DECLARACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL
"PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS PUERTO MONTT"
REGIÓN DE LOS LAGOS

ASN-01-23-H-RP-0001

ESTUDIO CALIDAD DEL AGUA

Para

AGUAS SANTIAGO NORTE S.A.

Preparado por

DSS S.A.

Jefe Proyecto	Katherine Chamblas Merino
Jefe de Área	Pablo Quintana Lacoste
Gerente Medio Ambiente	Sebastián Elgueta Alarcón
Gerente General	Pablo Zenteno Hidalgo

Rev.	por	Emitido para	Fecha	Revisado por	Aprobado por
A	EPG	Coordinación interna	27.11.2024	ECC	SEA
B	EPG	Entrega a titular	27.11.2024	ECC	SEA
C	ECC	Entrega a titular	27.11.2024	ECC	SEA
D	ECC	Entrega a titular	27.11.2024	ECC	SEA
E	OMC	Revisión Titular	06.05.2026	KCM	PQL
F	OMC	Revisión Titular	27.05.2026	KCM	PQL
G	KCM	Ingreso Adenda	15.10.2026	PQL	PQL

Índice de Contenidos

1. INTRODUCCIÓN 5

2. OBJETIVOS 6

3. METODOLOGÍA 7

3.1. METODOLOGÍA CATASTRO DE USOS 7

3.2. METODOLOGÍA ESTUDIO HIDROLÓGICO 7

3.3. METODOLOGÍA MODELACIÓN HIDRÁULICA 11

3.3.1 Variables y Condiciones de Borde 11

3.4. METODOLOGÍA MODELACIÓN Calidad del Agua 12

3.4.1 Balance de Masas 12

3.4.2 Modelación Numérica 12

4. ANTECEDENTES GENERALES 14

4.1. Ubicación del proyecto 14

4.2. Catastro usos y costumbres del cuerpo receptor 15

5. ESTUDIO HIDROLÓGICO 17

5.1. Delimitación cuenca de interés 17

5.2. Resultados balance hídrico método Thorntwaite and Mather 18

5.3. Cambio climático 20

5.4. Caudal efluente y escenarios de modelación 23

6. ESTUDIO HIDRÁULICO 23

6.1. Condiciones de borde 23

6.2. Efluente planta de tratamiento de aguas servidas 26

6.3. Resultados Modelación Hidráulica 26

7. ESTUDIO DE CALIDAD DE AGUA 32

7.1. Caracterización hidroquímica del cuerpo receptor 32

7.1.1 Identificación de Outliers 37

7.1.2 Definición Línea Base 38

7.2. Caracterización hidroquímica del efluente 39

7.3. Escenarios evaluados 40
7.4. Normativa aplicable 40
7.5. Balance de masa 41
7.5.1 Resultados Balance de Masa 42
7.5.2 Análisis normativo en escenario de Cambio Climático 44
7.6. Modelo numérico 45
7.6.1 Gráficos consolidados de resultados 45
8. ÁREA DE INFLUENCIA 55
9. CONCLUSIONES 57

Índice de Figuras

Figura 3-1. Capacidad de almacenar agua de suelos 9
Figura 3-2. Profundidad efectiva de raíces 9
Figura 4-1. PTAS Puerto Montt y Punto de Descarga 14
Figura 4-2. Derechos de Agua – Cercanos a Descarga 15
Figura 4-3. Captación de Agua Potable Rural – Cercanos a Descarga 16
Figura 5-1. Cuencas delimitadas y punto de descarga. 18
Figura 5-2. Sectorización de proyecciones en precipitación. 21
Figura 6-1. Condiciones del Río Arenas 24
Figura 6-2. Perfiles Modelo Hidráulico. 27
Figura 6-3. Representación tridimensional de la Modelación Hidráulica CP 28
Figura 6-4. Gráfico Número de Froude. 29
Figura 6-5. Gráfico velocidad media. 30
Figura 6-6. Eje hidráulico longitudinal. 31
Figura 7-1. Puntos de Muestreo 33
Figura 7-2. Análisis de Outliers mediante Método de Boxplot. 38
Figura 7-3. Distribución de Concentraciones Nitrógeno Total 46
Figura 7-4. Regresión lineal Nitrógeno Total – escenario estiaje 47
Figura 7-5. Distribución de Concentraciones DBO5 48
Figura 7-6. Regresión lineal DBO_5 – escenario estiaje 49
Figura 7-7. Distribución de Concentraciones de Fósforo Total 50
Figura 7-8. Regresión lineal Fósforo Total – escenario estiaje 51
Figura 7-9. Distribución de Concentraciones de Coliformes Fecales 51

Figura 7-10. Distribución de Concentraciones de SST 52
Figura 7-11. Distribución de Concentraciones de Oxígeno Disuelto 53
Figura 8-1. Zona de Influencia. 56

Índice de Tablas

Tabla 4-1. Coordenadas UTM Referidas al Datum WGS84 Huso 18S del punto de Descarga 14
Tabla 5-1. Coordenadas de Estación Meteorológica Puerto Montt (WGS84 Huso 18S). 18
Tabla 5-2. Precipitaciones Medias Mensuales Estación Meteorológica "Puerto Montt" 19
Tabla 5-3. Caudales Medios Mensuales Río Arenas 20
Tabla 5-4. Valores de cambio esperado de precipitación según sector respecto al "histórico". 22
Tabla 5-5. Caudales Medios Mensuales Con Efecto de Cambio Climático 22
Tabla 5-6. Escenarios de Modelación Hidráulica y Calidad de Agua 23
Tabla 6-1. Coeficientes de Rugosidad de Manning según Método de Cowan 25
Tabla 6-2. Resumen condiciones ingresadas a HEC-RAS. 26
Tabla 6-3. Caudales Modelación Hec-Ras 28
Tabla 7-1. Campañas de muestreo Río Arenas (2023 – 2024) 33
Tabla 7-2. Resultados Muestreo Campaña Invierno 2023 34
Tabla 7-3. Resultados Muestreo Campaña Primavera 2023 34
Tabla 7-4. Resultados Muestreo Campaña Verano 2024 35
Tabla 7-5. Resultados Muestreo Campaña Primavera 2024 35
Tabla 7-6. Resultados Muestreo Campaña Verano 2026 36
Tabla 7-7. Definición Línea Base del Río Arenas 38
Tabla 7-8. Características efluente utilizado en la modelación de calidad del agua 40
Tabla 7-9. Regulación normativa de calidad de aguas 41
Tabla 7-10. Concentraciones Balance de Masa Escenario Invierno 42
Tabla 7-11. Concentraciones Balance de Masa Escenario Estiaje 43
Tabla 7-12. Comparación resultados y normativa vigente Chile 44
Tabla 7-13. Tabla de Concentraciones de cada Parámetro (Input Modelo Calidad de Agua) 45

1. INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde al Estudio de Calidad Hidroquímica del agua del Río Arenas y conforma parte del análisis de la componente agua de la Declaración de Impacto Ambiental denominada "Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Puerto Montt" (referida como PTAS Puerto Montt en adelante) desarrollada por Aguas Santiago Norte S.A., ubicada en la comuna de Puerto Montt, provincia de Llanquihue, Región de los Lagos.

Es preciso señalar que el presente proyecto se enmarca en la modalidad de un proyecto nuevo, que contará con la descarga de un Caudal Máximo Horario proyectado, al fin del periodo de previsión, de 41,33 lt/s hacia el Río Arenas, cuyas coordenadas se presentarán más adelante.

Para desarrollar el presente estudio se ejecutó una visita en terreno donde se realizó el catastro de usos y actividades de la comunidad local que se relaciona directamente con las aguas del río Arenas, también se revisó bibliografía de la zona para identificar los usos formales, incluyendo derechos de agua, proyectos presentados en el Sistema de Evaluación Ambiental, al igual que la información hidrométrica de la zona. En forma posterior se desarrolla el Estudio Hidrológico e Hidráulico los cuales se presentan en el presente documento. De igual modo se efectuaron cuatro campañas de terreno (ejecutadas en Septiembre 2023, Noviembre 2023, Febrero 2024, Octubre 2024 y Marzo 2026) orientadas a monitorear y caracterizar la calidad de las aguas del río Arenas.

2. OBJETIVOS

El objetivo general consiste en evaluar y estimar el posible efecto producido por la descarga de la PTAS emitido en el efluente líquido tratado desde la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) Puerto Montt. Para esto, se evaluará la respuesta del medio hídrico en términos de concentraciones de compuestos típicos de la industria sanitaria, estableciendo una línea base con la condición de descarga proyectada de acuerdo con la información descrita.

Cabe señalar que la situación proyectada consiste en descargar en cumplimiento de la Tabla 3 del D.S. N°90/2000.

Para alcanzar el objetivo general, se determinaron los siguientes objetivos específicos:

- Recopilar y/o generar la información necesaria para caracterizar la calidad hidroquímica del cauce receptor y determinar su línea base.
- Caracterizar el caudal y características hidroquímicas del efluente emitido desde la PTAS.
- Caracterizar la concentración proyectada en el cauce receptor para distintos escenarios hidrológicos (Estival e Invernal).
- Evaluar los resultados obtenidos en contraste a normativa aplicable (Tabla 3 del D.S. 90 para el efluente y la Tabla 4 de Nch la 1333 para el cuerpo receptor), línea base química del río y guías referenciales para determinar grado de afectación sobre el cauce receptor.
- Evaluar las concentraciones obtenidas frente a los efectos del cambio climático.

3. METODOLOGÍA

Durante el presente estudio se desarrollaron diferentes actividades, las cuales se desglosan a continuación en cada capítulo y que permitieron recopilar los antecedentes necesarios para la modelación de calidad del agua y así cumplir con los objetivos planteados.

A partir de lo anterior se detalla a continuación la Metodología de Trabajo.

3.1. METODOLOGÍA CATASTRO DE USOS

Se realizó una campaña de terreno durante el 25 y 26 de marzo de 2026 donde se llevó cabo un catastro para observar las principales componentes que involucran la modelación hidráulica y de calidad del agua, las cuales corresponden a: planicie de inundación, riberas, cauce y formas del río, como también identificar las singularidades y/o actividades que pudieran tener influencia en los resultados de las modelaciones.

3.2. METODOLOGÍA ESTUDIO HIDROLÓGICO

Para el desarrollo del estudio Hidrológico y con ello definir los caudales que circulan por el Río Arenas, se utilizó un Balance Hídrico, lo anterior debido a que, el cauce no presenta estaciones Fluviométricas, es por ello que se emplea la ecuación de balance hídrico de Thornthwaite-Mather que utiliza la capacidad de humedad del suelo para estimar los balances hídricos. El método de balance hídrico es ampliamente utilizado en las estimaciones hidrológicas y ha sido utilizado en estudios desarrollados para la DGA como son: "LEVANTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO EN CUENCAS PLUVIALES COSTERAS EN LA REGION DEL LIBERTADOR GENERAL BERNARDO O'HIGGINS, DEL MAULE Y DEL BIO-BIO, ETAPA 2" desarrollado por AQUALOGY S.A, 2014; y "ACTUALIZACIÓN DE LA MODELACIÓN HIDROGEOLÓGICA E INTEGRADA DE LOS ACUÍFEROS DE LA CUENCA DEL ESTERO CASABLANCA" desarrollado por RIZZO S.A, 2015. Así mismo, este método está recogido en la "GUÍA METODOLÓGICA PARA LA ELABORACIÓN DEL BALANCE HÍDRICO DE AMÉRICA DEL SUR" de la UNESCO 1982.

Los parámetros necesarios para utilizar este método incluyen:

- Diferencia entre precipitación y evapotranspiración potencial (*P-PE*)
- Pérdida potencial de agua acumulada (*APWL*)
- Capacidad de agua disponible (*AWC*)
- Diferencia entre el almacenamiento de humedad del suelo (*ΔEST*) entre meses $_{i}$ y mes $_{o+1}$.
- Evapotranspiración real (*AE*)
- Déficit y acumulación del presupuesto hídrico (DEF/SUR)
- Estimación de escorrentía (R)

P-PE: El primer parámetro (P) hace referencia a la precipitación, la cual, es obtenida a través de la plataforma de la DGA, adquiriendo las precipitaciones mensuales de todos los años disponibles de la estación meteorológica "Puerto Montt".

Ahora, para el cálculo de la evapotranspiración potencial (PE), se utilizará la siguiente fórmula.

$$PE = PE' * \left(\frac{d}{12}\right) * \left(\frac{N}{30}\right)$$

Donde:

$$PE' = 16 * (10 * \frac{T}{I})^{a}$$

$$i = (\frac{t}{5})^{1.514}$$

$$I = \sum_{1}^{12} \quad i$$

$$a = 67.5 * 10^{-8} * I^3 - 77.1 * 10^{-6} * I^2 + 0.01791 * I + 0.492$$

d=Horas de luz solar.

N=Cantidad de días en cada mes.

T°=Temperatura media mensual

Cuando la diferencia entre ambos valores da un resultado negativo, significa que existe un potencial déficit hídrico, denominándose así, "mes seco", por lo que debe tener en cuenta una pérdida potencial de agua acumulada (APWL), en caso contrario, nos referimos a un potencial excedente de agua, denominándose como un "mes húmedo".

APWL: En este punto tenemos dos condiciones, la primera cuando la diferencia entre (P-PE), es mayor a cero y cuando no lo es. En el primer caso, debemos considerar este valor como 0, ya que, el almacenamiento de humedad del suelo se suministró mediante infiltración, en caso contrario, se deberá considerar como la suma de secuencial mensual de los valores negativos, ya que, el almacenamiento de la humedad del suelo se redujo debido a la evapotranspiración.

AWC: Thornthwaite y Mather han sugerido el método de determinación de la capacidad de agua disponible (*AWC)* a través de valores considerando el uso de la tierra, los tipos de textura del suelo y la profundidad de las raíces proporcionando una tabla (Figura 3-1) de capacidad de almacenar agua (WHC).

A Guide to Available Water Storage Capacities of Soils			
Textural Class	**Available Water Storage Capacity (AWSC)**		
	(in. water / in. soil)	(in. water / ft. soil)	(mm water / m soil)
Clay	0.21	2.5	200
Clay Loam	0.21	2.5	200
Silt loam	0.21	2.5	208
Clay loam	0.20	2.4	200
Loam	0.18	2.1	175
Fine sandy loam	0.14	1.7	142
Sandy loam	0.12	1.5	125
Loamy sand	0.10	1.2	100
Sand	0.08	1.0	83

Figura 3-1. Capacidad de almacenar agua de suelos
Fuente. Ministry of agriculture, British Columbia

Para hallar la profundidad del enraizamiento del cultivo, nos guiamos por imágenes obtenidas del terreno y lo comparamos con la siguiente tabla (Figura 3-2)

Effective Rooting Depth of Mature Crops for Irrigation System Design			
Shallow 0.45 m (1.5 feet)	**Medium Shallow** 0.60 m (2 feet)	**Medium Deep** 0.90 m (3 feet)	**Deep** 1.20 m (4 feet)
Cabbages	Beans	Brussels Sprouts	Asparagus
Cauliflower	Beets	Corn (sweet)	Blackberries
Cucumbers	Blueberries	Eggplant	Grapes
Lettuce	Broccoli	Kiwifruit	Loganberries
Onions	Carrots	Peppers	Raspberries
Radishes	Celery	Squash	Sugar Beets
Turnips	Potatoes	Saskatoons	
	Peas		
	Strawberries		
	Tomatoes		
	Tree Fruits (spacing 1m x 3m)	Tree Fruits (spacing 2m x 4m)	Tree Fruits (spacing 4m x 6m)

Figura 3-2. Profundidad efectiva de raíces
Fuente. Ministry of agriculture, British Columbia

ΔEST: El término humedad del suelo representa la cantidad de agua almacenada en el suelo. Si el valor de P-PE es positivo, entonces el valor de almacenamiento de humedad del suelo es el mismo que el *AWC*. Por otra parte, si el valor de P-PE es negativo, entonces el almacenamiento de humedad del suelo se calcula mediante la ecuación:

$$ST = AWC * e^{APWL/AWC}$$

La diferencia en la humedad del suelo entre meses (*ΔEST*) entonces se puede calcular mediante la ecuación siguiente para valor positivo de (*ΔEST)* significa que hay suficiente agua para agregar al almacenamiento de humedad del suelo, mientras que el valor negativo implica que se elimina agua del almacenamiento.

Ahora la diferencia en la humedad del suelo entre meses (ΔEST), se puede calcular de la siguiente manera:

$$\Delta ST_i = ST_i - ST_{i-1}$$

Un valor positivo ΔST significa que hay suficiente agua para agregar al almacenamiento de la humedad del suelo, mientras que un valor negativo implica que el agua se elimina del almacenamiento debido a la evapotranspiración.

AE: La diferencia entre la evapotranspiración real (*AE*) y evapotranspiración potencial (*PE*) está en su relación con el almacenamiento de humedad del suelo. El *PE* cuenta la remoción de agua de las superficies terrestres solo por el potencial atmosférico (calor), mientras que el *AE* cuenta los cambios en el almacenamiento de humedad del suelo en la superficie terrestre. Cuando la precipitación (*P*) es mayor que el *PE*, significa que el almacenamiento de humedad del suelo aún está saturado por el exceso de precipitación. Por lo tanto, la *AE* es igual al *P,* porque no hay cambios en el almacenamiento de humedad del suelo.

$$P>PE \rightarrow AE=PE$$

$$P<PE \rightarrow AE=P-\Delta ST$$

DEF/SUR: Déficit de humedad del suelo expresado como la diferencia entre la evapotranspiración real y la evapotranspiración potencial. Cuando la humedad del suelo alcanza la capacidad máxima de humedad del suelo, que es *AWC*, cualquier exceso de precipitación se convierte en acumulación, por lo que la acumulación es igual a *P-PE.*

$$DEF = PE - AE$$

$$SUR = P - PE$$

R: Thornthwaite y Mather sugieren que sólo el 50 por ciento del excedente de agua en las grandes cuencas se convertirá en escorrentía en cualquier mes. Se supone que el 50% restante estará detenido y pasará a la segunda vuelta durante el próximo mes.

En el cálculo de este procedimiento, generaremos una tabla con fila desde enero a diciembre y columna desde diciembre a noviembre, donde la primera etapa consiste en dividir por la mitad del plusvalor en diciembre en la primera fila de la última columna, seguido de dividir la mitad en el mes siguiente (primera fila, primera columna). EL superávit de enero es dividido a la mitad en la segunda fila de la primera columna y así sucesivamente durante los demás meses. Luego, el resultado R se obtuvo de la siguiente manera:

$$R = 50\% * R \ + 50\% * R_{j+1}$$

Finalmente, podemos obtener los caudales medios mensuales a través del parámetro R y el área de la cuenca, realizando los cambios de unidades que sean pertinentes.

$$Q = R * A \ [m^3/s]$$

3.3. METODOLOGÍA MODELACIÓN HIDRÁULICA

La altura de escurrimiento en una sección transversal de un cauce puede ser determinada por la medición directa en terreno o bien a través de técnicas hidráulicas clásicas, que consideran, entre otros aspectos, las condiciones físicas del entorno, caudal, forma y características del cauce.

