



VERSIÓN 1.1  
SEPT 2019

2 2 6 3



# Coexiste

## INFORME DE RESULTADOS

MONITOREO DE LA CALIDAD DE AGUA Y  
CAUDAL EN CUENCA DEL RIO HUASCO COMO  
INSUMO PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS  
APORTES DE FUENTES DIFUSAS DE LA  
CUENCA, EN EL CONTEXTO DEL AGIES DE LA  
NORMA DE CALIDAD DE AGUA DE HUASCO

ID 610176-2-LE19

PRESENTADOR:  
EVELYN ÁLVAREZ, ING. AGRÓNOMA  
JEAN-FRANÇOIS CASALE, BIÓLOGO



## TABLA DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	2
a.	Contexto general.....	2
b.	Contexto del presente estudio.....	2
II.	OBJETIVOS.....	3
a.	Objetivo General.....	3
b.	Objetivos Específicos.....	3
III.	METODOLOGÍAS DE TRABAJO.....	3
a.	Fase 1: Reconocimiento en Terreno.....	3
i.	Desarrollo general: evaluación de factibilidad de muestreo y establecimiento de los sitios de monitoreo.....	3
ii.	Evaluación preliminar y planificación del terreno de reconocimiento.....	5
iii.	Elección de nuevos sitios de monitoreo.....	6
iv.	Descripción del uso del suelo y Caracterización de la fuenteS DIRECTAS O DIFUSAS DE CONTAMINACIÓN.....	7
b.	Fase 2: Campaña de muestreo de parámetros físico-químicos y medición de caudal en cuerpos de agua superficiales.....	9
i.	Desarrollo general y principales actividades.....	9
ii.	Medición y recolección de parámetros físico-químicos y microbiológicos.....	9
iii.	Medición del perfil de velocidad para la cuantificación del caudal.....	13
iv.	Análisis y sistematización de la información.....	13
IV.	RESULTADOS.....	15
a.	Resumen a nivel de cuenca.....	15
i.	Distribución de los valores de flujo.....	22
ii.	Distribución de los valores de parámetros físico-químicos.....	24
iii.	Distribución de las cargas de contaminantes.....	28
b.	Comparación de valores de parámetros medidos con los datos de las Estaciones de Monitoreo por Área de Vigilancia.....	34
V.	BIBLIOGRAFIA.....	39



## ÍNDICE DE FIGURAS



2 2 6 5

Figura 1: Distribución de los 25 sitios de monitoreo establecidos a lo largo de la cuenca del huasco. Fuente: Elaboración propia en base a coordenadas propuestas en las bases técnicas. ....	4
figura 2 : imágenes de los sitios propuestos por la contraparte sin factibilidad de ser monitoreados, los cuales fueron reubicados. ....	5
Figura 3: Multiparámetro portátil Hanna HI9828 con su sonda, y su utilización en la campaña de monitoreo en la cuenca del Huasco desde el 16 al 18 de agosto del año 2019. ....	9
Figura 4: Extracción de las muestras de agua para el posterior análisis, durante la campaña de monitoreo en la cuenca del Huasco desde el 16 al 18 de agosto del año 2019. ....	10
Figura 5: Rotulado y almacenamiento de las muestras de agua para el posterior análisis, durante la campaña de monitoreo en la cuenca del Huasco desde el 16 al 18 de agosto del año 2019.....	11
Figura 6: Medición del perfil transversal de velocidad con velocímetro portátil.....	13
Figura 7: Distribución de los valores de los parámetros de calidad de agua medidos en los 25 sitios de la cuenca 1/3. Se muestran cuando corresponde, los umbrales permitidos por la norma chilena vigente. Fuente: elaboración propia. ....	18
Figura 8: DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA MEDIDOS EN LOS 25 SITIOS DE LA CUENCA 2/3. SE MUESTRAN CUANDO CORRESPONDE, LOS UMBRALES PERMITIDOS POR LA NORMA CHILENA VIGENTE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	19
Figura 9: DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA MEDIDOS EN LOS 25 SITIOS DE LA CUENCA 3/3. SE MUESTRAN CUANDO CORRESPONDE, LOS UMBRALES PERMITIDOS POR LA NORMA CHILENA VIGENTE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	20
Figura 10: Correlograma destacando las correlaciones entre los parámetros levantados (correlación de Pearson). Los tonos azules muestran el gradiente positivo, mientras los tonos rojos, el gradiente de correlación negativo. Se destacan con sus colores respectivos las correlaciones significativas ( $p \geq$ 0.05). Fuente: elaboración propia.....	21
Figura 11: Distribución espacial de los valores de Velocidad de corriente promedio. Fuente: elaboración propia. ....	22
Figura 12: Distribución espacial de los valores de Caudal. Fuente: Elaboración propia. ....	23
Figura 13: Distribución espacial de los valores de pH. Fuente: Elaboración propia. ....	24
Figura 14: Distribución espacial de los valores de temperatura del agua. Fuente: elaboración propia. ....	25
Figura 15: Distribución espacial de los valores de Oxígeno Disuelto (%). Fuente: elaboración propia.	26
Figura 16: Distribución espacial de los valores de Conductividad Eléctrica. Fuente: elaboración propia. ....	27
Figura 17: Distribución espacial de los valores de Sulfatos en la cuenca de estudio. Fuente: elaboración propia. ....	28
Figura 18: Distribución espacial de los valores de Manganeseo en la cuenca. Fuente: elaboración propia. ....	29
Figura 19: Distribución espacial de los valores de Zinc en la cuenca de estudio. Fuente: elaboración propia. ....	30





Figura 20: Distribución espacial de los valores de Amonio en la cuenca de estudio. Fuente: elaboración propia.....	31
Figura 21: Distribución espacial de los valores de Coliformes Totales en la cuenca. Fuente: Elaboración Propia.....	32
Figura 22: Distribución espacial de los valores de Coliformes Fecales en la cuenca. Fuente: elaboracion propia.....	33
Figura 23: Localización de las Estaciones de Monitoreo de cada Área de Vigilancia (en verde), y de los sitios del presente estudio (en azul). Fuente: elaboración propia, en base a datos del NSCA Huasco y datos propios.....	35
Figura 24: Comparación de la distribución de los valores de parámetros de calidad de agua entre los sitios del presente estudio y las Estaciones de Monitoreo por Área de Vigilancia (1/3). Fuente elaboración propia.....	36
Figura 25: COMPARACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA ENTRE LOS SITIOS DEL PRESENTE ESTUDIO Y LAS ESTACIONES DE MONITOREO POR ÁREA DE VIGILANCIA (2/3). FUENTE ELABORACIÓN PROPIA.....	37
Figura 26: COMPARACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA ENTRE LOS SITIOS DEL PRESENTE ESTUDIO Y LAS ESTACIONES DE MONITOREO POR ÁREA DE VIGILANCIA (3/3). FUENTE ELABORACIÓN PROPIA.....	38

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Código y ubicación de los 25 sitios establecidos y muestreados en la Cuenca del Huasco. ....	4
Tabla 2: Objetivos de monitoreo de los 25 sitios establecidos y muestreados en la cuenca del Huasco.....	6
Tabla 3: Descripción de los usos de suelo y sus posibles fuentes de contaminación directas o difusas en un radio de 1 km entorno a cada punto de muestreo. ....	7
Tabla 4: Parámetros físicoquímicos y microbiológicos medidos.....	10
Tabla 5: Límite de detección y metodologías aplicada a los análisis físico-químicas y microbiológicas (ex-situ) según información del laboratorio Geoquímica Ltda. SI: Sin Información. ....	12
Tabla 6: Concentración máxima de elementos químicos en agua para riego, estipulado en la normativa vigente de calidad del agua de acuerdo a su uso para riego: Norma chilena NCh1333:1978 mod. 1987. ....	12
Tabla 7: Abreviaturas y unidades de medición de las variables usadas en tablas de datos, figuras y gráficos.....	14
Tabla 8: Características generales de los cursos de agua derivados de observaciones en los 25 sitios de muestreo. Estimaciones visuales de condición de sustrato: L=Limpio; A=Alga; MO=Materia Orgánica; D=Deposición Inorgánica; B=Basura. Proporción de los Sustratos presentes: +=Escaso; +=Bajo; +++=Abundante; ++++=Muy Abundante. ....	16
Tabla 9: Cuadro resumen de los valores de parámetros medidos a nivel de la cuenca (n = 25 sitios). *: S.D.: desviación Estándar. Fuente: elaboración propia. ....	17
Tabla 10: Valores de medianas por Área de Vigilancia para cada parámetro considerado en este estudio. Fuente: elaboración propia.....	34



2267



## SIGLAS Y DEFINICIONES

Para la correcta interpretación de la presente propuesta, los términos y siglas que a continuación se señalan, tendrán el significado que se indica.

AGIES: Análisis General del Impacto Económico y Social.	NSCA: Norma Secundaria de Calidad Ambiental
APR: Programa o Comité de Agua Potable Rural	OD: Oxígeno Disuelto
DGA: Dirección General de Aguas	ORP: Potencial de Oxidación Reducción
GPS: Global Positioning System	SIG: Sistema de Información Geográfica
ICA: Índice de Calidad de Aguas	SQL: Structured Query Language
MMA: Ministerio de Medio Ambiente	TDS: Totales de Solidos Disueltos
MOP: Ministerio de Obras Públicas	

## LEGISLACIÓN Y NORMAS APLICABLES

Ley N°19.300 Bases generales del Medioambiente

Ley N°21064 Código de Aguas

DS N°38/2012 del MMA sobre el reglamento para la dictación de normas de calidad ambiental y de emisión.

DS N°39/2012 del MMA relativo al reglamento para la dictación de planes de prevención y de descontaminación.

