

**Septiembre
2020**

INFORME DE DILUCIÓN DE EFLUENTE EN CUERPO RECEPTOR RÍO CARHUELLO

**Servicios e Inversiones Gestión
Ambiental Limitada**

BIOGEA LTDA
www.biogea.cl

Pc. 66 Cond. Lomas de Villarrica
Km 3,5 Camino Villarrica a Freire
Villarrica – Chile

✉ e-mail: contacto@biogea.cl



Piscicultura Quimeyco

Comuna Pucón— Región de La Araucanía

Titular

**Sociedad Comercial Agrícola y Forestal
Quimeyco Ltda.**



1. Introducción

La Piscicultura Quimeyco, de propiedad de la Sociedad Comercial Agrícola y Forestal Quimeyco Limitada, se ubica en el km 2,8 del camino Carhuello a Quelhue (ruta S-919) en la Localidad Carhuello de la Comuna de Pucón, región de La Araucanía. Conforme a lo resuelto en 2008 por la Dirección Ejecutiva de la Comisión Nacional del Medio Ambiente mediante Res. Ex. N° 4932, Piscicultura Quimeyco, en adelante la Piscicultura, contempla una producción de 120 toneladas anuales de biomasa de salmónidos en fases de incubación y alevinaje, generando un caudal de efluente de 2.142 L/s que es tratado mediante un sistema de filtración y descargado al río Carhuello. Posteriormente, mediante Consulta de Pertinencia ingresada con fecha 18 de mayo de 2018, el titular solicita pronunciamiento al Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) de la Región de La Araucanía, sobre modificaciones al proyecto, consistente, entre otros aspectos, a reducir el caudal de agua del proceso a 1.500 L/s, ajustar la capacidad de cultivo instalada a 5.200 m³, modifica las características de los filtros rotatorios; mediante Resolución Exenta N° 68 de fecha 24 de mayo de 2012, el SEA de La Araucanía resuelve que las modificaciones propuestas no son de carácter significativas y por tanto no están obligadas a ingresar al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), ya que por sí solas no constituyen causal de ingreso, ni generan nuevos efectos ambientales negativos. Una vez informadas las modificaciones, se obtuvieron y/o actualizaron las autorizaciones sectoriales relativas al sistema de tratamiento por lo cual la Piscicultura cuenta con programa de monitoreo de calidad del efluente y autorización sanitaria del sistema de tratamiento de efluentes y acopio de lodos no peligrosos¹.

El presente informe se desarrolla a petición del titular con la finalidad de evaluar el comportamiento de los parámetros presentes en el efluente y comparar aquellos de mayor relevancia con estándares de calidad de agua definidos por la NCh 1.333 Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos y otras normas de referencia relacionados. Para ello, es necesario modelar la conducta de los parámetros dado que ésta es esencialmente dinámica pues están en permanente movimiento, ya sea por efecto del propio movimiento del agua, o por la movilidad natural de las moléculas y partículas coloidales. En la actualidad existen varios modelos matemáticos desarrollados con la finalidad de estudiar el comportamiento de un determinado parámetro o un grupo de éstos a lo largo de una corriente natural, la selección del modelo a implementar depende de la disponibilidad de información con que se cuenta, el propósito de la modelación y los procesos a modelar.

El estudio en comento utiliza el modelo QUAL2KW para modelar la dilución del efluente de la Piscicultura. La calibración del mismo se llevó cabo a partir de análisis de laboratorio muestreados en el río Carhuello en febrero de 2019; durante ese mismo periodo, se llevaron a cabo aforos entre los puntos de captación y restitución estimándose un caudal de 4,4661 m³/s. Otros aspectos como las condiciones meteorológicas se obtuvieron de la estación Villarrica, la altura y sombra, se obtuvieron y generaron a partir de un DEM (Digital Elevation Model) de 1 arco, obtenido de United States Geological Survey (USGS) y se incorporó el aporte difuso de usos de suelo del sector, en base al informe final de *Determinación de las Concentraciones de Nutrientes en los Principales Afluentes al Lago Villarrica, Estimación de su Carga y Propuesta de Medidas para su Reducción*, del Centro de Gestión y tecnologías del Agua de la Universidad de La Frontera, dentro del marco del plan de descontaminación del Lago Villarrica.

¹ Resolución Exenta SMA N° 322 de 2015. Programa de Monitoreo de la Calidad del Efluente.

2. Objetivo

El objetivo del informe es simular la dilución del efluente descargado por Piscicultura Quimeyco al cuerpo receptor río Carhuello, evaluar el comportamiento de los principales parámetros asociados a la actividad acuícola correspondiente a sólidos suspendidos totales, demanda bioquímica de oxígeno, fósforo orgánico, nitrógeno Kjeldahl y realizar comparación con estándares de calidad definidos en la NCh1333.Of78 - Requisitos de calidad del agua para diferentes usos.

3. Metodología

3.1. Área de estudio

El área de estudio se ubica en el sector Carhuello, aproximadamente 22 km al nororiente de Pucón. En el escenario productivo evaluado solo se tiene una descarga de efluentes tratados del proyecto al cuerpo receptor en el punto de coordenadas UTM (m) Este 254.586 y Norte 5.652.666, referidas al Datum WGS 1984 H19 (ver figura 1).

El área de estudio donde se emplaza el proyecto, se inserta en la cuenca del “río Toltén”, subcuenca “río Pucón”, subsubcuenca “Lago Caburgua y río Carileufu en junta río Pucón”. La Piscicultura Quimeyco se ubica en el margen izquierdo del río Carhuello, el punto de descarga de este proyecto se ubica a 16,5 km aguas arriba del Lago Villarrica (distancia medida siguiendo las sinuosidades de los cursos de agua), específicamente a 520 metros aguas arriba de la confluencia del río Carhuello y Río Caburgua.

En el río Caburgua se realizan descarga de otras 3 pisciculturas existentes. Una de ellas es la Piscicultura Caburgua I que descarga su efluente en un punto ubicado a 450 metros aguas arriba de la confluencia con río Carhuello, las pisciculturas Ojos del Caburgua y Carileufu que realizan descargas de efluentes a un Estero sin nombre, afluente del río Caburgua. La confluencia de este Estero sin nombre se ubica a 570 metros aproximadamente aguas arriba de la confluencia del río Carhuello y río Caburgua. (ver figura 1).

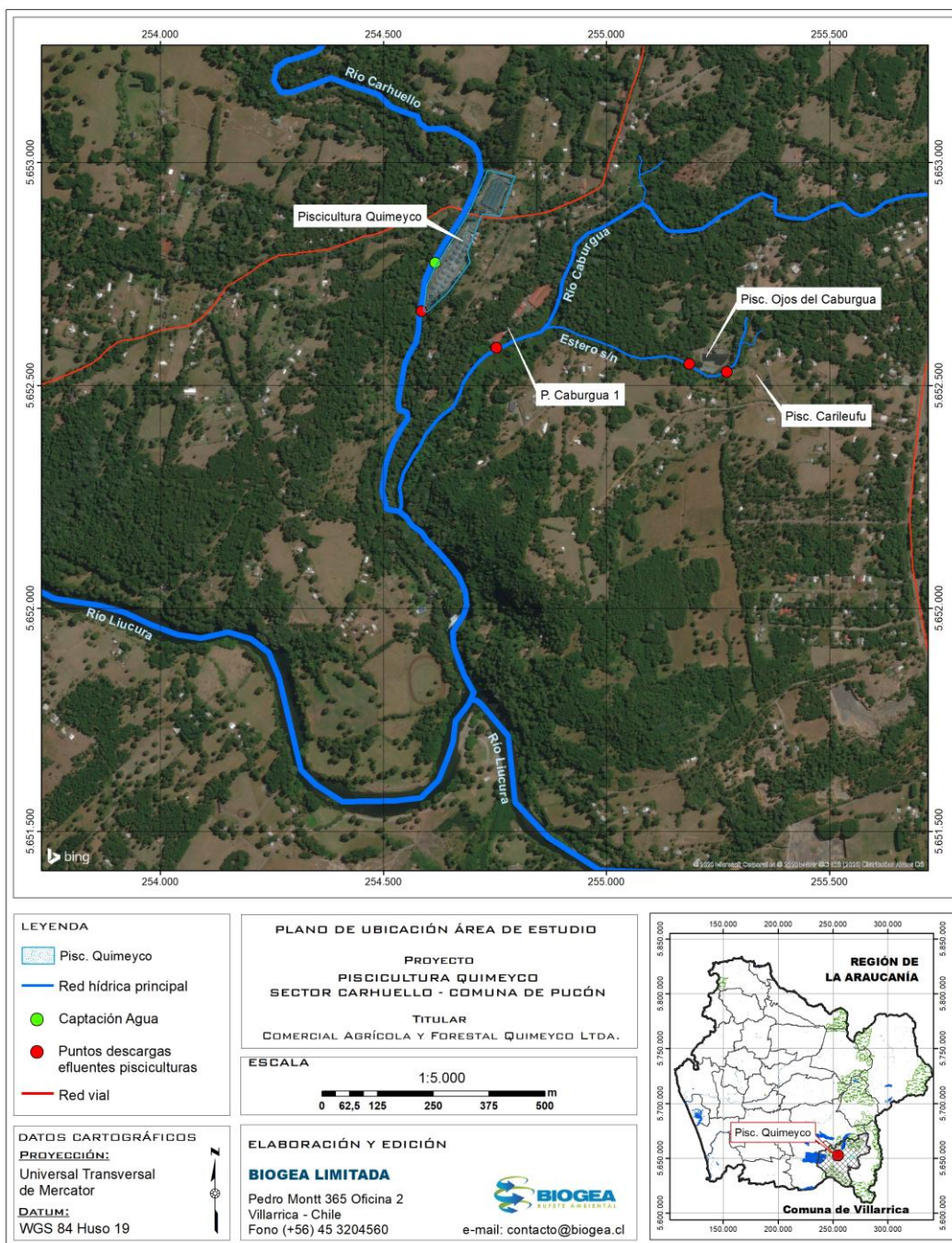


Figura 1. Emplazamiento del área de estudio.