La caracterización hidráulica del flujo se realiza a través de la modelación del cauce con el software HEC-RAS (Hydraulic Engineering Center – River Analysis System) en su versión 6.2 HEC-RAS fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, US Corp of Engineers (http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/).

Al incluir el cálculo de pérdidas de carga singulares derivadas de las contracciones y expansiones del cauce, HEC-RAS permite considerar alteraciones locales a lo largo de todo el tramo en estudio. El nivel de aguas se determinó a partir del eje hidráulico, el cual se calculó considerando escurrimiento gradualmente variado en el sector de estudio. Los coeficientes de rugosidad para cada tramo del lecho se estimaron mediante el método de Cowan.

3.3.1 Variables y Condiciones de Borde

La modelación HEC-RAS del cauce requiere la caracterización de los perfiles transversales, el coeficiente de rugosidad de Manning, condición de borde y los caudales a simular. Con estas entradas HEC-RAS es capaz de simular las condiciones de flujo en el cauce deseado, entregando resultados tales como velocidad, alturas de escurrimiento, número de Froude, etc.

Si bien una de las hipótesis básicas en HEC-RAS es la unidimensionalidad del flujo, es posible representar la sección transversal caracterizándola según las planicies de inundación derecha (right over bank) e izquierda (left over bank), separadas ambas por el cauce principal (main channel). Así, cada una de dichas partes debe ser caracterizada con su valor del coeficiente de Manning y su distancia a la sección inmediatamente aguas abajo. Además, es posible obtener una aproximación unidireccional de la distribución de velocidad en el perfil transversal (análisis cuasi-bidimensional).

3.4. METODOLOGÍA MODELACIÓN CALIDAD DEL AGUA

Para el desarrollo del estudio asociado a Calidad de Aguas, se desarrollaron 2 metodologías diferentes, la primera correspondiente a un Balance de masas y en forma posterior se realizó una modelación Numérica a partir del Software Hec-ras. A continuación, se detalla.

3.4.1 Balance de Masas

Para los compuestos conservativos se aplicó un balance de masa según la ecuación:

$$C_3 = \frac{C_1 * Q_1 + C_2 * Q_2}{Q_1 + Q_2}$$

En el balance de masa, C_3 corresponde a la concentración aguas abajo de la descarga, C_1 es la concentración del cauce receptor aguas arriba de la descarga, C_2 es la concentración del compuesto analizado en el efluente tratado, Q_1 es el caudal del cauce receptor antes de la descarga, y Q_2 es el caudal del efluente tratado.

El resultado obtenido corresponde a la mezcla instantánea siendo, la concentración máxima esperada una vez que la mezcla del cauce con el efluente se realiza en su totalidad, al considerar un sistema lótico.

3.4.2 Modelación Numérica

Para estimar la variación de la concentración de los compuestos no conservativos en el sentido longitudinal del río se solucionó la ecuación de Advección-Reacción implementando el software HEC-RAS versión 6.2 en su módulo de Calidad de Agua. Este corresponde a un sistema de balances de masa dinámico para modelar el destino y transporte de compuestos en aguas superficiales.

Las ecuaciones de transporte consideradas en HEC-RAS están basadas en el principio de la conservación de masa pues se rastrea cada constituyente desde el punto de entrada espacial y temporal a su punto final de salida, conservando la masa en el espacio y el tiempo.

Estos datos de entrada, en conjunto con las ecuaciones de balance de masas generales y las ecuaciones específicas químicas cinéticas, definen un set especial de ecuaciones de calidad de agua. Estas son integradas numéricamente por HEC-RAS a medida que avanza la simulación.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(U_x C) - \frac{\partial}{\partial y}(U_y C) - \frac{\partial}{\partial z}(U_z C) + \frac{\partial}{\partial x}\left(E_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(E_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(E_z \frac{\partial C}{\partial z}\right) + S_k$$

- $\frac{\partial C}{\partial t}$: $Acumulación$
- $-\left(\frac{\partial}{\partial x}(U_x C) + \frac{\partial}{\partial y}(U_y C) + \frac{\partial}{\partial z}(U_z C)\right)$: $Transporte\ Convectivo$
- $\left(\frac{\partial}{\partial x}\left(E_x \frac{\partial C}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(E_y \frac{\partial C}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(E_z \frac{\partial C}{\partial z}\right)\right)$: $Transporte\ Dispersivo$
- S_k : $Términos\ Fuente\ (+)\ ó\ Sumidero\ (-)$

Donde, C es la concentración del compuesto en 'mg/L', t es el tiempo en 'dias', $U_{x,y,z}$ velocidad convectiva longitudinal, lateral y vertical 'm/día', $E_{x,y,z}$ coeficiente de difusión longitudinal, lateral y vertical 'm^2/dia', S_K términos fuente-sumidero.

Para el modelo físico se asume un esquema unidimensional dividido en volúmenes finitos heterogéneos, considerando uniforme la concentración de constituyentes en la sección transversal (flujo pistón).

4. ANTECEDENTES GENERALES

4.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO

La Figura 4-1, presenta la ubicación de la zona del proyecto en la comuna de Puerto Montt, Provincia de Llanquihue, Región de los Lagos.

Además, en la Tabla 4-1 se señalan las coordenadas del punto de descarga de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas en el Río Arenas respecto al Datum WGS84 Huso 18S.

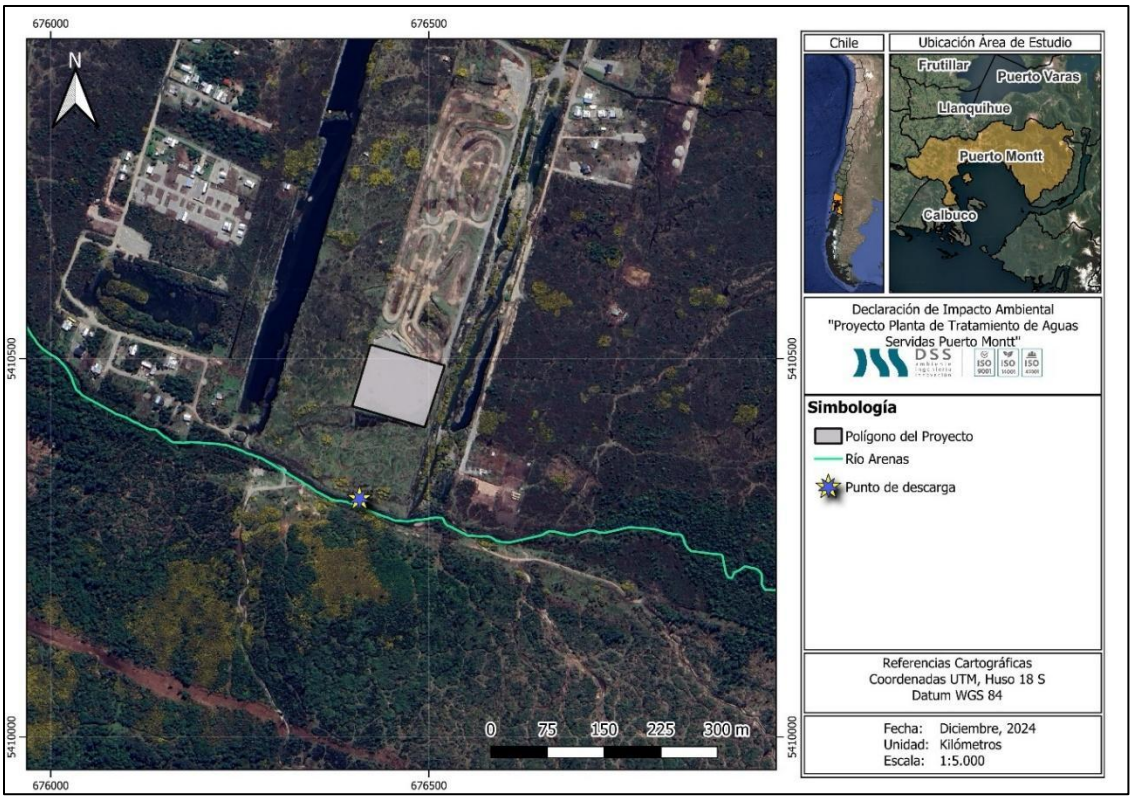


Figura 4-1. PTAS Puerto Montt y Punto de Descarga
Fuente: DSS S.A.

Tabla 4-1. Coordenadas UTM Referidas al Datum WGS84 Huso 18S del punto de Descarga

Descripción	Este (m)	Norte (m)
Punto de descarga	676.408,147	5.410.314,971

Fuente: DSS S.A.

4.2. Catastro usos y costumbres del cuerpo receptor

i) Costumbres observadas en la zona de proyecto:

Durante el mes de septiembre 2023 se realizó una visita a terreno en la zona de proyecto en donde se identificaron usos puntuales y de carácter informal, entre los que destacan actividades domésticas básicas (lavado de ropa y loza), uso ocasional para baño y recreación durante la temporada estival, así como su utilización como fuente de agua para animales. Estas prácticas se caracterizan por su baja frecuencia, carácter esporádico y, en algunos casos, estacional, no configurando un uso intensivo ni sistemático del recurso.

En relación con el consumo humano, se concluye que este no constituye un uso generalizado del río, lo cual se explica principalmente por la presencia de sistemas formales de abastecimiento de agua potable rural (APR) en el sector.

Adicionalmente y para complementar lo observado en terreno se revisaron los derechos de agua concedidos por la DGA cercanos al punto de descarga, a través del observatorio georreferenciado (snia.mop.gob.cl/observatorio, 26/05/2026).

Para los derechos de concedidos de aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas, se determinó que el punto de captación más cercano al punto de la descarga se encuentra a 1,7 km al norte tal como se puede ver en la siguiente Figura 4-2.

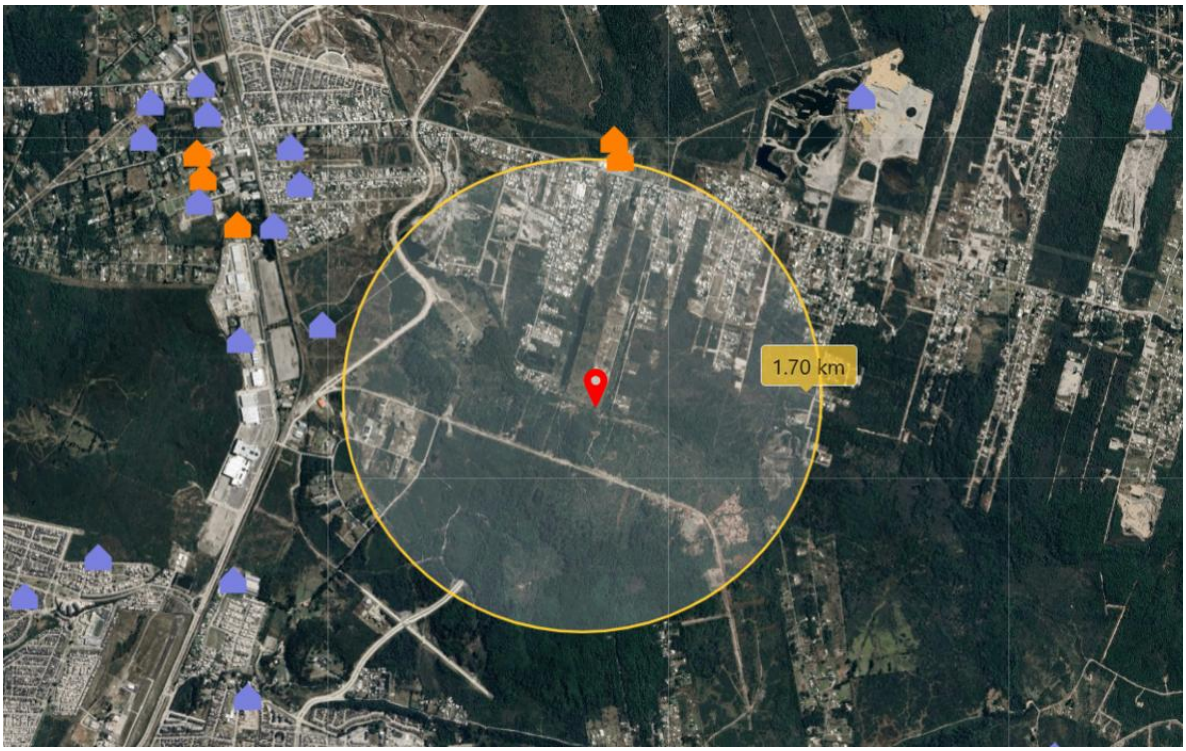


Figura 4-2. Derechos de Agua – Cercanos a Descarga
Fuente: DGA

También se estudiaron los puntos de captación de agua potable rural cercanas a la PTAS, encontrado que el punto más cerca al proyecto se encuentra aguas arriba de la PTAS, a 5.24 km de distancia (Figura 4-3).



Figura 4-3. Captación de Agua Potable Rural – Cercanos a Descarga
Fuente: DGA

5. ESTUDIO HIDROLÓGICO

El río Arenas forma parte de la Subcuenca del río Maullín. Nace al Noreste de la ciudad de Puerto Montt, cercano a la Laguna Escondida en la región de Los Lagos, desde allí inicia su recorrido por aproximadamente 15 km hasta desaguar en el Río Negro quien a su vez aporta al Río Maullín 6 km aguas abajo.

Para la determinación de caudales medios mensuales en el Río Arenas se desarrolló un análisis Hidrológico, utilizando la metodología asociada a un Balance Hídrico junto con el área aportante al punto de proyecto, lo anterior debido a que, el rio Arenas no cuenta con una estación fluviométrica vigente ni con datos suficientes para estimar estadísticamente las magnitudes de los caudales y que a la fecha no existe un método oficial de la DGA para la determinación de Caudales Medios Mensuales.

Para la recopilación de antecedentes meteorológicos se utilizó la estación "Puerto Montt" que cuenta con datos de precipitaciones mensuales desde el año 1977. Dicha estación forma parte de la red hidrométrica de la Dirección General de Aguas (DGA) que mantiene una plataforma online desde donde se obtuvo la información de los registros indicados.

5.1. Delimitación cuenca de interés

Para determinar las superficies de la cuenca se utiliza el software QGIS para lo cual, se descargó un modelo de elevación digital (DEM) correspondiente a la zona de interés, desde la plataforma Hydrosheds (https://www.hydrosheds.org/) que derivan den dataset SRTM, y su resolución espacial es de 3arc-seconds (3s) que se traduce en un tamaño de pixel de 90 m. Por otro lado, esta fuente aplica para procesamiento hidrológico (relleno de depresiones, ajuste de drenaje) por lo que se encuentra condicionado para análisis hidrológico.

Posteriormente, se trabajó con dicho DEM a través del software de procesamiento de información geográfica para delimitar la cuenca asociada al punto de interés, y se verificó con la carta IGM y con Google Earth para que sea representativa de la longitud del río Arenas.

La cuenca de la Figura 5-1 corresponde a la que aporta caudal al punto de interés (PTAS), la cual tiene una superficie aportante de 3,98 km^2.

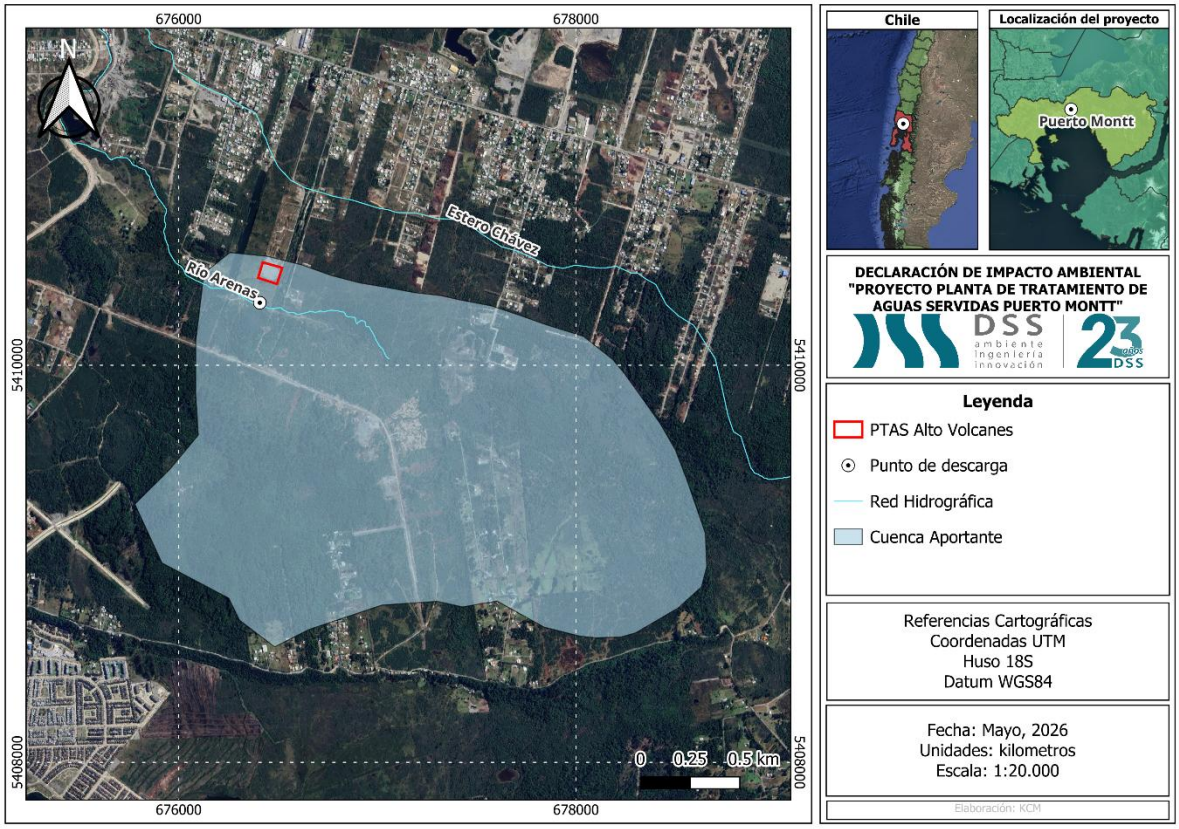


Figura 5-1. Cuencas delimitadas y punto de descarga.
Fuente: DSS S.A.

5.2. Resultados balance hídrico método Thorntwaite and Mather

Como se ha mencionado para el desarrollo del estudio hidrológico se ha generado un Balance Hídrico mediante el método de Thorntwaite and Mather.

A continuación, se presentan las coordenadas de la estación utilizada, con su respectivo Huso y Datum, además de la serie de datos de precipitaciones mensuales de la Estación Puerto Montt utilizada para el cálculo de caudales mediante Balance Hídrico. Cabe destacar que a la fecha de diciembre 2024 la estación cuenta con datos hasta el 2022, según la página oficial de la DGA.

Tabla 5-1. Coordenadas de Estación Meteorológica Puerto Montt (WGS84 Huso 18S).

Nombre	Norte (m)	Este (m)
Puerto Montt	5.407.833	671.522

Fuente: DSS S.A.

