considerando el contexto territorial donde se ubica la PTAP Las Vizcachas, las condiciones viales poseen características residenciales en su contexto inmediato. Por ello, un eventual traslado de lodos generaría un efecto en la capacidad de carga de las calles aledañas a las PTAP, por lo cual el puntaje con mayor impacto le fue otorgado a los escenarios con planta de tratamiento de lodos.

Por su parte, en el caso de la PTAP Las Rojas, los caminos de acceso corresponden principalmente a carreteras, además el número de viajes es relativamente acotado dada la baja turbiedad de las aguas captadas (34 viajes mensuales), por

lo que no se prevé un impacto considerable en las condiciones viales, a excepción del camino interior no pavimentado desde la Ruta 41 a la PTAP.

Por último, en el caso de la PTAP La Mochita, el camino de acceso y salida desde esta corresponde a un contexto urbano-residencial de alta densidad, sin embargo el número de viajes proyectado para el escenario 2 (con tratamiento de lodos) es relativamente acotado (20 traslados/mes) por lo que un escenario de eventual traslado de lodos generaría efecto en las calles residenciales. En este sentido se otorgó mayor puntaje al escenario que considera tratamiento y disposición de lodos.

Aspecto ambiental #9: Vialidad				
Efecto: Superación de capacidad de carga de la infraestructura vial				
PTAP	Contexto	Puntaje evaluación ambiental		
		Escenario 1:	Escenario 2:	Escenario 3:
Las Vizcachas	Con lodos al 50% de humedad, se estiman 761 camiones/día. Para el escenario 3, se estiman 76 camiones/día	0	1	0,33
Las Rojas	Con tratamiento de lodos se estiman 34 viajes mensuales. Para el escenario 3 se estiman 3,4 viajes mensuales.	0	0,33	N/A
La Mochita	Con tratamiento de lodos se estiman 20 viajes mensuales. Para el escenario 3, se estiman 2 viajes diarios	0	0,33	N/A

Fuente: Elaboración Propia.

6.2.11 Sitio disposición final

Evaluación del aspecto ambiental relativo al espacio para disposición y tratamiento final de los lodos producidos y pretratados de las PTAP bajo análisis.



En el caso de la PTAP Las Vizcachas, la capacidad del sitio donde se traten los lodos debe considerar lo siguiente:

- Capacidad de tratamiento: debe ser mayor a lo actualmente evaluado en El Rutal, considerando que la PTAP Las Vizcachas superan en 33,4 veces la capacidad actual de El Rutal.
- Cercanía estratégica: la distancia entre la PTAP analizada y el centro de biosólidos el Rutal es de 90 km aproximadamente, considerando el cruce de 15 comunas de la Región Metropolitana. En este sentido los efectos producidos por las emisiones, efectos en los receptores y la capacidad de carga de la infraestructura vial, son los principales impactos por considerar.

Bajo estos antecedentes es que la evaluación de este efecto consideró el mayor puntaje para el escenario con planta de tratamiento de lodos, bajo el supuesto de considerar como sitios de disposición final al centro El Rutal.

En el caso de la PTAP Las Rojas, se considera la disposición final en el Vertedero El Panul, localizado a 34,2 km. Este vertedero recibe el 64% de la basura generada en las localidades de Coquimbo, La Serena y Paihuano con un promedio diaria de 600 ton/día. El eventual traslado de lodos desde la PTAP Las Rojas incrementaría a 668 ton/día la basura recibida por lo que se presume que habría capacidad para recibirla.

Por su parte, la PTAP La Mochita considera la disposición final en el Vertedero ECOBIO localizado a 110 km aproximadamente, lugar que tendría la capacidad para recibir el eventual traslado de lodos desde la PTAP.

Es importante señalar que, aun cuando pueda existir capacidad en el sitio de disposición final, el hecho de disponer los lodos allí se traduce en una reducción de la capacidad disponible para recibir otro tipo de residuos con un mayor potencial contaminante (residuos domiciliarios o industriales, por ejemplo).