3.2. Características del Modelo

El comportamiento de descargas de efluentes en cursos de agua es esencialmente dinámico, pues los compuestos o elementos están en permanente movimiento, ya sea por efecto del propio movimiento del agua, o por la movilidad natural de las moléculas y partículas coloidales. Los fenómenos de transporte en cuerpos de agua han sido ampliamente estudiados y han dado origen a numerosas formulaciones matemáticas que

describen su comportamiento (Castillo G., 2008)². La selección del modelo a implementar depende de la disponibilidad de información con que se cuenta, el propósito de la modelación y los procesos a modelar. Esta condición implica que no siempre un modelo puede aplicarse en el estudio de la calidad del agua en una corriente en particular.

El modelo de calidad del agua QUAL2K fue desarrollado para la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos por Chapra y Pelletier en el año 2003, posteriormente fue mejorado en el año 2008 y recibió por nombre QUAL2Kw. Es un modelo unidimensional en la dirección del flujo, esto es debido a que en la mayoría de los ríos las dimensiones de la longitud son mucho mayores a las profundidades y anchos, adicionalmente se asume que el río o canal se encuentra bien mezclado tanto vertical como horizontalmente. Desde el punto de vista hidrodinámico, el flujo de agua se simula en condiciones hidráulicas estables, esto quiere decir en condiciones de flujo permanente, simulando periodos de caudal y cargas constantes en el tiempo.

En general, QUAL2Kw permite modelar descargas de efluentes a cuerpos de agua superficiales y ha sido utilizado y validado en el Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental en varios proyectos similares para predecir el comportamiento de efluentes en cuerpos receptores.

3.3. Valores de Entrada al Programa QUAL2Kw

3.3.1. Delimitación de Tramos (Reach)

La delimitación de tramos, corresponde a los aportes y/o los cambios en la condición del cuerpo de agua, entendiéndose estos como aportes de fuentes puntuales, fuentes difusas, entre otros. En la siguiente figura, se ejemplifica como se puede dividir en segmentos el río, dependiendo de las fuentes puntuales en cada tramo.

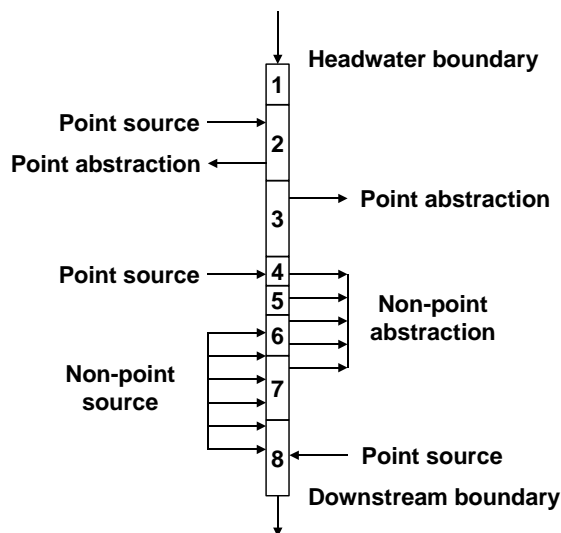


Figura 2. Ejemplificación de los tramos

Fuente: QUAL2Kw Theory and Documentation (versión 5.1)

Para efectos del caso del proyecto, se definió cada Reach (5 en total) en base a monitoreos realizados durante febrero del 2019 en 6 puntos diferentes. Cada segmento de río a modelar se define de la siguiente forma:

² Castillo G. (2008). Modelos de calidad de aguas.

- Reach 1: Primer tramo, se ubica desde un punto aguas arriba de la captación de Piscicultura Quimeyco hasta un tramo entre la captación y la restitución.
- Reach 2: Segundo tramo, inicia entre la captación y restitución hasta aproximadamente 110 m aguas abajo de la restitución.
- Reach 3: Tercer tramo, se ubica en un punto aguas abajo de la restitución y un punto antes la confluencia con el río Carhuello.
- Reach 4: Cuarto tramo, se ubica posterior a la confluencia entre el río Carhuello y el río Caburgua.
- Reach 5: Quinto tramo, se ubica aguas abajo del tramo anterior, se inicia aguas arriba de un salto natural de agua existente en río Caburgua hasta un punto ubicado aguas arriba de la confluencia del río Caburgua y río Liucura.

3.3.2. Características fisicoquímicas del río Carhuello

Durante el mes de febrero de 2019 (período de estiaje), se realizaron muestreos en 6 sectores del río Carhuello, tanto aguas arriba como aguas abajo del proyecto, estos muestreos consideraron los siguientes parámetros: aceites y grasas, cloruros, coliformes fecales, DBO, fósforo orgánico, nitrógeno Kjeldahl, poder espumógeno, sólidos suspendidos totales y otros datos medidos *in situ* como pH, temperatura y oxígeno disuelto. La siguiente tabla, detalla las coordenadas U.T.M. (m), referidas al Datum WGS 84 Huso 19, de los puntos donde se llevaron a cabo los muestreos. Los análisis de monitoreo se adjuntan en el Anexo 1.

Tabla 1. Puntos de muestreo en el río Carhuello.

ID ³	Coordenadas U.T.M. (m)			Referencia del punto	Perfil (km)
	Este	Norte	Datum		
P1	254.679	5.652.892	WGS 84 H19	Río Carhuello, antes de la captación	0,000
PC	254.609	5.652.756	WGS 84 H19	Río Carhuello, Captación piscicultura	0,010
P2	254.587	5.652.722	WGS 84 H19	Río Carhuello, entre captación y restitución	0,205
PR	254.569	5.652.661	WGS 84 H19	Río Carhuello, Restitución piscicultura	0,260
P3	254.545	5.652.542	WGS 84 H19	Río Carhuello, aguas debajo de restitución	0,388
P4	254.524	5.652.268	WGS 84 H19	Río Caburgua, antes de la confluencia	0,700
P5	254.553	5.652.197	WGS 84 H19	Río Caburgua, posterior a la confluencia	0,770
P6	254.642	5.652.066	WGS 84 H19	Río Caburgua, antes del salto	0,935

Fuente: Elaboración Propia

Los valores de entrada del programa se definieron a partir de los resultados de los informes de laboratorio. Las relaciones de estos se encuentran establecidas en bibliografía. Nitrógeno Kjeldahl es 30% orgánico y 70% amonio, se asumió la composición del fósforo total como 80% fósforo orgánico y 20% por fósforo inorgánico⁴. Por otro lado, dado que existen algunos valores que se encuentran por debajo del límite de detección del ensayo en laboratorio, se consideró dicho valor como dato de entrada para el modelo.

Para definir el caudal del río Caburgua, se revisó el portal de la Dirección General de Agua (DGA), con la finalidad de revisar expedientes de derechos de aprovechamiento cercanos al área de estudio e investigar los caudales aforados en periodo estival. Se revisó el expediente ND-0902-5226 (derecho de aprovechamiento

³ PC: Punto de Captación; PR: Punto de Restitución.

⁴ Chapra, S. (2008) Surface Water-Quality Modeling, Long Grove, Illinois.

otorgado aguas arriba de la confluencia del río Caburgua con río Carhuello, con fecha 03 de septiembre de 2007, a través de la resolución DGA N° 391/2007; los aforos realizados en el río Caburgua (con fecha 27 de enero de 1998) indica que el caudal del río Caburgua fue de 26.330 L/s. Para efectos de la modelación se utilizó el caudal de 26,33 m³/s.

3.3.3. Características del perfil del río Carhuello

Para determinar las características del perfil del río, se utilizó la relación Leopold-Maddox, la cual define la velocidad y el caudal en función a valores establecidos. Para efectos del modelo, resultan relevantes los valores del exponente (b) y el coeficiente (a). Los datos de entrada corresponden a aforos y mediciones llevados a cabo entre captación y restitución del estudio hidrológico desarrollado entre enero y abril de 2019. Para el 29 de febrero, en el punto de medición existía un caudal de 4,461m³/s en base al Informe Hidrológico⁵, elaborado por el Ing. Civil Luis Carlos Ríos (presente en Anexo 2). En base a estas mediciones, se consideró en el modelo una altura aproximada de 0,255m y una velocidad de 0,663m/s. los antecedentes antes mencionados determinaron los coeficientes para establecer las características del río.

Tabla 2. Valores típicos de los exponentes usados para determinar la velocidad y profundidad.