Resolución Exenta N°177 del 10 de marzo de 2016 del MMA

Resolución Exenta N°553 del 22 de junio de 2016 del MMA

### Normas de Calidad vigentes:

*NCh1333:1978 Mod. 1987.* Establece los requisitos de calidad del agua de acuerdo a su uso. Se aplica a las aguas destinadas a los usos siguientes: a) agua para consumo humano; b) agua para la bebida de animales; c) riego; d) recreación y estética; d.1) estética; d.2) recreación con contacto directo; d.3) recreación sin contacto directo; y e) vida acuática.

NCh-ISO 5667/1:2017, Calidad del agua - Muestreo - Parte 1: Guía para el diseño de los programas de muestreo y técnicas de muestreo

NCh-ISO5667/6:2015 Calidad del agua – Muestreo -Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua

*NCh-ISO 9001:2015.* Sistemas de gestión de la calidad - Requisitos (Adopción idéntica de la versión en español de la Norma Internacional ISO 9001:2015)

NCh 411/2. Of 96 Calidad del agua- Muestreo Parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo

NCh 411/3. Of 2014 Calidad del agua- Muestreo- Parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras



## I. INTRODUCCIÓN

### A. CONTEXTO GENERAL

En Chile, la Norma Secundaria de Calidad Ambiental (NSCA) para las Aguas Superficiales de la Cuenca del Río Huasco, ha sido priorizada por medio de Resolución Exenta N°177 del 10 de marzo de 2016 MMA, a través del primer Programa de Regulación Ambiental 2016 - 2017. Al respecto se generó la Resolución Exenta N°553 del 22 de junio de 2016 MMA, que da inicio al proceso normativo, lo que continuó con la conformación del Comité Operativo el cual fue constituido por medio de Res. Exenta N°270 del 31 de marzo de 2017.

Actualmente, dicha norma se encuentra en proceso la elaboración del Anteproyecto de la norma según DS N°38/2012 MMA, para lo cual se realizó un análisis técnico de la información recopilada a la fecha, donde se evidencia que existe una cantidad relevante de información asociada a parámetros medidos y estaciones de calidad de agua en la cuenca, la cual abarca un periodo de al menos 30 años. Gracias a toda la información recopilada, se han determinado Áreas de Vigilancia, donde se controlará la calidad del agua superficial mediante parámetros determinados, que están asociados a los distintos rubros presentes en la cuenca y que pueden tener efecto sobre los ecosistemas acuáticos.

Dicho Anteproyecto, debe someterse a un análisis general de impacto económico y social (AGIES), para posteriormente ser dispuestos ambos documentos técnicos a una Consulta Ciudadana. Para la elaboración de AGIES, un elemento fundamental es contar con información actualizada y ordenada acerca de la emisión de contaminantes desde diversas fuentes puntuales y difusas, así como también la información de la calidad de aguas y de caudal.

### B. CONTEXTO DEL PRESENTE ESTUDIO

En este contexto, con la finalidad de contar con más antecedentes que permitan estimar aportes de potenciales fuentes difusas identificadas en la cuenca del río Huasco (agricultura y minería principalmente), el Ministerio de Medio Ambiente (MMA) solicita contratar el servicio de toma de muestras de parámetros físico-químicos y su respectivo análisis en laboratorios, y además, medir el caudal en cada sitio donde se tomen las muestras físico-químicas.





## II. OBJETIVOS

### A. OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal del proyecto consiste en **monitorear la calidad de agua y el caudal en la cuenca del río Huasco, asociado a fuentes difusas.**

### B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Realizar un **reconocimiento del terreno** (exploratorio) que dé cuenta de la factibilidad de realizar el monitoreo.
- 2) Realizar el monitoreo de **toma de muestras de parámetros físico-químicos y medición de caudal** en cuerpos de agua superficiales.

## III. METODOLOGÍAS DE TRABAJO

Para cumplir con el objetivo general del estudio, a saber, realizar un monitoreo de calidad de aguas superficiales y caudal, la estrategia de trabajo consistió en adoptar un plan de acción en 2 fases acordes a los objetivos específicos del estudio:

- 1) Campaña de terreno exploratorio
- 2) Campaña de monitoreo y análisis de datos posteriores.

### A. FASE 1: RECONOCIMIENTO EN TERRENO

#### I. DESARROLLO GENERAL: EVALUACIÓN DE FACTIBILIDAD DE MUESTREO Y ESTABLECIMIENTO DE LOS SITIOS DE MONITOREO

El monitoreo de calidad agua superficial y caudal de la Cuenca del río Huasco abarca los territorios definidos como áreas de vigilancia del anteproyecto de la NSCA Huasco. Se establecieron 25 sitios de monitoreo a lo largo de toda la cuenca (ver Tabla 1 y Figura 1), a través de las campañas de reconocimiento y establecimiento de los sitios, como también del primer monitoreo de calidad de agua, actividades llevadas a cabo durante los periodos del 2 al 5 de Agosto y entre el 16 y 18 de Agosto respectivamente. Durante la primera campaña, se visitaron cada uno de los sitios propuestos, verificando *in-situ* la factibilidad de accesos, así como las condiciones mínimas necesarias para realizar un muestreo de agua y posteriores monitoreos (ver detalles más adelante).

Todos los sitios visitados fueron debidamente documentados mediante fichas de registros, apoyado por fotografías aéreas (cuando fue posible) y a nivel de suelo, todos estos registros fueron georreferenciados con GPS y estampados con fecha y hora, información disponible en metadata de cada archivo.





TABLA 1: CÓDIGO Y UBICACIÓN DE LOS 25 SITIOS ESTABLECIDOS Y MUESTREADOS EN LA CUENCA DEL HUASCO.

Código sitio	Nombre sitio	Coordenadas geográficas		Altitud (msnm)
		Long E	Lat N	
M01	Río Potrerillos	378396	6747322	2512
M02	Río Carmen - puente madera por c489	368115	6773754	1830
M03	Canal El Peon (Río Carmen por c489)	357150	6791738	1329
M04	Río Carmen en baden crucecita	358407	6802994	1022
M05	Río Carmen antes confluencia río Transito	355167	6818183	784
M06	Río laguna grande en Juntas de Valeriano	398700	6804953	1876
M07	Río Conay en puente corral	396243	6802098	1769
M08	Río Chollay	388463	6787643	1642
M09	Río Chollay en puente Conay	387500	6794212	1427
M10	Río Transito bajo confluencia río Conay con Río Chollay	386244	6794293	1407
M11	Río Transito salida poblado Portillo	377995	6797304	1227
M12	Río Carmen en baden la Vega	357061	6814615	837
M13	Canal molino viejo en Chanchoquin (Río Transito)	373824	6807858	1083
M14	Canal molino viejo aguas abajo Chanchoquin (Río Transito)	372577	6808206	156
M15	Río Transito ante confluencia con Río Carmen	362564	6815200	871
M16	Quebrada afluente río Huasco	338482	6825278	607
M17	Río Huasco en puente la verbena	336432	6828881	508
M18	Río Huasco bajo confluencia río Transito y río Carmen	353180.286	6820592.746	750
M19	Río Huasco en puente los guindos	297890.918	6844488.399	100
M20	Río Huasco arriba Vallenar	330719	6835578	442
M21	Río Huasco bajo Vallenar (puente)	325219	6838675	354
M22	Canal compañía antes agricultura (río Huasco por c565)	327408	6836085	529
M23	Río Huasco en Maitencillo - confluencia qda agua verde	312174	6842943	235
M24	Quebrada agua verde	312894	6840598	266
M25	Río Huasco en puente Nicolasa	303058	6843992	141

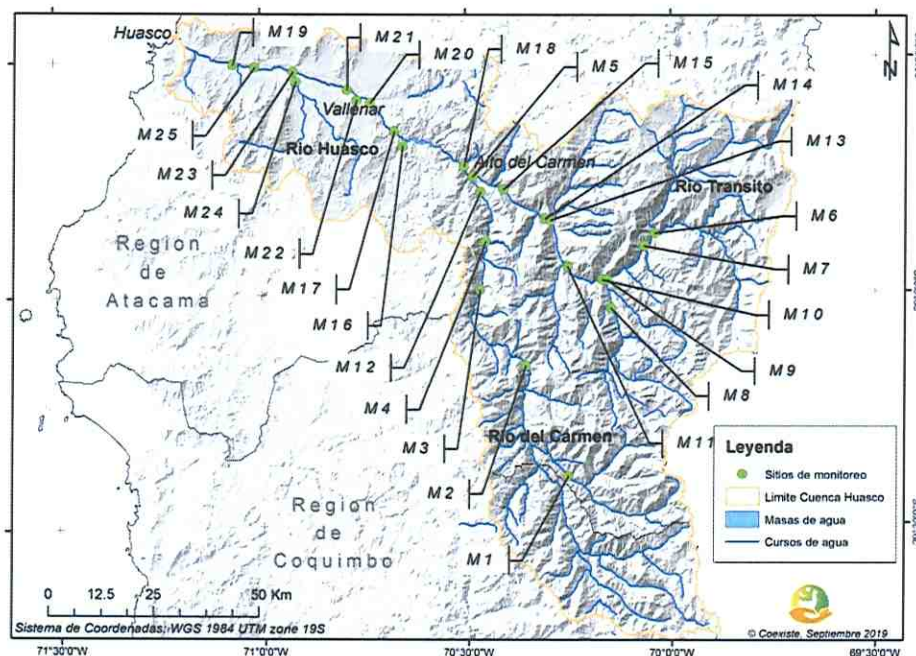


FIGURA 1: DISTRIBUCIÓN DE LOS 25 SITIOS DE MONITOREO ESTABLECIDOS A LO LARGO DE LA CUENCA DEL HUASCO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA EN BASE A COORDENADAS PROPUESTAS EN LAS BASES TÉCNICAS.



## II. EVALUACIÓN PRELIMINAR Y PLANIFICACIÓN DEL TERRENO DE RECONOCIMIENTO

Durante la primera campaña de terreno, parte del trabajo fue evaluar el acceso y factibilidad de los puntos de muestreos entregados por la contraparte. Al respecto se constató que algunos sitios propuestos, comenzando desde la desembocadura a la cordillera como: M25, M24, M23, M22, M19, M18, M17 y M12; no eran factibles de ser monitoreados (ver figura 2). La causa primordial se debe a la no presencia de agua, y en el punto M17 se suma el acceso restringido, como se trata de quebradas eventuales sólo en ocasiones con eventos de precipitación superiores a lo normal pueden presentar agua. Por lo tanto, no son factibles de ser evaluados en esta ocasión, como tampoco para realizar un monitoreo periódico.