Tabla 5-2. Precipitaciones Medias Mensuales Estación Meteorológica "Puerto Montt"

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1977	144	150	72	254,5	252	309	397,5	189,5	206	293	207	6
1978	-	126	128	42,5	369	193	512,5	207	182	210,5	90,5	25
1979	8	37	45	117	475	204,5	208	339	172	186	58	42
1980	27	198	174,5	176	417	273	241	247	153	44	157	102
1981	175	46	128,8	138,5	478	295,5	240	194	210	84	62,5	123,5
1982	92	109,5	59,5	57,5	446	267	228,5	-	128	-	125,5	12,5
1983	86	40	108,7	169	164	175	164,4	175	189	157	46	33
1984	109	199	37	102	147	244,5	279	35	141	255	32	65
1985	97	146,5	87,8	211	368	239,5	216,4	154,5	145,5	91	115	73
1986	106	122,1	200,5	227,4	265,5	232,5	187,6	150,2	117,6	115,9	157,9	45,1
1987	33,1	54	101,6	158,3	138,1	147,2	299,8	186,5	200,7	129,8	68,3	78,1
1988	90,7	23,6	102	104,8	104,3	211,7	73,5	206,5	109,5	146,2	54,9	110
1989	115	82	139,8	170	66,1	156	205,7	291,7	116,9	82,8	90,2	158
1990	59,3	54,5	111,9	225,7	250,2	238,5	164,2	154,1	221,6	160,9	103,4	118,6
1991	114,5	60,9	101,2	174,7	237,5	138	196,6	189,2	190,6	109,1	102,7	157,2
1992	15,9	276,6	141,7	212,9	199,6	201,4	110,5	121,4	184,6	284,8	67,4	139,7
1993	62,7	54,3	169,9	238,1	235,7	239,5	200,2	85	55,8	108,4	152,9	85
1994	87,8	45	63	189,6	310	305,2	196,1	191,3	185	179	153,7	176,2
1995	115,8	44,7	45,9	192,8	216,7	377,6	-	188,2	103,4	109,2	63,6	13,8
1996	78,6	95	156	156,6	196,1	89,4	121,2	205,4	117,7	144,3	171,4	93,5
1997	240,2	69,3	31,9	302,6	114,5	433,3	386,9	172,3	180,9	202,5	139,5	103,9
1998	56,4	10,6	105,4	97,4	164,2	123,5	161,7	250,8	96,6	58,5	71,2	83,1
1999	62	67,1	132,2	70,5	227,4	291,5	218,7	297,7	178,9	61,9	84,1	117,7
2000	80,2	174	120,8	130,7	106,8	513,5	287,4	153,2	119,2	202	178	86,4
2001	298,4	83,8	174,6	90,6	292,7	213,8	324,1	223,2	102,4	79,8	136,8	36,5
2002	82,9	115,1	152,9	173	442,8	266,9	208,1	239,6	219,6	335,1	245,7	116,3
2003	111,6	67,8	90	114,2	96,7	287,4	168,2	216,9	195,4	134,5	161,7	167,8
2004	60,3	104,7	177,4	350,1	54,6	481,1	211,1	200,9	158,5	210,4	133,9	160,9
2005	91,7	17,8	219,8	158	499,9	263,5	255,1	236,3	120,9	58	207,9	71
2006	204	92,9	177,7	265,3	220,4	453	391,6	196,1	167,4	207,9	81,2	280,2
2007	35,8	58,9	69	152,3	92,5	132,5	213,9	147,9	151,2	208,5	55,7	88,7
2008	39,9	43,5	61,4	184,7	431	251	379,4	273,9	57,4	72,9	143,6	33,5
2009	38,3	131,7	80,8	144,9	255,5	202,4	96	281,7	47,7	152,8	182,2	128,8
2010	112,4	91	109,5	85	136,3	262,2	167,1	213,2	101,7	155,4	118	77,1
2011	144,4	61,4	229,5	158,1	153,5	242,5	306,7	270,9	216,9	83,9	153,7	38
2012	92,1	193,3	44,1	99,8	308,1	306,7	206,6	236,5	114,2	76,3	44,6	272,3
2013	48,9	151	129,9	157	296,6	297,3	209,4	299,4	113,2	34,5	110,6	51,1
2014	114,3	86,1	143,2	148,3	226,1	253,4	257,5	143,6	184,2	123,6	77,1	54,7
2015	13,5	22,5	60,9	110,3	241,8	174,5	296,2	254	75,8	79,3	108,8	90,2
2016	19,6	37,4	22,5	83,3	40,2	51,5	154,1	159,4	104,8	109,9	113,6	154
2017	75,3	190,7	82,7	143,1	192,7	320,3	143,6	382,1	124	231,8	39,3	111,1
2018	65,3	35,7	237,9	136,3	192,6	207,1	103,3	222,1	87,8	165	138,5	76,7
2019	52	32,9	58,8	131,1	181,3	222	254,1	118	71,2	40,1	62	54,9
2020	91,8	73,5	103,1	163,3	265,4	258,6	225	221,1	112,9	103,9		
2021	61,3	17	45,1	163,8	143,6	237,6	123,5	178,4	91,6	103,9	89,6	120,6
2022	89,8	52,5	142,2	166,7	121,5	244,1						

Fuente: DGA (2024)

A partir de la metodología descrita se procede al cálculo de los caudales medios mensuales en la zona de proyecto mediante la expresión de Thorntwaite and Mather y Balance Hídrico, resultados que son presentados en Tabla 5-3.

Tabla 5-3. Caudales Medios Mensuales Río Arenas

Mes	Caudal (m^3/s)
ABR	0,138
MAY	0,221
JUN	0,295
JUL	0,299
AGO	0,290
SEP	0,243
OCT	0,201
NOV	0,167
DIC	0,123
ENE	0,062
FEB	0,055
MAR	0,067

Fuente: DSS S.A.

5.3. Cambio climático

Para determinar el impacto ambiental sobre los caudales medios, se tomó en consideración el documento "Criterio de Evaluación en el SEIA: Cambio Climático en la evaluación ambiental del recurso hídrico" la cual presenta resultados de proyecciones del cambio en precipitación mediante el uso de percentiles 25 % (p25), 50 % (p50), y 75 % (p75), lo que permite establecer un rango de proyecciones. De esta forma es posible definir un valor proyectado de menor (p25) y mayor (p75) magnitud de precipitación.

El objetivo de este procedimiento es fortalecer la incorporación del cambio climático en la predicción de impactos sobre el recurso hídrico, entregando una metodología para el cálculo de la variación de la precipitación y temperatura en Chile, principalmente en casos donde se identifiquen sinergias negativas entre un proyecto y el cambio climático.

Bajo tal contexto, el SEIA señala que la estimación de proyecciones de Cambio Climático está sujeta a variadas fuentes de incertidumbre y que las proyecciones disponibles actualmente arrojan resultados dispares entre sí. Por este motivo, para la utilización de esta información en el SEIA, se requiere establecer un criterio único para su uso, que consiste en clasificar zonas del país que tengan un comportamiento similar en términos de proyecciones de precipitación, agrupándolos según se muestra en la Figura 5-2.

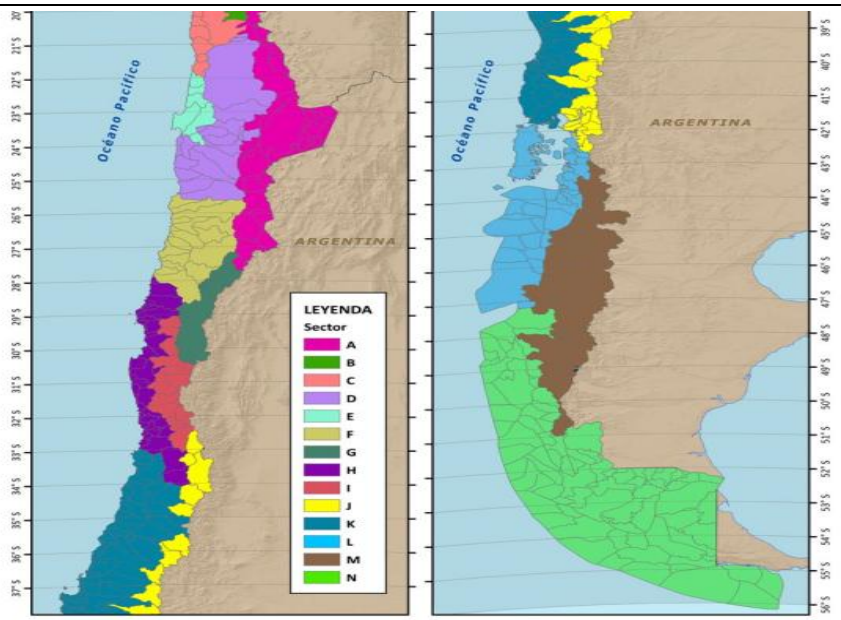


Figura 5-2. Sectorización de proyecciones en precipitación.
Fuente: Criterio en la evaluación en el SEIA: Cambio climático en la evaluación ambiental del recurso hídrico.

Para cada sector se establece el cambio proyectado porcentual. Estos valores corresponden a porcentajes de cambio de precipitación que deberán ser aplicados sobre los datos estadísticos históricos para obtener la predicción futura, sin necesidad de acceder a la plataforma ARClim. El escenario más desfavorable es el p25 para predecir el impacto por emisiones de residuos líquidos en un cauce superficial (menor caudal en el cuerpo receptor). Los valores corresponden al cambio proyectado porcentual entre el periodo "Histórico" (1980-2010) y el periodo "Futuro" (2035-2065), siendo válidos para precipitaciones posteriores al 2065.

En la Tabla 5-4, se entrega el porcentaje para el percentil 25 y 75 del cambio climáticos estimados en cada uno de los sectores establecidos.

Tabla 5-4. Valores de cambio esperado de precipitación según sector respecto al "histórico".

SECTOR	ELEVACIÓN MEDIA [MSNM]	CAMBIO EN LA PRECIPITACIÓN (%)	
		P25	P75
A	4140	-11,6	15,8
B	2491	-17,6	13,5
C	960	33,7	165,6
D	1948	-5,5	35,9
E	1122	2,9	99
F	1160	-24,1	19,8
G	3459	-23,8	10
H	512	-30,5	0,2
I	1992	-28,5	0
J	1283	-18,8	-8,3
K	**292**	**-20,1**	**-9,5**
L	317	-8,8	-3,3
M	857	-6,8	-1,4
N	312	1,2	6,1

Fuente: Criterio en la evaluación en el SEIA: Cambio climático en la evaluación ambiental del recurso hídrico.

Según la Figura 5-2 el proyecto se ubica en la zona K, la cual tiene un porcentaje de reducción de precipitación para el p25 de 20,1 %.

Considerando que la reducción en la precipitación tendrá un impacto directamente proporcional en la escorrentía generada por la cuenca estudiada, se aplicó a las precipitaciones una reducción del 20,1 % recalculando los Caudales Medios Mensuales.

Finalmente, en Tabla 5-5, se presentan los Caudales Medios Mensuales afectados por la condición de Cambio Climático, los cuales fueron utilizados para la Modelación Hidráulica y de Dispersión de Contaminantes del efluente liquido tratado y vertido al Río Arenas.

Tabla 5-5. Caudales Medios Mensuales Con Efecto de Cambio Climático

Mes	Caudal Medio (m^3/s)	Caudal Medio Cambio climático (m^3/s)
ABR	0,138	0,097
MAY	0,221	0,168
JUN	0,295	0,230
JUL	0,299	0,235
AGO	0,290	0,227
SEP	0,243	0,189
OCT	0,201	0,155
NOV	0,167	0,126
DIC	0,123	0,089
ENE	0,062	0,045
FEB	0,055	0,024
MAR	0,067	0,046

Fuente: DSS S.A.

5.4. CAUDAL EFLUENTE Y ESCENARIOS DE MODELACIÓN

Si bien durante la operación el régimen de caudales procesados en la P.T.A.S. presenta variaciones de forma estacional e incluso intradiaria, para evaluar el proyecto en su situación más desfavorable se evaluará el caudal máximo horario proyectados de la planta en los periodos de estiaje e invierno.

De acuerdo a los datos facilitados por Aguas Santiago Norte S.A. se proyecta que la planta de al fin del periodo de previsión, genere un ***caudal máximo horario de 41,33 l/s*** para una población saneada de 8916 habitantes.

A partir de lo indicado, se presentan en Tabla 5-6 los Escenarios de Modelación.

Tabla 5-6. Escenarios de Modelación Hidráulica y Calidad de Agua

Caudales Estacionales Afectado por Cambio Climático		
Q. Estiaje + CC	0,024	(m^3/s)
Q. Invernal + CC	0,231	(m^3/s)

Fuente: DSS S.A.

6. ESTUDIO HIDRÁULICO

Para determinar las condiciones de escurrimiento del flujo en la zona del proyecto, se realizó un análisis hidráulico para los diferentes escenarios definidos anteriormente (Estival e Invernal), determinando ejes hidráulicos, velocidades y régimen de escurrimiento para los escenarios de Caudal Medio de Invierno y Caudal Medio de Estiaje, indicados en la Tabla 5-6 del Apartado de Estudio Hidrológico.

6.1. Condiciones de borde

La Figura 6-1 muestra una fotografía del río Arenas obtenida en terreno en el tramo levantado por topo batimetría. En ella se pueden observar algunas condiciones de borde que se utilizarán para el modelo hidráulico.



Figura 6-1. Condiciones del Río Arenas
Fuente: DSS S.A.

Dadas las características variables del terreno de estudio, y en base a valores definidos en el Método de Cowan para estimación del número de Manning, se determinó la rugosidad para el cauce principal en la zona de laderas como de fondo.

Tradicionalmente, para este tipo de estudios, la metodología utilizada en la estimación del coeficiente de rugosidad es la recomendada en el libro "Hidráulica de Canales Abiertos" de Ven Te Chow, según el método de Cowan. De acuerdo con el método, el coeficiente de rugosidad de Manning se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m_5$$

Donde n_i y m_5 son valores que dependen de las condiciones del cauce. En este caso tenemos:

n_0 : Material Involucrado.
n_1 : Grado de Irregularidad.
n_2 : Variación de la Sección Transversal.
n_3 : Efecto Relativo de las Obstrucciones.
n_4 : Vegetación.
m_5 : Grado de los Efectos por Meandros.

Los valores establecidos para cada componente del método de Cowan se indican en la tabla siguiente:

Tabla 6-1. Coeficientes de Rugosidad de Manning según Método de Cowan

Método de Cowan								
Condiciones del canal		**Valores**			**Ribera**	**Cauce**	**Ribera**
Material involucrado	Tierra	n0	0,02		0,02	0,025	0,02
	Corte en roca		0,025				
	Grava fina		0,024				
	Grava gruesa		0,028				
Grado de irregularidad	Suave	n1	0		0	0	0
	Menor		0,005				
	Moderado		0,01				
	Severo		0,02				
Variaciones de la sección transversal	Gradual	n2	0		0	0	0
	Ocasionalmente alternante		0,005				
	Frecuentemente alternante		0,01	0,015			
Efecto relativo de las obstrucciones	Insignificante	n3	0		0,015	0,01	0,015
	Menor		0,01	0,015			
	Apreciable		0,02	0,03			
	Severo		0,04	0,06			
Vegetación	Baja	n4	0,005	0,01	0,05	0,01	0,05
	Media		0,01	0,025			
	Alta		0,025	0,05			
	Muy alta		0,05	0,1			
Grado de los efectos por meandros	Menor	m5	1		1	1	1
	Apreciable		1,15				
	Severo		1,3				
					n	**0,085**	**0,045**	**0,085**

Fuente: Manual de Carretera Vol. 3 (2023)

Durante el trabajo de topo batimetría realizado en el mes de septiembre 2023 se levantaron cerca de 1.000 m del cauce en el sentido longitudinal, comenzando desde 100 metros aguas arriba del punto de descarga. Además de lo anterior se observaron las condiciones del río tanto en el cauce propiamente, tal como en sus planicies de inundación, lo cual se utilizó para poder calibrar el coeficiente de Rugosidad de Manning, el cual se asignó como 0,085 para las riberas y 0,045 para el cauce, tal como lo señala la Tabla 6-1.

Como condición de contorno se empleó la altura normal, para lo cual se adoptó la hipótesis que la pendiente de la línea de energía es equivalente a la pendiente de la línea de fondo del terreno, con una pendiente de 0,0039 m/m para aguas arriba y 0,0054 m/m para aguas abajo.

El régimen de escurrimiento del tramo de estudio es predominantemente subcrítico, sin embargo, se consideró una modelación mixta debido a la irregularidad del terreno, por lo que como condición de contorno se empleó la pendiente de fondo del cauce.

El resumen de las condiciones generales de modelación hidráulica en la situación proyectada se presenta en la Tabla 6-2.

Tabla 6-2. Resumen condiciones ingresadas a HEC-RAS.

Variable	Condición
Geometría	Levantamiento topográfico Septiembre 2023
Coeficiente de Rugosidad de Manning	n cauce = 0,045 n planicies = 0,085
Régimen de modelación	Flujo permanente en régimen mixto
Condición de Borde	Pendiente energía aguas arriba 0.0039 y aguas abajo de 0,0054
Perfiles Transversales	41 perfiles espaciados cada 25 metros

Fuente: DSS S.A.

6.2. Efluente planta de tratamiento de aguas servidas

Si bien el régimen de caudales procesados en la PTAS presenta variaciones de forma estacional e incluso intradiaria, para efectos del presente estudio se empleará la situación más desfavorable, es decir, cuando el Caudal de descarga sea el máximo. Si bien las plantas tienen la capacidad de ecualizar los caudales máximos puntuales en virtud del gran volumen de los estanques de tratamiento y clarificadores, como ya se ha mencionado en el presente estudio se ha decidido proceder con la modelación de dispersión de contaminantes considerando el Caudal Máximo descargado por la PTAS.

De acuerdo con los datos indicados por Aguas Santiago Norte el caudal proyectado, al fin del periodo de previsión será de 41,33 l/s. evaluándose así el escenario más desfavorable.

6.3. Resultados Modelación Hidráulica

La modelación hidráulica se realizó utilizando los parámetros de diseño mencionados anteriormente considerando la condición morfológica del cauce de acuerdo con el levantamiento topográfico (1 km), se establecieron 41 perfiles transversales cada 25 m los cuales se observan en la Figura 6-2. En la imagen se aprecian los perfiles transversales y se puede apreciar que la distancia levantada topograficamente corresponde a 1 km.