Parámetro	Ecuación	Exponente	Rango	Valor Típico
Velocidad	$U = aQ^b$	b	0,4-0,6	0,43
Altura	$H = \alpha Q^\beta$	β	0,3-0,5	0,45

Fuente: Adaptado de Barnwell *et al.* 1989⁶.

Realizando el ejercicio de despejar la incógnita (a y α) de cada ecuación se obtiene:

$$a = \frac{U}{Q^b} \quad \alpha = \frac{H}{Q^\beta}$$

Las condiciones climáticas del entorno, tales como velocidad del viento, temperatura, entre otras, se obtuvieron de la Dirección General Aeronáutica Civil y del Explorador Climático del Centro de Ciencia del Clima y Resiliencia, de la estación Villarrica. Dado que no se encontraron mediciones de la fecha de muestreo, se utilizaron datos de la fecha más cercana a los monitoreo, el 4 de marzo del 2019.

3.3.4. Fuentes Difusas

Actualmente, el área de emplazamiento del proyecto, cuenta con usos de suelo principalmente residencial, remanentes de bosque nativo, renoval y zonas de planicies, con prados que corresponden a jardines de parcelas de agrado en el sector y sectores de pastoreo de animales. Para caracterizar los usos de suelos, se utilizó el Catastro de Uso de Suelo y Vegetación⁷, del portal IDE (Infraestructura de Datos Geoespaciales) del

⁵ Valor definido como la suma entre el caudal de descarga (1,246 m³/s) y el caudal medido entre el punto de captación y restitución obtenido del Informe Hidrológico (4,461 m³/s), presente en el Anexo 2.

⁶ Barnwell, T.O., Brown, L.C., y Mareck, W. 1989). Application of Expert Systems Technology in Water Quality Modeling. Water Sci. Tech.

⁷ <http://www.ide.cl/descarga/capas/item/catastros-de-uso-de-suelo-y-vegetacion.html>

Ministerio de Bienes Nacionales. De la cobertura que abarca toda la superficie de la Región de La Araucanía, se utilizó un segmento de las áreas presentes en la cuenca, que considerase el aporte del bosque nativo presente en la ladera del cerro y algunos cercanos al área de estudio. La figura 3 presenta el catastro de uso de suelo y vegetación, en rojo se encuentran los puntos donde se realizaron los monitoreos, estos se enumeran de norte a sur de 1 a 6, se encuentran georreferenciados en la Tabla 1.

El aporte de nutrientes de fuentes difusas, se estimó considerando estos usos de suelo: praderas y bosque nativo. A partir de un estudio realizado por el Centro de Gestión y Tecnologías del Agua de la Universidad de La Frontera⁸, se obtuvo el aporte de nutrientes por hectárea de uso de suelo. En la siguiente tabla, se presentan los factores considerados para la modelación.

Tabla 3. Aporte de nutrientes por hectárea de uso de suelo

Uso de Suelo	Aporte de Nutrientes (ug/L)/ha	
	Fósforo	Nitrógeno Total
Bosque Nativo	0,0001051	0,0007217
Prados y Matorrales	0,0006739	0,0038009
Bosque Renoval	0,0005908	0,0009841

Fuente: Adaptado de Centro de Gestión y Tecnologías del Agua, Universidad de La Frontera (2018).

Se estableció un flujo de escorrentía bajo, a través de iteraciones se ajustó a los análisis realizados en febrero de 2019.

⁸ Centro de Gestión y Tecnologías del Agua. (2018) “Determinación de las Concentraciones de Nutrientes en los Principales Afluentes al Lago Villarrica, Estimación de su Carga y Propuesta de Medidas para su Reducción”, Universidad de La Frontera.

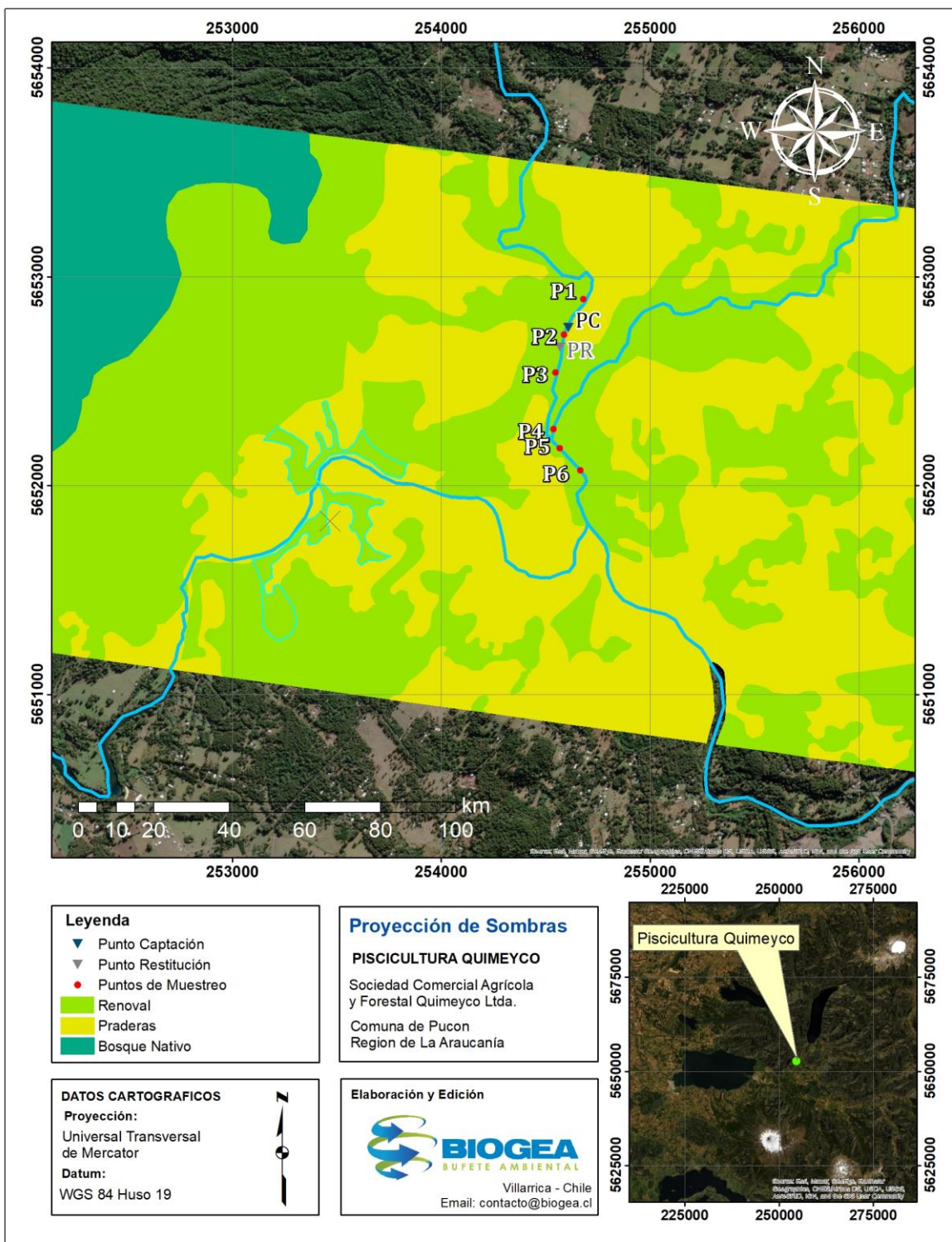


Figura 3. Aporte de Nutriente en la Cuenca.

Fuente: Elaboración Propia

3.3.5. Condiciones Ambientales

Dentro del modelo, se necesita definir variables como: temperatura del aire, temperatura de punto de rocío, velocidad del viento, nubosidad, efecto de sombra y radiación solar. Estos valores, a excepción del efecto sombra, fueron obtenidos a partir de la estación meteorológica Villarrica con registro de las condiciones ambientales mencionadas anteriormente⁹. Se utilizaron los datos disponibles más cercanos a la fecha de muestreo (4 de marzo de 2019) lo que permitió ajustar la calibración.

Para determinar el efecto sombra en el modelo, se debe definir en porcentaje, la cantidad de sombra proyectada por vegetación y por el relieve en cada hora, por lo que, a mayor porcentaje, mayor es el tiempo de sombra en el cuerpo de agua.

Dada las condiciones geográficas del sector, sus quebradas y el encajonamiento de los ríos, se utilizó una cobertura DEM (Digital Elevation Model), obtenido del USGS y utilizando el ARCGIS como herramienta para establecer la cantidad de sombra promedio que proyecta el relieve sobre los cuerpos de agua en el sector de estudio. Para esto se estableció un ángulo del sol 315°, que es un valor medio arrojado por el programa. Cabe mencionar que, existe un alto porcentaje de sombra no solo por efectos del terreno, sino también porque existe mucha vegetación que cubre parte del río del sol.