La información recaudada durante la primera campaña fue reportada vía mail a la contraparte durante los días de su ejecución. A través de descripciones detalladas y fotografías de los lugares se dieron a conocer los sitios no factibles de ser monitoreados, como también los sitios propuestos en su reemplazo, cuya aprobación fue sometida a juicio de la contraparte técnica.

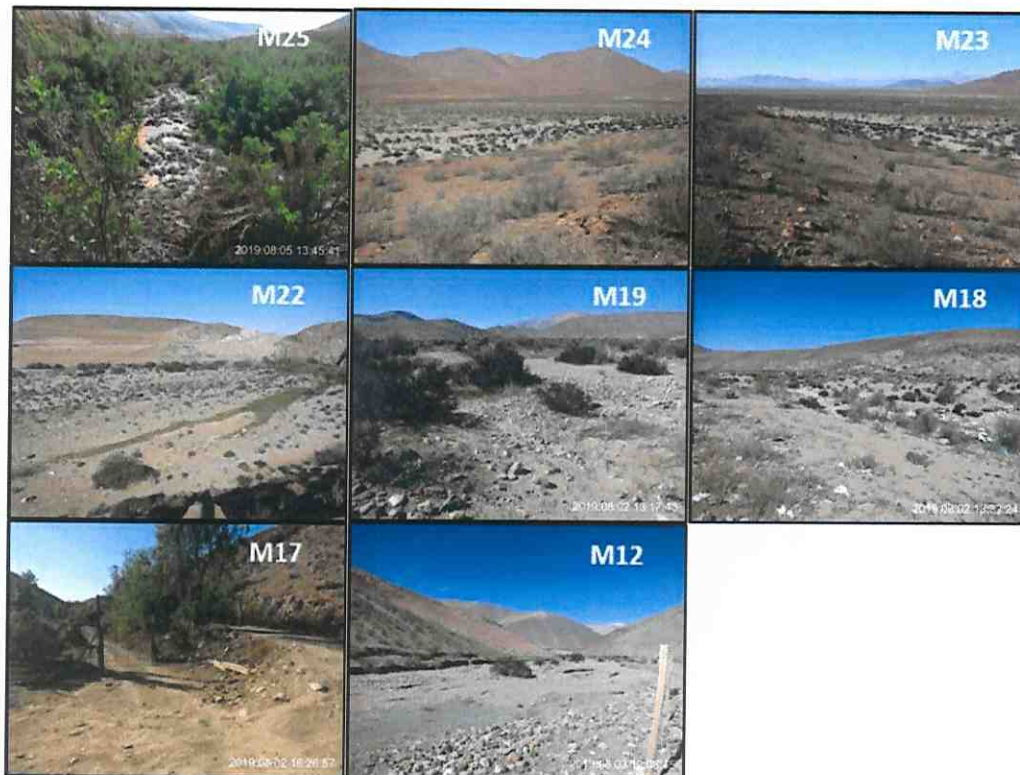


FIGURA 2 : IMÁGENES DE LOS SITIOS PROPUESTOS POR LA CONTRAPARTE SIN FACTIBILIDAD DE SER MONITOREADOS, LOS CUALES FUERON REUBICADOS.





### III. ELECCIÓN DE NUEVOS SITIOS DE MONITOREO

Para el caso de los sitios que fueron definidos como no factibles de ser monitoreados, se buscaron otros sitios cercanos que cumplieran con los objetivos de monitoreo planteados por la contraparte (Tabla 2), ya sea que dieran cuenta de las fuentes de contaminación cercanas identificadas o como punto de control, y que además cumpliera con todos los requisitos para llevar a cabo el monitoreo. La elección de nuevo sitio se hizo mediante los siguientes criterios:

- Presencia de agua superficial (obligatoria),
- y/o Presencia de potencial foco puntual de contaminación (condicional),
- o Presencia de potencial fuente difusa – i.e. actividades agrícolas (condicional),
- y/o Punto de conexión afluente con curso de orden mayor,
- Otros criterios adaptados al contexto local según protocolo estándar desarrollado por el *Canadian Aquatic Biomonitoring Network* (CABIN 2012)

Como se mencionó anteriormente, para evaluar y consensuar los nuevos sitios propuestos, se informó diariamente mediante correos electrónico a la contraparte técnica sobre:

- Los criterios de descarte de puntos no factibles, apoyado por un mapa interactivo con fotografías del entorno.
- Los nuevos puntos propuestos, justificados por criterios ante citados y apoyado por fotografías georreferenciadas y estampadas con fecha y hora (metadata).

**TABLA 2: OBJETIVOS DE MONITOREO DE LOS 25 SITIOS ESTABLECIDOS Y MUESTREADOS EN LA CUENCA DEL HUASCO.**

Código sitio	Curso de agua	Objetivos de monitoreo
M01	Río Potrerillos	Pto. inicial sub-cuenca del Carmen
M02	Río Carmen	Crianceros
M03	Canal El Peón (Río Carmen)	Cultivos y APR
M04	Río Carmen	Cultivos, APR y población humana
M05	Río Carmen	Cultivos, APR y población humana
M06	Río laguna Grande	Pto. inicial sub-cuenca del Río Transito y APR
M07	Río Conay	Cultivos y crianceros
M08	Río Chollay	Pto. inicial sub-cuenca Río Chollay
M09	Río Chollay	Cultivo y APR
M10	Río Transito	Cultivo y crianceros
M11	Río Transito	Pto. control río arriba cultivos
M12	Río Carmen	Cultivos, APR y población humana
M13	Canal Molino Viejo (Río Transito)	Cultivos, APR y población humana
M14	Canal Molino Viejo (Río Transito)	Cultivos y APR
M15	Río Transito	Cultivos
M16	Quebrada afluente del Río Huasco	Cultivos y relaves
M17	Río Huasco	Cultivos y relaves
M18	Río Huasco	Cultivos
M19	Río Huasco	Cultivos, relaves y población humana
M20	Río Huasco	Cultivos y relaves
M21	Río Huasco	Crianceros y población humana
M22	Canal Compañía (Río Huasco)	Cultivos y población humana
M23	Río Huasco	Cultivos y población humana
M24	Quebrada Agua Verde	Agroindustria, cultivos y población humana
M25	Río Huasco	Cultivos, relaves y población humana





#### IV. DESCRIPCIÓN DEL USO DEL SUELO Y CARACTERIZACIÓN DE LA FUENTES DIRECTAS O DIFUSAS DE CONTAMINACIÓN.

Para cada sitio factible, se caracterizaron las fuentes difusas y se describió el uso del suelo mediante observación directa y fotointerpretación. Durante las campañas, se llevó a cabo un registro detallado de cada sitio con la descripción del lugar (ver ficha de terreno1 en Anexo 2), apoyado por fotografías del entorno directo y, cuando fue posible, tomas aéreas del contexto.

Se determinaron y describieron el (las) actividade(s) antrópicas en un radio de 1 km aproximadamente entorno a cada punto de muestreo (ver Tabla 3 y archivos anexos Tabla 3), sobre todo de aquellas zonas que se encuentran aguas arriba que pueden estar afectando la calidad y caudal de las aguas del lugar, y podrían por lo tanto ayudar en la interpretación de los datos. Esto mediante foto-interpretación según imágenes satelitales en base a *Google Earth*, y cuando fue posible fotografías aéreas capturadas por un dron *DJI Phantom 3 in-situ*. Cada registro fotográfico obtenido fue debidamente georreferenciado y estampado (metadata). Es decir, se describe mediante observación directa el uso de los parches identificados en las imágenes.

**TABLA 3: DESCRIPCIÓN DE LOS USOS DE SUELO Y SUS POSIBLES FUENTES DE CONTAMINACIÓN DIRECTAS O DIFUSAS EN UN RADIO DE 1 KM ENTORNO A CADA PUNTO DE MUESTREO.**

Código sitio	Fuentes de contaminación o difusas	Distancia a la fuente (m)	Pendiente(rads)
M01	1. Recintos de la minera y paso tendido eléctrico cerca del río. Zona de pastoreo y veranadas (cabras y caballos).	Dist.1: 215.17	Pend.1: 0.03
M02	1. Pequeños predios con cultivos forrajeros. Crianceros (cabras, vacas, ovejas y caballos). Canales de riego.	Dist.1: 23.21	Pend.1: 0.13
M03	1. Caseríos y pequeños predios con vides, paltos y cítricos. Crianceros de cabras, ovejas y caballos. Canales de riego	Dist.1: 393.26	Pend.1: 0.02
M04	1. Poblado la majada caserío. 2. Cultivos agrícolas paltos. Canales de riego 3. APR.	Dist.1: 194.26 Dist.2: 65.13 Dist.3: 896.03	Pend.1: 0.09 Pend.2: 0.05 Pend.3: 0.08
M05	1. Poblado Alto del Carmen. Pequeños huertos de vides, paltos y hortalizas. Canales de riego 2. Extracción de áridos. 3. APR.	Dist.1:355.78 Dist.2: 70 Dist.2: 635.61	Pend.1: 0.08 Pend.2: 0.03 Pend.2: 0.08
M06	1. Poblado Juntas de Valeriano. Crianceros de cabras, equinos y ovejas. Canales de riego. 2. APR.	Dist.1: Dist. 2: 430.80	Pend.1: Pend.2: 0.00
M07	1. Cultivos agrícolas frutales (vides). Crianceros de cabras, equinos y oveja. Canales de riego.	Dist.1: 869.78	Pend.1: 0.03
M08	Zona de pastoreo y veranadas. Canales de riego.		
M09	1. Localidad Conay. Explotaciones agrícola paltos y nogales, huertos frutales y con hortalizas. Canales de riego. 2. APR.	Dist.1: 289.04 Dist.2:183.27	Pend.1: 0.02 Pend.2: 0.32
M10	1. Localidad Conay bajo. Explotaciones agrícolas de vides y nogales. Canales de riego. 2. Crianceros de cabras, ovejas y equinos río arriba del punto	Dist.1: 273.87 Dist.2: 942.33	Pend.1:0.00 Pend.2: 0.08
M11	Caseríos en ladera opuesta. Canales de riego		
M12	1. Poblado la Vega. Cultivos agrícolas de paltos y vides, huertos con frutales y hortalizas. Canales de riego 2. APR	Dist.1: 638.97 Dist.2: 322.93 Dist.3: 336.28	Pend.1:0.02 Pend.2: 0.21 Pend.3: 0.25



