

<b>PROYECTO:</b>	<b>MEJORAMIENTO Y TRANSFORMACIÓN ECOMAULE: PLATAFORMA DE RECICLAJE Y VALORIZACIÓN</b>
<b>MATERIA:</b>	<b>PLUMA DE EFLUENTE ECOMAULE</b>
<b>CLIENTE:</b>	<b>PARES &amp; ALVAREZ</b>
<b>CODIGO:</b>	<b>2007.80</b>

Rev.	Fecha	Realizado	Revisado	Aprobado	Descripción
A	13-10-20	CAB	AGL	AGL	Para revisión
B	26-10-20	CAB	AGL	AGL	Para revisión
C	16-11-20	CAB	AGL	AGL	Para revisión

Rev.	Fecha	Revisión/aprobación cliente	Descripción
A	23-10-20	Revisión	Comentarios vía email
B	16-11-20	Revisión	Comentarios vía email

## RESUMEN

El presente informe se desarrolla en el contexto del mejoramiento de la Planta de Tratamientos de Lixiviados correspondiente al Proyecto “Mejoramiento y Transformación Ecomauile: Plataforma de Reciclaje y Valorización, ubicado en la comuna de Río Claro, Provincia de Talca, Región del Maule.

La operación actual de la planta de tratamiento de lixiviados cuenta con un sistema de tratamiento biológico primario de aireación extendida el cual cumple con norma de emisión de descarga a cuerpos de agua superficiales de acuerdo a D.S.90/01 MINSEGPRES (Tabla N°1), con una capacidad de tratamiento autorizada de 52,6 m<sup>3</sup>/día de acuerdo a RCA N° 052/2004. Adicionalmente, mediante esta misma RCA, se autorizó utilizar el efluente para riego cumpliendo con la NCh 1333 Of. 78 y para humectación de caminos. Adicionalmente y mediante consulta de pertinencia y posterior Resolución Sanitaria N°1333/2020 de la Seremi de Salud Región del Maule, se autoriza el proyecto de optimización de la planta de tratamiento de líquidos lixiviados con el objetivo que el efluente cumpla con los límites establecidos en el DS 609/1998 del Ministerio de Obras Públicas y su posterior envío a planta de tratamiento de aguas servidas externa.

El Proyecto que ingresa a evaluación, busca optimizar este tratamiento incorporando operaciones unitarias que permiten transformar el sistema de tratamiento actual en un sistema secundario, adicionando una piscina anaeróbica (tratamiento primario) con el fin de mejorar su funcionamiento y aumentar su capacidad de tratamiento a 150 m<sup>3</sup>/día. El efluente dará cumplimiento al D.S.90/01 MINSEGPRES considerando la capacidad de dilución del cuerpo receptor (Tabla N°2)

El objetivo del presente estudio es evaluar los efectos de la descarga de aguas tratadas al estero Villa Hueso, tanto en la variación en el eje hidráulico, como en los niveles de concentración de 10 sustancias. Para ello se realizó un análisis de antecedentes, un levantamiento topográfico, y un modelo hidráulico, junto con un análisis de Calidad de Aguas para los componentes en estudio. El análisis consideró caudales de 95% de excedencia para febrero (caudal de diseño), correspondiente al mes de febrero más seco en 20 años; 50% de excedencia para febrero, correspondiente al caudal medio para el mes de febrero, y el Caudal Medio Anual.

Desde el punto de vista hidráulico, los resultados indican que el nivel de escurrimiento para el caudal de diseño aumenta en hasta 2 cm en la Condición Con Proyecto y para los demás escenarios, el efecto es prácticamente imperceptible.

Con respecto al análisis de Calidad de Aguas, para las sustancias consideradas, se observa que su concentración experimenta un aumento puntual en la zona de descarga, y este aumento

se mantiene constante en el tramo de aguas abajo; además, se observa que el aumento puntual de las sustancias es mayor para los caudales más bajos.

Inmediatamente Aguas Abajo de la descarga en el estero, los resultados de la modelación indican una concentración de 36.3 mg/L de DBO, 20.2 mg/L de Nitrógeno, 4.3 mg/L de Fósforo, 3.1 mg/L de Aluminio, 0.04 mg/L de Arsénico, 0.003 mg/L de Molibdeno, 0.052 mg/L de Plomo, 84.2 mg/L de Sulfatos, 0.52 mg/L de Zinc, y 207.9 mg/L de Cloruros, para el caudal de diseño en el estero Villa Hueso.

De los resultados obtenidos, se observa que todas las sustancias, excepto los cloruros, cumplen con la NCh 1333 para todos los escenarios de caudal modelados. Sólo la concentración resultante de Cloruros sobrepasa el límite máximo determinado en la NCh 1333 para el escenario más adverso, el mes de febrero más seco en 20 años. En efecto, el valor modelado sobrepasa en 4% lo indicado en la norma sólo para el escenario más adverso, y lo cumple para todos los demás escenarios.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	ii
1 INTRODUCCIÓN .....	5
2 ZONA DE ESTUDIO .....	8
3 TOPOGRAFÍA.....	9
4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO .....	10
5 ANÁLISIS HIDRÁULICO.....	11
5.1 Caudales.....	11
5.2 Perfiles Transversales .....	11
5.3 Rugosidad de Manning .....	12
5.4 Condiciones de Borde.....	12
5.5 Resultados Modelos Hidráulicos .....	12
6 ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUAS .....	14
6.1 Evaluación de Constantes .....	15
6.2 Concentraciones del Efluente .....	16
6.3 Condiciones Iniciales.....	17
6.4 Resultados Calidad de Aguas .....	18
7 CONCLUSIONES .....	22
8 ANEXOS.....	23
A. ANÁLISIS HIDROLÓGICO .....	23
A.1 Generalidades.....	23
A.2 Determinación de Caudales .....	23

## **1 INTRODUCCIÓN**

El presente informe se desarrolla en el contexto del mejoramiento de la Planta de Tratamientos de Lixiviados correspondiente al Proyecto “Mejoramiento y Transformación Ecomaula: Plataforma de Reciclaje y Valorización, ubicado en la comuna de Río Claro, Provincia de Talca, Región del Maule. La descarga sus aguas tratadas se realiza en el Estero Villa Hueso. El centro descarga sus aguas tratadas en el Estero Villa Hueso. En la Figura 1-1 y Figura 1-2 se presenta la ubicación del proyecto de acuerdo a su división política administrativa y a nivel local.

La operación actual de la planta de tratamiento de lixiviados cuenta con un sistema de tratamiento biológico de lodos activos mediante aireación extendida, el cual cumple con norma de emisión de descarga a cuerpos de agua superficiales de acuerdo a D.S.90/01 MINSEGPRES (Tabla N°1), con una capacidad de tratamiento autorizada de 52,6 m<sup>3</sup>/día de acuerdo a RCA N° 052/2004. El Proyecto busca optimizar este tratamiento incorporando un sistema de tratamiento primario de tipo anaerobio con el fin de mejorar su funcionamiento, aumentar su capacidad de tratamiento a 150 m<sup>3</sup>/día e incorporar alternativas de reutilización del recurso de acuerdo con la norma de riego NCh 1333/Of. 78 (Tabla 1 Concentraciones máximas de elementos químicos en agua para riego), uso industrial para humectación de caminos, alternativas de descarga por medio del envío de las aguas tratadas a Plantas de tratamiento de Aguas servidas dando cumplimiento al D.S. 609/1998 MOP y modificar la descarga a cuerpos de agua superficiales dando cumplimiento a la Tabla N°2 del D.S.90/01 MINSEGPRES.

Estas mejoras consisten en la incorporación de una piscina anaeróbica de 4.000 m<sup>3</sup> como sistema de tratamiento primario permitiendo una eficiencia de remoción esperada del 20% de DBO previo al tratamiento aeróbico (tratamiento secundario). Además, se incorporará un cuarto reactor aerobio de 400 m<sup>3</sup> y la automatización del sistema.