⁹ [https:// www.meteochile.gob.cl](https://www.meteochile.gob.cl)

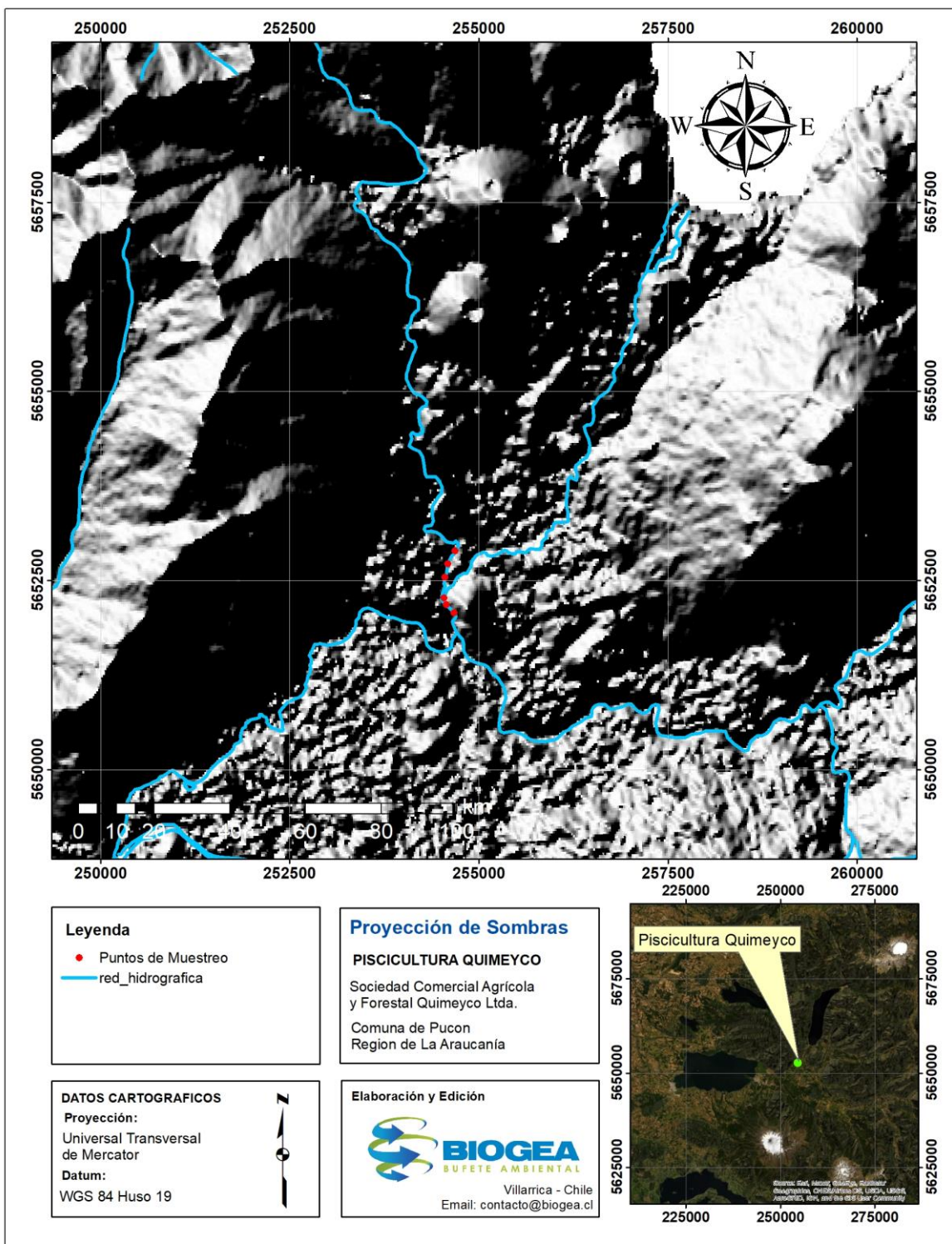


Figura 4. Proyección de sombras producidas por el relieve de la cuenta.

Fuente: Elaboración propia.

4. Modelación de la Descarga

4.1. Escenarios a modelar

Para determinar las características del efluente, se utilizaron los análisis realizados en la descarga del efluente tratado por parte del laboratorio ETFA, dentro del marco de la exigencia de la Resolución Exenta N° 322/2015 de la Superintendencia del Medio Ambiente, que establece Programa de Monitoreo de la calidad del efluente generado por Piscicultura Quimeyco, en adelante, Programa de Monitoreo y que fueron declarados a través de la plataforma RETC, Ventanilla Única.

Los parámetros a modelar son Nitrógeno Kjeldahl, DBO, Solidos Suspendidos totales, Fósforo orgánico y Oxígeno disuelto, pH y Temperatura. El análisis del efluente evaluado corresponde a la muestra compuesta llevada a cabo el día 11 de febrero de 2019, por un período de 24 hrs. Los monitoreos en río Carhuello, se realizaron el 13 de febrero.

La Resolución de Programa de Monitoreo N° 322 del 2015, establece como límite el caudal y la concentración máxima en la descarga para los parámetros: pH, temperatura, aceites y grasas, Coliformes fecales o termotolerantes, DBO, fósforo, nitrógeno Kjeldahl, poder espumógeno, SAAM, solidos sedimentables, solidos suspendidos totales, esto teniendo como referencia los límites máximos establecidos en la Tabla 3 del D.S. 90.

Conforme lo señala la Resolución del Programa de Monitoreo mencionada, durante el mes de febrero, se monitoreó el efluente en 4 instancias, en la siguiente tabla se presentan los resultados de los informes de autocontrol. Los informes se adjuntan en el Anexo 3.

Tabla 4. Característica de los efluentes descargados durante febrero del 2019

Parámetro	Unidad	Muestreo Efluente				Limite Tabla 3 D.S. 90/00
		M1	M2	M3	M4	
pH	-	7,2	7,1	7,4	6,7	6,0-8,5
Temperatura	°C	14,8	11,2	11,8	11,3	30
Aceites y Grasas	mg/L	<1	<1	<1	<1	20
Coliformes Fecales o termotolerante	NMP/100 ml	<2	<2	<2	<2	1000
DBO ₅	mg/L	<2	4	11	6	35
Fosforo	mg/L	0,2	<0,2	0,36	<0,2	2
Nitrógeno total	mg/L	2,45	1,22	1,89	2,14	10
Poder Espumógeno	mm	<2	<2	<2	<2	7
Detergentes Aniónicos	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	10
Solidos Sedimentables	ml/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	5
Solidos suspendidos totales	mg/L	<5	<5	<5	<5	80

Fuente: Análisis de laboratorio Hidrolab, muestreado por ADL, Anexo 3.

En la tabla 4, al contrastar los resultados de los análisis de autocontrol por parte de un laboratorio ETFA con los límites presentes para la Tabla 3 del D.S. N° 90/00, se aprecia que el efluente descargado se encuentra por debajo de las concentraciones máximas presentes en Decreto Supremo 90, Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales, para descargas en cuerpos de agua lacustre.

Para efectos de la modelación se utilizó el Muestreo 2, esto dado que el autocontrol correspondía a una muestra compuesta de 24 horas y el monitoreo en el cuerpo receptor se realizó el día 13. Los parámetros considerados a modelar se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5. Característica de los efluentes descargados en el caso actual.

Fuente Puntual	DBO ₅ (mgO ₂ /l)	Fósforo Total (mg/l)	Nitrógeno Kjeldahl	Sólidos Suspendidos Totales	Caudal (l/s)
Piscicultura Quimeyco	4	<0,2*	1,22	<5 *	1246

*: Los parámetros que se encuentran por debajo del límite de detección, serán considerados como el valor mínimo de detección.

Cabe mencionar que el parámetro de oxígeno disuelto no se encuentra presente en dicho informe, sin embargo, ese mismo día se monitoreó la cantidad de oxígeno en el efluente dentro del marco de la certificación BAP¹⁰, por lo que se encuentra en otro análisis de laboratorio. Los análisis de laboratorio se encuentran anexados a este informe. El resultado de este análisis medido en el efluente, se encuentra en el Anexo 4.

4.2. Resultados de la modelación

Los resultados que se presentan a continuación, llevaron a cabo tomando en cuenta que el modelo fue calibrado para acercar las variables del programa a la situación actual de la piscicultura. Se buscó incorporar la mayor cantidad de datos que se acercasen a QUAL2Kw a modelar la condición del río.

En las siguientes figuras, se aprecian gráficos que mostrarán en el eje de las abscisas la distancia del área de estudio (kilómetros), donde el km 0 es el inicio del modelo en el reach 1, es decir antes de la captación y el km 0,940 es el final del modelo en el río Caburgua, tras la confluencia con el río Carhuello. Cabe mencionar que la descarga de la piscicultura, se definió en el km 0,260 por lo que en este punto y dependiendo del parámetro, debería ser observable la actividad del establecimiento.

Para facilitar el entendimiento de los resultados de la modelación en cada gráfico que se presentará a continuación, se representa con cuadrados los resultados de mediciones en terreno durante la campaña de febrero de 2019. La línea continua es el resultado de la modelación a lo largo del área de estudio.

A manera de evidenciar la actividad que se desarrolla en el establecimiento, se trazaron dos líneas perpendiculares al eje X de cada gráfico. La primera línea y de color verde, representa el punto de restitución de la piscicultura. La segunda recta y de color púrpura, representa el punto de confluencia entre el río Carhuello y el río Caburgua.

4.2.1. Caudal

La actividad de la Piscicultura Quimeyco, que cuenta con un derecho no consuntivo de aguas, restituye las aguas tratadas dentro de 200m tras la captación desde el río Carhuello. No obstante, en el km 0,780 aproximadamente, aguas abajo de la restitución, se observa que el principal aporte de agua, proviene del río Caburgua.