Aspecto ambiental #10: Sitio disposición final				
Efecto: Espacio disposición final				
PTAP	Contexto	Puntaje evaluación ambiental		
		Escenario 1:	Escenario 2:	Escenario 3:
Las Vizcachas	Bajo el supuesto de disposición y tratamiento final de lodos a El Rotal, se hace necesario reevaluar un sitio nuevo de disposición final considerando aspectos de capacidad de carga del sitio y logística en el transporte de lodos.	0	1	0,33
Las Rojas	Bajo la eventual disposición y tratamiento final de lodos en el vertedero El Panul, se presume que habría capacidad para recibirlo	0	0,66	N/A
La Mochiña	Respecto a la eventual disposición y tratamiento final de lodos en el Vertedero ECOBIO se presume que este contaría con la capacidad para recibirlo	0	0,66	N/A

Fuente: Elaboración Propia.

6.2.12 Comparación de los escenarios

Finalmente, la Tabla 25 muestra la evaluación de efectos actuales y potenciales para las 3 PTAP seleccionadas en los escenarios bajo análisis.

En esta es posible observar que el mayor puntaje recae en el escenario con planta de tratamiento de lodos, es decir, que los mayores impactos ambientales se manifiestan al considerar la construcción y operación de estas plantas de tratamiento en cada una de las PTAP cuyo fin es permitir el cumplimiento del DS 90.

En el caso de la PTAP Las Vizcachas obtuvo como resultado un mayor puntaje para el escenario 2, con un 61% del impacto respecto de un 100% del total, en



comparación con un 47% de impacto para el Escenario 3 y un 31% de impacto para el Escenario 1. Esto indica que si bien el Escenario 1 posee algún grado de impacto ambiental dadas las actividades actuales que se realizan en la PTAP, es la consideración de la construcción y operación de una planta de tratamiento de lodos lo que generaría los mayores impactos ambientales asociados principalmente a: alteración del valor paisajístico, suelo y planificación territorial, emisiones atmosféricas de material particulado, olores, ruido ambiental y vibraciones, receptores humanos de las emisiones mencionadas, superación de la carga en la infraestructura vial y sitio de tratamiento y disposición final. Estos mismos impactos se manifiestan en menor magnitud en el Escenario 3, debido al menor volumen de lodos a ser tratados, lo que implicaría la construcción de una planta de menor tamaño, resultando en menor alteración del valor paisajístico, menor impacto en el suelo, y principalmente disminución de los viajes necesarios para transportar el lodo hacia el sitio de disposición final lo que conllevaría un menor impacto en emisiones atmosféricas, olores, ruido y vibraciones, así como también una menor carga en la infraestructura vial y menor necesidad de capacidad del sitio de disposición final. Sin embargo, el escenario 3, al descargar lodos de pretratamiento en el cuerpo receptor, conservaría a su vez, aunque en menor magnitud algunos de los efectos del Escenario 1, tales como Afectación a flora y fauna ribereña y afectación de la calidad de agua del cuerpo receptor debido a la turbidez por la descarga con alto parámetro de sólidos suspendidos.

Por su parte, la PTAP Las Rojas obtuvo como resultado un puntaje levemente mayor para el Escenario 2, con un 24% del impacto respecto de un 100% del total, en comparación a un 28% de impacto para el Escenario 1. Esto indica que el Escenario 1 posee un grado de impacto ambiental relativamente bajo, dadas las actividades actuales que se realizan en la PTAP, específicamente en la descarga de lodos tratados al cuerpo receptor afectando la riqueza y abundancia de especies de fauna y flora ribereña, así como afectación a la calidad de agua. Por su parte, el Escenario 2, que considera la construcción y operación de una planta de tratamiento de lodos en un terreno muy cercano a la actual PTAP y de propiedad de la misma empresa, generaría levemente mayores impactos ambientales asociados principalmente a: emisiones atmosféricas de material particulado, olores, ruido ambiental y vibraciones, receptores humanos de las emisiones



mencionadas, asociado principalmente al traslado de los lodos desde la planta al sitio de disposición final.

Por último, la PTAP La Mochita obtuvo como resultado un puntaje mayor en el Escenario 2, con un 30% de impacto respecto de un 100% del total, en comparación a un 20% de impacto para el Escenario 1. Esto indica que el Escenario 1 posee un grado de impacto ambiental bajo, dadas las actividades actuales que se realizan en la PTAP, originada específicamente en la descarga de lodos tratados al cuerpo receptor afectando la riqueza y abundancia de especies de fauna y flora ribereña, así como afectación a la calidad de agua, las que tienen un impacto bajo en el supuesto que dada la magnitud del cauce receptor (Río Biobío) las descargas serían diluidas. Por su parte, el Escenario 2, que considera la construcción y operación de una planta de tratamiento de lodos dentro del predio de la actual PTAP, generaría mayores impactos ambientales asociados principalmente a: emisiones atmosféricas de material particulado, olores, ruido ambiental y vibraciones, receptores humanos de las emisiones mencionadas, carga en la infraestructura vial urbana, asociada principalmente al traslado de los lodos desde la planta al sitio de disposición final.