2275

M13	3. APR		
	1. Explotaciones agrícolas (vides).	Dist.1: 328.77	Pend.1: 0.01
	2. Poblado chancoquin. Pequeños predios con frutales y hortalizas. Canales de riego	Dist.2: 948.76 Dist.3: 560.74	Pend.2: 0.03 Pend.3: 0.05
M14	3. APR		
	1. Cultivos agrícolas de vides, huertos con frutales y hortalizas. Canales de riego	Dist.1: 391.88 Dist.2: 480.65	Pend.1: 0.02 Pend.2: 0.05
M15	2. APR.		
	1. Explotaciones agrícolas (vides). Caseríos río abajo. Canales de riego.	Dist.1: 97.11	Pend.1: 0.01
M16	1. Crianceros burros, caballos y cabras. Una casa en quebrada abajo.	Dist.1: 29.64	Pend.1: 0.23
M17	1. Explotaciones agrícolas (vides)	Dist.1: 902.83	Pend.1: 0.06
	2. Poblado la Verbena con pequeños huertos frutales. Canales de riego.	Dist.2: 256.61	Pend.2: 0.13
M18	Explotaciones agrícolas (vides) río arriba en el poblado el algodón. Canales de riego.	Dist.1: 55.81	Pend.1: 0.04
M19	1. Poblado Freirina	Dist.1: 723.96	Pend.1: 0.03
	2. Explotaciones de olivo. Canales de riego.	Dist.2: 214.36	Pend.2: 0.06
	3. Relaves y plantas mineras.	Dist.3:	Pend.3:
M20	Sector alto a las afueras de la localidad Vallenar	Dist.1: 679.80	Pend.1: 0.06
	1. Cultivos bajos como hortalizas y algunos frutales. Canales de riego.	Dist.2: 609.02	Pend.2: 0.06
M21	2. Minería, botaderos.		
	1. Sector bajo localidad Vallenar, vertedero.	Dist.1: 312.44	Pend.1: 0.12
	2. Agricultura de subsistencia cultivos anuales. Crianceros de caballos, burros y cabras.	Dist.2: 170.09	Pend.2: 0.02
	3. Extracción de áridos y sitios industriales maquinarias. Canales de riego.	Dist.3: 118.61	Pend.3: 0.04
M22	Población de Vallenar y vertedero alrededor, aeropuerto y canchas deportivas colindan el punto.	Dist.1: 324.26 Dist.2:	Pend.1: 0.01 Pend.2:
	1. Explotaciones y predios agrícolas de cultivos bajos. Presencia de caballos. Canales de riego.		
M23	2. Explodesa cercana al punto de muestreo.		
	1. Poblado Maitencillo y vertedero.	Dist.1: 296.63	Pend.1: 0.02
	2. Explotaciones agrícolas mesetas río arriba de olivos y vides, caballos alrededor.	Dist.2: 385.65 Dist.3: 184.18	Pend.2: 0.08 Pend.3: 0.01
M24	3. Planta de extracción de áridos		
	1. Poblado cercano Loncomilla en ladera este, vertedero.	Dist.1: 470.94	Pend.1: 0.01
	2. Parcelas haciendas praderas y ganados (vacunos y equinos), cultivos varios frutales (entre ellos vides) en terrazas al este.	Dist.2: 548.61 Dist.3: 116.47	Pend.2: 0.04 Pend.3: 0.02
M25	3. Planteles de criaderos de cerdo agrosuper aguas arriba, posible extracción de agua desde este lugar estación de bombeo y cañería atraviesa el curso de agua.		
	1. Poblado Nicolasa	Dist.1: 136.73	Pend.1: 0.07
	2. Explotaciones agrícolas en meseta contraria al río como también explotaciones de olivos en la ladera adjunta. Canales de riego	Dist.2: 506.85 Dist.3: 686.07	Pend.2: 0.03 Pend.3: 0.00
	3. Extracción de áridos.		





## B. FASE 2: CAMPAÑA DE MUESTREO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MEDICIÓN DE CAUDAL EN CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES

2276

### I. DESARROLLO GENERAL Y PRINCIPALES ACTIVIDADES.

Durante una segunda campaña a terreno, durante 3 días, se pudo realizar las actividades siguientes:

- Las mediciones de parámetros físico-químicos *in-situ*,
- La recolección de muestras de agua para análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos *ex-situ*, y su derivación al laboratorio de análisis.
- La medición de perfiles de velocidad de corriente (para posterior cálculo de caudal),
- Complementar descripción del uso del suelo para los nuevos sitios propuestos durante la primera fase de reconocimiento,
- El análisis en laboratorio de las muestras de agua recolectadas (servicio subcontratado).

Se adoptaron como protocolos de muestreo y registro de datos las normas chilenas vigentes NCh-ISO 5667/1:2017, NCh-ISO5667/6:2015 y NCh 411/3:2014, como también el protocolo de terreno CABIN 2012. Los procedimientos de extracción de muestras de agua fueron efectuados por un operador experimentado, apoyado por un ayudante con experiencia. El transporte y entrega de muestras hacia el laboratorio fue efectuado por un apoyo logístico previamente capacitado y entrenado para mantener la debida integridad y condición de las muestras durante el traslado.

### II. MEDICIÓN Y RECOLECCIÓN DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

Para cuantificar las propiedades físico-químicas y microbiológicas de calidad de agua en cada punto, se registraron un total de 20 parámetros (ver Tabla 4):

El pH, Conductividad, Temperatura, Totales de solidos disueltos (TDS), oxígeno disuelto (OD), turbidez, Potencial de Oxidación Reducción (ORP), fueron registrados en terreno (ver resultados en tablas de archivos Anexos) mediante un equipo multiparámetro de marca *Hanna*, modelo HI9829 (ver Figura 3). Equipo que fue debidamente verificado y calibrado antes de cada salida a terreno.



FIGURA 3: MULTIPARÁMETRO PORTÁTIL HANNA HI9828 CON SU SONDA, Y SU UTILIZACIÓN EN LA CAMPAÑA DE MONITOREO EN LA CUENCA DEL HUASCO DESDE EL 16 AL 18 DE AGOSTO DEL AÑO 2019.





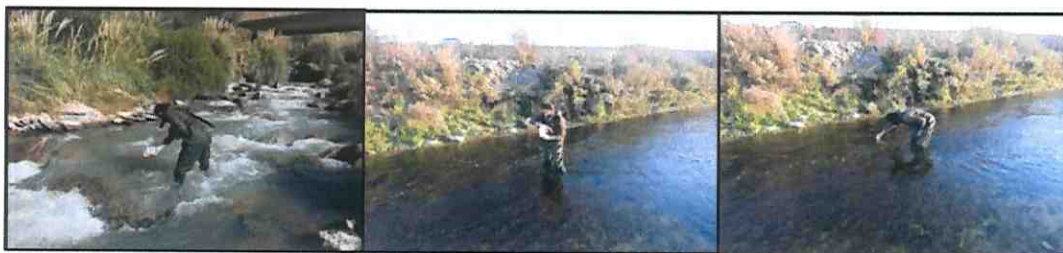
El resto de los parámetros fueron cuantificados a partir de la extracción de 1L. de agua para detección de metales, nutrientes y sales, y en 250 ml de agua para los microbiológico; esto en cada uno de los sitios de muestreo según protocolo estipulado en las normas vigentes ante citadas. Para el análisis microbiológico se extrajo en cada sitio 250ml. El servicio de análisis fue externalizado, realizado por el laboratorio Geoquímica Ltda., el cual cuenta con certificado vigente del Sistema Nacional de Acreditación de conformidad con **Norma ISO 9001:2015–NCh-ISO 9001:2015** (Ver certificado en archivos anexos).

**TABLA 4: PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS MEDIDOS**

Parámetros	Análisis
<i>Aluminio total (Al)</i>	En Laboratorio (ex-situ)
<i>Amonio (NH4+)</i>	En Laboratorio (ex-situ)
<i>Arsénico total (As)</i>	En Laboratorio (ex-situ)
<i>Cianuro (CN-)</i>	En Laboratorio (ex-situ)
<i>Cobre total (Cu)</i>	En Laboratorio (ex-situ)
<i>Coliformes totales</i>	En Laboratorio (ex-situ)
<i>Coliformes fecales</i>	En Laboratorio (ex-situ)
<i>Conductividad eléctrica (µS/cm)</i>	En terreno (in-situ)
<i>Fosfato (PO4)</i>	En Laboratorio (ex-situ)
<i>Hierro total (Fe)</i>	En Laboratorio (ex-situ)
<i>Manganeso total (Mn)</i>	En Laboratorio (ex-situ)
<i>Mercurio total (Hg)</i>	En Laboratorio (ex-situ)
<i>Nitrato (NO3-)</i>	En Laboratorio (ex-situ)
<i>ORP (mV)</i>	En terreno (in-situ)
<i>Oxígeno disuelto (%)</i>	En terreno (in-situ)
<i>pH</i>	En terreno (in-situ)
<i>Sulfato (SO4)</i>	En Laboratorio (ex-situ)
<i>Temperatura (°C)</i>	En terreno (in-situ)
<i>TDS (ppm)</i>	En terreno (in-situ)
<i>Turbidez (FNU)</i>	En terreno (in-situ)
<i>Zinc (Zn)</i>	En Laboratorio (ex-situ)

**Extracción:**

La extracción se realizó tomando todas las precauciones requeridas para obtener una muestra representativa y no contaminar las muestras: Con contenedor limpio, ambientado por medio de enjuagues, a una distancia adecuada de la orilla, se procedió a sumergir rápidamente el frasco debajo del agua, procurando orientar la boca del contenedor en sentido contrario a la corriente para evitar coleccionar materiales o residuos flotantes como fragmentos de vegetación, insectos, etc. (ver Figura 4). En el caso del recipiente para análisis microbiológico no se realizó una ambientación previa, esto debido a que contenía perseverante.