¹⁰ Best Aquaculture Practices (B.A.P.), es un proceso de certificación para verificar que productores siguen las mejores prácticas y responsabilidades en el manejo del producto. La certificación apunta a las cuatro áreas claves de sustentabilidad: Medio Ambiente, Social, Producto seguro y Salud animal y prevención. URL: <https://www.bapcertification.org/>

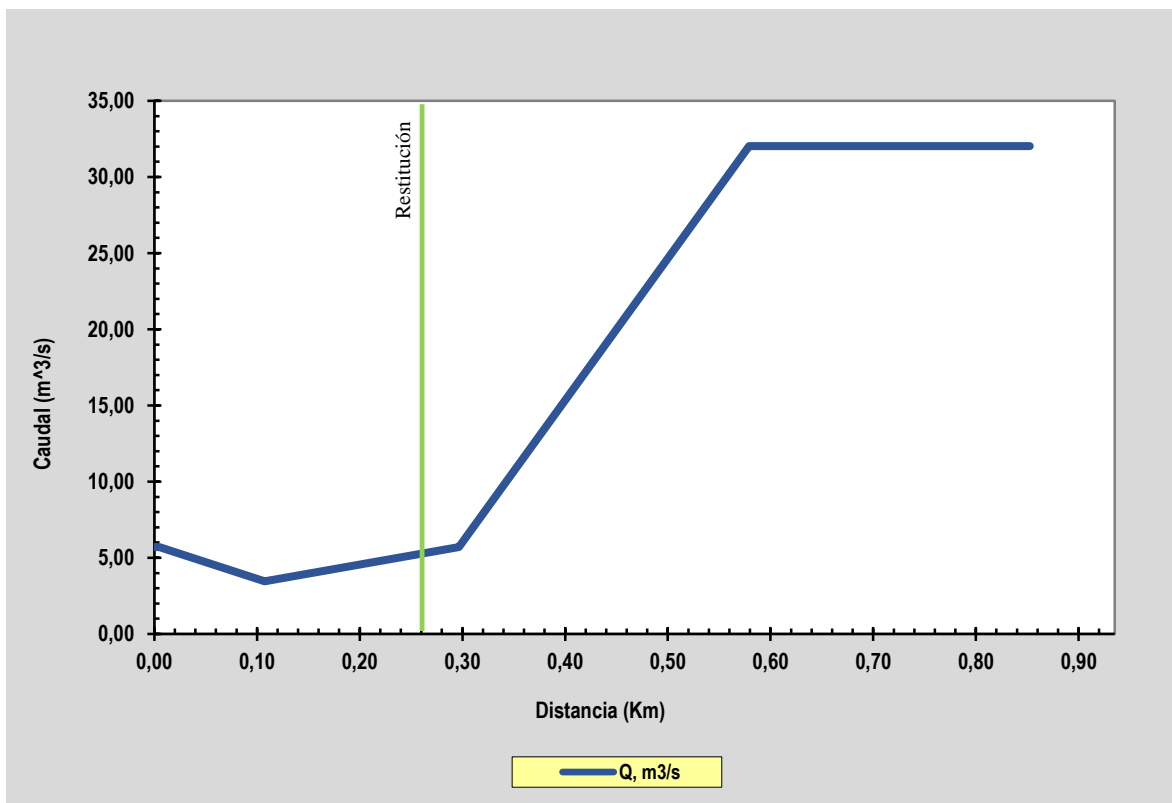


Figura 5. Fluctuación del caudal en el cuerpo receptor.

En base a los antecedentes definidos originalmente, el modelo considera que el río Carhuello, presenta un caudal de $5,7 \text{ m}^3/\text{s}^{11}$ (km 0), dentro de los primeros 50 m existe la aducción en la bocatoma de $1,246 \text{ m}^3/\text{s}$. Este fue definido en base a las mediciones por parte del laboratorio al momento de monitorear el efluente. Posteriormente el caudal es restituido, alcanzando nuevamente en el cuerpo receptor, la cantidad de $5,7 \text{ m}^3/\text{s}$. Finalmente, tras la confluencia entre el río Carhuello y el río Caburgua, el caudal total alcanza los $32,04 \text{ m}^3/\text{s}$ aproximadamente.

4.2.2. Oxígeno Disuelto

El oxígeno molecular es esencial para las especies existentes en los cuerpos de agua. Los valores que se representan por un cuadrado en el gráfico, corresponde a los valores medidos en terreno, mientras que los valores presentes en la línea negra, corresponde a lo modelado.

¹¹ Valor definido como la suma entre el caudal de descarga ($1,246 \text{ m}^3/\text{s}$) y el caudal medido entre el punto de captación y restitución obtenido del Informe Hidrológico ($4,461 \text{ m}^3/\text{s}$), presente en el Anexo 2.

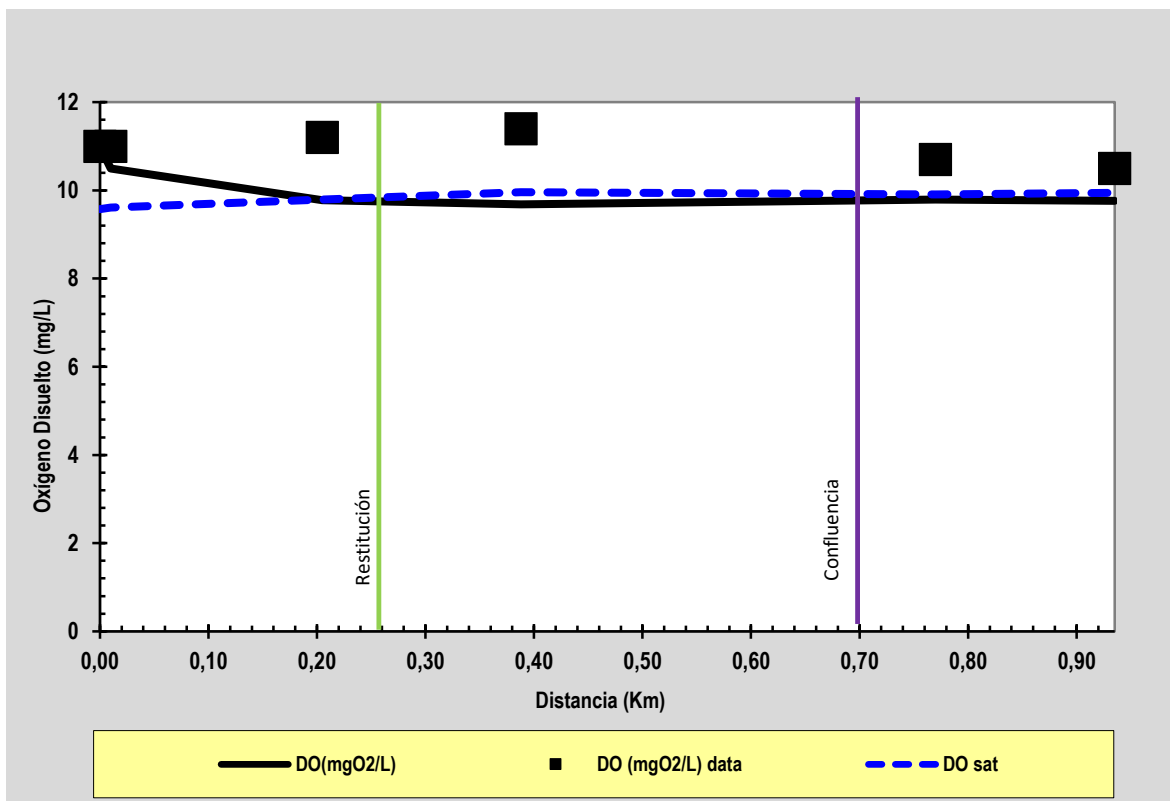


Figura 6. Oxígeno Disuelto para en el cuerpo receptor.

En base a los antecedentes recabados, existe una diferencia que se mantiene constante a lo largo de la modelación. Esta diferencia podría deberse a las condiciones climáticas utilizadas, dado que la estación meteorológica más cercana, no contaba con mediciones durante ese día de velocidad del viento, lo que pudo afectar la re-aireación en el modelo.

Pese a aquello, se puede apreciar que, en las mediciones en terreno la concentración de Oxígeno se mantiene entre los 11 y los 10,5 mgO₂/L. En el modelo, la concentración de oxígeno en el río es cercana a la saturación modelada, por sobre los 9 mgO₂/L. Pese a este contraste entre la modelación y la medición en terreno, se cumple el requisito mínimo de oxígeno disuelto en el cuerpo receptor de 5 mgO₂/L, establecido en la NCh 1.333 para uso de agua destinada a vida acuática.

4.2.3. Fósforo Orgánico

El fósforo orgánico es un nutriente relevante para el crecimiento de algas, no obstante, en altas concentraciones genera eutrofización de los cuerpos de agua.

Se puede apreciar en el gráfico que en base a la condición antes de la captación, la concentración se encuentra en 0,232 mg/L, alcanzando tras la descarga 0,225 mg/L. Comparando los resultados de los muestreos, se observa que entre la captación y la restitución existe una disminución en la concentración del parámetro, lo que podría responder a un aporte puntual o difuso que cambie las características del cuerpo receptor.

Aguas abajo de la confluencia con el río Carhuello, cercanos al km 0,7, en los puntos de control (cuadrados negros) se observa un incremento de este parámetro, alcanzando los 0,336 mg/L, hecho que refleja el aporte que se genera a partir del caudal proveniente del río Caburgua.