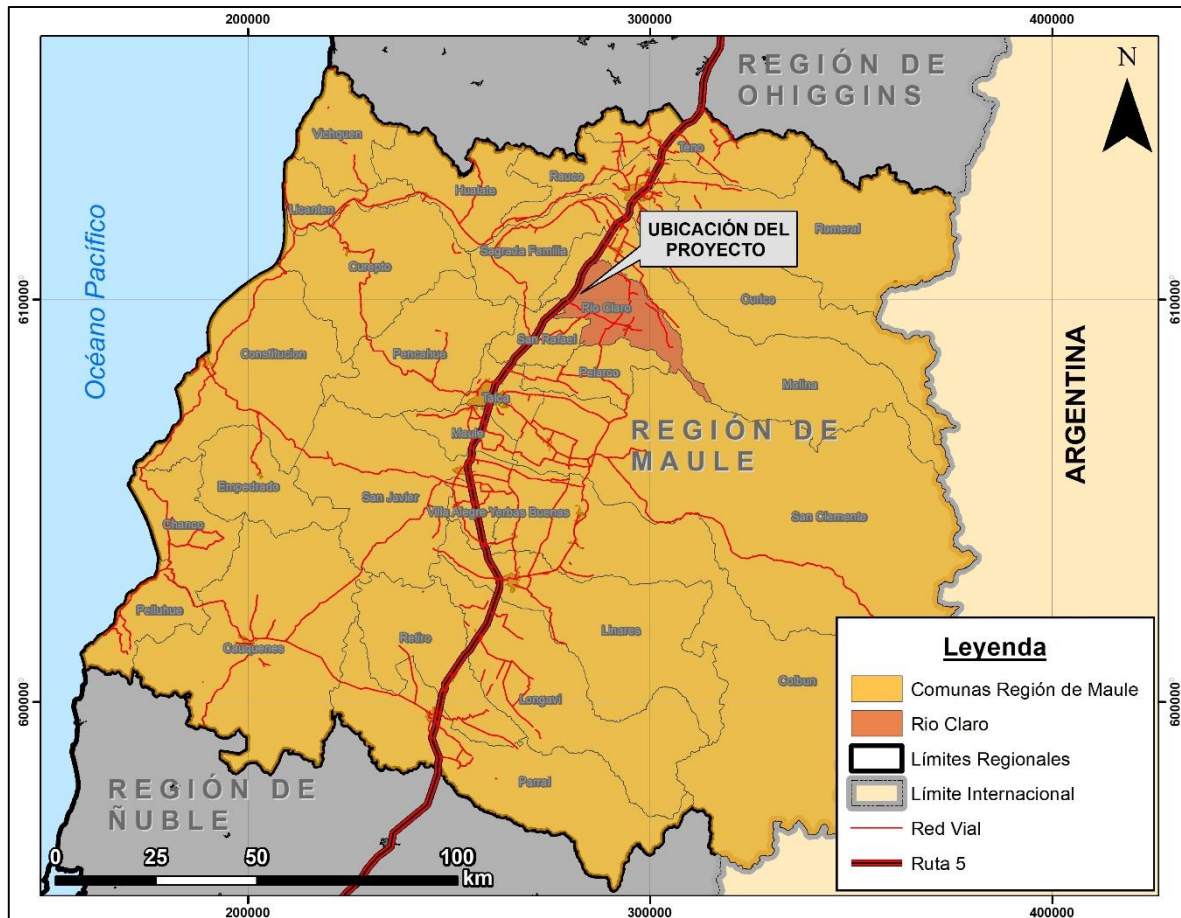


Figura 1-1. Ubicación del proyecto a nivel Regional.



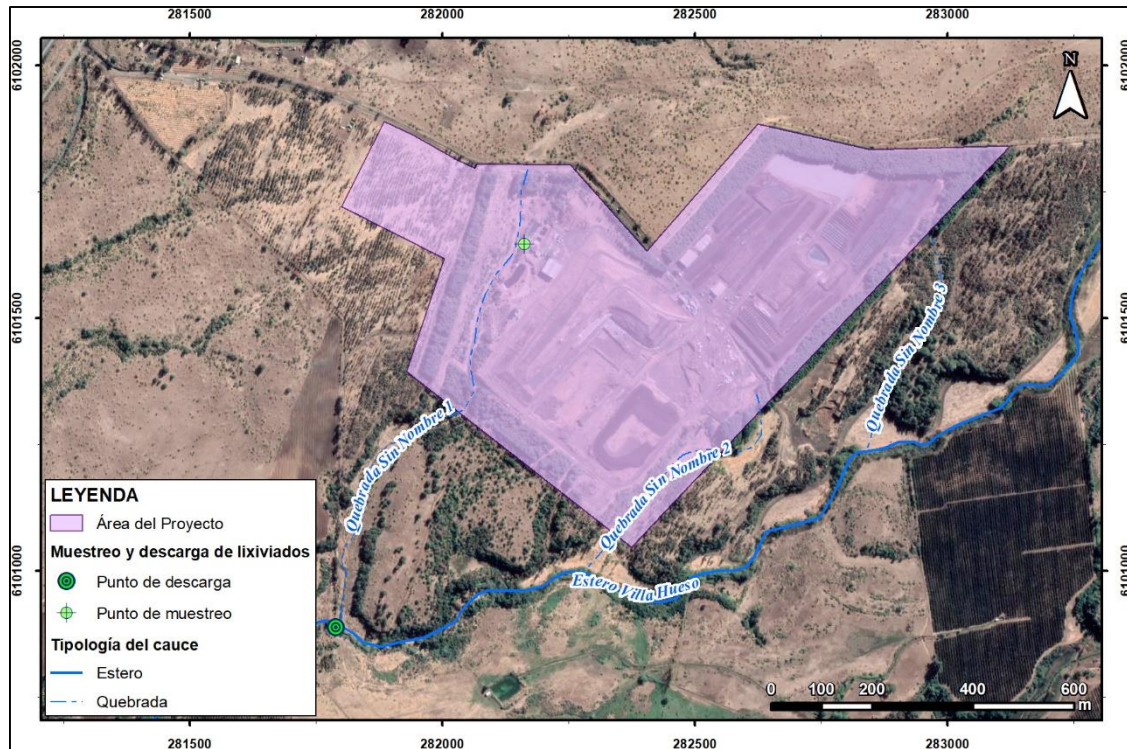


Figura 1-2. Ubicación del proyecto.

Actualmente Ecomaule, cuenta con las autorizaciones para la gestión de sus efluentes:

- Autorización RCA 052/2004 de la Comisión Regional del medio Ambiente Región del Maule para descarga a cuerpos de agua superficial y Resolución N° 933/2020 de la Superintendencia de Medio Ambiente, que autoriza el Programa de Monitoreo de la descarga a estero Villa El Hueso cumpliendo con Tabla 1, DS 90/2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia.
- Humectación de camino y riego por RCA 052/2004 de la Comisión Regional del medio Ambiente Región del Maule.
- Resolución N°1333/2020 de la Seremi de Salud, que autoriza la optimización de la planta de tratamiento de líquidos lixiviados con el objetivo de incorporar como alternativa la disposición final del efluente tratado en plantas de tratamiento de aguas servidas externas cumpliendo con el DS 609/1998 del Ministerio de Obras Públicas.

El objetivo del estudio es evaluar los efectos de la descarga de aguas tratadas al estero Villa Hueso, tanto en la variación en el eje hidráulico, como en los niveles de concentración de 10 sustancias. Para ello se realizó un análisis de antecedentes, un levantamiento topográfico, y un modelo hidráulico, junto con un análisis de Calidad de Aguas para los componentes en estudio.

## 2 ZONA DE ESTUDIO

El punto de Descarga de la planta Ecomaule al estero Villa Hueso se ubica en las coordenadas 6.100.889 m N, 281.789 m E (UTM, Datum WGS 84, Huso 19), según se indica en la Figura 2-1.



Figura 2-1. Ubicación del proyecto.



### 3 TOPOGRAFÍA

El levantamiento topográfico del cauce fue realizado el día 04 de agosto de 2020 mediante GPS geodésico en modo RTK, utilizando un GPS fijo en tierra, y otro en estado móvil para la captura de los datos de terreno (Figura 3-1).



Figura 3-1. Levantamiento Topográfico mediante GPS RTK.

Adicionalmente, para incorporar información topográfica de sectores aledaños al cauce, se realizó un levantamiento aerofotogramétrico con dron DJI Mavic 2 Pro (Figura 3-2). Este dron cuenta con una cámara fotográfica de 20 MP. El levantamiento abarca toda el área de estudio, y es amarrado con puntos de control en tierra, que son identificados, individualizados y georreferenciados durante el levantamiento topográfico con GPS geodésico. Con ello se generó un ortomosaico y una nube de puntos georreferenciada, mediante el software Pix4D.