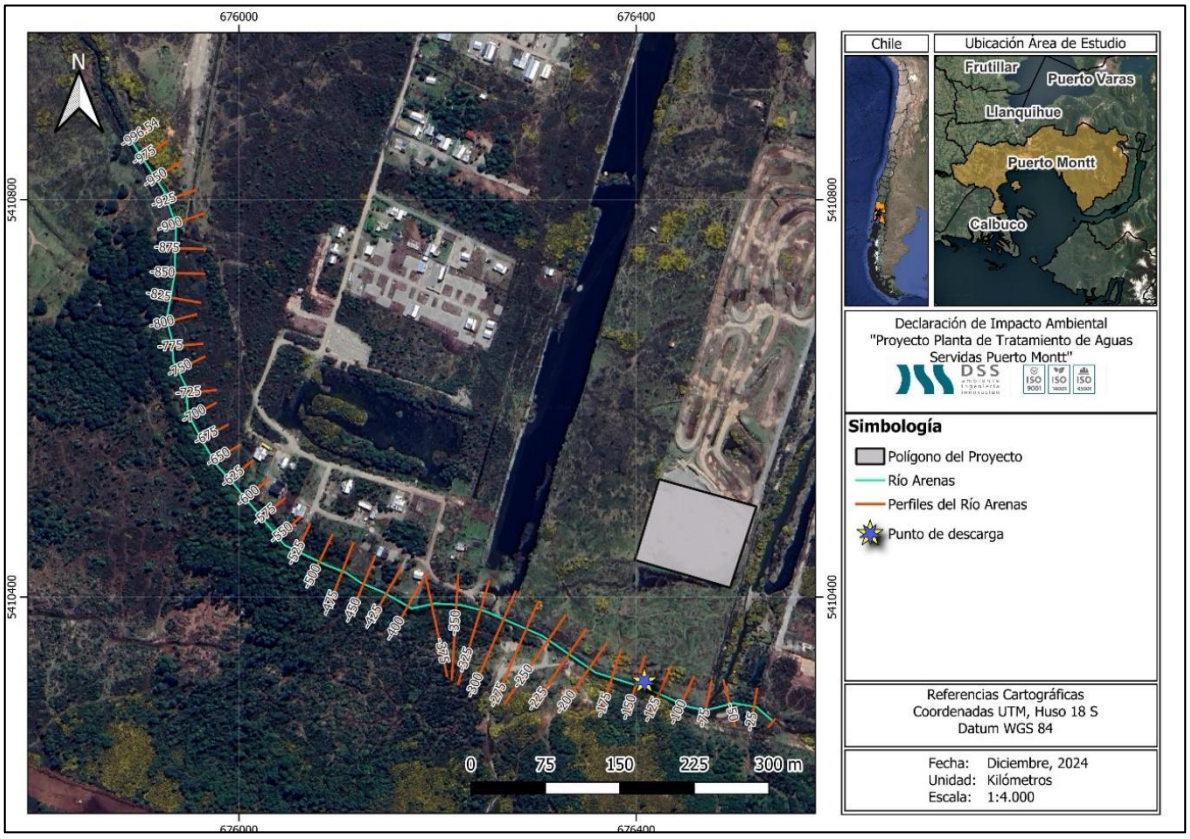


Figura 6-2. Perfiles Modelo Hidráulico.
Fuente: DSS S.A.

Mediante el software HEC-RAS, se modeló la situación Sin Proyecto, es decir solo los caudales pasantes por el cauce afectados por cambio climático y también la situación Proyectada, considerando la descarga del caudal máximo horario proyectado (caudal efluente P.T.A.S.), el cual se agregó al modelo en la condición con proyecto a partir de la sección transversal del punto de descarga (denominada "150"), como se muestra en la Figura 6-2.

En la Tabla 6-3 se presentan los Caudales utilizados para la Modelación (Caudal en perfil 0+0150 corresponde a la suma del caudal del río sumado a la descarga en m^3/s):

Tabla 6-3. Caudales Modelación Hec-Ras

Caudales Modelación Hec-Ras (m^3/s)		
Perfil	**Invierno**	**Estiaje**
0+000 m	0,231	0,024
0+150 m	0,272	0,066

Fuente: DSS S.A.

De los resultados de la modelación Hidráulica se obtuvieron propiedades como el Número de Froude, Velocidades y el Eje Hidráulico, las cuales se presentan en las siguientes figuras.

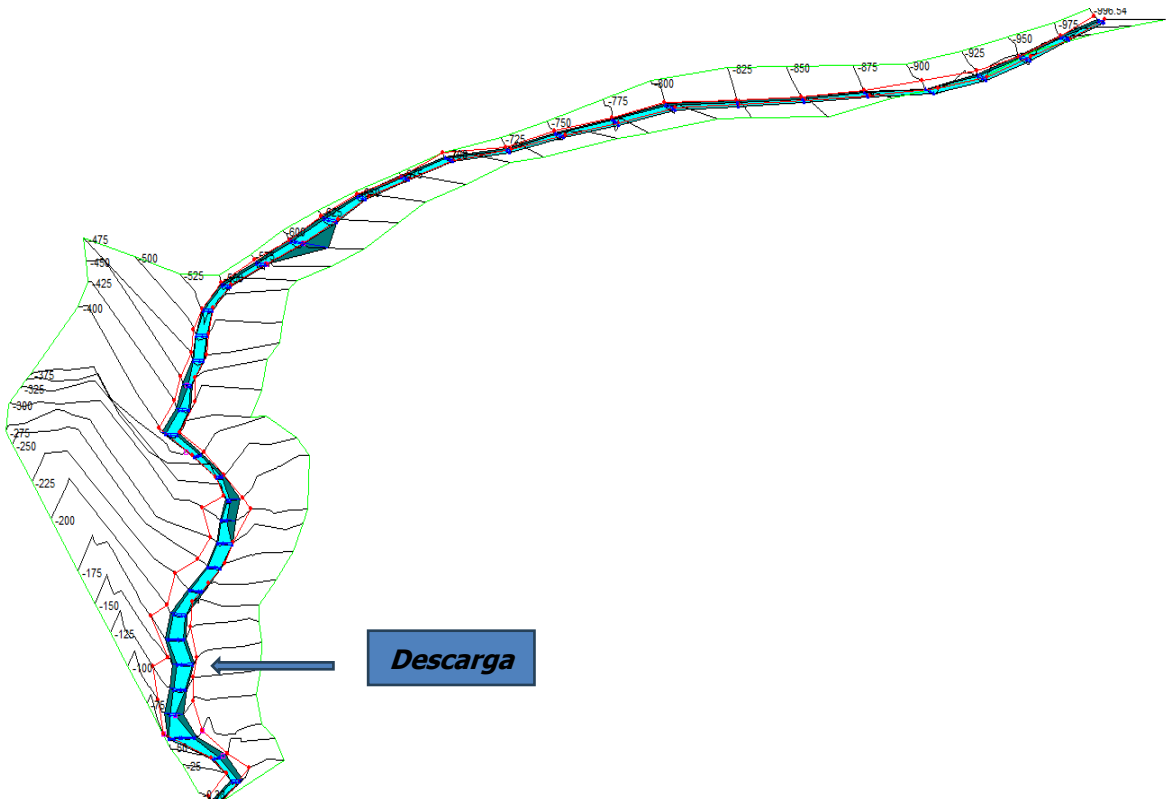


Figura 6-3. Representación tridimensional de la Modelación Hidráulica CP
Fuente: DSS S.A.

<u>Número de Froude</u>:

Esta propiedad relaciona las fuerzas inerciales y las fuerzas gravitatoria de un fluido y según su valor podemos determinar si es un régimen crítico (Fr = 1), Subcrítico (Fr < 1) o Supercrítico (Fr > 1).

En la siguiente gráfica se presentan los resultados de la modelación respecto al Número de Froude Sin proyecto (representadas mediante línea punteada), como también la situación Con proyecto (representada mediante línea sólida), para ambos escenarios, es decir, de invierno y estiaje.

A partir de lo anterior, se puede observar que el flujo se presenta con un régimen Mixto tanto al inicio del modelo y también cercano a los perfiles aguas abajo en los 300 y 375 metros, para ambos casos el Froude supera levemente la Unidad en ciertos tramos establecidos.

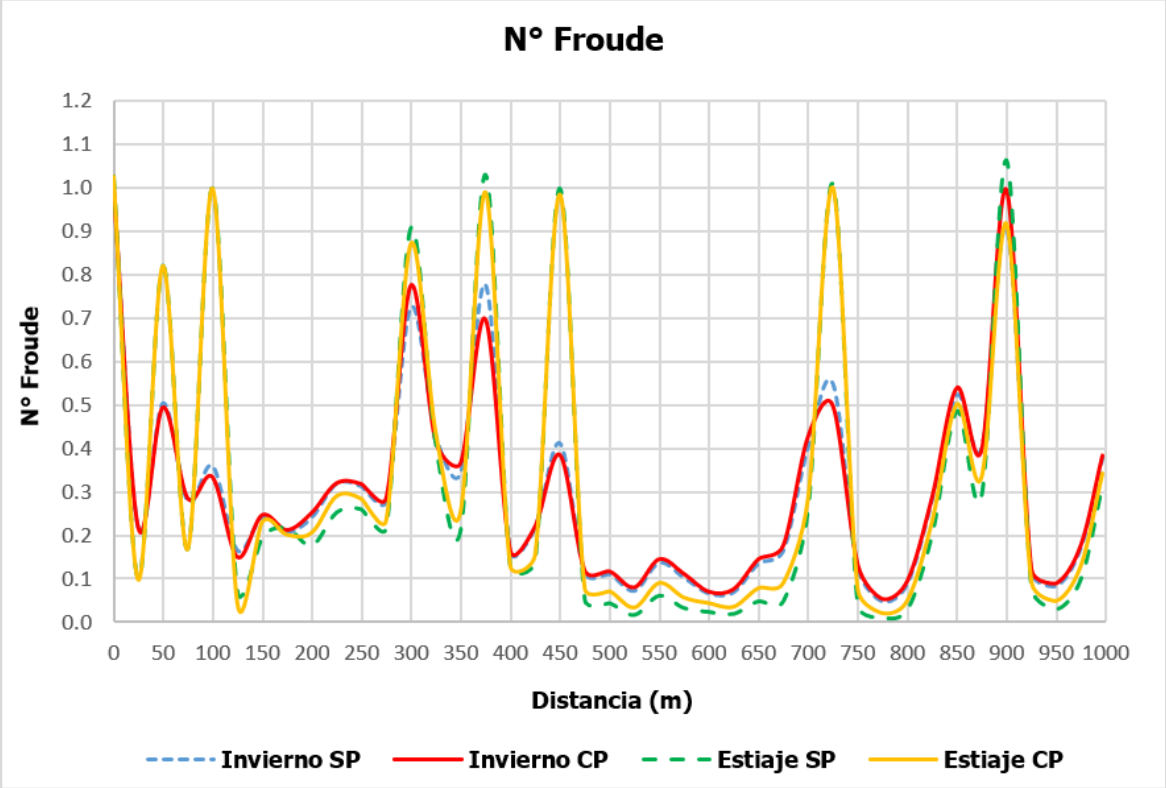


Figura 6-4. Gráfico Número de Froude.
Fuente: DSS S.A.

<u>Velocidad</u>:

En la siguiente gráfica, se presentan los resultados de la velocidad en la modelación Sin proyecto (representadas mediante línea punteada), como también la situación Con proyecto (representada mediante línea sólida), para ambos escenarios, es decir, de invierno y estiaje.

A partir de lo anterior, se puede observar que las velocidades en Invierno para la condición con proyecto (Velocidad promedio 0,343 m/s) se genera un aumento leve respecto a la condición sin proyecto (Velocidad promedio 0,328 m/s), prácticamente las curvas se superponen con una diferencia menor.

Mientras para el caso de las velocidades en Estiaje, la velocidad promedio con proyecto es de 0,237 m/s donde de igual manera se genera un leve aumento con respecto a la condición sin proyecto que tiene una velocidad promedio de 0,186 m/s, por lo cual, no existe una variación significativa.

La zona de modelación presenta en general buenas velocidades para generar y mantener una mezcla completa del efluente con las aguas del río Arenas.

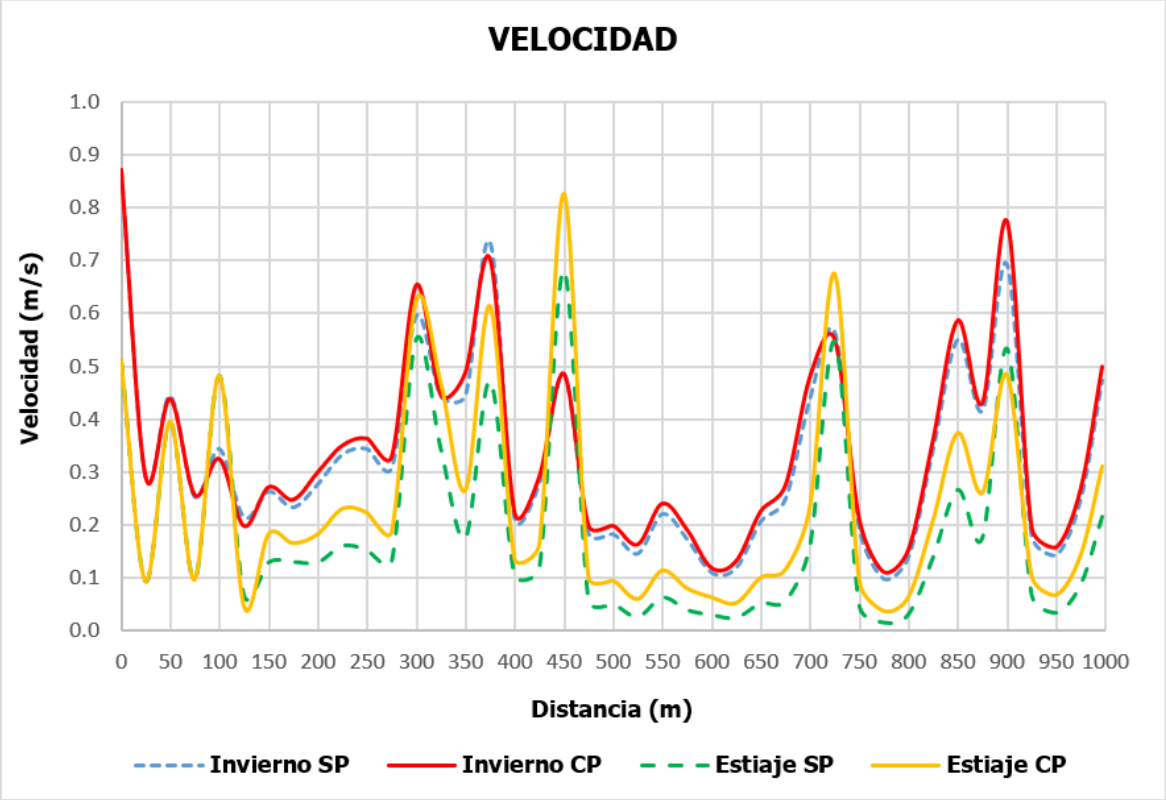


Figura 6-5. Gráfico velocidad media.
Fuente: DSS S.A.

<u>Eje Hidráulico</u>:

Es la representación longitudinal de las elevaciones del flujo en el cauce. En la siguiente figura se presentan los valores para este parámetro, donde se señala la situación Sin proyecto (representadas mediante línea punteada), como también la situación Con proyecto (representada mediante línea sólida), para ambos escenarios, es decir, de invierno y estiaje. Se observa de forma clara que la condición con proyecto no difiere en gran medida respecto a la situación Con proyecto para los escenarios de invierno y estiaje.

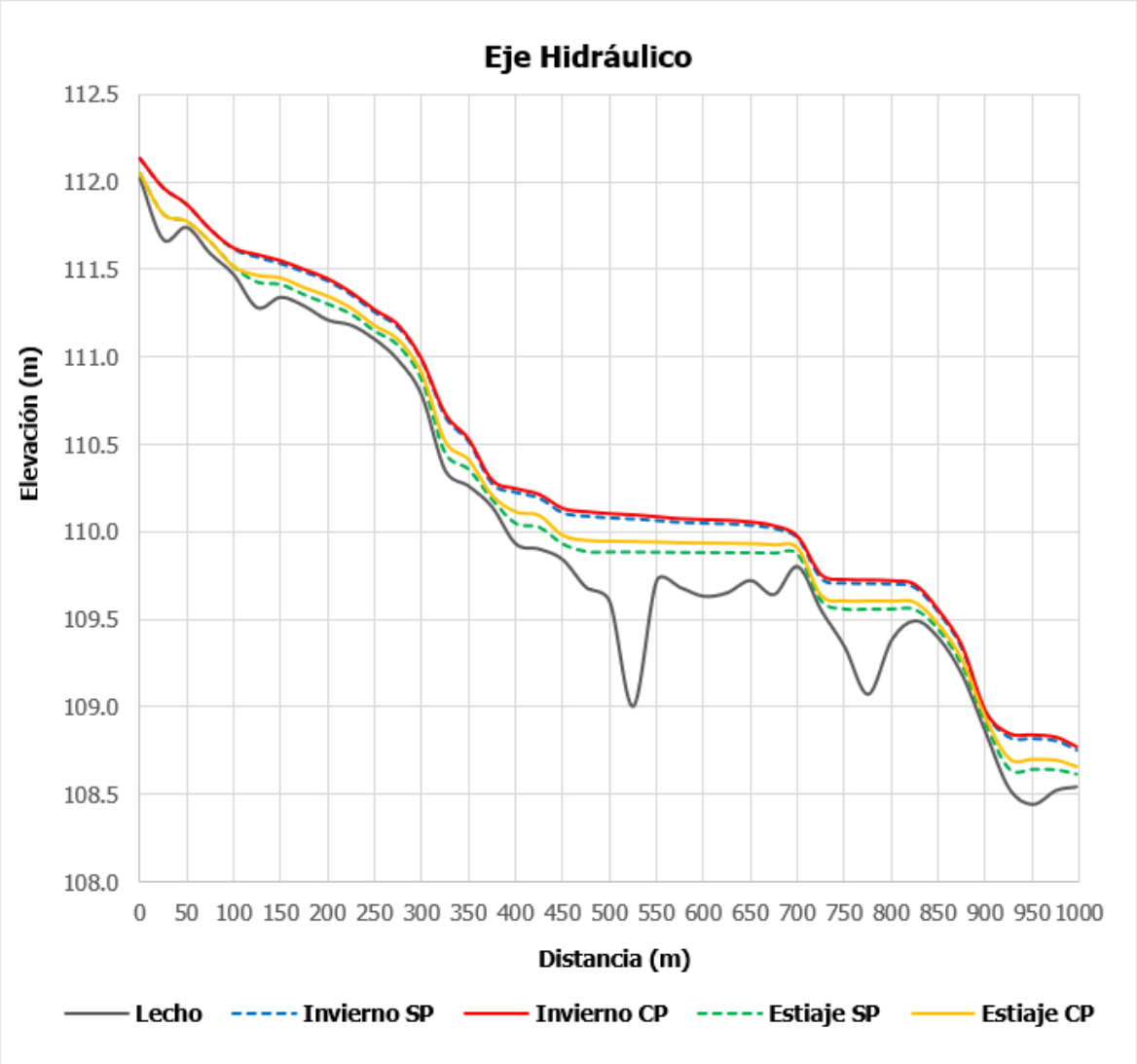


Figura 6-6. Eje hidráulico longitudinal.
Fuente: DSS S.A.

7. ESTUDIO DE CALIDAD DE AGUA

Para el estudio de calidad del agua se consideró la definición de línea base del cauce y, posteriormente, el análisis de la magnitud del efecto generado por el aumento en el Caudal de descarga del efluente líquido tratado. Para esto, se realizó la caracterización hidroquímica del cauce receptor y del efluente. Los compuestos considerados fueron los regulados de acuerdo al D.S. N°90/2000, Tabla N°3 para descargas sobre cuerpos de aguas superficiales. Adicionalmente, se evaluó la calidad basal del cuerpo receptor de acuerdo a la Norma chilena Nch 1333, Tabla 4.