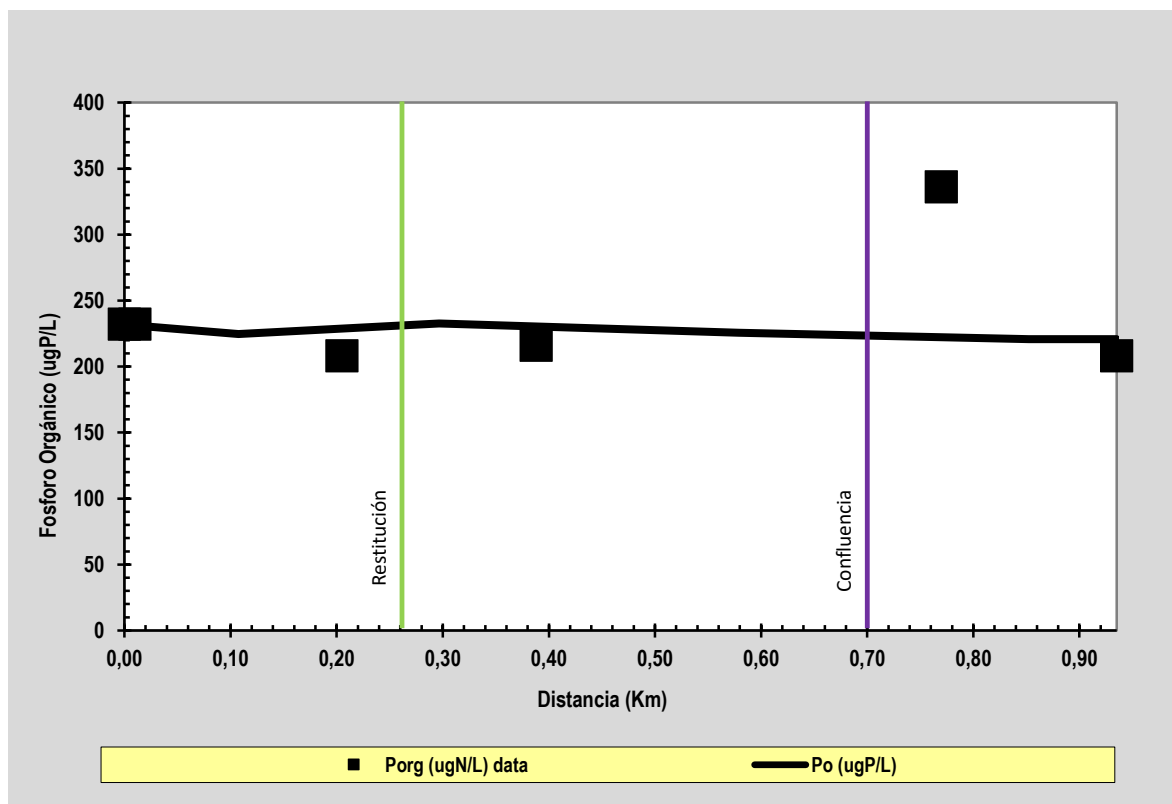


Figura 7. Fósforo Orgánico en el cuerpo receptor.

En base a lo constatado en terreno dentro de esta campaña de monitoreo, entre la captación y la bocatoma, existe una disminución en la concentración de fósforo, sin embargo y como es esperable, tras la descarga (260 m, representado por una línea verde), existe un aumento (0,232 mg/L), el cual gradualmente baja a la condición inicial (antes de la captación) en el km 0,350, aproximadamente 100 m posterior a la descarga. Esta condición se mantiene hasta la confluencia con el río Caburgua (representada con una línea púrpura).

4.2.4. Nitrógeno Kjeldahl

Como se definió con anterioridad, se considera que el nitrógeno total Kjeldahl se compone de 30% nitrógeno orgánico y 70% amonio. Dada esta condición se muestra a continuación, el comportamiento del nitrógeno orgánico y amonio en el río, considerando la información presente en los monitoreos.

En la Figura 8, se muestra el aporte de fósforo de la descarga del proyecto en el cuerpo receptor. Sin embargo, comparando los resultados de los muestreos llevados a cabo el 11 de febrero de 2019, es posible apreciar que aguas arriba de la descarga, entre la captación y la restitución (km 0,200) existe un aporte de una fuente puntual o difusa, que genera un aumento en la concentración de nitrógeno, esta condición es similar para el Amonio.

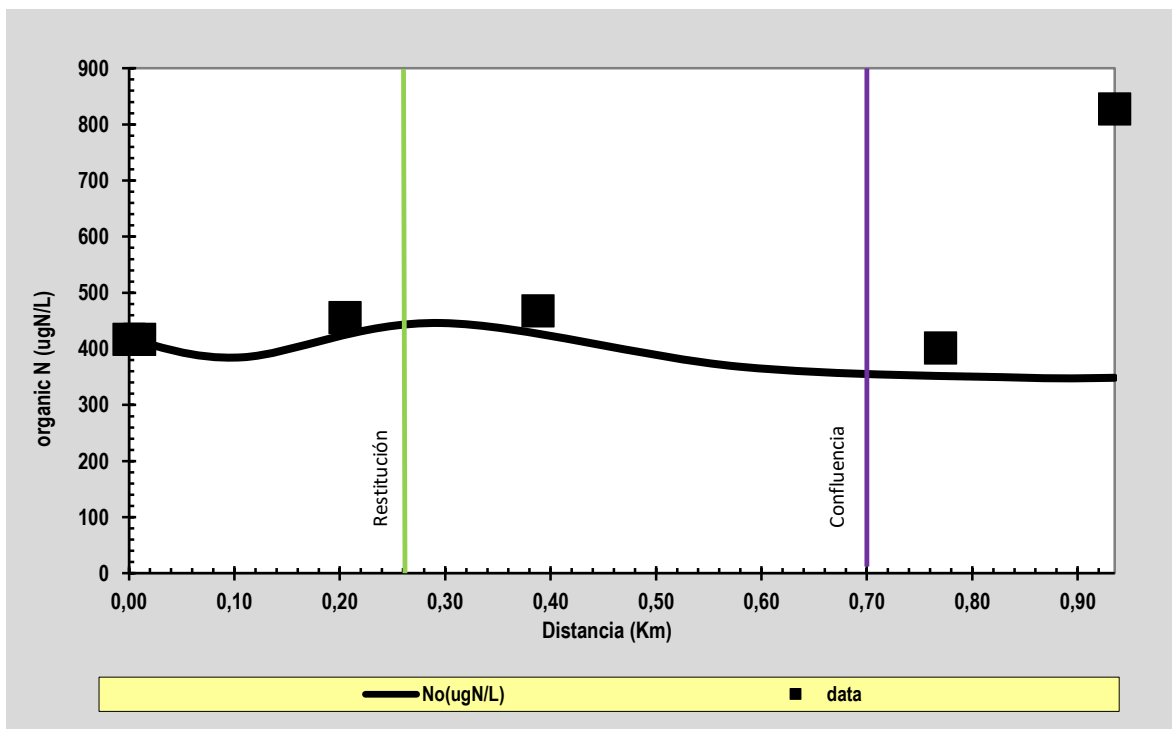


Figura 8. Nitrógeno Orgánico en el cuerpo receptor.

Es posible establecer, comparando la situación modelada versus los datos medidos en terreno, que aproximadamente 250 m aguas abajo de la restitución (km 0,5), se iguala la concentración de nitrógeno antes de la captación. El punto de descarga de la piscicultura, se representa con la línea verde en el gráfico.

El parámetro amonio presenta un comportamiento similar al nitrógeno orgánico, tras la modelación y comparando los muestreos, existe un aporte entre la captación y la restitución que eleva la concentración del parámetro, aumentando nuevamente tras la descarga del efluente de la piscicultura. La concentración inicial (antes de la captación) se recupera aproximadamente a los 310 m (km 0,56) después de la restitución. Esto es, aguas arriba de la confluencia del río Carhuello en río Caburgua, representado con una línea púrpura.