**FIGURA 4: EXTRACCIÓN DE LAS MUESTRAS DE AGUA PARA EL POSTERIOR ANÁLISIS, DURANTE LA CAMPAÑA DE MONITOREO EN LA CUENCA DEL HUASCO DESDE EL 16 AL 18 DE AGOSTO DEL AÑO 2019.**



### **Almacenamiento y registro:**

Una vez colectadas las muestras, en sus envases respectivos a cada tipo de análisis, se procedió al rotulado con el nombre y código de cada sitio, curso de agua correspondiente, fecha y hora de la toma (Figura 5). Los mismos datos fueron registrados en planillas, junto con la ubicación georreferenciada con GPS, y observaciones sobre características físicas del cauce y del hábitat acuático: condiciones de sustrato, perturbaciones o contaminaciones visibles en el cuerpo de agua, el color aparente y la transparencia, proporciones de sustratos y vegetación acuática. Los envases respectivos para los diferentes análisis fueron inmediatamente almacenados en un *cooler* hermético, cuidadosamente repartidos y abultados, con unidades de frío (*Icepack* o *ice-blue*) para procurar una temperatura ideal entre 2 a 5°C, y mantener la cadena de frío hasta la llegada al laboratorio.



FIGURA 5: ROTULADO Y ALMACENAMIENTO DE LAS MUESTRAS DE AGUA PARA EL POSTERIOR ANÁLISIS, DURANTE LA CAMPAÑA DE MONITOREO EN LA CUENCA DEL HUASCO DESDE EL 16 AL 18 DE AGOSTO DEL AÑO 2019.

### **Transporte:**

Una vez terminada la campaña diaria de muestreo, las muestras obtenidas fueron derivadas al Laboratorio Geoquímica Ltda. ubicado en Coquimbo por un apoyo logístico capacitado. Esto procurando mantener las condiciones de temperaturas requeridas y respetar un tiempo de entrega no mayor a 20 horas desde la primera toma del día hasta el laboratorio de destino (condiciones requeridas para análisis microbiológico).

Mediante una guía de cadena de custodia se respaldó e informó debidamente el laboratorio sobre el origen, identificación y tipos de análisis de las muestras, tiempos de transporte, así como responsables y condiciones de entrega (ver certificados y hojas de custodia en archivos anexos).

### **Análisis:**

Servicio efectuado por el laboratorio Geoquímica Ltda., el cual cuenta con certificado vigente del Sistema Nacional de Acreditación de conformidad con **Norma ISO 9001:2015–NCh-ISO 9001:2015** (Ver certificado en Anexos).

La Tabla 5 resume los límites de detección, las técnicas y metodologías utilizadas según valores referenciales entregados por el laboratorio de análisis. Los resultados obtenidos serán contrastados con los límites máximos estipulados en la normativa vigente de calidad del agua de acuerdo a su uso: Norma chilena NCh1333:1978 Mod. 1987 (ver Tabla 6).



**TABLA 5: LÍMITE DE DETECCIÓN Y METODOLOGÍAS APLICADA A LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS (EX-SITU) SEGÚN INFORMACIÓN DEL LABORATORIO GEOQUÍMICA LTDA. SI: SIN INFORMACIÓN.**

Parámetros	Símbolo	Unidad	Límite de detección	Método
<i>Aluminio</i>	Al	µg/L	2	Método PR-33 Basado EPA 200,8 - Barrido ICP
<i>Arsénico</i>	AS	µg/L	0,03	Método PR-33 Basado EPA 200,8 - Barrido ICP
<i>Cianuro</i>	CN <sup>-</sup>	µg/L	SI	Método ISE
<i>Coliformes totales</i>	Coli. Totales	NMP/100 ml	<2	Método del Sustrato Cromogénico, Según Std Methods 19ª Edición.
<i>Coliformes fecales</i>	Coli. Fecales	NMP/100 ml	<2	Método del Sustrato Cromogénico, Según Std Methods 19ª Edición.
<i>Cobre</i>	Cu	µg/L	0,2	Método PR-33 Basado EPA 200,8 - Barrido ICP
<i>Hierro</i>	Fe	µg/L	10	Método PR-33 Basado EPA 200,8 - Barrido ICP
<i>Manganeso</i>	Mn	µg/L	0,1	Método PR-33 Basado EPA 200,8 - Barrido ICP
<i>Mercurio</i>	Hg	µg/L	0,2	Método PR-33 Basado EPA 200,8 - Barrido ICP
<i>Amonio</i>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	µg/L	SI	Método ISE
<i>Nitrato</i>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,1	Método detección Espectrofotométrica Ultravioleta, Según Std Methods 19ª Edición, part 4500-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /B
<i>Fosfato</i>	P Total	mg/L	1	Método Colorimétrico Vanadomolibdofosforico , Según Std Methods 19ª Edición, part 4500-P/C
<i>Sulfato</i>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/L	10	Método Gravimétrico con Ignición de Residuos, Según Std Methods 19ª Edición, part 4500-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> Q.L./C
<i>Zinc</i>	Zn	µg/L	0,5	Método PR-33 Basado EPA 200,8 - Barrido ICP

**TABLA 6: CONCENTRACIÓN MÁXIMA DE ELEMENTOS QUÍMICOS EN AGUA PARA RIEGO, ESTIPULADO EN LA NORMATIVA VIGENTE DE CALIDAD DEL AGUA DE ACUERDO A SU USO PARA RIEGO: NORMA CHILENA NCh1333:1978 MOD. 1987.**

Parámetros	Símbolo	Unidad	Límite máximo
<i>Aluminio</i>	Al	mg/L	5,00
<i>Arsénico</i>	AS	mg/L	0,10
<i>Cianuro</i>	CN <sup>-</sup>	mg/L	0,20
<i>Coliformes totales</i>	Coli. Totales	NMP/100 ml	
<i>Coliformes fecales</i>	Coli. Fecales	NMP/100 ml	1000
<i>Cobre</i>	Cu	mg/L	0,20
<i>Hierro</i>	Fe	mg/L	5,00
<i>Manganeso</i>	Mn	mg/L	0,20
<i>Mercurio</i>	Hg	mg/L	0,001
<i>Amonio</i>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		
<i>Nitrato</i>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	0,1
<i>Fosfato</i>	P Total	mg/L	1
<i>Sulfato</i>	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/L	10
<i>Zinc</i>	Zn	mg/L	2,00



### III. MEDICIÓN DEL PERFIL DE VELOCIDAD PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL CAUDAL

La cuantificación del caudal se llevó a cabo mediante la medición del perfil transversal de velocidad de corriente (ver Figura 6 y detalle en Anexos 4 y 5). Para efectuar las mediciones de velocidad de corriente y profundidad del nivel de agua, se usó un velocímetro portátil de Marca *Global Water*, modelo FP211. En primer lugar, se midió, con una cinta métrica de 50 m, el ancho del cauce (ancho mojado), como se observa en la Figura 6. En relación a este dato se estableció el número de puntos de medición y la distancia entre cada uno de los puntos. Para el caso en que el ancho del cauce resultó ser menor a 5m, se registraron 3 puntos de medición equidistantes entre sí a 1/4, 1/2 y 3/4, mientras que si el ancho resultó mayor a 5m el número de puntos registrados fue de 5 equidistantes a 1/6, 2/6, 1/2, 4/6 y 5/6. Las mediciones de velocidad se llevaron a cabo a la profundidad media de cada punto de medición registrando 3 repeticiones espaciadas por 15 segundos (ver Anexos). En casos de presentarse obstrucciones para la medición, tales como grandes piedras que podría dificultar la toma del registro, el instrumento fue movido hacia delante o atrás lo necesario para evitar los obstáculos.

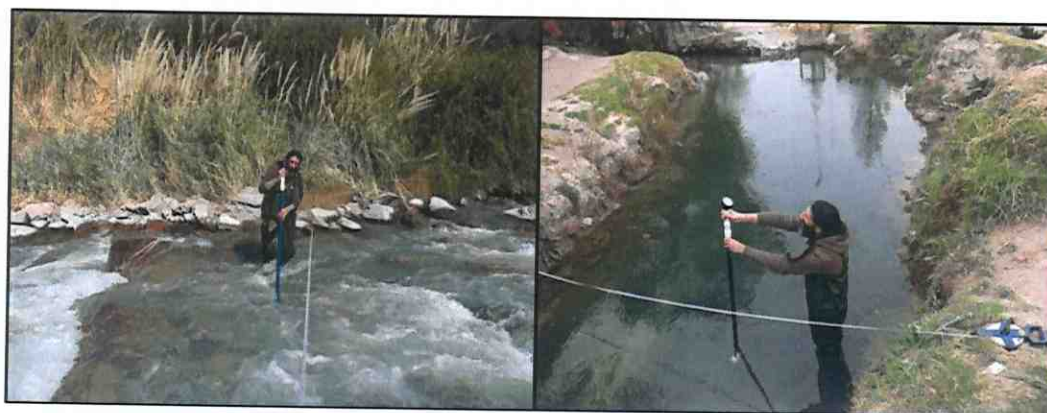


FIGURA 6: MEDICIÓN DEL PERFIL TRANSVERSAL DE VELOCIDAD CON VELOCÍMETRO PORTÁTIL.