Tabla 25 Comparación de efectos actuales y potenciales en los distintos escenarios

Componentes ambientales	Criterios evaluados	Pesos	PTAP Las Vizcachas			PTAP Las Rojas		PTAP La Mochita	
			Escenario	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario	Escenario
			1	2	3	1	2	1	2
Flora y fauna	Afectación de riqueza y abundancia de especies de vegetación ribereña	0,11	1	0	0,66	0,66	0	0,66	0
	Afectación de riqueza y abundancia de especies nativas	0,1	1	0	0,66	0,66	0	0,66	0
Hidrología y calidad de agua	Alteración de parámetros fisicoquímicos de aguas superficiales. Sedimentación.	0,1	1	0	0,66	1	0	0,66	0
	Percolación de líquidos a aguas subterráneas	0,05	0	0	0	0	0	0	0,33
	Disminución caudal efluente a cuerpo receptor	0,06	0	1	0,33	0	1	0	1
Paisaje	Alteración del valor paisajístico	0,07	0	0,66	0,33	0	0	0	0
Suelo	Erosión, compactación, alteración de parámetros fisicoquímicos del suelo	0,09	0	1	0,66	0	0	0	0
Aire	Emisiones atmosféricas de Material Particulado	0,08	0	1	0,33	0	0,33	0	0,33
	Emisiones de Ruido ambiental y vibraciones	0,07	0	1	0,66	0	0,66	0	0,66
	Receptores sensibles de ruido y MP	0,05	0	1	0,33	0	0,66	0	0,66
	Emanaciones de olores	0,05	0	1	0,33	0	0,66	0	0,66
	Receptores sensibles olores	0,05	0	1	0,33	0	0,66	0	0,66
Vialidad	Superación de capacidad de carga de la infraestructura vial	0,07	0	1	0,33	0	0,33	0	0,33
Disposición final	Espacio tratamiento y disposición final	0,04	0	1	0,33	0	0,66	0	0,66
Total			0,31	0,60	0,47	0,24	0,28	0,20	0,30
Total %			31%	60%	47%	24%	28%	20%	30%

Fuente: Elaboración propia.



De esta forma, el principal hallazgo del análisis de casos corresponde al resultado de la evaluación de impactos ambientales generales entre escenarios, donde se obtiene que los mayores impactos ambientales se darían si se considera la construcción y operación de una planta de tratamiento de lodos, para las tres PTAP en análisis, en relación con mantener la situación actual sin tratamientos. En los 3 casos analizados la evaluación realizada muestra que las emisiones atmosféricas de material particulado, olores, ruido ambiental y vibraciones, receptores humanos de las emisiones mencionadas, superación de la carga en la infraestructura vial y sitio de tratamiento y disposición final de los lodos son los principales factores que contribuyen en esto. Mientras que los impactos ambientales positivos que se registraron en la evaluación ambiental al considerar un escenario de tratamiento de lodos tienen que ver con la mejora en la calidad de las aguas de los cuerpos receptores de las descargas de las PTAP, lo que trae como consecuencia el mejoramiento de la calidad de hábitat para las especies acuáticas y de ribera que habitan las áreas circundantes y aguas debajo de estas PTAP.

En el caso de PTAP Las Vizcachas la distancia del porcentaje de impacto entre los Escenarios 1 y 2 es más evidente que en el caso de las otras dos PTAP analizadas, lo que se explica principalmente por el gran volumen de lodos generados en la primera respecto de las otras dos. Para las emisiones atmosféricas, ruido y vibraciones, y superación de la carga en la infraestructura vial, se observa que estos criterios se relacionan directamente con el transporte de lodos desde las PTAP, ya que se considera que en dicha planta la producción de lodo generado en la PTAP es alta, lo que conlleva al despliegue de una logística de transporte importante.