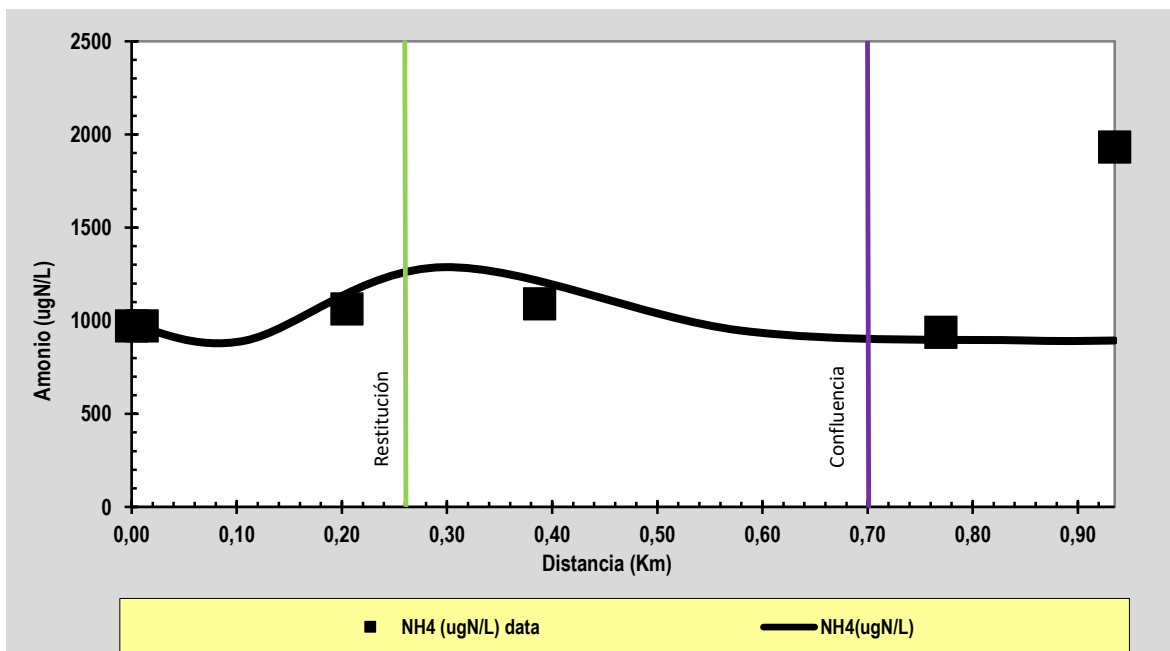


Figura 9. Amonio en el cuerpo receptor.

4.2.5. Sólidos Suspendedos

Dentro de la modelación, se consideró también evaluar el comportamiento de los sólidos suspendidos y evaluar como estos se degradan y/o sedimentan dentro del área de estudio. Tal y como se menciona al pie de la Tabla 5, el parámetro de Sólidos Suspendedos se encuentra por debajo del límite de detección del laboratorio, es decir, que no se conoce con exactitud cuan bajo es el valor de dicho parámetro cuando es menor a los 5 mg/L.

Es por esta razón que se utiliza, modelando un caso desfavorable, el valor mínimo de detección (5 mg/L), sabiendo que, en base a los resultados presentados por el laboratorio, este parámetro es menor.

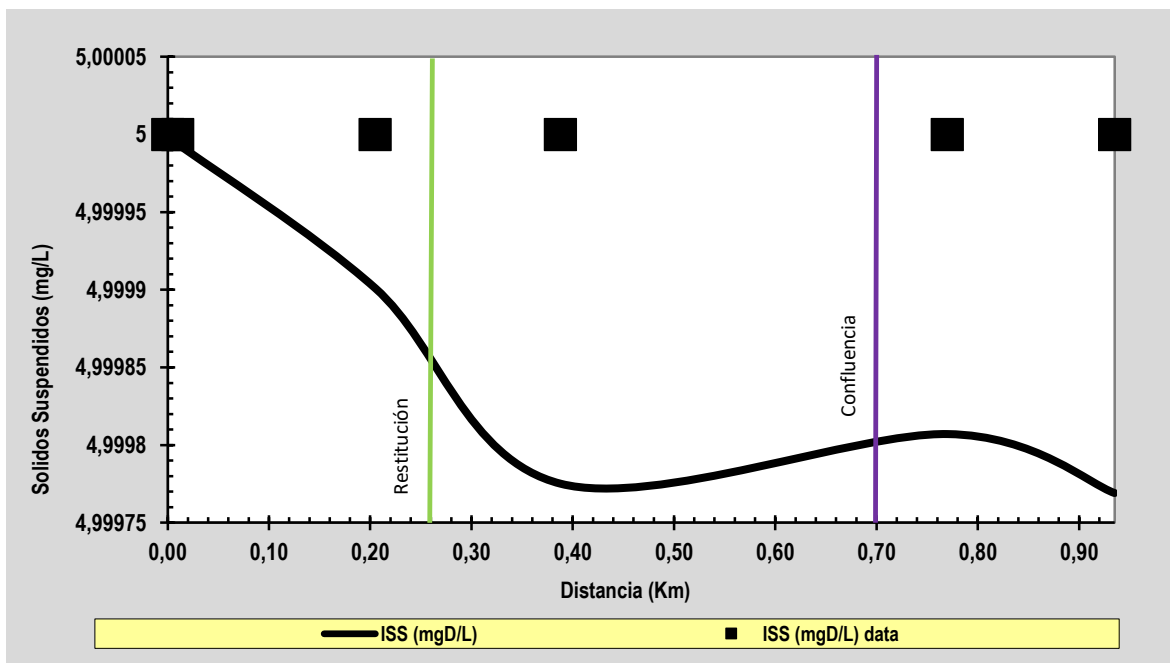


Figura 10. Sólidos Suspendedos en el cuerpo receptor.

En el caso de los Sólidos suspendidos, estos son degradados y/o sedimentan, lo que los mantiene por debajo de los 5 mg/L (límite de detección por parte del laboratorio) condición que se presenta en los análisis de laboratorio a lo largo del río Carhuello durante la campaña de monitoreo de febrero del 2019, sin embargo, pese a encontrarse bajo el límite de detección, dicha concentración se mantiene relativamente constante a lo largo del río Carhuello, incluso posterior a la restitución. Recordar que el punto de confluencia entre el río Carhuello y Caburgua se representa con una línea púrpura, mientras que el punto de restitución, es con una línea verde.

4.2.6. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La DBO es un parámetro que permite relacionar la cantidad de materia orgánica presente en el agua con la cantidad de oxígeno que se necesita para degradarla. Si la DBO resulta ser alta, se puede decir que el efluente contiene una alta cantidad de materia orgánica. Esto se traduce en una baja del oxígeno disuelto presente en el agua. En la siguiente figura, se presenta el resultado de la modelación de DBO.

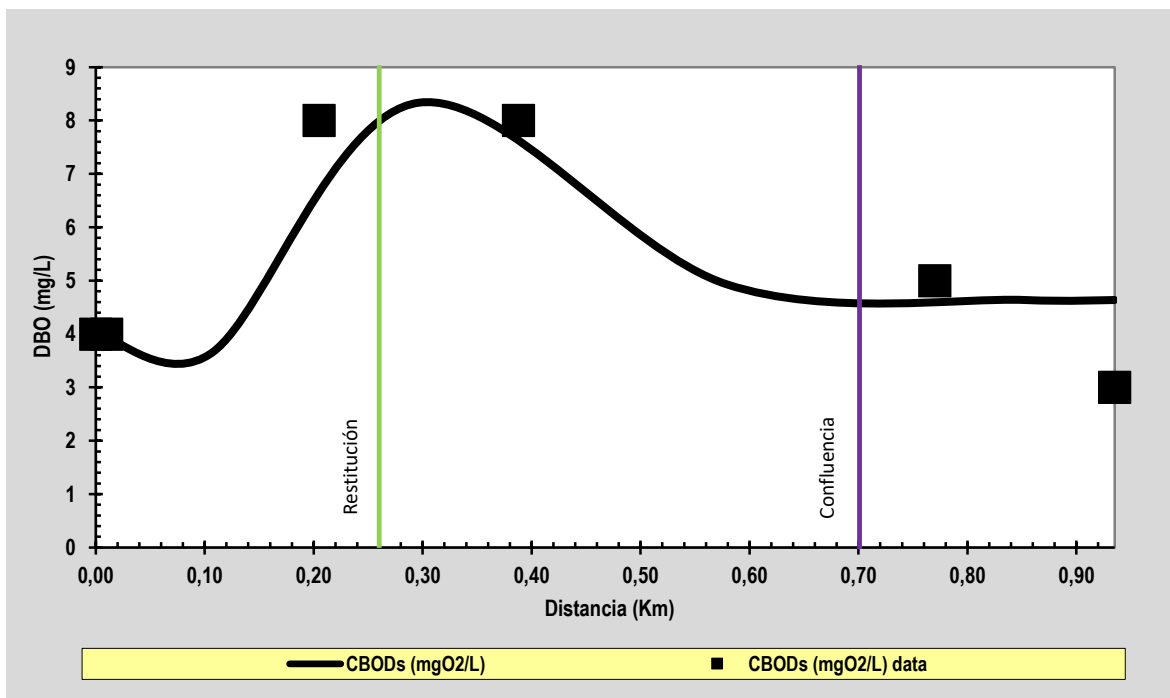


Figura 11. Demanda bioquímica de oxígeno en el cuerpo receptor.

Se puede apreciar en la modelación, que previo a la descarga del proyecto, existe un aumento en la concentración de DBO entre la captación y la restitución. Tras descargar el efluente tratado (km 0,26 representado por una línea verde) la concentración de DBO aumenta, sin embargo, el km 0,6 y previo a la confluencia con el río Caburgua (km 0,7 representado por una línea púrpura) la concentración del parámetro (4,7 mg/L) se mantiene bastante cercano a la condición antes de la captación (4 mg/L). Pese a que la condición inicial del parámetro DBO, medida aguas arriba de la captación de la piscicultura, no se recupera antes de la confluencia del río Carhuello y río Caburgua, no se puede asociar este comportamiento únicamente a la actividad de la piscicultura Quimeyco, dado que existe un aporte de fuentes puntuales y difusas aguas arriba y aguas abajo de la descarga de la piscicultura.