Acorde a lo determinado en el estudio hidrológico presentado en el Apartado 5, para el análisis de calidad en el Río Arenas se analizaron las condiciones medias del curso de agua para reflejar la condición habitual de la operación del proyecto, para lo cual, se utilizó el Caudal Medio de Invierno afectado por la condición de Cambio Climático para caracterizar el flujo de agua pasante en el punto de descarga, el cual se estimó en 0,231 m^3/s. Adicionalmente, se analizó el Caudal del mes de febrero correspondiente a 0,024 m^3/s lo cual permitirá demostrar, esencialmente, que el comportamiento hidráulico del flujo en el río es permanente y que a su vez, permitirá evidenciar que las condiciones Proyectadas no generan un impacto significativo en el Río.

7.1. Caracterización hidroquímica del cuerpo receptor

Para caracterizar la línea base del Río Arenas respecto al Estudio de Calidad de Agua se realizaron 5 campañas en terreno (ejecutadas en Septiembre 2023, Noviembre 2023, Febrero 2024, Octubre 2024 y Marzo 2026), donde se efectuó la toma de muestras para calidad en varios puntos de interés y en diferentes campañas contrastantes. En ciertas campañas de terreno, los parámetros fueron analizadas en laboratorio, cuyos informes se adjuntan en el presente estudio, mientras que en otros se realizaron con mediciones in situ. En las distintas campañas se muestrearon los siguientes parámetros: Aceites y Grasas Flotantes, Coliformes Fecales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales, Oxígeno Disuelto, pH, Temperatura y Conductividad.

Las coordenadas y posición de los puntos de muestreo se encuentran en la Tabla 7-1 referidas al Datum WGS84 Huso 18S.

Tabla 7-1. Campañas de muestreo Río Arenas (2023 – 2024)

Punto	Descripción	Este (m)	Norte (m)
100 AD	100 m Aguas Arriba de la Descarga	676.490	5.410.288
PD	Punto de Descarga	676.408	5.410.314
100 DD	100 m Después de la Descarga	676.308	5.410.351
300 DD	300 m Después de la Descarga	676.135	5.410.412
500 DD	500 m Después de la Descarga	675.976	5.410.531
700 DD	700 m Después de la Descarga	675.932	5.410.716

Fuente. Anam Análisis Ambientales

En Figura 7-1, se señala la ubicación de las tomas de muestras, presentadas en la tabla anterior.

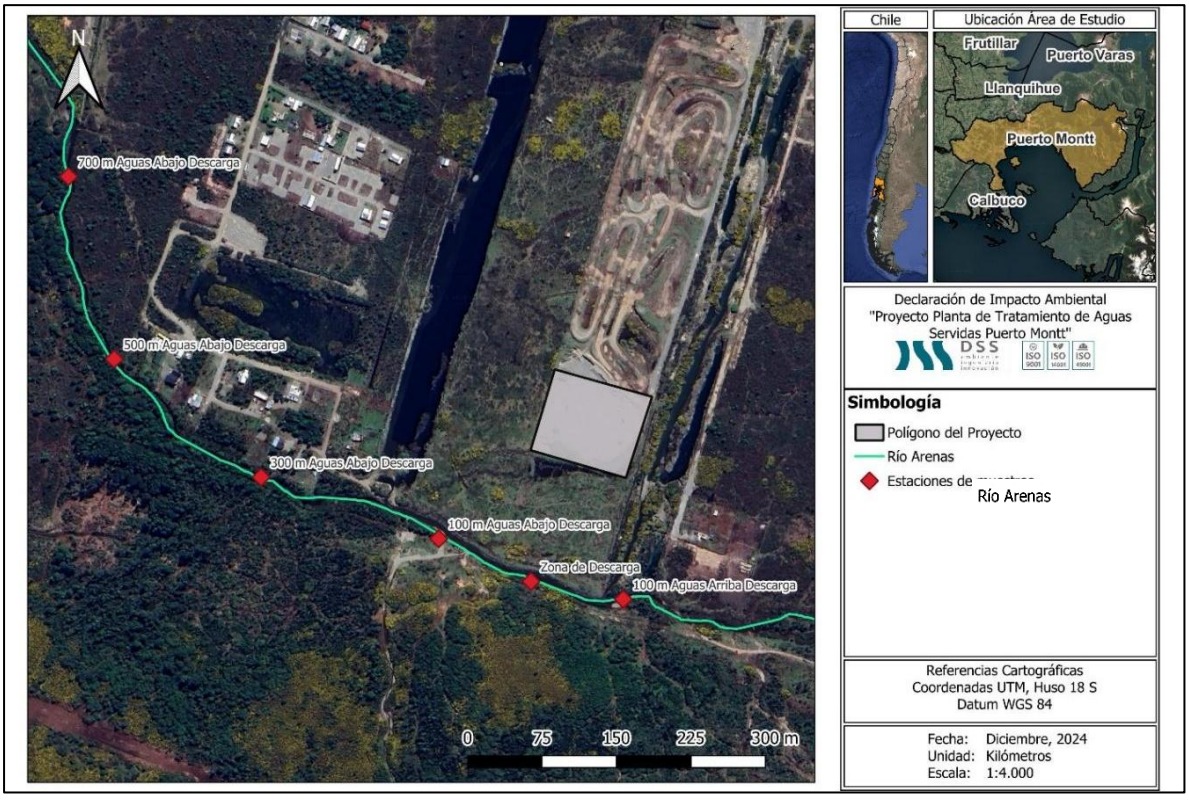


Figura 7-1. Puntos de Muestreo
Fuente. Anam Análisis Ambientales

Desde las Tabla 7-2 a la Tabla 7-6, se presentan los resultados de las concentraciones obtenidas en las muestras de agua mediante el análisis de laboratorio para cada una de las campañas realizadas.

Tabla 7-2. Resultados Muestreo Campaña Invierno 2023

Parámetros	Unidad	Invierno 2023 (12/09)					
		100 m A. Arriba	Punto Descarga	100 m A. Abajo	300 m A. Abajo	500 m A. Abajo	700 m A. Abajo
Aceites y Grasas Flotantes	mg/L	<4,00	<4,00	-	<4,00	-	-
Coliformes Fecales	NMP/100	7,80	7,80	-	49,00	-	-
Demanda Bioquímica de Oxigeno	mg/L	<2,00	<2,00	-	<2,00	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	32,00	22,00	-	16,00	-	-
Fósforo Total (P)	mg/L	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno Total (NT)	mg/L	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	**2,625**	<1	-	<1	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	8,00	6,00	-	7,00	-	-
Oxígeno Disuelto *	mg/L	9,56	9,46	-	9,45	8,86	-
pH *	Unidades	5,39	5,43	-	5,84	5,90	-
Temperatura *	°C	9,40	9,50	-	10,85	10,61	-
Conductividad *	µs/cm	31,00	28,00	-	49,00	56,00	-

Fuente. Anam Análisis Ambientales

*** Datos medidos in situ. Campaña realizada por DSS.**

Tabla 7-3. Resultados Muestreo Campaña Primavera 2023

Parámetros	Unidad	Primavera 2023 (15/11)					
		100 m A. Arriba	Punto Descarga	100 m A. Abajo	300 m A. Abajo	500 m A. Abajo	700 m A. Abajo
Aceites y Grasas Flotantes	mg/L	-	-	-	-	-	-
Coliformes Fecales	NMP/100	-	-	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxigeno	mg/L	-	-	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	-	-	-	-	-	-
Fósforo Total (P)	mg/L	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno Total (NT)	mg/L	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	-	-	-	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	-	-	-	-	-	-
Oxígeno Disuelto *	mg/L	12,84	13,22	-	13,05	-	-
pH *	Unidades	6,93	7,21	-	7,52	-	-
Temperatura *	°C	9,19	9,30	-	9,25	-	-
Conductividad *	µs/cm	35,00	45,00	-	48,00	-	-

Fuente. Anam Análisis Ambientales

*** Datos medidos in situ. Campaña realizada por DSS.**

Tabla 7-4. Resultados Muestreo Campaña Verano 2024

Parámetros	Unidad	Verano 2024 (19/02)					
		100 m A. Arriba	Punto Descarga	100 m A. Abajo	300 m A. Abajo	500 m A. Abajo *	700 m A. Abajo *
Aceites y Grasas Flotantes	mg/L	<4,00	<4,00	-	<4,00	<4,00	<4,00
Coliformes Fecales	NMP/100	17,00	49,00	-	79,00	**2050,00**	**280,00**
Demanda Bioquímica de Oxigeno	mg/L	<2,00	<2,00	-	<2,00	<2,00	<2,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	17,00	21,00	-	12,00	9,00	17,00
Fósforo Total (P)	mg/L	0,30	0,20	-	0,20	0,10	0,30
Nitrógeno Total (NT)	mg/L	-	-	-	-	-	-
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	<1,00	<1,00	-	<1,00	<1,00	<1,00
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	3,00	5,00	-	**60,00**	3,00	1,00
Oxígeno Disuelto	mg/L	-	-	-	-	-	-
pH	Unidades	-	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	-	-	-	-	-	-
Conductividad	µs/cm	-	-	-	-	-	-

Fuente: Anam Análisis Ambientales

*** Muestras tomadas por DSS.**

Tabla 7-5. Resultados Muestreo Campaña Primavera 2024

Parámetros	Unidad	Primavera 2024 (23/10)					
		100 m A. Arriba	Punto Descarga	100 m A. Abajo	300 m A. Abajo	500 m A. Abajo *	700 m A. Abajo *
Aceites y Grasas Flotantes	mg/L	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00
Coliformes Fecales	NMP/100	7,80	4,30	4,50	4,50	17,0	7,80
Demanda Bioquímica de Oxigeno	mg/L	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	24,00	19,00	37,00	23,00	30,00	18,00
Fósforo Total (P)	mg/L	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07	<0,07
Nitrógeno Total (NT)	mg/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00	<1,00
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	1,00	2,00	2,00	2,00	1,00	1,00
Oxígeno Disuelto *	mg/L	8,03	11,63	11,67	9,04	9,99	10,52
pH *	Unidades	6,37	6,68	6,92	6,68	6,68	7,07
Temperatura *	°C	17,27	17,33	18,35	14,64	14,46	15,18
Conductividad *	µs/cm	67,00	123,00	123,00	113,00	115,00	114,00

Fuente: Anam Análisis Ambientales

*** Datos medidos in situ. Campaña realizada por DSS.**

Tabla 7-6. Resultados Muestreo Campaña Verano 2026

Parámetros	Unidad	Verano 2026 (04/03)					
		100 m A. Arriba	Punto Descarga	100 m A. Abajo	300 m A. Abajo	500 m A. Abajo *	700 m A. Abajo *
Aceites y Grasas Flotantes	mg/L	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00	<4,00
Coliformes Fecales	NMP/100	79,00	130,00	**330,00**	58,00	79,00	110,00
Demanda Bioquímica de Oxigeno	mg/L	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,00	<2,0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	39,00	38,00	38,00	39,00	39,00	37,00
Fósforo Total (P)	mg/L	0,30	0,50	0,40	0,50	0,50	0,50
Nitrógeno Total (NT)	mg/L	1,225	<1,00	1,325	1,78	1,80	1,025
Nitrógeno Total Kjeldhal (NKT)	mg/L	1,225	<1,00	1,325	<1,00	1,80	1,025
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	3,00	2,00	2,00	5,00	2,00	1,00
Oxígeno Disuelto	mg/L	10,38	10,52	10,65	10,55	10,29	10,45
pH	Unidades	4,82	5,09	5,88	7,29	5,64	5,37
Temperatura	°C	14,98	15,35	15,72	16,36	17,15	16,62
Conductividad	µs/cm	29,00	30,00	33,00	76,00	44,00	45,00

Fuente: Anam Análisis Ambientales

Debido a que todo cauce posee variaciones naturales en la concentración de sus compuestos, para definir un valor único de línea base se consideró como representativo el valor promedio aritmético de las muestras realizadas en el río Arenas. Sin embargo, se considera adecuado mencionar que este valor es representativo, debido a que la concentración de los compuestos varía en un rango donde no se observan cambios en las condiciones actuales del cauce. Para representar esta variación se consideró pertinente acompañar el valor promedio de cada compuesto con un rango donde la variación se considera normal, representado por la mínima y máxima concentración medida. En el caso de los parámetros que presenten resultados de muestreo asociados al límite de medición por parte del laboratorio, estos resultados serán expresados como la mitad del límite establecido.

7.1.1 Identificación de Outliers

En los resultados de las campañas resalta un valor de coliformes fecales de 2050 NMP/100ml (Campaña Verano 2024, 500 m A. Abajo del Punto de Descarga) en extremo superior a los comportamientos registrados en las demás campañas y puntos de datos. Por lo que a priori podría catalogarse como un dato anómalo debido a que no se sabe con certeza la razón de este valor. Sin embargo, se realizó un análisis de identificación de outliers utilizando el análisis de box plot para identificar de manera correcta si corresponde o no, a un dato anómalo. De igual forma se utilizó el mismo método para identificar outliers en todos los parámetros.

Un diagrama de caja (también, diagrama de caja y bigotes o box plot) es un método estandarizado para representar gráficamente una serie de datos numéricos a través de sus cuartiles. De esta manera, se muestran a simple vista la mediana y los cuartiles de los datos, y también pueden representarse sus valores atípicos. Las dimensiones de la caja están determinadas por la distancia del rango intercuartílico, que es la diferencia entre el primer y tercer cuartil. El segmento que divide la caja en dos partes es la mediana, que facilitará la comprensión de si la distribución es simétrica o asimétrica. La continuación de dos segmentos en la caja se denominan bigotes (whisker) que determina el límite para la detección de valores atípicos. Los bigotes deben tener una longitud máxima no debe ser superior al 150% del rango intercuartílico. Para realizar este análisis se utilizó las funcionalidades de Excel.

En Figura 7-2**,** se presenta la gráfica del análisis donde se identifican cuatro outliers (uno correspondiente a solidos suspendidos totales y tres referentes a los coliformes fecales), dado que se encuentran por fuera de los bigotes de la caja.

De los tres outliers identificados en los coliformes fecales, se decidió solamente prescindir del valor de 2050 NMP/100ml dada la gran distancia que existe entre la muestra y el bigote superior del gráfico, y como se mencionó anteriormente no hay con certeza de la razón del porque este punto tiene un valor tan elevado.

Por lo tanto, como resultado de estos análisis, se decidió extraer de la línea base los muestreos correspondientes a 60 mg/l de Sólidos Suspendidos Totales y los 2050 NMP/100ml de Coliformes Fecales.

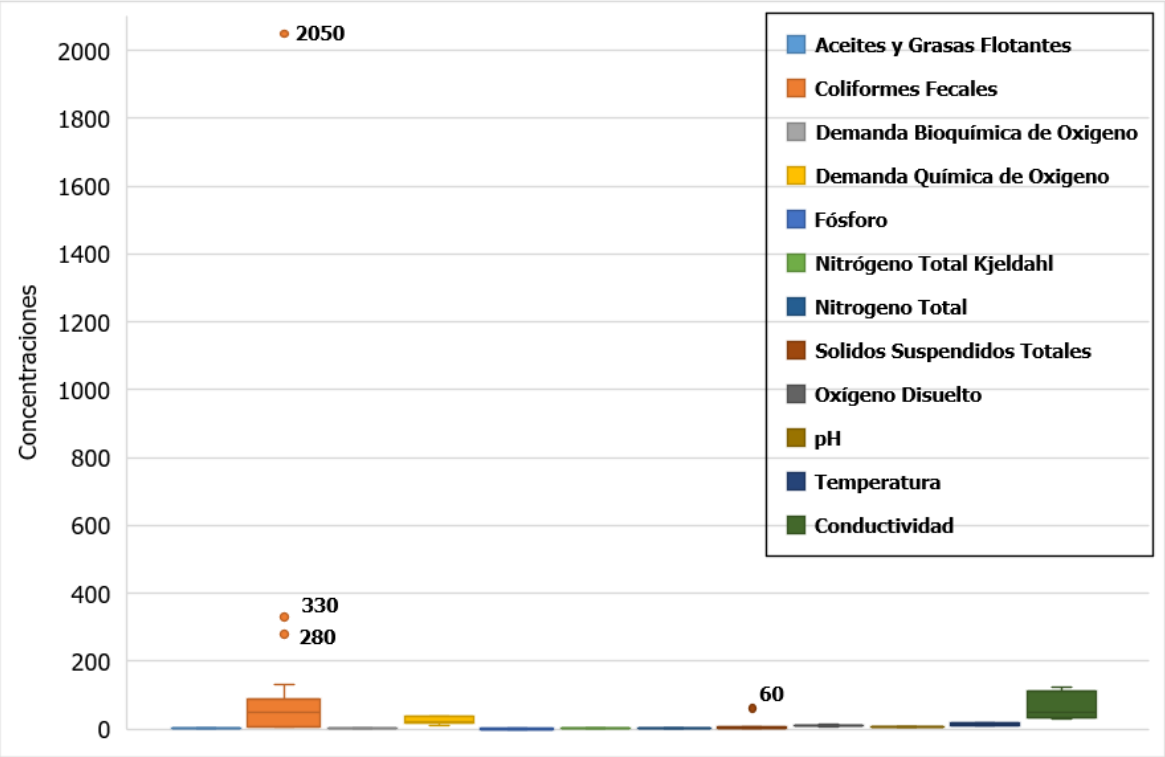


Figura 7-2. Análisis de Outliers mediante Método de Boxplot.
Fuente: DSS.S. A

7.1.2 Definición Línea Base

Una vez identificados los outliers, se procedió a definir la línea base (Tabla 7-7) del cauce con los parámetros de interés en la evaluación de calidad del agua. Para esto se utilizó el promedio de todos los muestreos realizados ubicados en la localización de la futura descarga de la PTAS y aguas abajo de la misma (Tabla 7-2, Tabla 7-3, Tabla 7-4, Tabla 7-5 y Tabla 7-6).

Tabla 7-7. Definición Línea Base del Río Arenas

Parámetros	Unidad	Concentración Promedio Línea Base	Campañas de Calidad	
			Concentración Mínima	Concentración Máxima
Aceites y Grasas Flotantes	mg/L	2	2	2
Coliformes Fecales	NMP/100	69,553	4.3	330
Demanda Bioquímica de Oxigeno	mg/L	1	1	1
Fósforo	mg/L	0,236	0,04	0,50
Nitrógeno Total	mg/L	0,888	0,5	1,80
Solidos Suspendidos Totales	mg/L	3	1	8
Oxígeno Disuelto	mg/L	10,535	8,03	13,22
pH	Unidades	6,248	4,82	7,52
Temperatura	°C	13,764	9,19	18,35
Conductividad	µs/cm	63,368	28	123

Fuente: DSS.S. A

7.2. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA DEL EFLUENTE

La instalación contará con las capacidades para producir un efluente que respeta la normativa vigente. En particular, la descarga del efluente tratado que se proyecta sobre el Río Arenas cumplirá con las exigencias para la descarga de residuos líquidos a cuerpos de agua fluviales afluentes de un cuerpo de agua lacustre, según lo indicado en la Tabla N°3, del Decreto Supremo N°90/2000 del MINSEGPRES. Los parámetros de interés (Coliformes Fecales, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Fósforo Total, Nitrógeno Total, Sólidos Suspendidos Totales y Oxígeno Disuelto,) fueron seleccionados teniendo en cuenta la composición clásica de la descarga de agua residual doméstica.