Figura 3-2. Dron Mavic 2 Pro.

#### 4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El Análisis Hidrológico se presenta en detalle en el Anexo A. En la Tabla 4-1 se presentan los caudales correspondientes al estero Villa Hueso en el punto de Descarga, y en la Figura 4-1 se presentan gráficamente estos caudales. Se observa que los valores más bajos ocurren entre los meses de enero y abril, y específicamente el caudal de 95% de excedencia más bajo ocurre en el mes de febrero.

Tabla 4-1. Curvas de Variación Estacional, Estero Villa Hueso en Punto de Descarga ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
95%	0.008	0.005	0.006	0.009	0.023	0.045	0.059	0.072	0.085	0.083	0.045	0.021
90%	0.012	0.007	0.008	0.011	0.026	0.062	0.100	0.115	0.118	0.104	0.062	0.030
80%	0.018	0.011	0.011	0.015	0.034	0.098	0.165	0.181	0.170	0.138	0.087	0.045
50%	0.038	0.020	0.019	0.030	0.082	0.250	0.364	0.365	0.313	0.236	0.155	0.088
20%	0.076	0.036	0.029	0.070	0.270	0.673	0.725	0.682	0.519	0.402	0.265	0.165
10%	0.108	0.050	0.037	0.118	0.533	1.140	1.020	0.941	0.656	0.532	0.350	0.225
5%	0.145	0.064	0.044	0.188	0.947	1.765	1.344	1.230	0.784	0.671	0.442	0.290

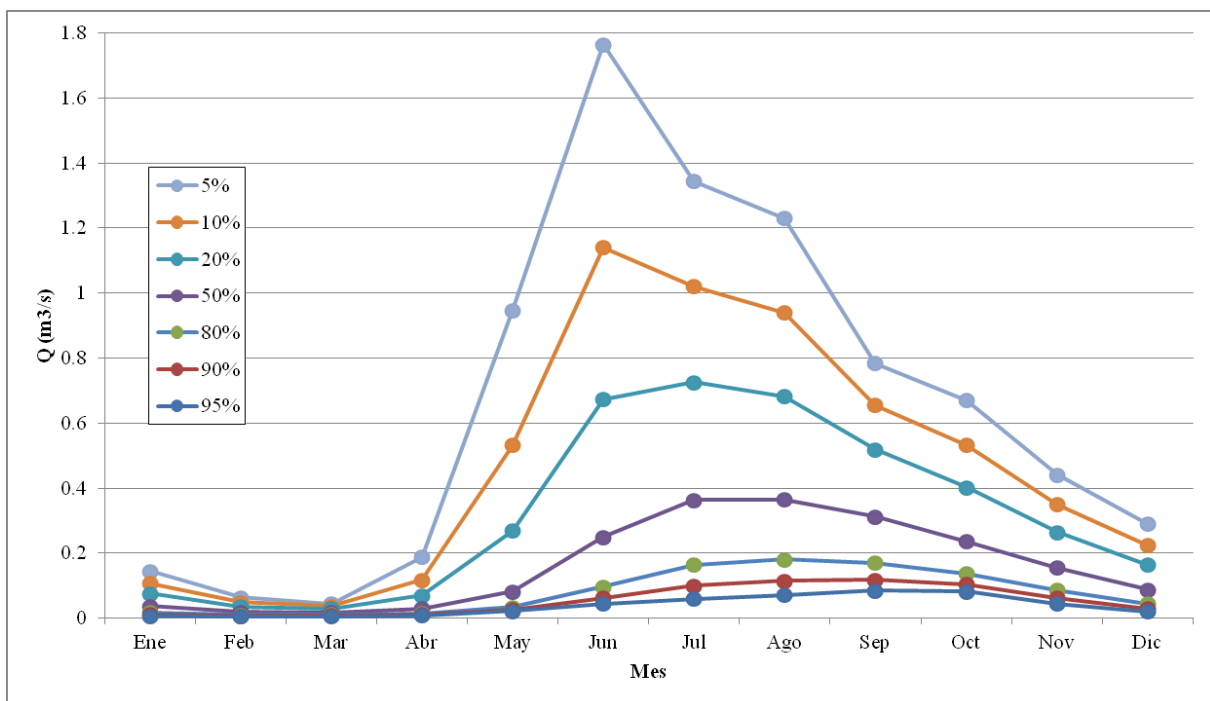


Figura 4-1. Curvas de Variación Estacional, estero Villa Hueso en Punto de Descarga ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

## 5 ANÁLISIS HIDRÁULICO

A partir de los caudales calculados en el Análisis Hidrológico, se efectuó un Análisis Hidráulico para conocer las condiciones de escurrimiento en el estero Villa Hueso. El análisis consiste en la construcción de un modelo hidráulico mediante el software HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center - River Analysis System*).

Como datos de entrada, el modelo HEC-RAS requiere de los siguientes antecedentes:

- Caudales
- Perfiles topográficos
- Coeficientes de rugosidad
- Condiciones de borde

### 5.1 Caudales

Los caudales evaluados corresponden al asociado a un 95% de probabilidad de excedencia para febrero, a un 50% de probabilidad de excedencia para febrero, y al Caudal Medio Anual, para las condiciones Sin Proyecto y Con Proyecto. Estos caudales corresponden a valores representativos de los escenarios de caudales mínimo extremos y medios, y caudal medio anual.

Es importante señalar que el "Caudal de Diseño" corresponde al "Q 95% Feb", debido a que constituye la situación más desfavorable para el proyecto desde el punto de vista de su efecto en el ambiente.

Tabla 5-1. Caudales de Entrada (m<sup>3</sup>/s).

Excedencia	Sin Proyecto	Con Proyecto	
		Arriba Descarga	Abajo Descarga
Q 95% Feb	0.005	0.005	0.0067
Q 50% Feb	0.020	0.020	0.0217
QMA	0.227	0.227	0.2287

### 5.2 Perfiles Transversales

Se consideró un total de 11 perfiles transversales, desarrollados en un tramo de 440 m a lo largo del estero Villa Hueso. En la Figura 5-1 se muestra la ubicación en planta de los perfiles utilizados.

La Descarga se ubica aproximadamente en el perfil -285.

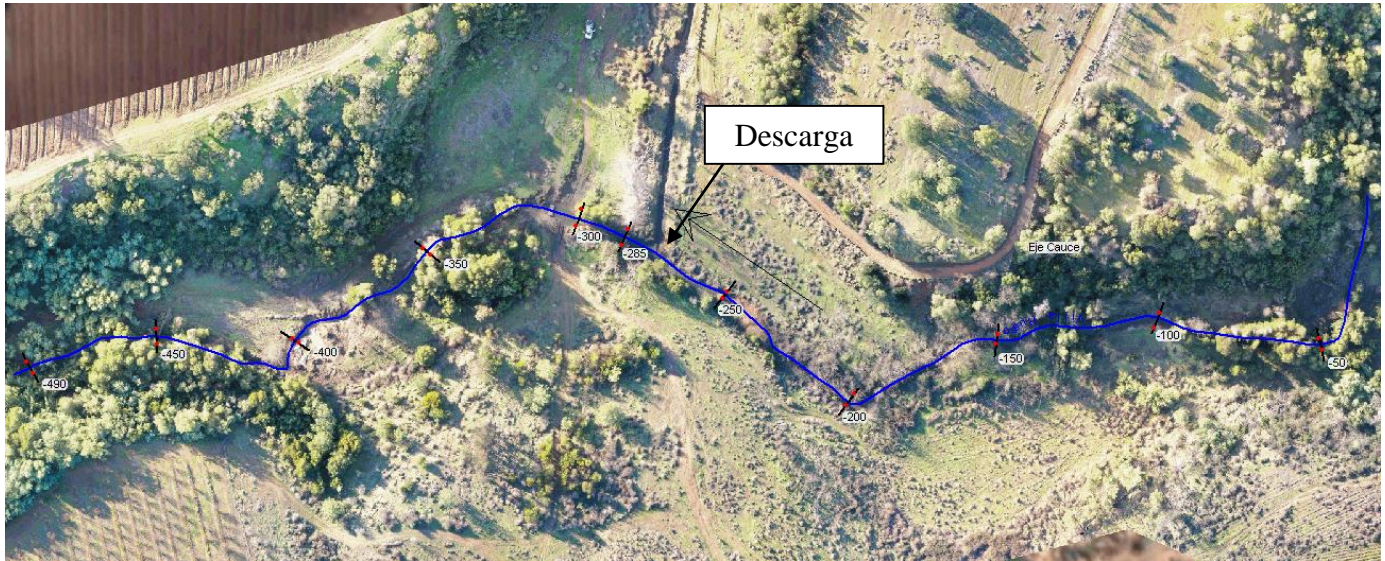


Figura 5-1. Perfiles Transversales.