### IV. ANÁLISIS Y SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La información levantada *in-situ* fue registrada en fichas de terreno detalladas georreferenciada mediante el uso de un GPS de marca Garmin, modelo Etrex10. De esta forma, se obtuvo un registro preciso de las variables consideradas en cada punto de muestreo, posteriormente integrado en planillas Excel y base de datos compatible SQL.

Además, toda observación relevante (entorno, impactos, individuos en lo posible, entre otras) fue abundantemente documentada mediante registros fotográficos adjuntos en archivos Anexos.

Con la información recolectada se pretende detectar y caracterizar las posibles fuentes difusas de contaminación de las aguas superficiales en la cuenca, esto mediante análisis estadísticos descriptivos y exploratorios. Se explora también la distribución espacial de los valores, análisis de correlación de los parámetros, comparación con niveles promedios naturales o referenciales para el contexto de la cuenca y/o umbrales definidos por las normas vigentes.



Finalmente, los resultados obtenidos, se presentan mediante figuras, tablas, mapas y otros materiales gráficos pertinentes de apoyo.

Los análisis estadísticos de los datos se hicieron usando el entorno de programación *R Stats* (R Core Team 2018). Mapas y cartografías fueron realizados con apoyo del Sistema de Información Geográfica (SIG) Open Source *Quantum Gis* versión 2.14 o posterior (QGIS Development Team 2017). Las bases cartográficas para la confección de dichos mapas fueron ajustadas al Datum World Geodetic System 1984 (WGS 1984), proyección Universal Transversal Mercator (UTM), huso 19 sur, y entregadas en formatos KMZ y SHAPE en archivos anexos.

Se resume en la Tabla 7 las abreviaturas usadas en las tablas de datos, figuras y gráficos junto con las unidades de medición cuando corresponde.

**TABLA 7: ABREVIATURAS Y UNIDADES DE MEDICIÓN DE LAS VARIABLES USADAS EN TABLAS DE DATOS, FIGURAS Y GRÁFICOS.**

Código	Significado	Unidad
Área_de_V	Área de vigilancia	-
Codg_St	Código de sitio de muestreo	-
Nmbr_St	Nombre del sitio de muestreo	-
N	Coordenada UTM Norte, huso 19S, Datum WGS84	metros
E	Coordenada UTM Este, huso 19S, Datum WGS84	metros
Alt	Altitud	metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.)
lon	Longitud, Coordenadas geográficas, Datum WGS84	grados decimales
lat	Latitud, Coordenadas geográficas, Datum WGS84	grados decimales
Vpro	Velocidad de corriente promedio	m/s.
Q	Caudal	m <sup>3</sup> /s.
pH	pH	-
Temp	Temperatura del agua	°C
OD	Oxígeno Disuelto	%
ORP	Potencial Oxido-reductor	mV
Con	Conductividad	µs/cm
TDS	Sólidos Disueltos Totales	ppm
Turb	Turbidez	<i>Formazin Nephelometric Units (FNU)</i>
Al	Aluminio	µg/l
As	Arsénico	µg/l
CN	Cianuro	mg/l
Cu	Cobre	µg/l
Fe	Hierro	µg/l
Hg	Mercurio	µg/l
Mn	Manganeso	µg/l
Zn	Zinc	µg/l
NO3	Nitratos	mg/l
PO4	Fosfatos	mg/l
SO4	Sulfatos	mg/l
NH4	Amonio	mg/l
ColiT	Coliformes Totales	NMP/100 ml
ColiF	Coliformes Fecales	NMP/100 ml





#### IV. RESULTADOS

Se entrega en esta sección los principales resultados obtenidos, haciendo énfasis en análisis descriptivos y exploratorios sobre el conjunto de información producida, sea de parámetros de flujo, variables físico-químicas y cargas de compuestos potencialmente contaminantes para el sistema hídrico a nivel de la cuenca del Río Huasco. El conjunto de resultados obtenidos se puede consultar en formato Excel en los archivos anexos.

Después de un resumen a nivel de cuenca, se presenta una comparación a nivel de las áreas de vigilancia y sus estaciones de monitoreo.

Se privilegia, para facilitar la lectura y comprensión, el uso de tablas sintéticas y gráficos, debidamente comentados.

##### A. RESUMEN A NIVEL DE CUENCA

Se presentan a continuación resúmenes sintéticos sobre las características generales de los sitios, los valores de cada uno de los parámetros de calidad de agua y caudal medidos y/o calculados para los 25 sitios de muestreo considerados en el estudio.

En relación a las características generales de los cursos de agua, se observaron variaciones a lo largo de toda la cuenca. La Tabla 8, muestra que el ancho de los cursos de aguas es variable con un mínimo de 1 m. en 3 de las 4 estaciones de canales muestreadas (M03, M13, M14) como también en la quebrada afluyente del río Huasco (M16), y un máximo de 19 m. en el Río Huasco estación Puente Los Guindos (M19).

La composición de sustrato (Tabla 4) también difiere a lo largo de la cuenca, los sitios más alejado hacia la cordilla, tanto en la sub-cuenca del río Transito (M01, M02) como del Carmen (M06, M07, M08, M09, M10), presentan mayor proporción de piedras seguido de grava y roca madre, con condiciones del sustrato limpio. Mientras que bajando en la cuenca (M04, M05, M11, M12, M15, M16, M17, M18, M19, M20, M21) con la presencia de los principales poblados y explotaciones agrícolas, la condición del sustrato cambia apareciendo una mayor proporción de alga, vegetación acuática, materia orgánica y deposiciones inorgánicas; aun cuando las piedras siguen siendo el sustrato con mayor presencia hay una variación en el aumento de los sustratos de tipo orgánico. Finalmente, en la parte baja de la cuenca, en los sectores de Huasco y Freirina (M22, M23, M24, M25), la mayor proporción de sustrato corresponde arena, vegetación acuática y algas, características influenciadas por las altas presiones de las actividades de alrededor, afectando las condiciones del sustrato con deposiciones orgánicas e inorgánicas.





**TABLA 8: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS CURSOS DE AGUA DERIVADOS DE OBSERVACIONES EN LOS 25 SITIOS DE MUESTREO. ESTIMACIONES VISUALES DE CONDICIÓN DE SUSTRATO: L=LIMPIO; A=ALGA; MO=MATERIA ORGÁNICA; D=DEPOSICIÓN INORGÁNICA; B=BASURA. PROPORCIÓN DE LOS SUSTRATOS PRESENTES: +=ESCASO; ++=BAJO; +++=ABUNDANTE; ++++=MUY ABUNDANTE.**

Código sitios	M01	M02	M03	M04	M05	M06	M07	M08	M09	M10	M11	M12	M13
Ancho promedio	3	6	1	10	5	2	6	3	6	8	5	5	1
Condiciones del sustrato	L	L	A+MO	A	A+MO	L	L	L	L	L	MO+D	A+MO	B
Sustrato	Briofito	+					+						
	Alga				+++	+++	+						++
	V.A		+				++						++
	E.O.		+			++	++						
	Fango												
	Arena							++	++	++	++		+++
	Limo											++	
	Grava	++	++		++	++	++	++	++	++	++		
	Piedra	++++	++++		+++	+++	+++	++	+++	++++	++++	++++	++
	Roca madre		++					+++	+++	+	++	++	

Código sitios	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25	
Ancho promedio	1	10	1	5	7	19	5	6	4	8	3	15	
Condiciones del sustrato	MO+D	MO+D	A+MO	A+MO	A	A+D	L	MO+D	MO+D	MO+D	A+D	MO+D	
Sustrato	Briofito												
	Alga		+	+++	++	+	++		++		+++	+	
	V.A*				+		++		++	++	+++	+++	
	E.O.*			++	+	+		++					
	Fango						++				++		
	Arena					++	++	++		+++	+++	+++	
	Limo								++	+		++	
	Grava		++			++					++		
	Piedra		++++	++++	+++	++++	+++	++++	+++	++			++
	Roca madre				+++	++							+++



En lo que refiere a los parámetros de calidad, las características se resumen en la Tabla 9. Junto con la distribución de los valores mostrando el rango, los promedios, medianas y desviación estándar (Tabla 9), se destacan los valores máximos y/o rangos establecidos en la norma chilena vigente (NCh 1333, 1978 Mod. 87) en los *boxplots* siguientes (Figura 7, Figura 8, Figura 9).

TABLA 9: CUADRO RESUMEN DE LOS VALORES DE PARÁMETROS MEDIDOS A NIVEL DE LA CUENCA (N = 25 SITIOS). \*: S.D.: DESVIACIÓN ESTÁNDAR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

	min	max	promedio	mediana	SD*	% < Limite detección
<i>Vpro</i>	0.100	1.600	0.600	0.600	0.337	-
<i>Q</i>	0.010	0.650	0.259	0.200	0.187	-
<i>pH</i>	7.750	8.790	8.306	8.340	0.300	-
<i>Temp</i>	2.140	18.470	13.416	14.690	4.301	-
<i>OD</i>	85.700	168.900	117.036	115.200	16.677	-
<i>ORP</i>	100.300	191.400	146.264	151.700	25.324	-
<i>Con</i>	367.000	2398.000	1007.520	778.000	641.045	-
<i>Turb</i>	0.300	26.400	7.953	6.020	6.457	-
<i>Al</i>	(<0.002) 0.074	1.007	0.438	0.391	0.287	44
<i>As</i>	<0.00003	-	-	-	-	100
<i>CN-</i>	0.010	0.080	0.034	0.030	0.017	0
<i>Cu</i>	0.002	0.038	0.011	0.010	0.007	0
<i>Fe</i>	(<0.01) 0.038	0.513	0.188	0.150	0.122	24
<i>Hg</i>	<0.0002	-	-	-	-	100
<i>Mn</i>	(<0.0001) 0.0018	1.111	0.170	0.030	0.277	8
<i>Zn</i>	(<0.0005) 0.0014	0.177	0.045	0.026	0.054	8
<i>NO3</i>	2.800	29.700	5.032	3.500	5.278	0
<i>PO4</i>	<1	-	-	-	-	100
<i>SO4</i>	65.000	661.000	314.320	262.000	172.487	0
<i>NH4</i>	0.010	0.070	0.038	0.030	0.021	0
<i>ColiT</i>	9.000	>2419	1286.080	1300.000	804.262	0
<i>ColiF</i>	(<2) 3	1733.000	322.278	178.500	433.195	28