Por otra parte, el sitio de tratamiento y disposición final complementa los impactos anteriormente señalados en cuanto a que el sitio El Rutal (considerado en este análisis a modo referencial) dista de la PTAP a unos 90 km, lo que implica el atraveso de 15 comunas de la Región Metropolitana. Esto incrementa los impactos por emisiones atmosféricas y superación de carga de la infraestructura vial dado el gran despliegue a realizar. Adicionalmente, es importante mencionar que el sitio



de pretratamiento considerado para los lodos generados de la PTAP Las Vizcachas debe ser reevaluado dado que la planificación territorial no concuerda con el uso de suelo o actividades que ahí se pueden realizar. En este contexto, la evaluación del escenario 3 para la PTAP Las Vizcachas obtuvo un porcentaje de impacto intermedio entre los escenarios 1 y 2, en el cual la disminución respecto del escenario 2 se explica principalmente por el menor volumen de lodos a tatar, transportar y disponer.

En el caso de las PTAP Las Rojas y La Mochita la evaluación de efectos concluyó que ambos escenarios evaluados generan efectos ambientales relativamente bajos, debido principalmente al menor volumen de lodos generados y a las condiciones de menor turbiedad de los cuerpos receptores. En estos casos, los principales efectos del Escenario 1 se relacionan con la descarga de lodos tratados en cauces superficiales lo que tendría una afectación en la flora y fauna ribereña, así como en la calidad de las aguas. Por su parte, en el Escenario 2 habría mayores efectos potenciales debido a la operación de una planta de tratamiento de lodos con receptores humanos cercanos, así como también debido a las emisiones de material particulado y ruido causadas por el transporte de los lodos desde las plantas de tratamiento hasta los sitios de disposición final. Respecto a este punto, en el caso de la PTAS Las Rojas este trayecto dista de 34 km aproximadamente pasando por las zonas urbanas de La Serena y Coquimbo, mientras que la PTAS La Mochita considera un trayecto de 110 km aprox pasando por la zona urbana de Concepción.

En síntesis, 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 debieran ser ponderados. Estos, 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.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 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_x, SO_x, NH₃, CO, COVs, CO₂) 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 avaló 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.

7.2 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 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.



8. Bibliografía

- Acevedo, O. (2007). Aluminio, un indicador de calidad ambiental en suelo de carga variable. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería. Área Académica de Química. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.
- Aravena, N., Ayala, L., Cavieses, K., Durán, P., Moraga, F., Ossandón, J. (2021). Sector Borde Río Maipo | Puente Alto y Pirque. Instituto de Estudios Urbanos y Territoriales UC, Documentos de Taller IEUT, N° 1.b.
- Asesoría Urbana, (2021). Informe ambiental Evaluación Ambiental Estratégica Modificación N°15 PRC La Florida.
- Briones M. (2018). Efecto de la contaminación y el tipo de cauce sobre la estructura trófica del Río Maipo, usando como modelo a los macroinvertebrados bentónicos y al pejerrey *Basilichthys Microlepidotus* (Jenyns, 1841). Tesis Magister Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.
- Castañeda, O. 1999. Determinación de la toxicidad de los lodos generados por una planta potabilizadora, utilizando bioensayos. México, Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Carrasco-Lagos, P., Moreno, R., Ibarra-Vidal, H., Tala, Ch. (2012). Vertebrados en Peligro de Extinción en la Región del Biobío, Chile. Seremi Medio Ambiente Región del Biobío.
- Cetaqua. (2019). *Estudio de caracterización de lodos y alternativas de disposición y valoración.*
- DGA- MOP (2004) Diagnóstico y Clasificación de los cuerpos de agua y cursos según objetivos de calidad. Cuenca del Río Maipo. CADE-IDEPE
- DGA- MOP (2004) Diagnóstico y Clasificación de los cuerpos de agua y cursos según objetivos de calidad. Cuenca del Río Elqui. CADE-IDEPE