### 5.3 Rugosidad de Manning

Los valores de rugosidad de Manning fueron generados en base a las características del cauce en estudio. Para el cauce, se utiliza un coeficiente de rugosidad de Manning  $n = 0.045$ , asociado a un curso menor, sin vados o charcas profundas, con algo de maleza y piedras. Con respecto a las riberas se adopta un valor  $n = 0.090$ , asociado a gran cantidad de matorrales.

### 5.4 Condiciones de Borde

Se adopta una condición de borde de altura normal, Aguas Arriba y Aguas Abajo, de  $S = 0.0068$ , de acuerdo con la pendiente de fondo del cauce.

### 5.5 Resultados Modelos Hidráulicos

A continuación se presentan los resultados de los modelos hidráulicos ejecutados. En la Figura 5-2 se muestra a modo de comparación el perfil longitudinal de escurrimiento para los casos Sin Proyecto y Con Proyecto, para el caudal de diseño (95% de excedencia para febrero). Los resultados indican que para la condición Con Proyecto el eje hidráulico aumenta hasta 2 cm respecto a la condición Sin Proyecto.



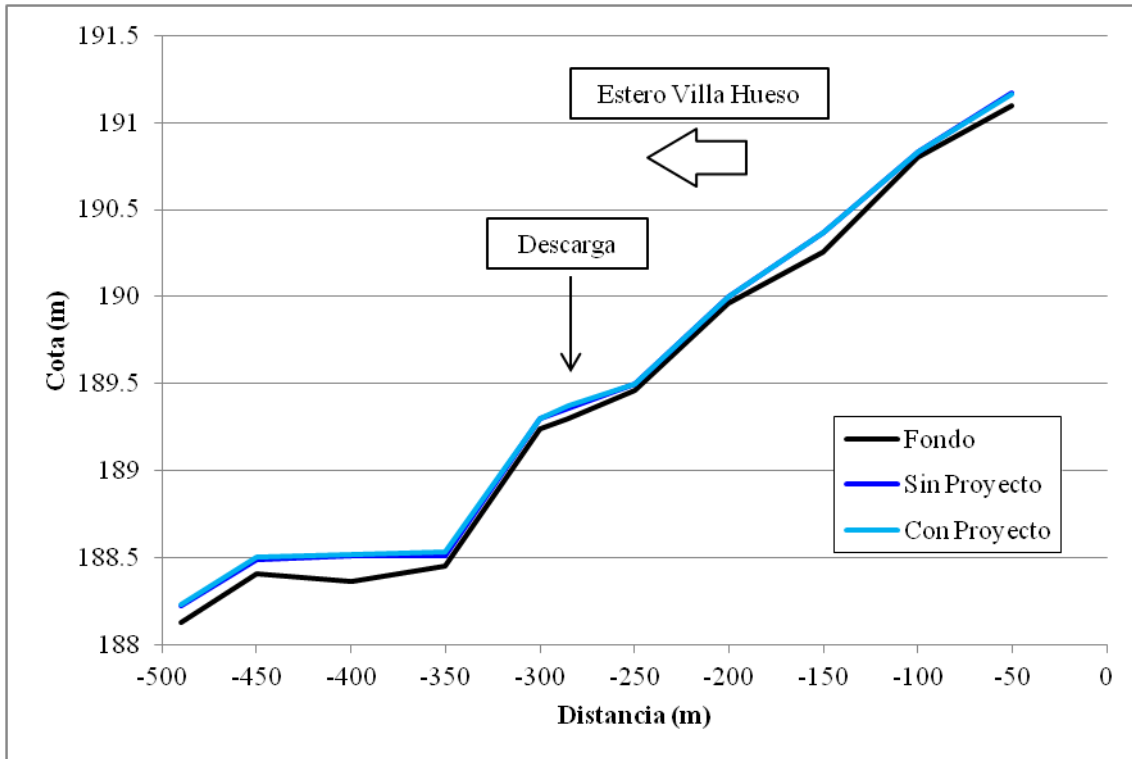


Figura 5-2. Perfiles Longitudinales, Sin Proyecto y Con Proyecto.

Los Modelos Hidráulicos ejecutables para los tres escenarios evaluados, así como las planillas con sus Resultados se encuentran en el Anexo Modelos HEC-RAS (digital).



## 6 ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUAS

A continuación, se presenta el análisis de Calidad de Aguas, evaluando la variación de concentración de 10 sustancias en el cauce:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)
- Nitrógeno (N)
- Fósforo (P)
- Aluminio (Al)
- Arsénico (As)
- Molibdeno (Mo)
- Plomo (Pb)
- Sulfatos (S)
- Zinc (Zn)
- Cloruros (Cl)

El análisis de la concentración de las sustancias en el estero Villa Hueso fue realizado mediante el módulo de Calidad de Aguas de HEC-RAS. Las ecuaciones utilizadas por este software para la evaluación de las variables de interés son:

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):

$$\frac{d}{dt}(DBO) = -K_1(DBO) - K_3(DBO)$$

Donde:

$\frac{d}{dt}(DBO)$ :	Variación de DBO en el tiempo.
$-K_1(DBO)$ :	Oxidación.
$-K_3(DBO)$ :	Sedimentación.

Nitrógeno (N):

$$\frac{d}{dt}(N) = \alpha_1 \rho^* A - \beta_3^*(N) - \sigma_4^*(N)$$

Donde:

$\frac{d}{dt}(N)$ :	Variación de N en el tiempo.
$\alpha \rho^* A$ :	Respiración de Algas.
$-\beta_3^*(N)$ :	Hidrólisis.
$-\sigma_4^*(N)$ :	Sedimentación.

Fósforo (P):

$$\frac{d}{dt}(P) = \alpha_2 \rho^* A - \beta_4^*(P) - \sigma_5^*(P)$$

Donde:

$\frac{d}{dt}(P)$ : Variación de P en el tiempo.

$\alpha_2 \rho^* A$ : Respiración de Algas.

$-\beta_4^*(P)$ : Decaimiento.

$-\sigma_5^*(P)$ : Sedimentación.

La modelación de las demás sustancias estudiadas considera que estas sustancias son conservativas.

## 6.1 Evaluación de Constantes

Respecto a la modelación de DBO, para  $K_1$ , se utiliza la ecuación propuesta en Hydrosience (1971):

$$K_1 = 0.3 \left( \frac{H}{2.44} \right)^{-0.434}$$

Donde  $H$  es la profundidad de escurrimiento (m).

Para el caudal de diseño, la profundidad promedio del escurrimiento a la largo del tramo en estudio es de  $H = 0.04$  m, con lo que se obtiene  $K_1 = 1.79$ .

Además, se considera un valor de  $K_3 = 0$ , en base a valores recomendados por el módulo de Calidad de Aguas de HEC-RAS.

Con respecto al Nitrógeno y Fósforo, se consideran nulos los valores asociados a acción de algas:

$$\alpha_1 \rho^* A = 0$$

$$\alpha_2 \rho^* A = 0$$

Por último, se consideran valores de  $\beta_3^* = 0.02$ ,  $\beta_4^* = 0.01$ ,  $\sigma_4^* = 0.001$  y  $\sigma_5^* = 0.001$ , de acuerdo a recomendaciones de HEC-RAS.

## 6.2 Concentraciones del Efluente

La operación de la descarga de la planta Ecomaule considera la capacidad de dilución en el estero Villa Hueso. De acuerdo con el "*Análisis de Caudal de Dilución del estero Villa Hueso*" (OITEC, 2020) se tiene un caudal de dilución en el estero de  $Q = 6 \text{ L/s}$ . Por otro lado, el presente proyecto considera un caudal efluente proyectado de  $Q = 150 \text{ m}^3/\text{d}$  ( $Q = 1.7 \text{ L/s}$ ). Bajo estas condiciones se tiene una Tasa de Dilución de:

$$d = \frac{6 \frac{\text{L}}{\text{s}}}{1.7 \frac{\text{L}}{\text{s}}}$$

$$d = 3.53$$

De acuerdo con el DS 90, de Descargas de Residuos Líquidos, la concentración máxima admisible para las sustancias en el efluente corresponde al mínimo entre los valores presentados en la Tabla 2 del DS 90, y los valores calculados mediante la expresión:

$$C = C_1(1 + d)$$

Donde  $C_1$  corresponde a los valores de concentración de las sustancias que se indican en la Tabla 1 del DS 90.