En la

Tabla 7-8, se exhibe los límites establecidos por el D.S. N°90 para la concentración máxima de descarga permitida, además se señala la concentración utilizada para la Modelación de calidad de agua. Destacar que para caracterizar el efluente respecto al parámetro Oxígeno Disuelto, el cual no se encuentra en Tabla N°3 del D.S. N°90/2000 del MINSEGPRES, se utilizó un promedio de muestreos realizados en el efluente de las PTAS del titular (Hacienda Batuco y Reina Norte).

Según el tipo de tratamiento específico (terciario), del que dispondrá la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Puerto Montt. Para el caso del Nitrógeno Total, la remoción de nitritos y nitratos, se contempla en la existencia de una zona anóxica, que permita el desarrollo del proceso de desnitrificación. La configuración utilizada es la denominada MLE (Modified Ludzack-Ettinger), que consiste en la modificación del proceso original, instalando un estanque anóxico previo al estanque de aireación, incorporando una recirculación interna desde la zona aerobia directamente a la zona anóxica. Con las condiciones adecuadas de operación, este sistema permite obtener concentraciones de nitratos en el efluente del orden de 4 a 7 mg/L. Este sistema es muy utilizado y en aguas residuales domésticas permite concentraciones en el efluente menores a 10 mg/L de Nitrógeno total.

Para la remoción de Fósforo Total (P) en los sistemas de lodos activados convencionales está referida a la síntesis celular que se produce en la remoción de la materia orgánica por la acumulación intracelular de reservas de polifosfato. Este proceso provoca que exista un consumo de P, pero marginal en términos de concentración. Para lograr concentraciones inferiores a 2 mg/L (límite normativo a cumplir) se ha definido usar un proceso de coagulación química, a través de la adición de cloruro férrico. Gracias a este tipo de tratamiento, la concentración de Fósforo Total en el efluente de la planta será capaz de disminuir a 1,04 mg/L.

Tabla 7-8. Características efluente utilizado en la modelación de calidad del agua

Parámetros	Unidad	Limite Max. Tabla N°3 D.S.90	Descarga de la PTAS
Coliformes Fecales	NMP/100	1000	1000
Demanda Bioquímica de Oxigeno	mg/L	35	35
Fósforo Total	mg/L	2	1,04
Nitrógeno Total	mg/L	10	10
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	80	80
Oxígeno Disuelto	mg/L	-	5.4*

(*). Valores promedio de muestreo en efluente, PTASs del titular de proyecto (Hacienda Batuco y Reina Norte).

Fuente: DSS S.A.

7.3. ESCENARIOS EVALUADOS

Considerando los caudales del río Arenas determinados en el apartado de Hidrología del presente estudio y los caudales máximos de descarga de la PTAS Puerto Montt, se consideraron los siguientes escenarios para la Modelación de Dispersión de Contaminantes.

Situación Actual

- **Caudal medio Estiaje:** Considera 0,024 m^3/s en el Río Arenas.
- **Caudal medio Invernal:** Considera 0,231 m^3/s en el Río Arenas.

Situación Proyectada

- **Caudal medio Estiaje:** Considera 0,024 m^3/s en el Río Arenas y un efluente de 41,33 l/s.
- **Caudal medio Invernal:** Considera 0,231 m^3/s en el Río Arenas y un efluente de 41,33 l/s.

7.4. NORMATIVA APLICABLE

Los estándares de calidad hidroquímica del agua corresponden a normativas legales que limitan la concentración de diversos parámetros en el agua y que las convierten en aceptables para ser utilizada con determinados fines.

En la Tabla 7-9 se exponen las disposiciones legales que aplican sobre el efluente proyectado y las características necesarias del cauce al que tributa, para ser apta para sus distintos usos.

Tabla 7-9. Regulación normativa de calidad de aguas

Normativa	Ámbito Normativo
NCh 1333 Of.78 y Mod.87	Requisitos de calidad de aguas para diferentes usos. norma que regula las concentraciones permitidas en los cauces de acuerdo con las actividades que se realicen en el cauce.
D.S 90/2000 MINSEGPRES	Establece norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales.

Fuente: DSS S.A.

7.5. BALANCE DE MASA

Con base en las definiciones expuestas en la metodología de trabajo, se ha llevado a cabo un análisis correspondiente al escenario de caudal medio de estiaje e invernal (afectados por Condición de Cambio Climático), transportado por el Río Arenas en el punto de descarga. Cabe destacar que este análisis incluye el aporte del efluente máximo proyectado que asciende a 41,33 litros por segundo (l/s).

Los resultados del balance de masa efectuado para cada uno de los parámetros estudiados se presentarán en las tablas subsiguientes. Los resultados reflejarán la **mezcla instantánea**, identificando la concentración máxima esperada cuando la mezcla del cauce con el efluente se completa en su totalidad.

A continuación, se detalla el contenido de las tablas, proporcionando información clave de los compuestos evaluados.

Cada columna de las tablas se explica a continuación:

- Parámetro y Unidad de Medida: Se presenta el compuesto en la columna 1 y su correspondiente unidad de medida en la columna 2.
- Concentración Actual (Línea Base): La columna 3 muestra la concentración actual en el cauce evaluado, sirviendo como punto de referencia (Línea Base).
- Concentración del Efluente: En la columna 4 se presenta la concentración del efluente Según Tabla N°3 del DS90 y de valores de plantas similares del titular de proyecto (Oxígeno disuelto y conductividad hidráulica).
- Situación Proyectada: La columna 5 revela la concentración resultante al evaluar la Línea Base con el caudal proyectado por la planta.

- Concentración Mínima y Máxima en Terreno (Sin Proyecto): Las columnas 6 y 7 ofrecen la concentración mínima y máxima histórica medida en terreno bajo la situación Sin Proyecto (Línea Base).

7.5.1 Resultados Balance de Masa

En la siguiente tabla, se presentan los resultados del balance de masa asociado al escenario de invierno.

Tabla 7-10. Concentraciones Balance de Masa Escenario Invierno

Parámetro	Unidad	Concentración Línea Base (Sin Proyecto)	Descarga	Situación Con Proyecto	Análisis Histórico	
					Min. Línea Base	Max. Línea Base
Coliformes Fecales	NMP/100	**69,55**	1000	**210,98**	4.3	330
DBO5	mg/L	**1**	35	**6,17**	1	1
Fósforo Total	mg/L	**0,24**	1,04	**0,36**	0,04	0,50
Nitrógeno Total	mg/L	**0,89**	10	**2,27**	0,5	1,80
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	**3**	80	**14,70**	1	8
Oxígeno Disuelto	mg/L	**10,535**	5,4 (*)	**9,75**	8,03	13,22

Fuente: DSS S.A.

(*) Obtenida de monitoreo de efluente de las PTASs Hacienda Batuco y Reina Norte.

Como se puede observar, en el escenario invernal del río con efluente máximo horario, el resultado de balance de masa para los parámetros DBO_5, Nitrógeno Total, Sólidos Suspendidos Totales resultan levemente fuera del rango histórico del río. Sin embargo, hay que considerar que el resultado de balance de masa corresponde a un sistema de mezcla completa, es decir, a la concentración máxima esperada una vez que la mezcla del cauce con el efluente se realiza en su totalidad y representa el escenario más desfavorable, al no incluir la degradación natural de los compuestos. En ese sentido, el valor estimado debe interpretarse como una condición conservadora. En condiciones naturales, los procesos de dilución, sedimentación y decaimiento contribuyen a reducir las concentraciones efectivas en el estero, por lo que es esperable que los niveles reales se mantengan dentro del comportamiento histórico del sistema o que el aumento fuera del histórico no se mantenga en el tiempo y el espacio. Por tanto, el resultado obtenido no implica una alteración significativa de la calidad del agua bajo las condiciones operacionales descritas.

En la siguiente tabla, se presentan los resultados del balance de masa asociado al Escenario de Estiaje.

Tabla 7-11. Concentraciones Balance de Masa Escenario Estiaje

Parámetro	Unidad	Concentración Línea Base (Sin Proyecto)	Descarga	Situación Con Proyecto	Análisis Histórico	
					Min. Línea Base	Max. Línea Base
Coliformes Fecales	NMP/100	**69,55**	1000	**654,1**	4.3	330
DBO5	mg/L	**1**	35	**22,4**	1	1
Fósforo Total	mg/L	**0,24**	1,04	**0,7**	0,04	0,50
Nitrógeno Total	mg/L	**0,89**	10	**6,6**	0,5	1,80
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	**3**	80	**51,4**	1	8
Oxígeno Disuelto	mg/L	**10,54**	5,4 (*)	**7,3**	8,03	13,22

Fuente: DSS S.A.

(*) Obtenida de monitoreo de efluente de las PTASs Hacienda Batuco y Reina Norte.

Como se puede observar, en el escenario estival del río con efluente máximo horario, el resultado de balance de masa para los parámetros Coliformes Fecales, DBO_5, Fósforo Total, Nitrógeno Total, Sólidos Suspendidos Totales resultan fuera del rango histórico del río. Sin embargo, hay que considerar que el resultado de balance de masa corresponde a un sistema de mezcla completa, es decir, a la concentración máxima esperada una vez que la mezcla del cauce con el efluente se realiza en su totalidad y representa el escenario más desfavorable, al no incluir la degradación natural de los compuestos. En ese sentido, el valor estimado debe interpretarse como una condición conservadora. En condiciones naturales, los procesos de dilución, sedimentación y decaimiento contribuyen a reducir las concentraciones efectivas en el estero, por lo que es esperable que los niveles reales se mantengan dentro del comportamiento histórico del sistema o que el aumento fuera del histórico no se mantenga en el tiempo y el espacio. Por tanto, el resultado obtenido no implica una alteración significativa de la calidad del agua bajo las condiciones operacionales descritas.

7.5.2 Análisis normativo en escenario de Cambio Climático

De manera complementaria al D.S. 90 y para robustecer aún más el análisis, se incorporarán los límites establecidos en la NCh 1333.

La Norma Chilena NCh 1333/78 corresponde a un instrumento de referencia orientado a establecer criterios de calidad de agua según usos (en este caso corresponde al uso de vida acuática), no constituyendo una norma de emisión aplicable a descargas de residuos líquidos. En este contexto, la evaluación de cumplimiento normativo del proyecto se realiza en función del D.S. N°90, el cual establece los límites máximos permisibles para descargas a cuerpos de agua superficiales. No obstante, la Nch 1333 puede ser considerada de manera complementaria como referencia para la calidad del cuerpo receptor y la evaluación de potenciales efectos sobre usos.

Una vez se desarrolle el proyecto de la planta de tratamiento, el uso de las aguas se mantendrá sin alteraciones, ya que se cumple lo indicado en la NCh 1333/78 para todos los escenarios analizados (Tabla 7-12).

Tabla 7-12. Comparación resultados y normativa vigente Chile

Parámetro	Unidad	Nch 1333/78	Escenario Invierno	Escenario Estiaje
Coliformes Fecales	NMP/100ml	**1000**	210,98	654,1
Oxígeno Disuelto	mg/L	**>5**	9,75	7,3
pH	Unidades	**6 – 9,0**	6,59	7,7
Temperatura	°C	**30**	16,23	24,0
Conductividad	µs/cm	**750**	185,06	566,4

Fuente: DSS S.A.

Como se puede apreciar en la Tabla 7-12, todos los parámetros evaluados se encuentran en cumplimiento con la Norma Nch 1333 Tabla N°4 Requisitos generales de aguas destinadas a vida acuática.

De los resultados del balance de masa, en escenario de cambio climático, se aprecia que las concentraciones proyectadas en el rio Arenas resultan en concentraciones menores al límite de la normativa.

7.6. MODELO NUMÉRICO

A continuación, se presentan los resultados del modelo numérico de calidad de agua para los parámetros de Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5), Fósforo Total (PT), Nitrógeno Total (NT), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Coliformes Fecales (PX) y Oxígeno Disuelto (OD).

Tabla 7-13. Tabla de Concentraciones de cada Parámetro (Input Modelo Calidad de Agua)

Parámetro	Valor Original (Línea Base)	Valor efluente	Parámetro HEC-RAS	Valor HEC Ras (Línea Base)	Valor Hec-Ras (Descarga)
DBO_5	1,00	35,00	DBOC	**1,46**	**51,1**
Nitrógeno Total	0,88	10	Amonio (NH4)	**0,488**	**5,5**
			Nitrato (NO3)	**0,089**	**1,00**
			Nitrógeno Orgánico (OrgN)	**0,311**	**3,50**
Fósforo Total	0,236	1,04	Fosforo Inorgánico (TIP)	**0,199**	**0,8788**
			Fosforo Orgánico (OrgP)	**0,037**	**0,1612**
Oxígeno Disuelto	10,54	5,4*	DO	**10,54**	**5,4**
Coliformes Fecales	69,55	1000	PX	**69,50**	**1000**
Solidos Suspendidos Totales	3,00	80,00	Suspended Solid (SST)	**3**	**80**

Fuente: DSS S.A.

7.6.1 Gráficos consolidados de resultados

En este apartado se presentan los gráficos de los parámetros de interés obtenidos de extraer los resultados de la modelación a lo largo del perfil longitudinal trazado. Adicionalmente se agregaron los límites máximos y mínimos de las concentraciones registradas en los levantamientos históricos.

- **NITRÓGENO TOTAL**

A continuación, se presentan los resultados de la distribución de Nitrógeno Total a lo largo del perfil longitudinal. En la siguiente figura se muestra la distribución del Nitrógeno Total, el cual se puede expresar como la suma del Amonio (NH4), Nitrato (N03) y Nitrógeno Orgánico.

La distribución de Amonio, Nitrato y Nitrógeno Orgánico se realizó utilizando una distribución basada en estudio publicado, el cual indica unos porcentajes del Nitrógeno Total iguales a un 55%, 10% y 35% respectivamente.

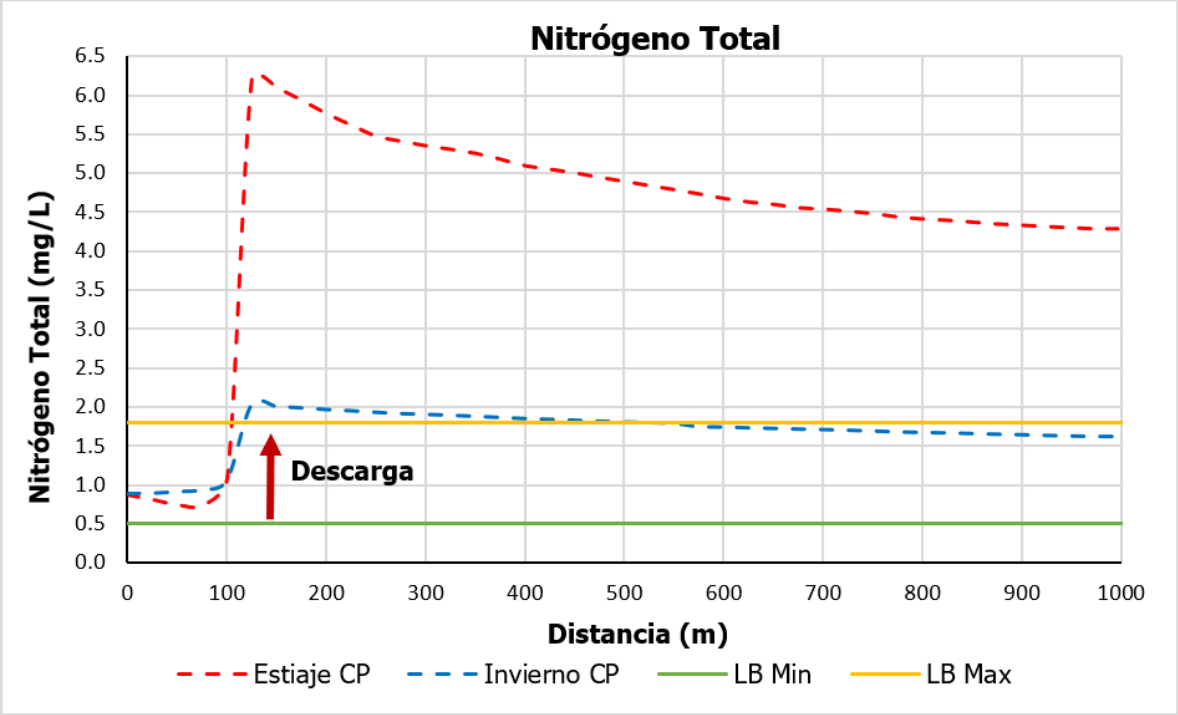


Figura 7-3. Distribución de Concentraciones Nitrógeno Total
Fuente: DSS S.A.

A partir de la curva presentada asociada al Nitrógeno Total se puede observar que para los dos escenarios evaluados (Invierno y Estiaje) las concentraciones parten de acuerdo con la establecido en la Línea Base de 0,88 mg/L para posteriormente ir aumentando en el punto de descarga de la PTAS, alcanzando un Peak en la condición de estiaje a los 6,2 mg/L y de 2,0 mg/L en invierno, los cuales, van decayendo aguas abajo del río Arenas.

Es importante destacar que para las campañas de muestreo generadas en terreno con las cuales se determinó la Línea Base del Río Arenas, presentan mediciones igual al límite de detección del método empleado, es decir, <1 mg/L por lo que, para efectos de la modelación, estos valores se consideraron como la mitad del valor del límite de detección, es decir, con un valor igual a 0,5 mg/L, entregando el valor promedio del Rio Arenas de Nitrógeno Total igual a 0,88 mg/L. Este escenario se relaciona con los Peak alcanzados en la modelación y señalados en la figura anterior, acerándose mucho más a los limites los señalados.

Además de lo anterior, y como se observa en la Figura 7-3, los límites máximos y mínimos de la línea base son 1,8 y 0,5 mg/L respectivamente. Teniendo esto en consideración, se proyectó mediante una regresión lineal la caída de la curva del Nitrógeno Total, hasta alcanzar el límite máximo de 1,8 mg/L, para lo cual, se estima que el Nitrógeno Total alcanza dicha concentración a los **2.040 metros aguas abajo** del punto de Descarga de la Planta de Tratamiento Puerto Montt. La regresión lineal

realizada al escenario de estiaje y la curva de ajuste se muestran en el siguiente gráfico. El ajuste tiene un indicador R^2=0,9274 indicando un buen ajuste.