- DGA- MOP (2004) Diagnóstico y Clasificación de los cuerpos de agua y cursos según objetivos de calidad. Cuenca del Río Biobío CADE-IDEPE
- ECOS, 2021, informe para Aguas Andinas. Análisis ambiental de la implementación de un sistema de tratamiento de lodos para el cumplimiento del DS90 en plantas de tratamiento de agua potable: Estudio de caso aplicado a las PTAP La Florida y Vizcachas.
- Escobar, J. (2002). La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar. División de Recursos Naturales e Infraestructura. CEPAL. Santiago de Chile.
- Fernández S. (2015). Tratamiento y disposición de aguas residuales de plantas de tratamiento de agua potable en Chile. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad de Chile.
- Goransson A. and Eldhuset T. D. (1991) Effects of aluminium on growth and nutrient uptake of small *Picea abies* and *Pinus sylvestris* plants. *Trees, structure and function*. TRESEY 5(3), 136–142
- Iwasaki, Y., Kagaya, T., Miyamoto, K. y Matsuda, H. (2009) Effects of heavy metals on riverine benthic macroinvertebrate assemblages with reference to potential food availability for drift-feeding fishes. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 28: 354- 363.
- Lawrence, A. y Hemingway, K. (2003) Molecular/cellular processes and the physiological response to pollution. En: Lawrence, A. y Hemingway, K. (ed.) *Effects of pollution on fish: Molecular effects and population responses*. pp.83-117. Blackwell Science.



- Lillo, Molina y Jaque (2018) Emergencias en los servicios sanitarios chilenos. Análisis técnico-regulatorio a la luz de los eventos de turbiedad extrema. Revista de derecho Administrativo Económico. Nº 27pp 167-193
- Martínez M. 2012. Estudio para el tratamiento, manejo y disposición final para lodos generados en plantas de tratamiento de agua potable. Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero ambiental. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.
- Matamoros, J. 2005. Sistemas de Tratamiento de Lodos en Plantas de Agua Potable. Memoria para optar al Título de Ingeniero Civil. Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Chile.
- Mortula M., Bard S., Walsh M., Gagnon G. Revista Canadiense de Ingeniería Civil. Volumen 36, Número 1, Enero de 2009, Páginas: 127 - 136, Páginas: 670 - 678
- Muñoz, B. (2007) Cambios en la riqueza íctica del río Maipo. Tesis Biología con Mención en Medio Ambiente, Facultad de Ciencias, Universidad de Chile.
- Pliscoff, P. (2020). Análisis del estado actual de los ecosistemas terrestres, asociados a dos cuencas en Chile Central: Maipo y Maule. Estudio realizado para Escenarios Hídricos 2030.
- Rodríguez J. (2013). Propuesta metodológica para tratamiento de lodos provenientes de plantas de potabilización en la Sabana de Bogotá (Estudio de caso Madrid, Cundinamarca). Facultad de Ingeniería. Universidad Libre. Bogotá, Colombia.
- Saaty, T. (1980). *The Analytic Hierarchy Process*. Nueva York: McGraw-Hill.
- Schwarz, N., Moretti, M., Bugalho, M., Davies, Z., Haase, D., Hack, J., Hof, A., Melero, Y., Pett, T. & Knapp, S. (2017). Understanding biodiversity-ecosystem service relationships in urban areas: A comprehensive literature review. *Ecosystem Services*, 27, 161–171. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.08.014>



Schwartz, J., D. W. Dockery, and L. M. Neas. 1996. Is daily mortality associated specifically with fine particles? *J. Air Waste Manage. Assoc.* 46: 927-939.

Sotero-Santos R. B., et al., 2005. "Evaluation of water treatment sludges toxicity using the Daphnia bioassay", *Water Research*, vol. 39, n.º 16, pp. 3909-3917

Taylor G. J. (1989) Aluminum Toxicity and Tolerance in Plants. *Acidic Precipitation: Biological and Ecological Effects*. In *Advances in Environmental Science*, Adriano, D.C. and Johnson, A.H. (eds.)

Servicio de Evaluación Ambiental, Chile. Guía: Criterio de Evaluación en el SEIA: Contenidos Técnicos para la Evaluación Ambiental del Recurso Hídrico. 2022. https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/imce/archivos/2022/09/21/05_dt_recurso_hidrico.pdf

https://www.waterboards.ca.gov/water_issues/programs/npdes/docs/drinkingwater/final_statewide_wqo2014_0194_dwaq.pdf

Martínez M. 2012. Estudio para el tratamiento, manejo y disposición final para lodos generados en plantas de tratamiento de agua potable. Proyecto previo a la obtención del título de ingeniero ambiental. Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Politécnica Nacional, Ecuador.



9. Anexos

Anexo 1. Estimación de emisiones