En base a lo modelado, la diferencia entre la condición del río antes de la captación versus la condición del río posterior a los 0,6 km es de 0,7 mg/L aproximadamente. Es importante mencionar que los aportes de fósforo, nitrógeno y DBO, podrían justificarse teniendo presente que, en el sector existen viviendas, cabañas, hoteles, zonas de camping y otros aportes dependiendo del uso de suelo, también considerando el incremento de visitantes y actividades en el periodo estival coincidente con la fecha evaluada en el presente estudio.

4.2.7. Conductividad

Adicionalmente, se incorpora el análisis de conductividad, esto principalmente para realizar una comparación con la Norma Chilena 1.333, Requisitos de Calidad del Agua para Diferentes Usos.

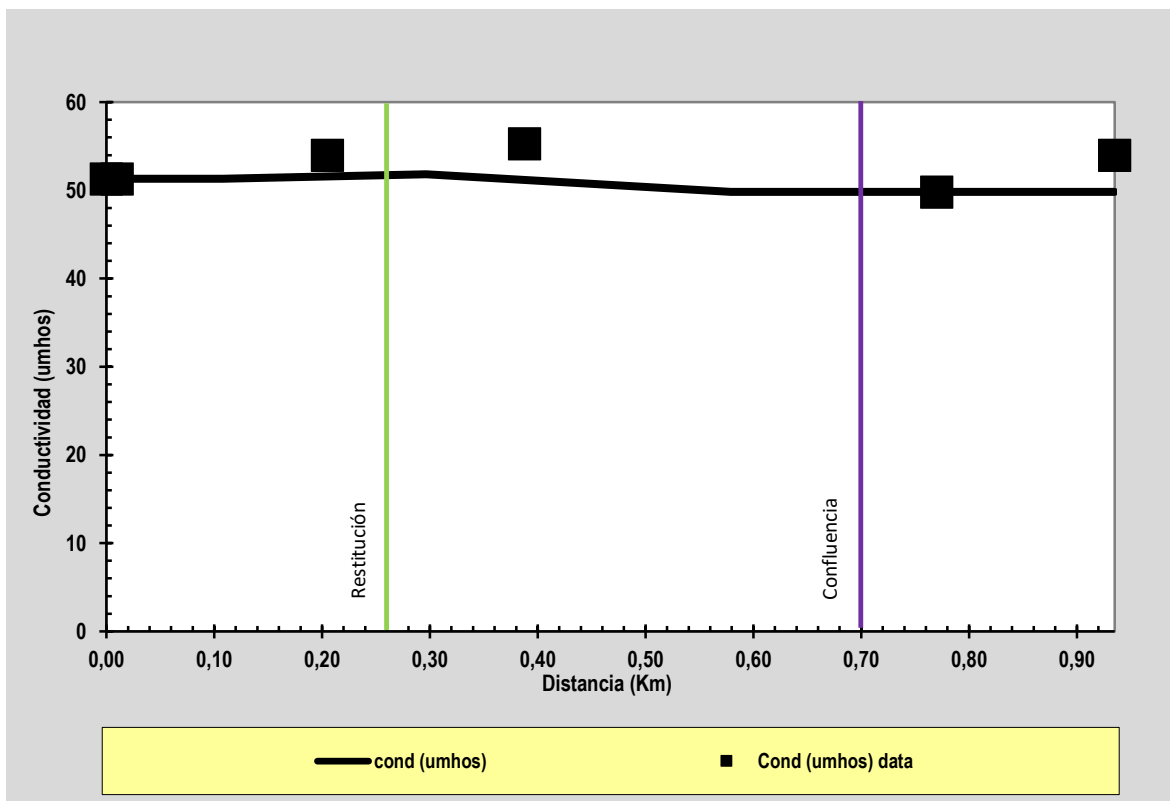


Figura 12. Conductividad en el cuerpo receptor.

Se puede apreciar, tanto en la modelación como en los datos medidos en terreno, que la conductividad se mantiene cercana al valor inicial, con pequeñas variaciones. Se evidencia además que, tras la descarga de la piscicultura, se incrementa el valor a 51,8 umhos en el modelo y 55,3 umhos en lo medido en terreno. Pese a que no existen cambios abruptos de conductividad, se define que al km 0,6 se alcanza la concentración inicial (valor medido aguas arriba de la captación). Estos valores de conductividad, en base a la clasificación de aguas para riego según su salinidad, presente en la NCh 1.333, como “agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales”, dado que lo modelado y lo medido en terreno, se encuentra por debajo de los 750 umhos.

5. Discusiones y Conclusiones

El presente estudio utilizó el Modelo QUAL2Kw para realizar la modelación de la dilución del efluente del establecimiento Piscicultura Quimeyco en el cuerpo receptor río Carhuello, de los parámetros caudal, oxígeno disuelto, fósforo orgánico, nitrógeno Kjeldahl, sólidos suspendidos y DBO. La calibración del modelo se llevó a cabo a partir de resultados de muestreos realizados en el río Carhuello y en el río Caburgua en el mes de febrero del 2019, complementando algunos antecedentes de manera bibliográfica. Por otra parte, se utilizaron los resultados de los monitoreos de efluente realizados por la Piscicultura Quimeyco en cumplimiento al Programa de Monitoreo en el mes de febrero e informados en plataforma RETC. Es importante recalcar que los informes de laboratorio, existen algunos parámetros medidos tanto en el cuerpo receptor como en el

efluente tratado previo a la descarga, que se encuentran por debajo del límite de detección del laboratorio, es por esto que se utilizó el valor mínimo de detección durante la modelación.

Los resultados de los muestreos muestran que el parámetro fósforo Orgánico, aumenta su concentración (0,456 mg/L) previo a la descarga del proyecto, lo que se evidencia comparando los resultados de los muestreos entre la captación y la restitución. Tras la descarga del efluente tratado del proyecto en el río Carhuello, este recupera su condición inicial, es decir, la concentración antes de la captación dentro de los primeros 100 m. Con el parámetro nitrógeno orgánico ocurre una situación semejante al fósforo orgánico, dado que tanto en el modelo como los resultados de los muestreos muestran un aumento de la concentración, lo que evidencia aportes de fuentes o actividades que distintas de la piscicultura. Tras la descarga del efluente tratado de la Piscicultura Quimeyco, el efluente se diluye en el río Carhuello dentro de los primeros 250 metros. En el caso del parámetro de amonio, también existe un aporte no identificado entre el punto de captación y restitución, pese a esto y tras la descarga del efluente tratado de la piscicultura al río, el amonio vuelve a la concentración original (antes de la captación) dentro de los primeros 310 m.

Los sólidos suspendidos se definieron como 5 mg/L durante toda la modelación en las diferentes estaciones de monitoreo, dado que éste es el valor mínimo de detección en los ensayos de laboratorio y que, para cada punto muestreado, el resultado del análisis es <5 mg/L. En el modelo, tras la calibración se presenta que dicho parámetro tiende a la baja a lo largo del área de estudio.

De igual manera, el parámetro DBO presenta un aumento tras la restitución, alcanzando un valor levemente mayor a 8 mg/L, el cual disminuye muy cerca de la condición inicial dentro de los primeros 310 m aguas abajo de la descarga. Si bien, para la DBO no se recupera la condición medida aguas arriba de la descarga del proyecto sino hasta después de la confluencia del río Carhuello con el río Caburgua, esto no responde únicamente a la actividad de la Piscicultura Quimeyco, esto considerando un aumento de turistas en el sector siendo período estival, encontrándose en el sector viviendas, cabañas y zonas de camping. Pese a esta condición, la diferencia entre las concentraciones aguas arriba de la captación y en los 310 m aguas abajo de la restitución, es de 0,7 mg/L.

Finalmente, la conductividad se mantiene cercana al valor inicial, con pequeñas variaciones. Se evidencia además que, tras la descarga de la piscicultura, se incrementa el valor a 51,8 umhos en el modelo y 55,3 umhos en lo medido en terreno.

Al contrastar los resultados de los análisis de autocontrol por parte de un laboratorio ETFA con los límites presentes para la Tabla 3 del D.S. 90/00, se aprecia que el efluente descargado se encuentra por debajo de las concentraciones máximas presentes en Decreto Supremo 90, Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales, para descargas en cuerpos de agua lacustre.

En base a los antecedentes recopilados y entregados por el titular, como los análisis en el cuerpo receptor, Estudio Hidrográfico, análisis del efluente y el informe BAP, se puede determinar que los resultados, se encuentran dentro del límite de la NCh 1,333 Of 78, para uso destinada a riego, baño con contacto directo y vida acuática. Por otro lado, considerando tanto los resultados de la modelación como los informes de laboratorio, se daría cumplimiento a la NCh 409 Of 2005 para Agua Potable, el parámetro de Amonio.

Considerando los antecedentes presentados y los resultados de la modelación, la actividad de la piscicultura no debiera afectar los usos de agua en el río Carhuello de manera significativa alcanzando un área de 310 m aproximadamente, donde es posible medir que la descarga del establecimiento alcanza concentraciones menores o similares a las que contaba el río antes de la captación.

Anexo 1

Resultados de muestreos de agua, río Carhuello y río Caburgua.

Anexo 2

Informe Hidrológico, río Carhuello.

Anexo 3

Resultados muestreos de efluente del Programa de Monitoreo de la Piscicultura Quimeyco.

Anexo 4

Resultados muestreo de oxígeno disuelto para Certificación BAP de Piscicultura Quimeyco