### Distribución de los valores en los sitios muestreados 1/3

Umrales de acuerdo a Norma vigente NCh1333 - 1978 Mod. 87

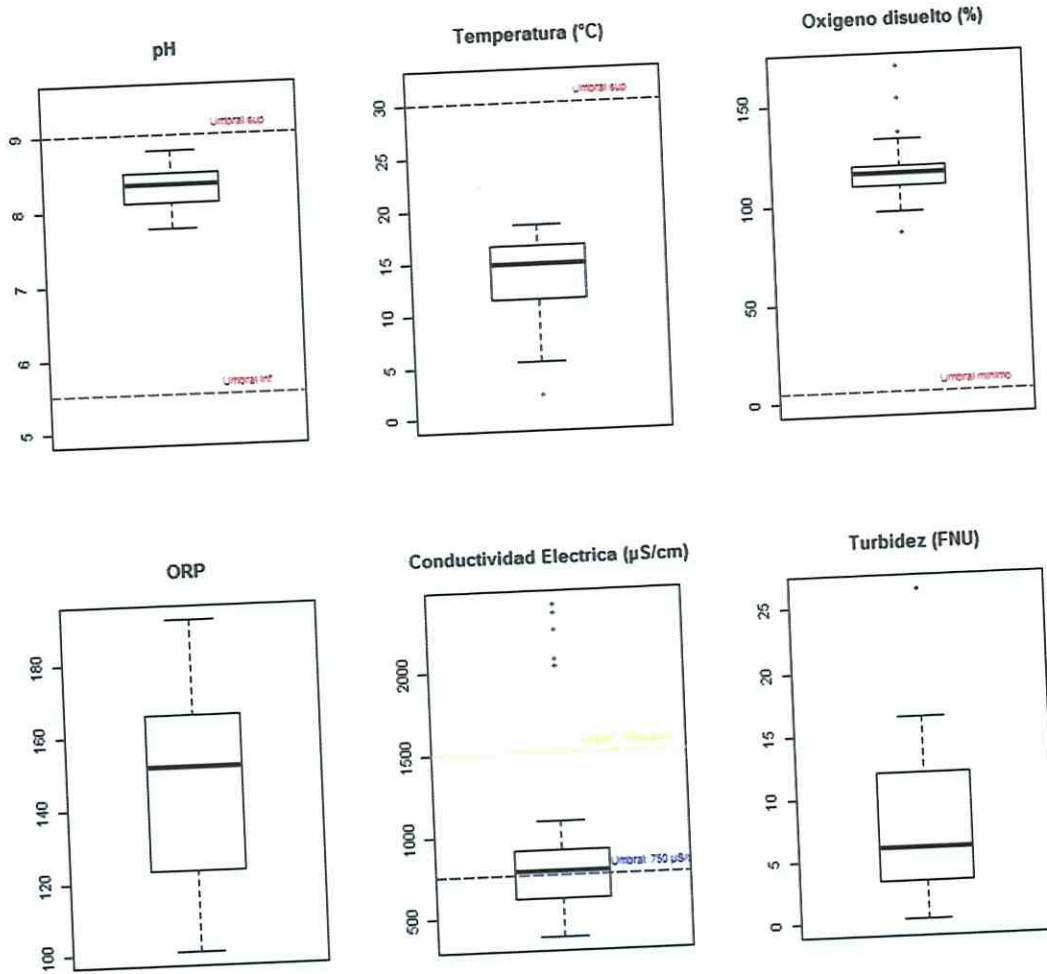


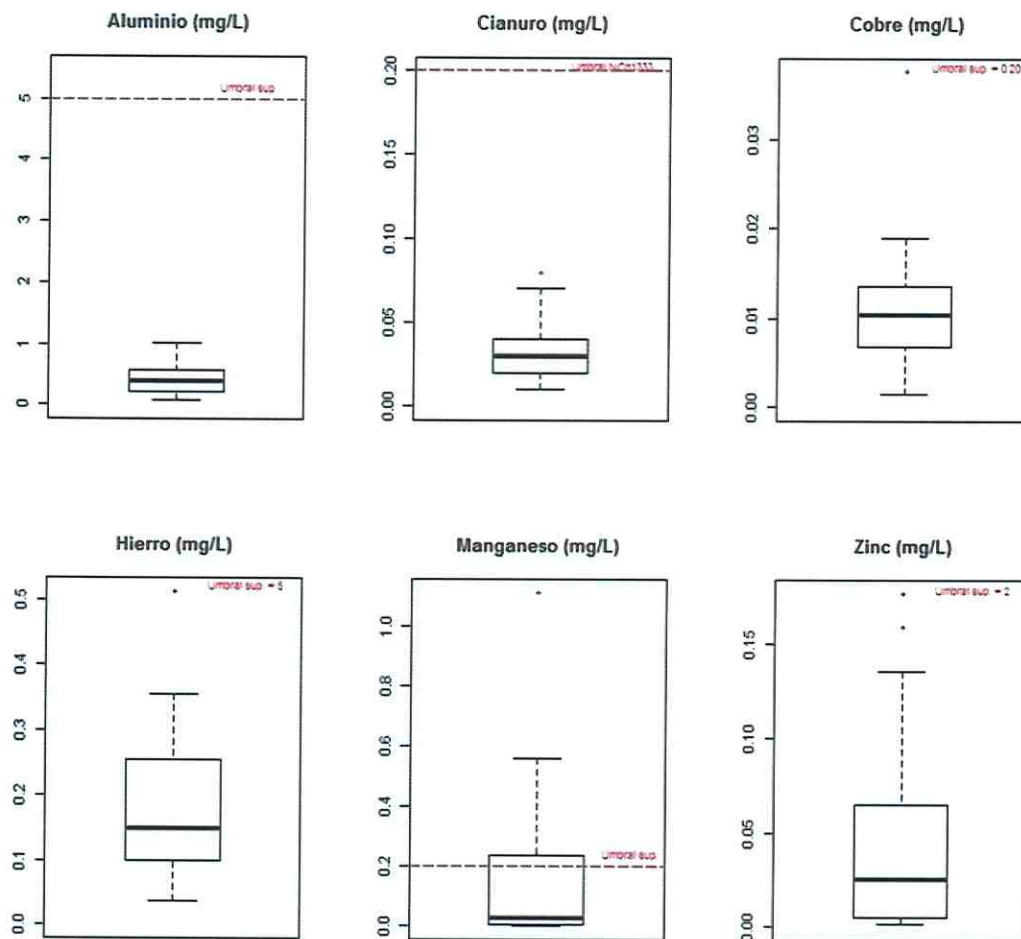
FIGURA 7: DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA MEDIDOS EN LOS 25 SITIOS DE LA CUENCA 1/3. SE MUESTRAN CUANDO CORRESPONDE, LOS UMRALES PERMITIDOS POR LA NORMA CHILENA VIGENTE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.





**Distribución de los valores en los sitios muestreados 2/3**  
 Umbrales de acuerdo a Norma vigente NCh1333 - 1978 Mod. 87

2280



**FIGURA 8: DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA MEDIDOS EN LOS 25 SITIOS DE LA CUENCA 2/3. SE MUESTRAN CUANDO CORRESPONDE, LOS UMBRALES PERMITIDOS POR LA NORMA CHILENA VIGENTE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.**

Se puede ver que para la mayoría de las cargas de potenciales contaminantes no sobrepasan en ningún sitio las cargas maximales permitidas por la norma chilena vigente.

Esto salvo para los Sulfatos y el Manganeso, donde las cargas permitidas están superadas en una cierta proporción de sitios. Un cuarto aproximadamente para el Manganeso, con un sitio muy por encima del valor umbral. Más de la mitad para los sulfatos, con por lo menos 4 sitios con valores muy altos.



Por otra parte, los Coliformes fecales tienen valores medios a altos en más de la mitad de los sitios bordeando, pero sin superar, el umbral establecido en la NCh1333.