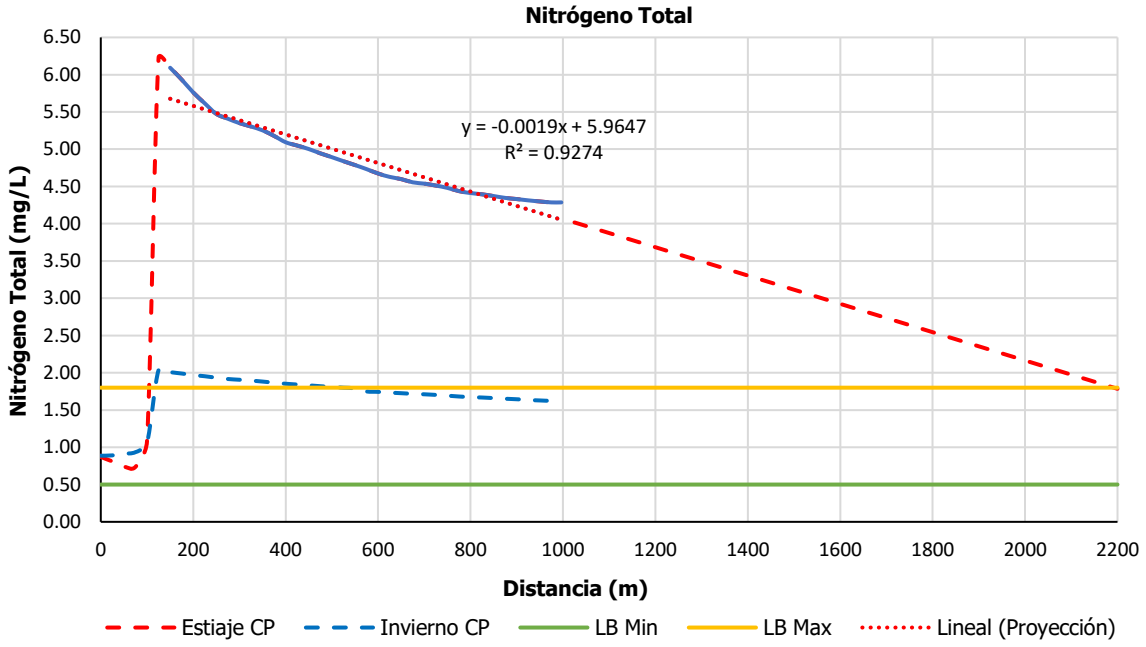


Figura 7-4. Regresión lineal Nitrógeno Total – escenario estiaje
Fuente: DSS S.A.

- **DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO (DBO_5)**

Si bien el Modelo Hec Ras trabaja con DBO carbonosa, esta puede ser transformada a DBO_5 mediante un factor de conversión 1.46 (Environmental Leverage Inc, 2015). A continuación, se presentan los resultados de la DBO_5.

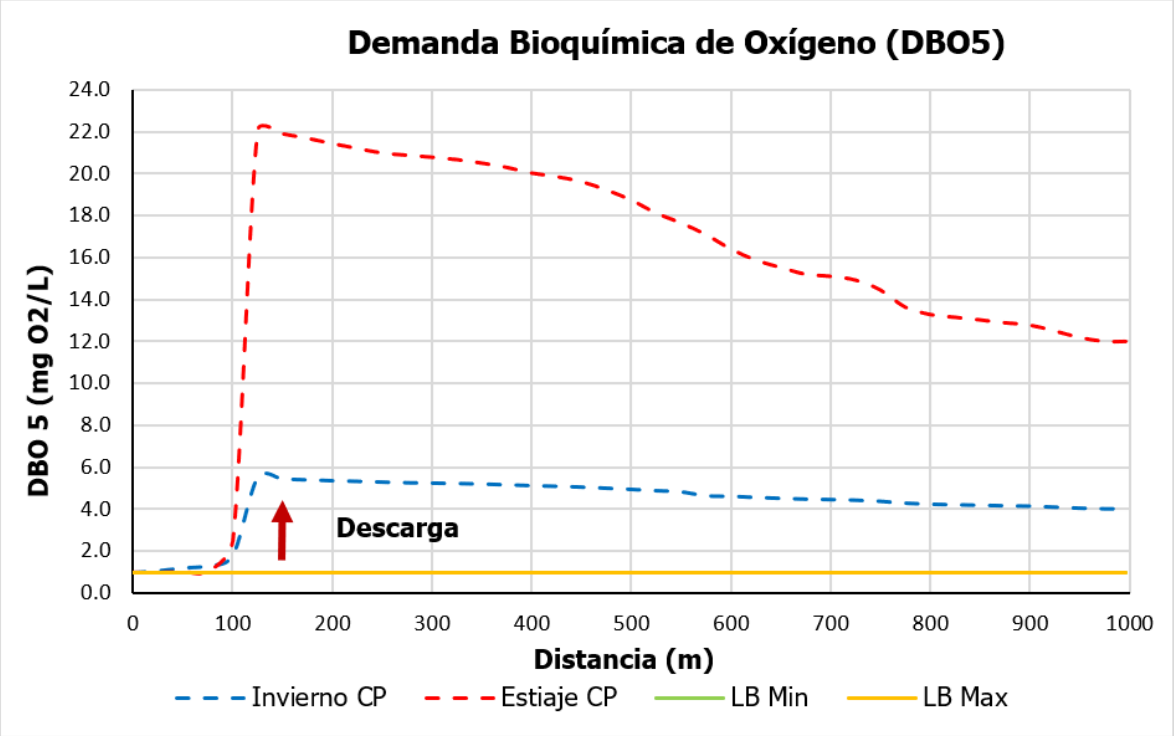


Figura 7-5. Distribución de Concentraciones DBO5
Fuente: DSS S.A.

La Figura anterior muestra el comportamiento de la Demanda Bioquímica de Oxígeno para las situaciones evaluadas (Invierno y Estiaje), las concentraciones parten de acuerdo con la Línea Base en 1 mg/L para ir aumentando en el punto de descarga de la PTAS, alcanzando un Peak en la condición de estiaje a los 22,1 mg/L y de 5,5 mg/L en invierno, los cuales, van decayendo aguas abajo del río.

Es importante destacar que, al igual que en el caso del Nitrógeno Total, las campañas generadas en terreno y los resultados del laboratorio con las cuales se determinó la Línea Base del río corresponden al límite de detección del método empleado, es decir, <2 mg/L, sin embargo, para efectos de la modelación se fijó la concentración del Cauce igual a 1 mg/L, valor correspondiente a la mitad del límite de detección y que representa de mejor manera los Peak alcanzados.

Además de lo anterior, y como se observa en la Figura 7-5, los límites máximos y mínimos de la línea base de igual forma indican una concentración de 1 mg/L, correspondiente al límite de detección del método analítico, considerando que dicho caso ya corresponde a un escenario conservador, se proyectó mediante regresión la caída de la curva de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, hasta alcanzar el rango de 1 mg/L, para lo cual, se estima que el DBO_5 alcanza dicha concentración a los **1.630 metros aguas abajo** del punto de Descarga de la Planta de Tratamiento Puerto Montt. La

regresión lineal realizada al escenario de estiaje y la curva de ajuste se muestran en el siguiente gráfico. El ajuste tiene un indicador R^2=0,9778 indicando un buen ajuste.

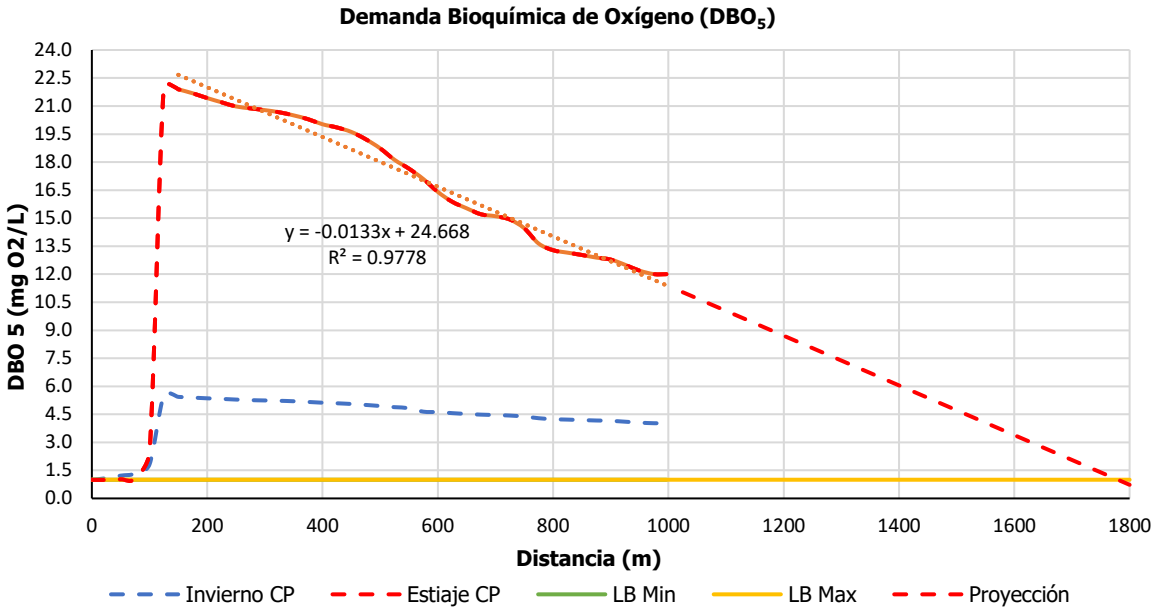


Figura 7-6. Regresión lineal DBO_5 – escenario estiaje
Fuente: DSS S.A.

- **FÓSFORO TOTAL**

En la siguiente figura se muestra la distribución del Fósforo Total (P-total), el cual se puede expresar como la suma del Fósforo Orgánico (P-org) y del Fósforo Inorgánico (P-inorg). Para efectos de la Modelación, el software Hec-Ras trabaja con los compuestos Orgánicos e Inorgánico por separado.

La distribución de P-org y P-inorg se realizó utilizando una distribución basada en estudio publicado, 15,5% y 84,5% respectivamente (Sánchez de Fuentes, 2021).

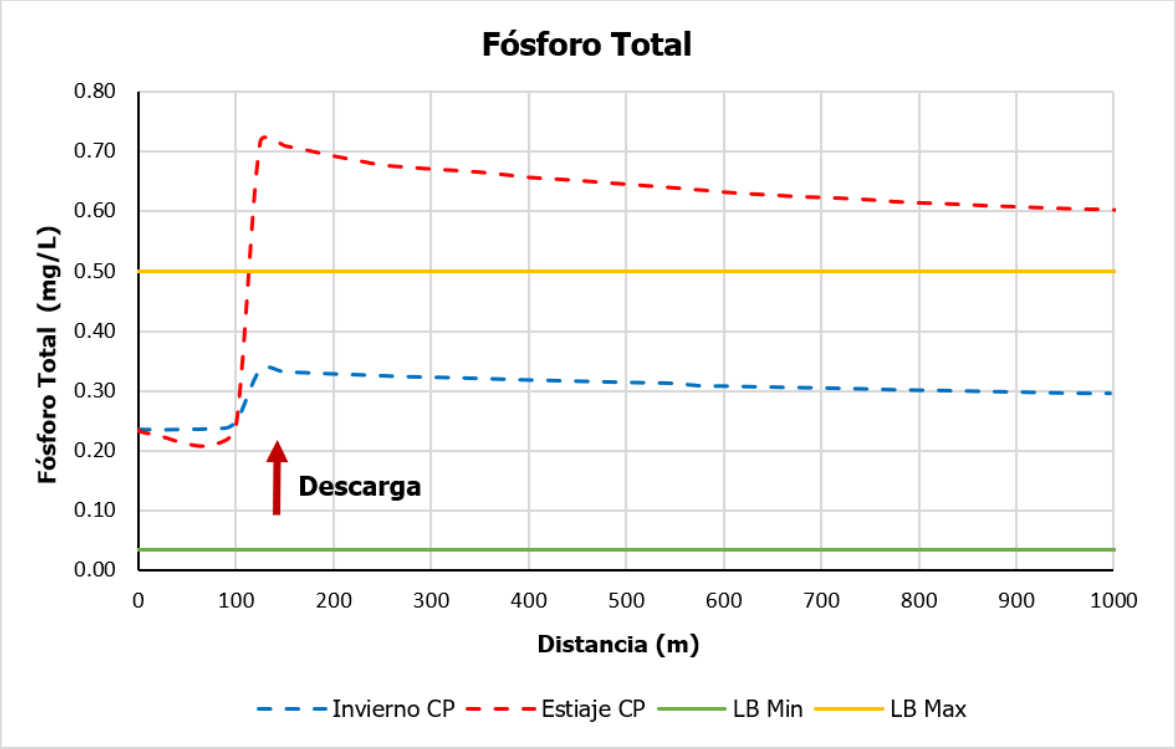


Figura 7-7. Distribución de Concentraciones de Fósforo Total
Fuente: DSS S.A.

En la figura anterior, se grafica el comportamiento del Fósforo Total para las situaciones evaluadas (Invierno y Estiaje) las concentraciones parten de acuerdo con la Línea Base en 0,236 mg/L para ir aumentando en el punto de descarga de la PTAS, alcanzando un Peak en la condición de estiaje a los 0,71 mg/L y de 0,33 mg/L en invierno, los cuales, van decayendo aguas abajo del río arenas.

En el caso de la condición de invierno los resultados se presentan siempre bajo los límites de línea base históricos medidos en el cauce (Lim Max. 0,50 mg/L). Mientras que, en el caso de la condición de estiaje, se alcanza un Peak de 0,71 mg/L producido en el punto de descarga, el cual va decayendo aguas abajo del Río Arenas, a partir de ello y proyectando mediante regresión lineal el decaimiento de las concentraciones de Fósforo Total hasta los límites de línea base (0,50 mg/L), se estima que las concentraciones decaen hasta dicho límite aproximadamente a **1.920 m aguas Abajo** de la descarga. La regresión lineal realizada al escenario de estiaje y la curva de ajuste se muestran en el siguiente gráfico. El ajuste tiene un indicador R^2=0,9589 indicando un buen ajuste.

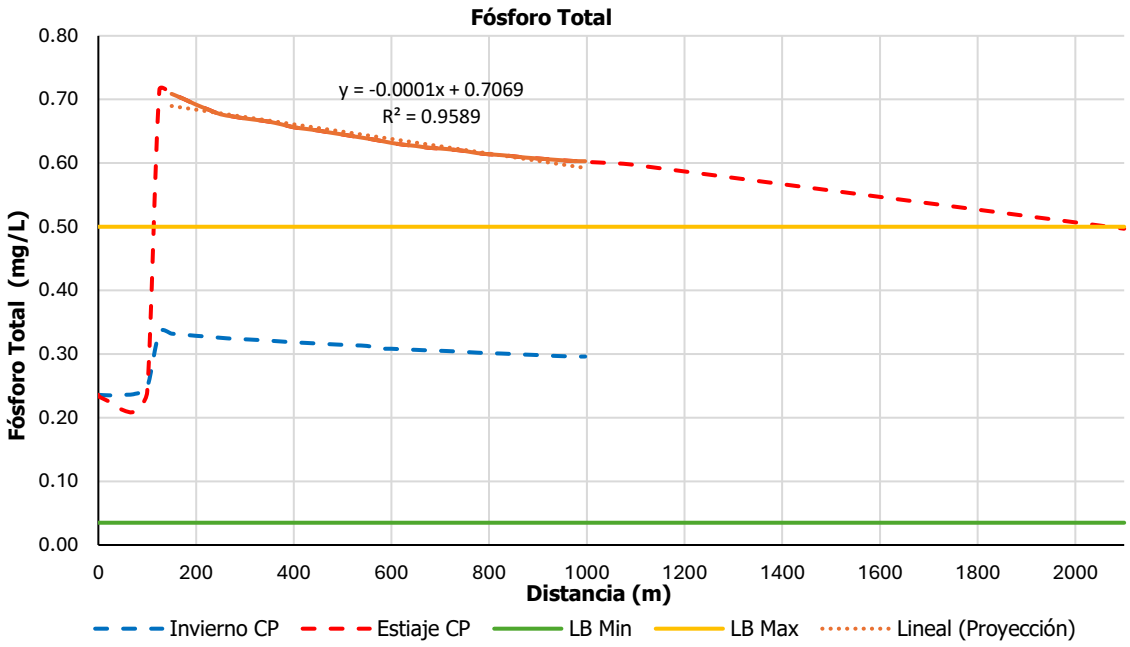


Figura 7-8. Regresión lineal Fósforo Total – escenario estiaje
Fuente: DSS S.A.

- **COLIFORMES FECALES**

En la siguiente figura se muestra la distribución de los Coliformes Fecales.

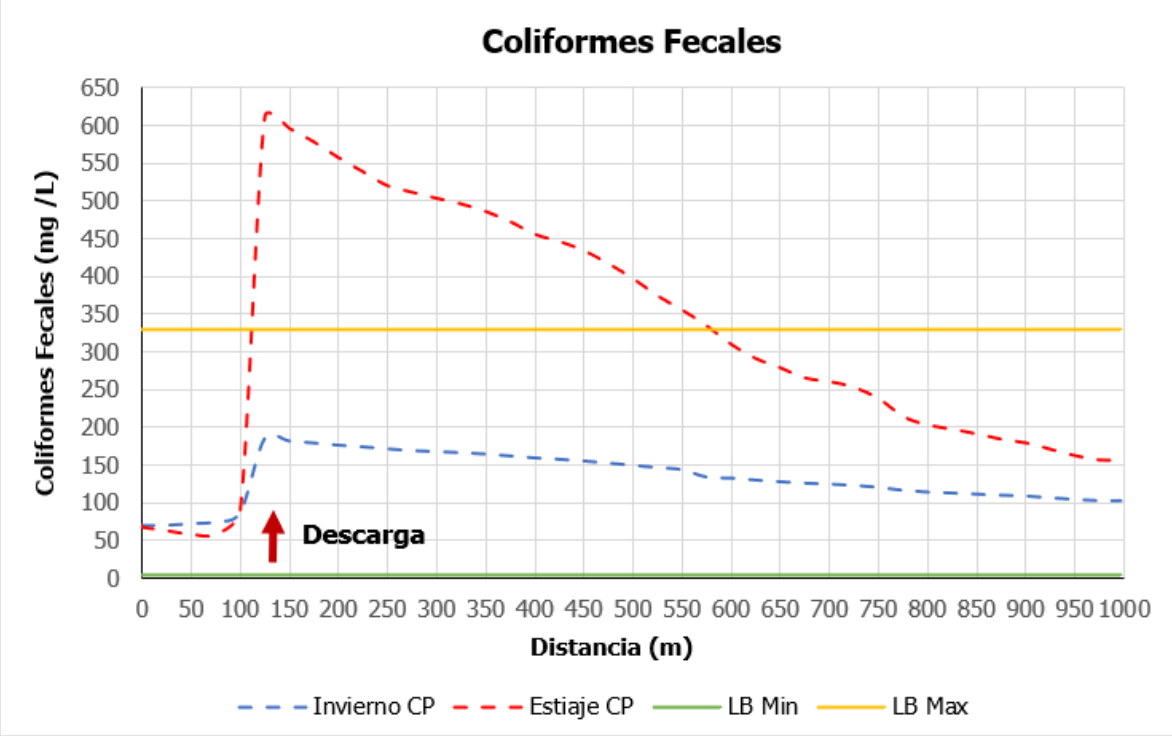


Figura 7-9. Distribución de Concentraciones de Coliformes Fecales
Fuente: DSS S.A.