En la Tabla 6-1 se presentan las concentraciones máximas permitidas de las sustancias para la descarga proyectada de acuerdo con el DS 90, y además se indica la concentración máxima proyectada de cada sustancia considerada en la descarga, que corresponden a valores suministrados por el titular. Se observa que estas concentraciones proyectadas no superan los valores establecidos por el DS 90.

Tabla 6-1. Concentraciones de descarga (mg/L).

Sustancia	Concentraciones Máximas DS 90		<b>Concentración Descarga Proyectada</b>
	$C$ desde Tabla 2	$C = C_1(1 + d)$	
DBO	300	158.6	122
Nitrógeno	75	226.5	75
Fósforo	15	45.3	15
Aluminio	10	22.3	10
Arsénico	1	2.3	0.1
Molibdeno	2.5	4.5	0.01
Plomo	0.5	0.2	0.2
Sulfatos	2000	4530	250
Zinc	20	13.6	2
Cloruros	2000	1812	750

### 6.3 Condiciones Iniciales

En la Tabla 6-2 se presentan las condiciones iniciales de las variables a analizar, tanto en la descarga del efluente, como en el estero Villa Hueso aguas arriba del punto de descarga; estas últimas fueron medidas en terreno por el titular en septiembre de 2020.

Tabla 6-2. Condiciones Iniciales de Calidad de Aguas.

Variable	Unidad	Esteros Aguas Arriba	Descarga
Temperatura (T)	°C	12.22	18.6
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	6.27	122
Nitrógeno (N)	mg/L	0.999	75
Fósforo (P)	mg/L	0.6	15
Aluminio (Al)	mg/L	0.693	10
Arsénico (As)	mg/L	0.01851	0.1
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.00061	0.01
Plomo (Pb)	mg/L	0.00074	0.2
Sulfatos (S)	mg/L	26	250
Zinc (Zn)	mg/L	0.005	2
Cloruros (Cl)	mg/L	17.8	750

## 6.4 Resultados Calidad de Aguas

Entre la Figura 6-1 y Figura 6-10 se presentan los resultados obtenidos para la concentración de las sustancias de interés, en la condición Con Proyecto para los tres caudales evaluados.

Las Tablas de Resultados de los modelos de Calidad de Aguas se encuentran en el Anexo Modelos HEC-RAS (digital).

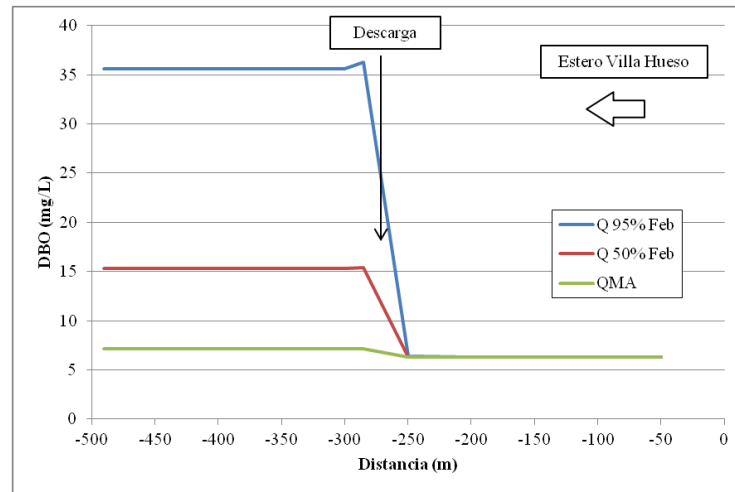


Figura 6-1. Resultados obtenidos para DBO (mg/l), Con Proyecto.

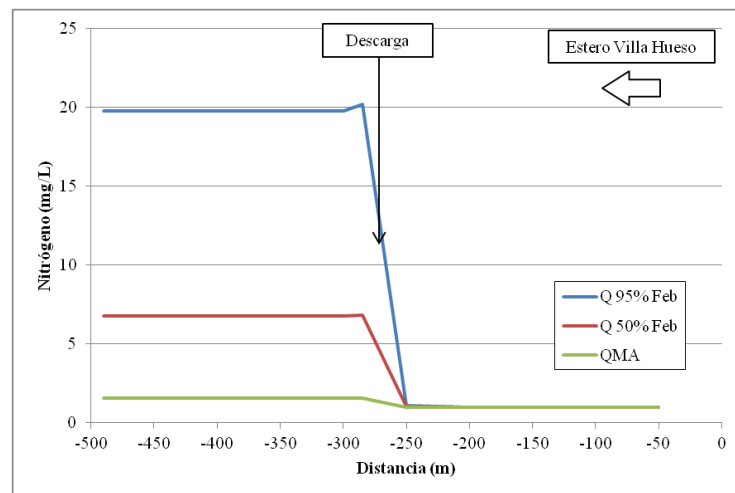


Figura 6-2. Resultados obtenidos para N (mg/l), Con Proyecto.



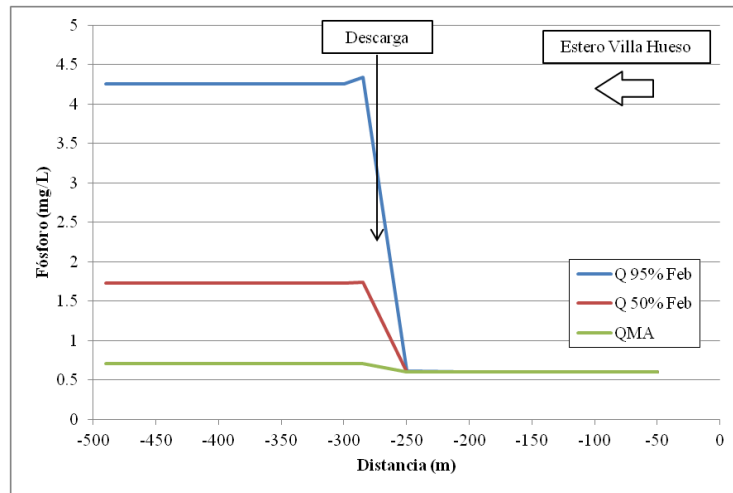


Figura 6-3. Resultados obtenidos para P (mg/l), Con Proyecto.

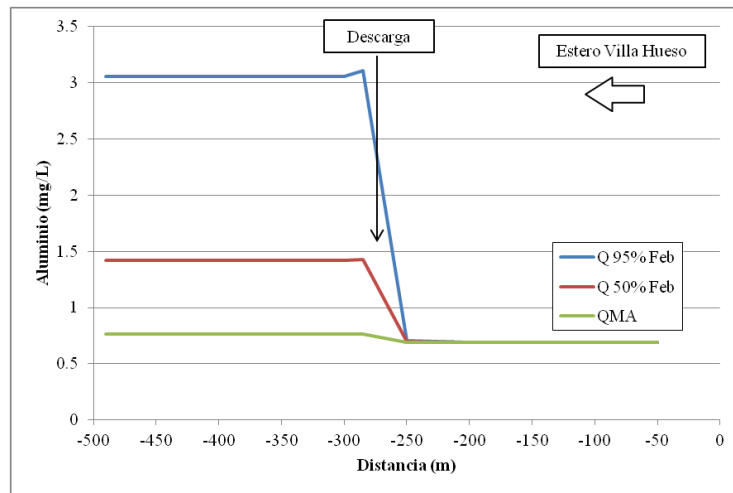


Figura 6-4. Resultados obtenidos para Al (mg/l), Con Proyecto.

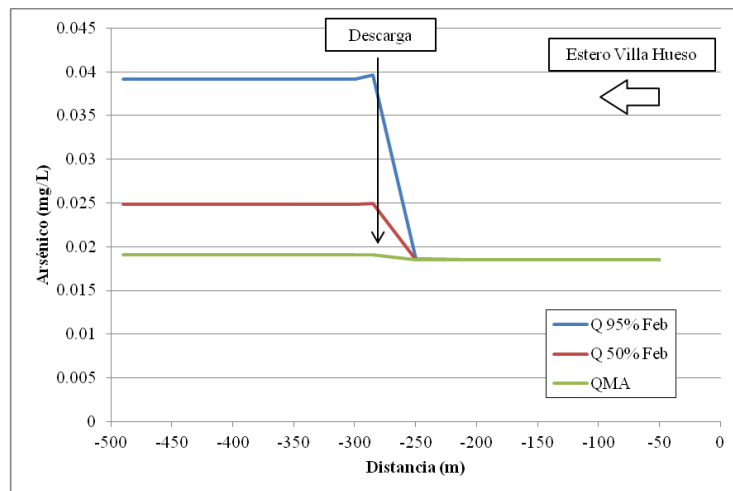


Figura 6-5. Resultados obtenidos para As (mg/l), Con Proyecto.

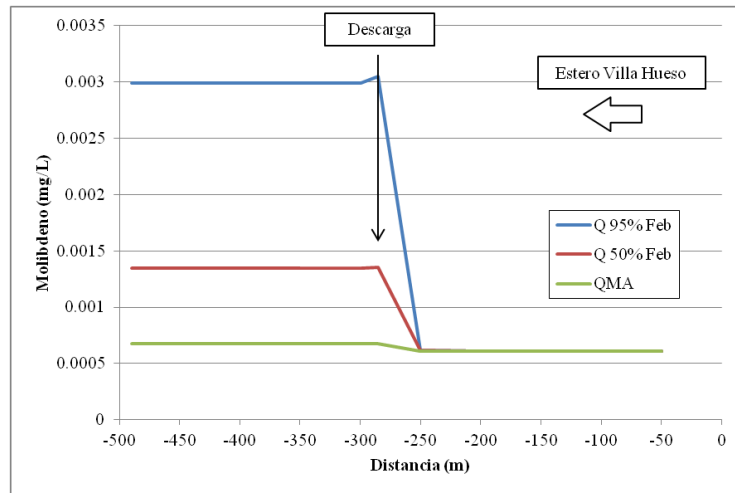


Figura 6-6. Resultados obtenidos para Mo (mg/l), Con Proyecto.

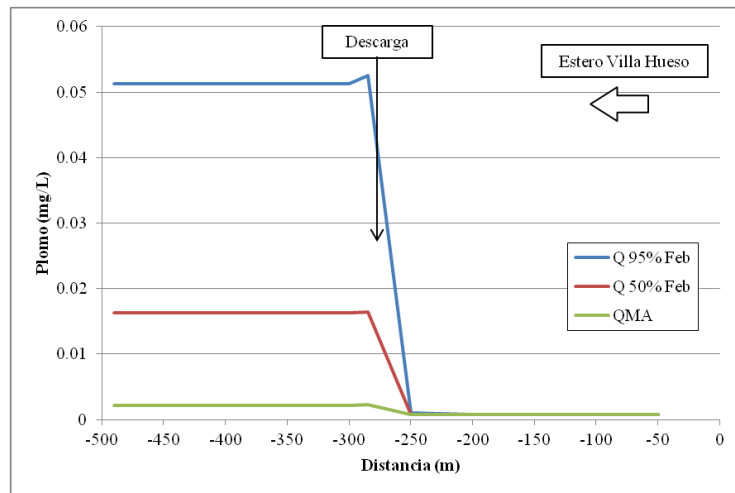


Figura 6-7. Resultados obtenidos para Pb (mg/l), Con Proyecto.

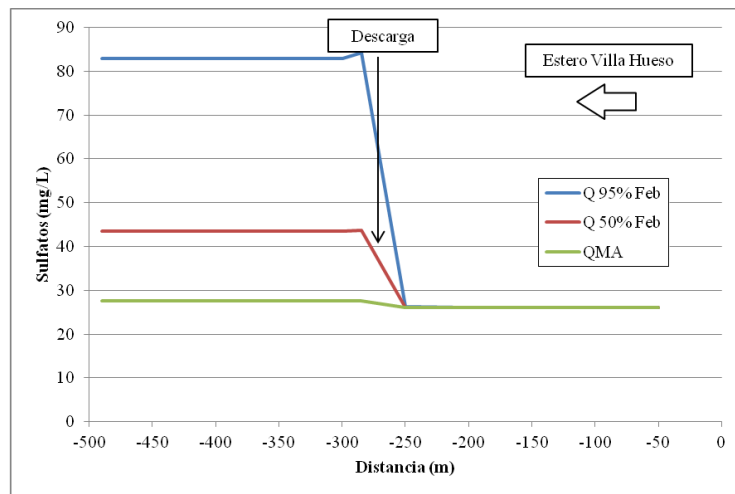


Figura 6-8. Resultados obtenidos para S (mg/l), Con Proyecto.

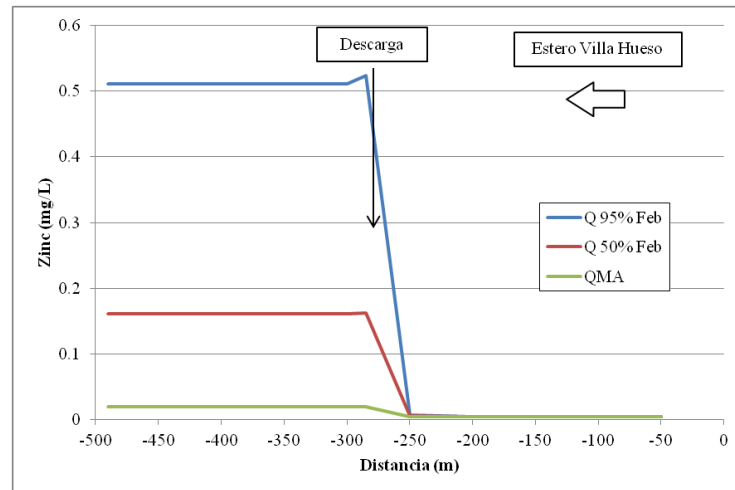


Figura 6-9. Resultados obtenidos para Zn (mg/l), Con Proyecto.

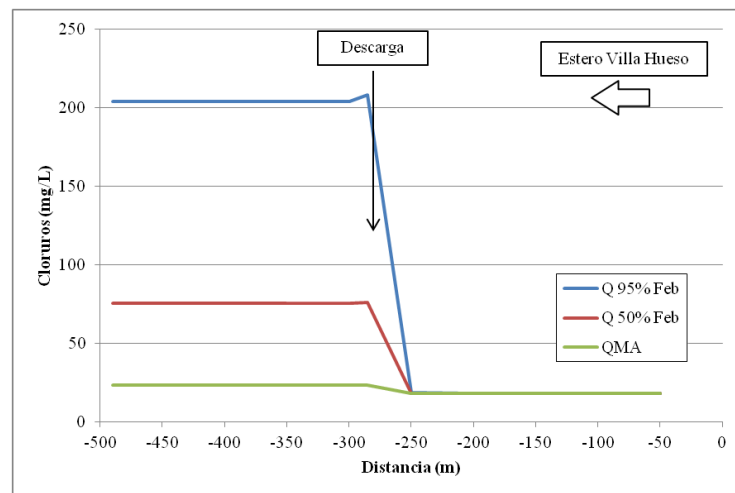


Figura 6-10. Resultados obtenidos para Cl (mg/l), Con Proyecto.

## 7 CONCLUSIONES

Se determinó el efecto del aumento de la capacidad del efluente proveniente del sistema de tratamiento de residuos líquidos proyectado sobre el estero Villa Hueso, considerando caudales de 95% de excedencia para febrero (caudal de diseño), correspondiente al mes de febrero más seco en 20 años; 50% de excedencia para febrero correspondiente al caudal medio para el mes de febrero, y el Caudal Medio Anual.

Desde el punto de vista hidráulico, los resultados indican que el nivel de escurrimiento para el caudal de diseño aumenta en hasta 2 cm en la Condición Con Proyecto debido al caudal efluente y para los demás escenarios, el efecto es prácticamente imperceptible.

Con respecto al análisis de Calidad de Aguas, para las sustancias consideradas, se observa que su concentración experimenta un aumento puntual en la zona de descarga, y este aumento se mantiene constante en el tramo de aguas abajo; además, se observa que el aumento puntual de las sustancias es mayor para los caudales más bajos.