En la figura anterior, se grafica el comportamiento de los Coliformes para las situaciones evaluadas (Invierno y Estiaje) las concentraciones parten de acuerdo con la Línea Base en 69,55 mg/L para ir aumentando en el punto de descarga de la PTAS, alcanzando un Peak en la condición de estiaje a los 612 mg/L y de 185 mg/L en invierno, los cuales, van decayendo aguas abajo del río.

Para el caso de la condición estiaje, el valor se encuentra por sobre el límite histórico, alcanzando el límite máximo de 330 mg/l a una distancia de **425 metros aguas abajo** de la descarga, mientras que, en el caso de invierno, los valores se encuentran siempre por debajo de los límites históricos de Línea Base del río Arenas (Lim Max. 330 mg/L), además de lo anterior y de acuerdo con la Normativa NCH 1333 que establece un límite de coliformes de 1000 mg/L los valores modelados se encuentran en cumplimiento, con valores muy por debajo de la normativa, es por ello que no se prevé una afectación por uso aguas abajo del río Arenas.

- **SOLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES**

A continuación, se presentan los resultados de la distribución de Sólidos Suspendidos Totales (SST).

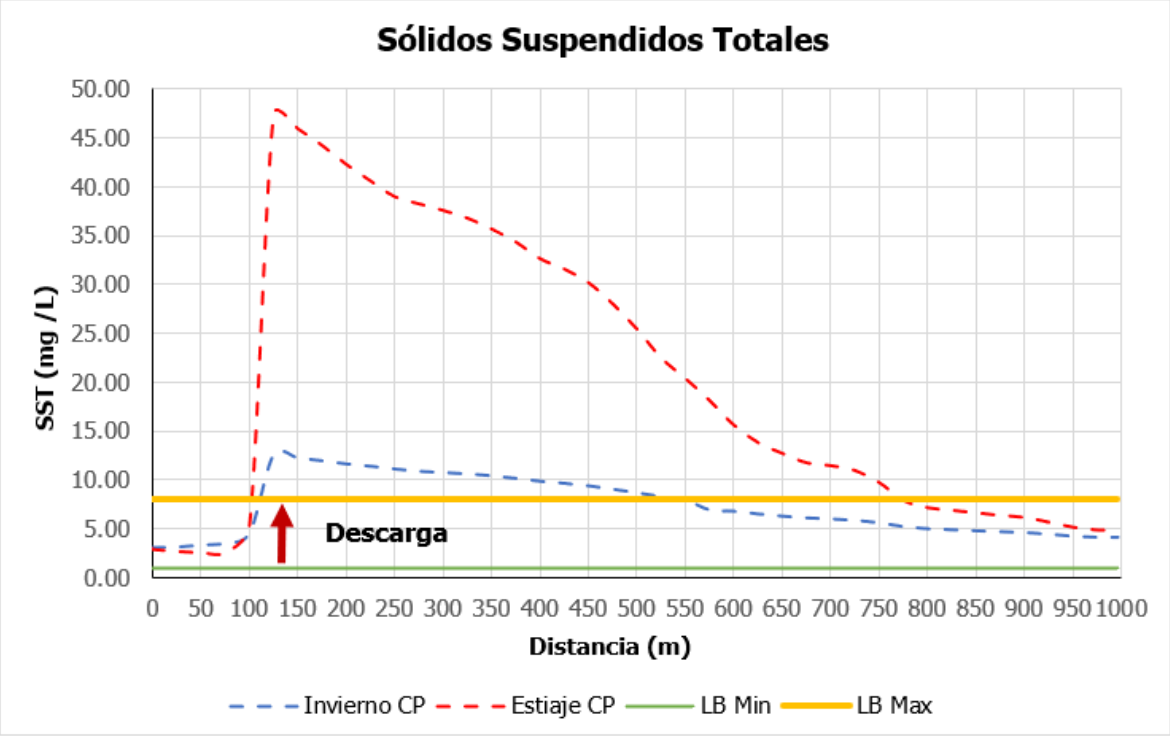


Figura 7-10. Distribución de Concentraciones de SST
Fuente: DSS S.A.

En la figura anterior, se grafica el comportamiento de los Sólidos Suspendidos Totales para las situaciones evaluadas (Invierno y Estiaje), las concentraciones parten de acuerdo con la Línea Base en 3 mg/L para ir aumentando en el punto de descarga de la PTAS, alcanzando un Peak en la

condición de estiaje a los 47,5 mg/L y de 12,5 mg/L en invierno, los cuales, van decayendo aguas abajo del río arenas.

En el caso de la condición de invierno y estiaje, los resultados sobrepasan los límites de línea base históricos medidos en el cauce (Lím Max. 8 mg/L). En el caso de la condición de estiaje, se alcanza un Peak 47,5 mg/L producido en el punto de descarga, el cual va decayendo aguas abajo del Río Arenas, hasta alcanzar el límite de línea base (8 mg/L) a aproximadamente **625 m aguas abajo** de la descarga.

- **OXÍGENO DISUELTO**

Por último, se presentan los resultados de la distribución de Oxígeno Disuelto a lo largo del perfil longitudinal.

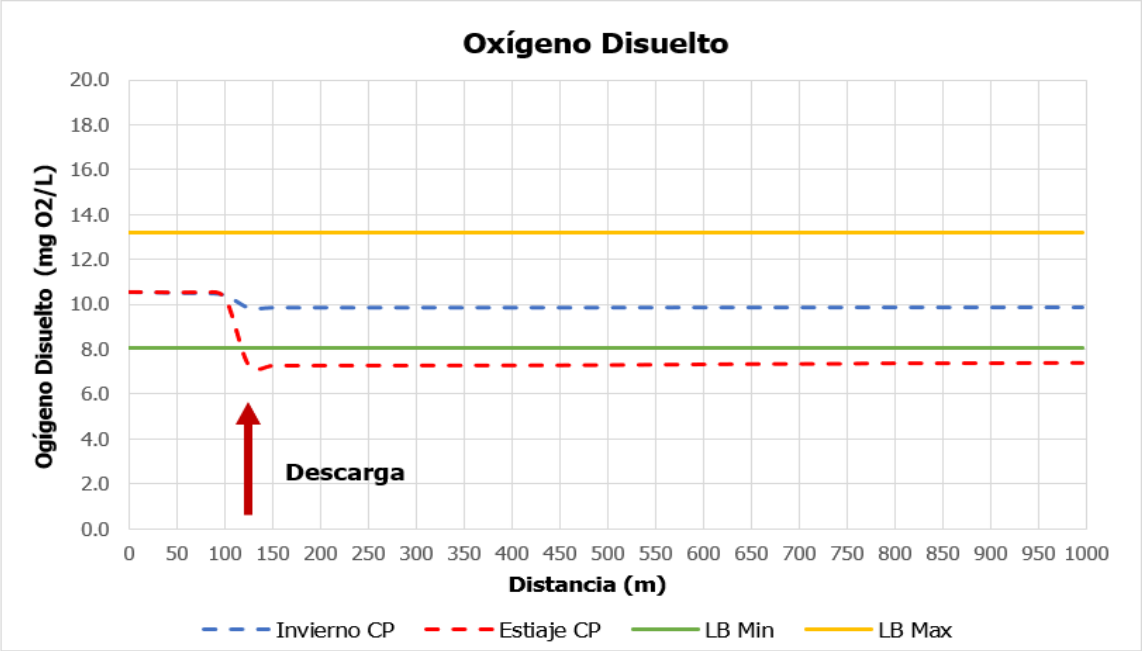


Figura 7-11. Distribución de Concentraciones de Oxígeno Disuelto
Fuente: DSS S.A.

En la figura anterior, se grafica el comportamiento del Oxígeno Disuelto para las situaciones evaluadas (Invierno y Estiaje) las concentraciones parten de acuerdo con la Línea Base en 10,54 mg/L para ir decayendo en el punto de descarga de la PTAS, alcanzando un Peak en la condición de estiaje a los 7,27 mg/L y de 9,8 mg/L en invierno.

Para ambos casos tanto invierno y Estiaje, los resultados se mantienen siempre por sobre lo establecido en la normativa Nch 1333, Tabla N°4, que establece que las concentraciones de OD

deben mantenerse por sobre los 5 mg/L. Por otro lado, las concentraciones de oxígeno para el caso de invierno se mantienen siempre dentro de los rangos históricos de la línea base medidos en el cauce, mientras que, para el caso de estiaje, la concentración de oxígeno disuelto se encuentra por debajo del límite mínimo establecido, pero cumpliendo con lo señalado previamente de que se mantiene por sobre los 5 mg/L. Es por ello que, es posible indicar que se da cumplimiento a la normativa vigente y con ello indicar que el proyecto no genera una afectación significativa respecto al uso de las aguas del Río Arenas aguas abajo de la descarga de la PTAS Puerto Montt.

8. ÁREA DE INFLUENCIA

El área de influencia (AI) se define como: "El área o espacio geográfico, cuyos atributos, elementos naturales o socioculturales deben ser considerados con la finalidad de definir si el proyecto o actividad genera alguno de los efectos, características o circunstancias del artículo 11 de la ley N°19.300, o bien para justificar la inexistencia de dichos efectos, características o circunstancias" (letra a) del artículo 2 del Reglamento del SEIA, D.S. N°40/2012.

Desde el punto de vista del presente estudio, asociado a Calidad de Agua, el Área de Influencia se encuentra definido como la longitud en el cauce donde las concentraciones de los parámetros evaluados alcanzan los valores históricos del Río Arenas establecidos en su Línea Base.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el apartado de modelación numérica, existen 4 parámetros que se encuentran por sobre los límites de la línea base histórica, correspondientes a: Nitrógeno Total, DBO_5, Fósforo Total y Sólidos Suspendidos. A partir de lo anterior se realizó una regresión lineal para poder estimar el decaimiento de cada una de las Curvas que se ubican por sobre los rangos históricos por parámetro.

Según lo mencionado, se logra estimar que los parámetros correspondientes a: Nitrógeno Total, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Fósforo Total, Coliformes Fecales y los Sólidos Suspendidos Totales, tardan 2040 m, 1630 m, 1920 m, 425 m y 625 m (medidos desde el punto de descarga hacia aguas abajo) en alcanzar los limites históricos del cauce definidos en su Línea Base.

Para las concentraciones de los parámetros de la Descarga, estos se realizaron en base a que puedan cumplir con los máximos establecidos en el D.S. 90 y según el tipo de tratamiento específico (terciario), del que dispondrá la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Puerto Montt. Para el caso del Nitrógeno Total, la remoción de nitritos y nitratos, se contempla en la existencia de una zona anóxica, que permita el desarrollo del proceso de desnitrificación. La configuración utilizada es la denominada MLE (Modified Ludzack-Ettinger), que consiste en la modificación del proceso original, instalando un estanque anóxico previo al estanque de aireación, incorporando una recirculación interna desde la zona aerobia directamente a la zona anóxica. Con las condiciones adecuadas de operación, este sistema permite obtener concentraciones de nitratos en el efluente del orden de 4 a 7 mg/L. Este sistema es muy utilizado y en aguas residuales domésticas permite concentraciones en el efluente menores a 10 mg/L de Nitrógeno total.

Por otro lado, la remoción de Fósforo Total (P) en los sistemas de lodos activados convencionales está referida a la síntesis celular que se produce en la remoción de la materia orgánica por la acumulación intracelular de reservas de polifosfato. Este proceso provoca que exista un consumo de

P, pero marginal en términos de concentración. Para lograr concentraciones inferiores a 2 mg/L (límite normativo a cumplir) se ha definido usar un proceso de coagulación química, a través de la adición de cloruro férrico.

Por las concentraciones del efluente utilizados y lo mencionado anteriormente, a efectos del presente estudio se define que el **Área o longitud de Influencia a partir de los resultados del Nitrógeno Total correspondiente a 2.040 metros aguas abajo del punto de descarga,** por ser la situación más desfavorable.

En Figura 8-1, se señala la longitud de influencia mencionada asociada al Nitrógeno Total.

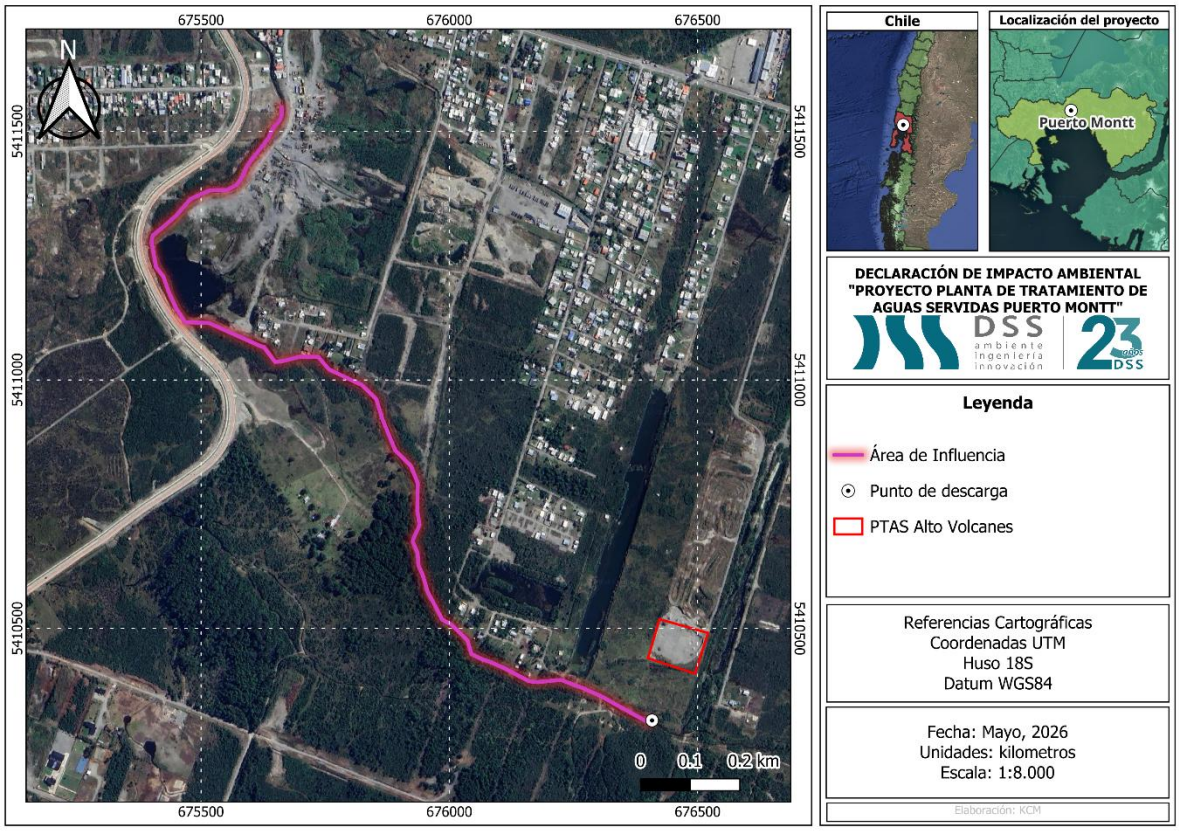


Figura 8-1. Zona de Influencia.
Fuente: DSS S.A.

9. CONCLUSIONES

En el presente documento se presentaron los resultados del Estudio de Calidad del agua asociado al Río Arenas en la Zona de Proyecto, en particular donde se ubica el punto de descarga de la PTAS Puerto Montt, perteneciente a la empresa Aguas Santiago Norte S.A., todo esto ubicado en la comuna de Puerto Montt, provincia de Llanquihue, región de Los Lagos.

El estudio comenzó con la recopilación de antecedentes, para lo cual se efectuó una visita a terreno en septiembre 2023. Durante la campaña se realizó un levantamiento topográfico de la zona y la batimetría del cauce. Adicionalmente, se capturaron fotografías y grabaciones del río para observar de mejor forma la dinámica, el estado actual. Adicional a los usos y costumbres informales, se revisaron los antecedentes de Derechos de Agua y Proyectos cercanos al punto de descarga.

Se caracterizó hidrológicamente la cuenca del cuerpo receptor a través de un balance hídrico, lo anterior debido a que el cauce no presenta estaciones Fluviométricas. En base a los resultados de la caracterización hidrológica, se decidió recomendar utilizar los siguientes escenarios para descripción de la operación de la PTAS:

- **Escenario Estiaje:** Este se caracteriza mediante el caudal medio estiaje de 0,024 m^3/s (Caudal reducido por efecto de Cambio Climático, consideración más desfavorable en los meses de verano) sumado a una descarga máxima de 41,33 lt/s.
- **Escenario Invernal**: Este se caracteriza mediante el caudal del mes de febrero de 0,231 m^3/s (Caudal reducido por efecto de Cambio Climático) sumado a una descarga máxima de 41,33 lt/s.

Respecto al modelo hidráulico realizado, este se calibró respecto del caudal y altura medida durante el desarrollo del trabajo topográfico que abarcó una distancia prácticamente 1 km aproximadamente en el sentido longitudinal del Río Arenas comenzando desde 100 metros aguas arriba de la descarga, donde se obtuvo una pendiente promedio de 0,0039 m/m Aguas Arriba y de 0,0054 m/m Aguas Abajo como condición de borde.

Se considera que la zona de modelación presenta en general buenas velocidades para generar y mantener una mezcla completa del efluente con las aguas del río Arenas en su condición proyectada, presentándose velocidades promedio cercanas a 0,34 m/s en invierno y 0,24 m/s en estiaje, garantizando la mezcla completa con el efluente tratado y mantener la homogeneidad del flujo. Además, las variaciones en las velocidades promedio en la condición proyectada respecto a la condición sin proyecto son de 0,02 m/s en invierno y de 0,05 m/s en estiaje, con lo cual, se verifica que la condición proyectada no genera un efecto adverso en las velocidades para los periodos de estiaje e invierno.

Para la modelación de calidad de agua se aplicaron dos metodologías, un balance de masa y un modelo numérico de calidad de agua en la plataforma Hec-Ras. Debido a que actualmente la normativa se basa en establecer valores máximos para la concentración de los distintos parámetros, se contrastaron los resultados de la modelación con la normativa vigente para verificar que los usos identificados no se vean afectados con la presencia de la descarga, considerando el tipo de tratamiento y la memoria de procesos de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Puerto Montt.

Se analizó la normativa vigente correspondiente a la Nch 1333 tabla N°4, de la cual se verifica que, para todos los parámetros analizados, se tendrá cumplimiento normativo de ellos.

El **Área o longitud de Influencia a partir de los resultados del Nitrógeno Total correspondiente a 2.040 metros aguas abajo del punto de descarga,** por ser la situación más desfavorable.

Finalmente, de acuerdo con la información recopilada en el estudio de Calidad de Agua, se considera que la situación proyectada de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas Puerto Montt no generará cambios significativos en las características actuales del agua del curso receptor. Así como no se proyecta afectación en el desarrollo de uso de aguas por usuarios locales ni de fauna íctica.