Inmediatamente Aguas Abajo de la descarga en el estero, los resultados de la modelación indican una concentración de 36.3 mg/L de DBO, 20.2 mg/L de Nitrógeno, 4.3 mg/L de Fósforo, 3.1 mg/L de Aluminio, 0.04 mg/L de Arsénico, 0.003 mg/L de Molibdeno, 0.052 mg/L de Plomo, 84.2 mg/L de Sulfatos, 0.52 mg/L de Zinc, y 207.9 mg/L de Cloruros, para el caudal de diseño en el estero Villa Hueso.

De los resultados obtenidos, se observa que todas las sustancias, excepto los cloruros, cumplen con la NCh 1333 para todos los escenarios de caudal modelados. Sólo la concentración resultante de Cloruros sobrepasa el límite máximo determinado en la NCh 1333 para el escenario más adverso, el mes de febrero más seco en 20 años. En efecto, el valor modelado sobrepasa en 4% lo indicado en la norma sólo para el escenario más adverso, y lo cumple para todos los demás escenarios.

---

Alex García L.  
Ingeniero Civil, M.Sc.  
Dr. en Ciencias Ambientales

## 8 ANEXOS

### A. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

#### A.1 Generalidades

La cuenca del estero Villa Hueso no cuenta con registros fluviométricos, por lo que el Análisis Hidrológico consideró el uso de Transposición de Cuencas, con la cuenca del Estero Upeo, mediante la estación Fluviométrica "Estero Upeo en Upeo" (Cód. BNA 07116001-7), administrada por DGA. La cuenca del estero Upeo presenta un área de 365 km<sup>2</sup>, mientras que la cuenca del estero Villa Hueso en el punto de descarga es de 12.6 km<sup>2</sup>, con lo que se tiene un factor de transposición de  $F = 0.035$ .

En la Figura A-1 se presentan las cuencas hidrográficas en estudio.

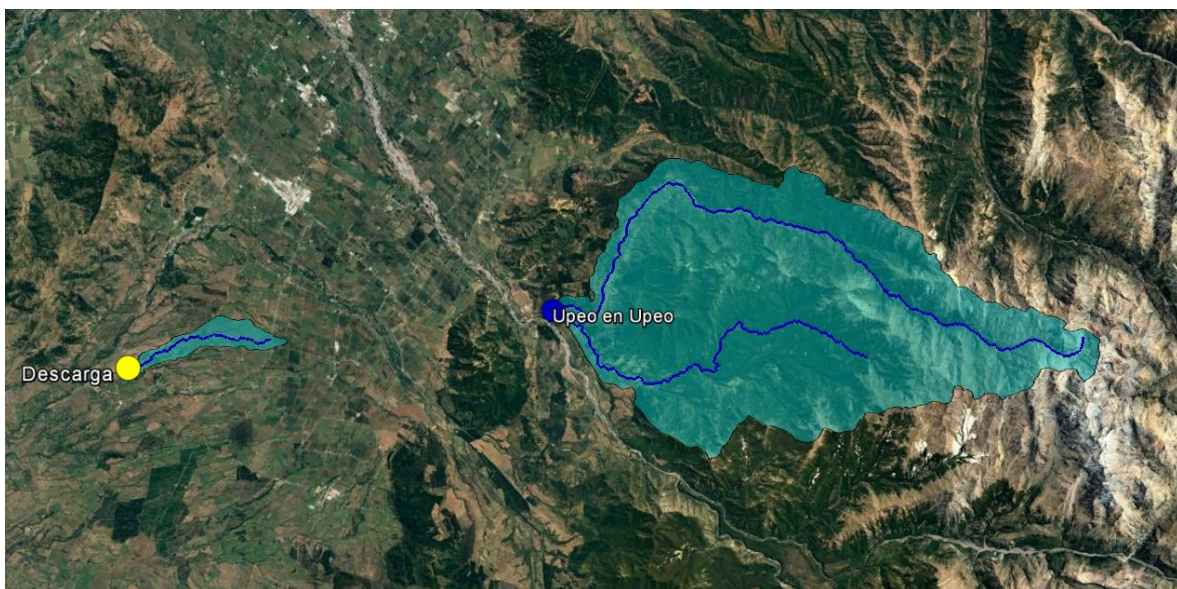


Figura A-1. Cuencas en Estudio.

#### A.2 Determinación de Caudales

En la Tabla A-1 se presentan los caudales medios mensuales registrados en la Estación Estero Upeo en Upeo.

A partir de los caudales medios mensuales registrados, para cada mes se realiza un análisis estadístico, a fin de conocer los caudales asociados a distintas probabilidades de excedencia. En la Tabla A-2 se presentan los resultados obtenidos para la estación Estero Upeo en Upeo,



y en la Tabla A-3 se presentan los resultados correspondientes al estero Villa Hueso en el Punto de Descarga, ajustados por el factor de corrección correspondiente, mediante la ecuación:

$$Q_{Descarga} = F \times Q_{Upeo}$$

Adicionalmente, en la Figura A-2 se presentan gráficamente los caudales obtenidos en el estero Villa Hueso en el Punto de Descarga.

Tabla A-1. Caudales Medios Mensuales, Estación Estero Upeo en Upeo (m<sup>3</sup>/s).

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1963		0.48	0.50		1.38	2.73	18.08	18.80	20.85	15.59	18.05	9.98
1964	4.15	1.68	1.23	0.81	0.70	2.67	5.77	9.91	16.96	6.33	3.69	5.76
1965	1.46	0.77	0.47	8.49	11.59	13.22	16.55	27.24	12.03	16.75	12.06	7.37
1966	2.60	1.55	1.24	3.31	3.16	27.83	21.51	11.84	13.00	11.83	12.13	10.72
1967	4.19	2.00	1.31	0.85	2.79	1.48	4.59	5.46	7.84	10.43	5.43	2.46
1968	1.20	0.60	0.75	0.90	0.71	0.62	0.62	1.24	1.44	1.31	0.65	0.68
1969	0.36	0.09	0.10	0.71	4.99	19.66	10.84	10.69	5.34	3.46	3.36	2.39
1970	1.31	0.69		0.29	1.66	3.75	11.77	10.13	7.39	7.64	4.87	2.13
1971	0.84	0.34	0.27	0.31	1.76	4.96	14.34	13.38	4.86	6.53	2.78	1.26
1972	0.52	0.30	0.61	0.51								
1973												
1974												
1975			0.35	1.39	5.20	13.97	0.46	1.08	1.89	2.65	3.01	5.12
1976	8.96	0.62	0.51	0.55	0.69	5.95	3.54	3.44	4.75	11.85	9.53	2.92
1977	0.93	0.41	0.30	0.38	3.44	11.54	38.03	18.82	12.12	14.05	13.49	7.28
1978	2.77	0.92	0.54	0.44	1.32	6.71	51.30	7.61	12.58	11.02	15.86	6.92
1979	2.60	1.29	0.86	0.79	3.69	1.61	17.73	38.09	23.70	9.09	7.60	9.66
1980	2.48	2.19	1.96	14.01	36.78	46.85	22.71	13.83	4.81	5.86	3.61	2.84
1981	1.39	0.55	0.33	0.92	24.52	18.71	10.11	12.61	5.58	3.69	2.37	0.96
1982	0.83	0.58	0.77	1.08	7.32	52.35	47.72	18.15	29.70	21.74	9.94	6.79
1983	3.81	2.07	1.15	1.02	2.02	6.35	13.46	10.25	8.36	6.81	4.42	2.18
1984	1.26	0.55	0.52	0.76	3.43	6.73	35.45	11.06	14.68	16.85	12.72	2.72
1985	3.16	1.53	1.15	1.71	7.36	5.73	12.02	4.03	3.04	6.65	3.60	1.68
1986	1.13	0.27	0.39	3.27	11.45	53.51	7.59	19.91	7.10	6.16	5.83	4.24
1987	1.30	0.65	0.65	0.91	2.37	4.69	14.74	37.62	11.20	15.38	5.44	2.42
1988	1.38	0.92	0.66	0.44	0.85	2.86	4.99	12.42	5.95	5.12	3.80	1.80
1989	0.68	0.41	0.48	0.65	1.18	1.42	3.66	16.34	8.39	5.07	2.78	1.40
1990	0.41	0.33	0.56	1.36	2.55	1.72	2.57	4.03	8.99	3.97	2.45	0.86
1991	0.36	0.26	0.37	1.99	23.34	26.15	20.79	7.03	8.54	8.40	4.46	3.04
1992	1.36	0.66	0.62	2.10	26.37	35.06	15.16	7.59	13.67	10.54	7.30	3.47

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1993	1.94	0.95	0.76	1.57	18.49	31.80	22.36	9.07	5.67	4.03	2.91	4.01
1994	1.07	0.40	0.40	2.01	4.53	12.38	39.97	7.37	7.70	6.17	4.18	2.56
1995	1.00	1.26	0.57	3.36	1.93	17.74	16.70	18.05	15.50	8.39	5.75	2.66
1996	0.74	0.48	0.56	1.40	1.16	6.85	4.76	9.79	5.88	3.49	2.00	0.59
1997	0.19	0.14	0.08	2.87	6.61	46.68	16.13	24.75	13.76	24.86	9.61	6.14
1998	2.10	1.51	0.79	2.69	1.48	1.85	0.35	0.78	1.73	1.12	0.43	0.18
1999	0.12	0.12	0.12	0.16	0.70	6.21	5.95	14.55	28.31		5.92	2.88
2000	0.97	1.36	0.50	0.50	0.72	45.62	26.06	7.33	22.99	11.47	6.63	4.13
2001	1.92	0.94	0.55	0.81	7.67	8.16	32.91	24.05	10.19	4.92	3.29	2.24
2002	0.69	0.41	1.90	1.33	10.35	18.69	13.36	54.52	16.96	11.83	7.12	4.06
2003	3.23	0.68	0.41	0.24	1.80	18.28	6.21	3.29	4.68	5.36	3.83	2.07
2004	1.27	0.56	0.82	5.33	1.01	6.22	8.05	8.39	12.92	4.67	4.53	1.92
2005	0.66	0.45	0.45	0.48	13.51	46.47	22.61	40.34	15.73	7.85		3.56
2006	2.02	1.08	0.71	1.27	4.24	18.59	30.32	23.71	11.71	11.41	5.64	3.19
2007	1.88	1.05	0.52	0.52	0.55	2.39	7.23	7.39	7.98	6.61	3.64	1.42
2008	0.37	0.21	0.21	0.39	20.24	13.73	7.96	26.27	8.90	4.86	3.13	0.80
2009	0.15	0.13	0.49	0.33	4.22	4.95	10.41	13.73	17.78	5.90	3.83	2.39
2010	1.10	0.48	0.51	0.46	0.70	3.83	4.36	5.99	5.07	3.95	2.93	1.11
2011	0.50	0.31	0.43	0.73	0.91	1.98	4.62	15.03	12.70	6.02	3.44	1.52
2012	0.59	0.35	0.34	0.47	6.90	12.90	7.52	3.30	2.61	4.64	2.44	5.98
2013	1.88	0.79	0.55	0.49	1.24	2.63	7.49	4.47	6.75		1.20	0.69
2014	0.33	0.27	0.45	0.96	3.32	2.45	4.91	15.20	13.07	4.55		
2015	1.07	0.52	0.46	0.46	0.62	3.43	8.50	22.45	10.54	14.77	7.29	4.02
2016	2.09	1.11	0.83	7.95	4.08	3.21	8.69	6.86	3.53	4.30	2.61	1.45
2017	0.79	0.56	0.57	1.19	2.99	11.62	7.22	8.56	8.67	9.28	3.85	1.69
2018	0.56	0.15	0.32	1.07	0.98	2.64	6.18	2.70	10.99	9.86	4.95	2.10
2019	0.77	0.35	0.29	0.44	0.90	2.80	2.88	2.74	2.45	2.31	1.36	0.47
2020	0.10											

 Tabla A-2. Curvas de Variación Estacional, Estero Upeo en Upeo (m<sup>3</sup>/s).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
95%	0.22	0.16	0.19	0.27	0.65	1.29	1.72	2.07	2.45	2.40	1.30	0.60
90%	0.33	0.21	0.25	0.33	0.76	1.81	2.89	3.34	3.42	3.03	1.80	0.87
80%	0.52	0.31	0.33	0.44	1.00	2.84	4.78	5.25	4.94	4.00	2.53	1.29
50%	1.10	0.58	0.54	0.87	2.39	7.25	10.53	10.58	9.06	6.83	4.50	2.56
20%	2.21	1.05	0.85	2.04	7.83	19.51	21.01	19.76	15.05	11.66	7.69	4.77
10%	3.14	1.44	1.07	3.42	15.45	33.03	29.55	27.25	19.00	15.42	10.14	6.52
5%	4.19	1.85	1.29	5.44	27.45	51.13	38.93	35.64	22.72	19.42	12.79	8.41

Tabla A-3. Curvas de Variación Estacional, Estero Villa Hueso en Punto de Descarga  
(m<sup>3</sup>/s).

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
95%	0.008	0.005	0.006	0.009	0.023	0.045	0.059	0.072	0.085	0.083	0.045	0.021
90%	0.012	0.007	0.008	0.011	0.026	0.062	0.100	0.115	0.118	0.104	0.062	0.030
80%	0.018	0.011	0.011	0.015	0.034	0.098	0.165	0.181	0.170	0.138	0.087	0.045
50%	0.038	0.020	0.019	0.030	0.082	0.250	0.364	0.365	0.313	0.236	0.155	0.088
20%	0.076	0.036	0.029	0.070	0.270	0.673	0.725	0.682	0.519	0.402	0.265	0.165
10%	0.108	0.050	0.037	0.118	0.533	1.140	1.020	0.941	0.656	0.532	0.350	0.225
5%	0.145	0.064	0.044	0.188	0.947	1.765	1.344	1.230	0.784	0.671	0.442	0.290

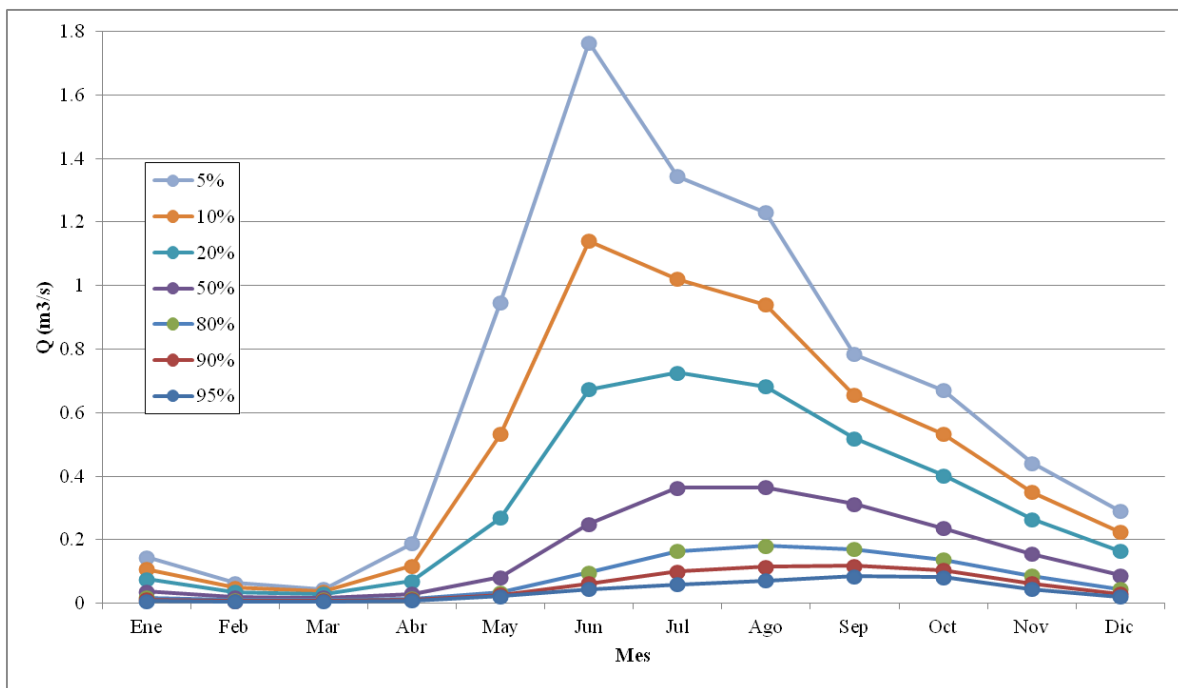


Figura A-2. Curvas de Variación Estacional, Estero Villa Hueso en Punto de Descarga  
(m<sup>3</sup>/s).