2287

### Distribución de los valores en los sitios muestreados 3/3 Umrales de acuerdo a Norma vigente NCh1333 - 1978 Mod. 87

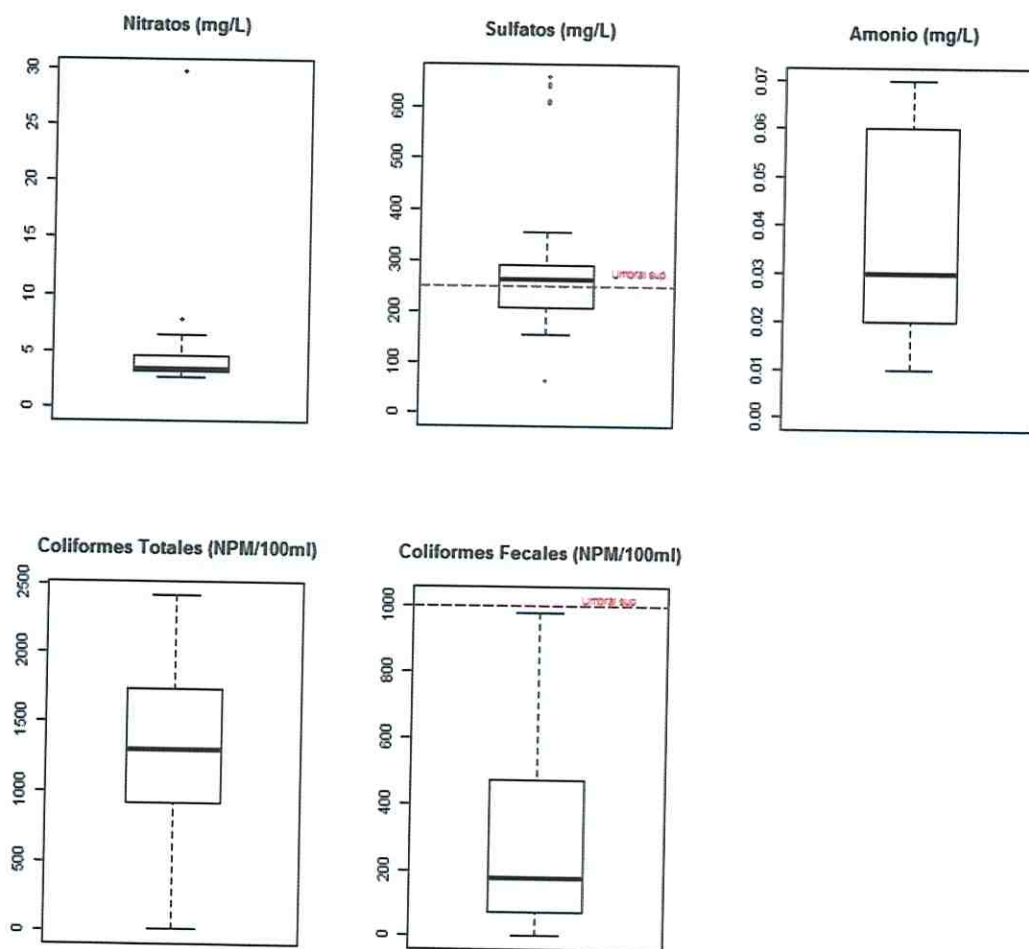


FIGURA 9: DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA MEDIDOS EN LOS 25 SITIOS DE LA CUENCA 3/3. SE MUESTRAN CUANDO CORRESPONDE, LOS UMBRALES PERMITIDOS POR LA NORMA CHILENA VIGENTE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



Correlaciones entre los parámetros medidos

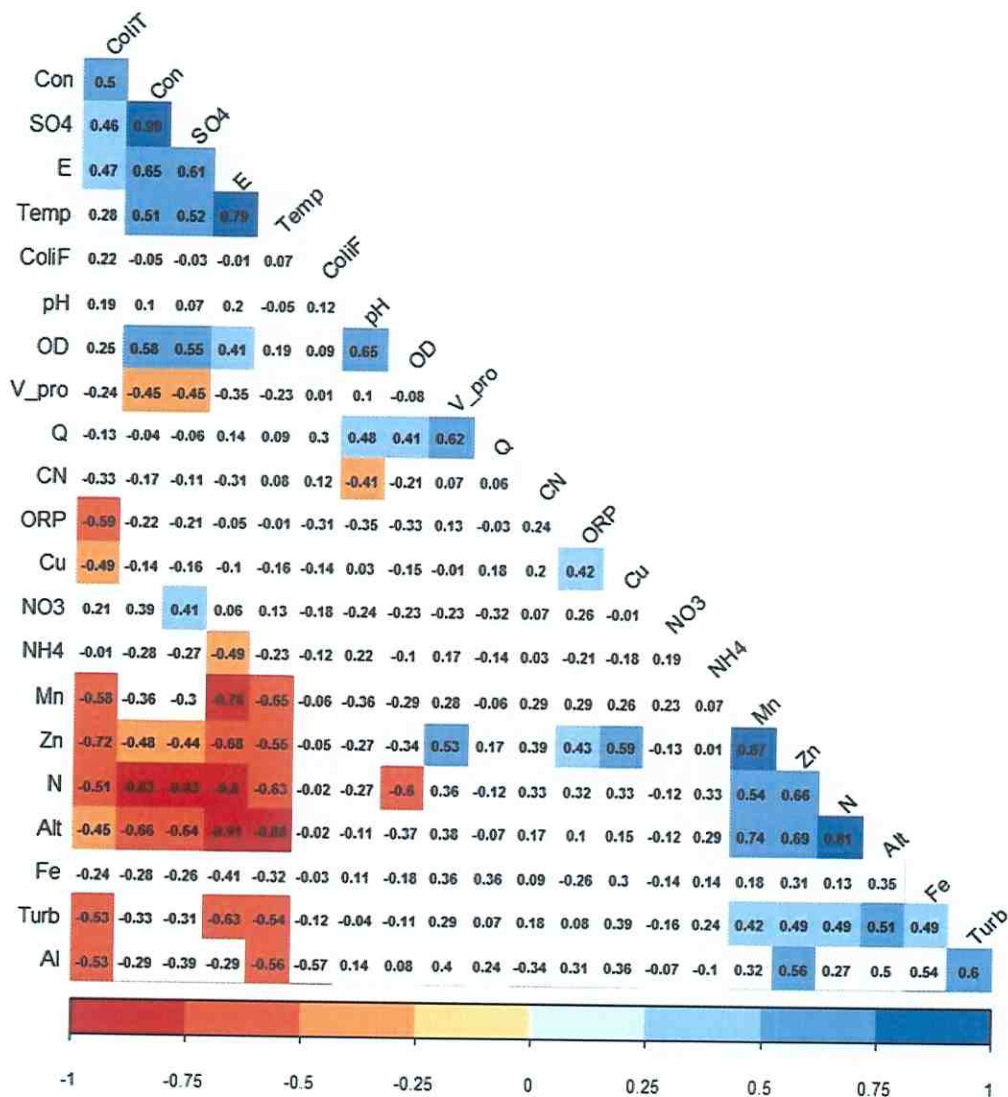


FIGURA 10: CORRELOGRAMA DESTACANDO LAS CORRELACIONES ENTRE LOS PARÁMETROS LEVANTADOS (CORRELACIÓN DE PEARSON). LOS TONOS AZULES MUESTRAN EL GRADIENTE POSITIVO, MIENTRAS LOS TONOS ROJOS, EL GRADIENTE DE CORRELACIÓN NEGATIVO. SE DESTACAN CON SUS COLORES RESPECTIVOS LAS CORRELACIONES SIGNIFICATIVAS (p ≥ 0.05). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

De la matriz de correlaciones entre las variables, se desprenden algunas tendencias y características interesantes (ver Figura 10).

En primera instancia, destacan dos correlaciones positivas fuertes: Conductividad Eléctrica con Sulfatos (coeficiente de correlación: 0,99) y, Manganeso con Zinc (coeficiente de correlación: 0,87)





En segunda instancia, más allá de ciertos comportamientos esperables (relación inversa de la temperatura con la altitud, por ejemplo), algunos parámetros muestran unas fuertes correlaciones espaciales y/o altitudinales: Las concentraciones de Sulfatos (y la conductividad eléctrica) muestran una fuerte correlación negativa con la altitud y latitud, y el conjunto Manganeseo – Zinc una correlación positiva con la altitud y negativa con la latitud.

Otra relación interesante es la correlación negativa fuerte (coeficiente de correlación: - 0,72) entre las concentraciones de Zinc y las de Coliformes totales. Algunas otras concentraciones metales muestran la misma respuesta, pero con menor intensidad (Mn: -0,58; Al: -0,53; Cu: -0,49)

## I. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DE FLUJO

### Velocidad de corriente (promedio por sitio)

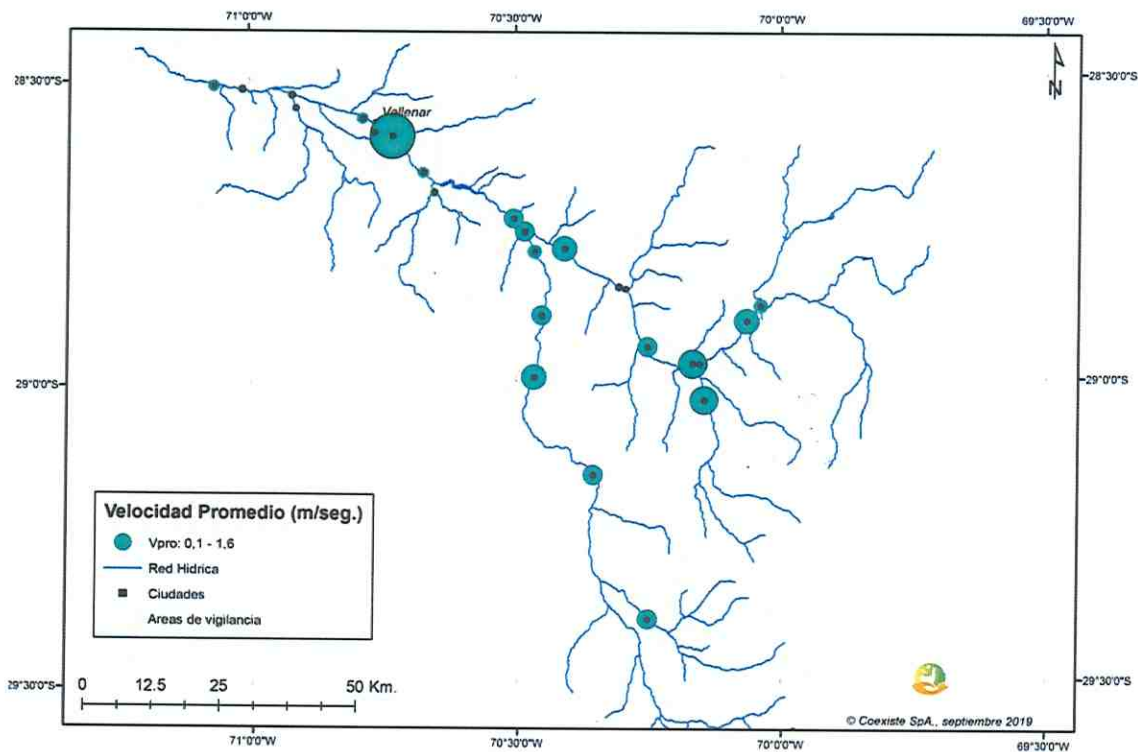


FIGURA 11: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS VALORES DE VELOCIDAD DE CORRIENTE PROMEDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



Valores de Caudal por sitio

ML

2290

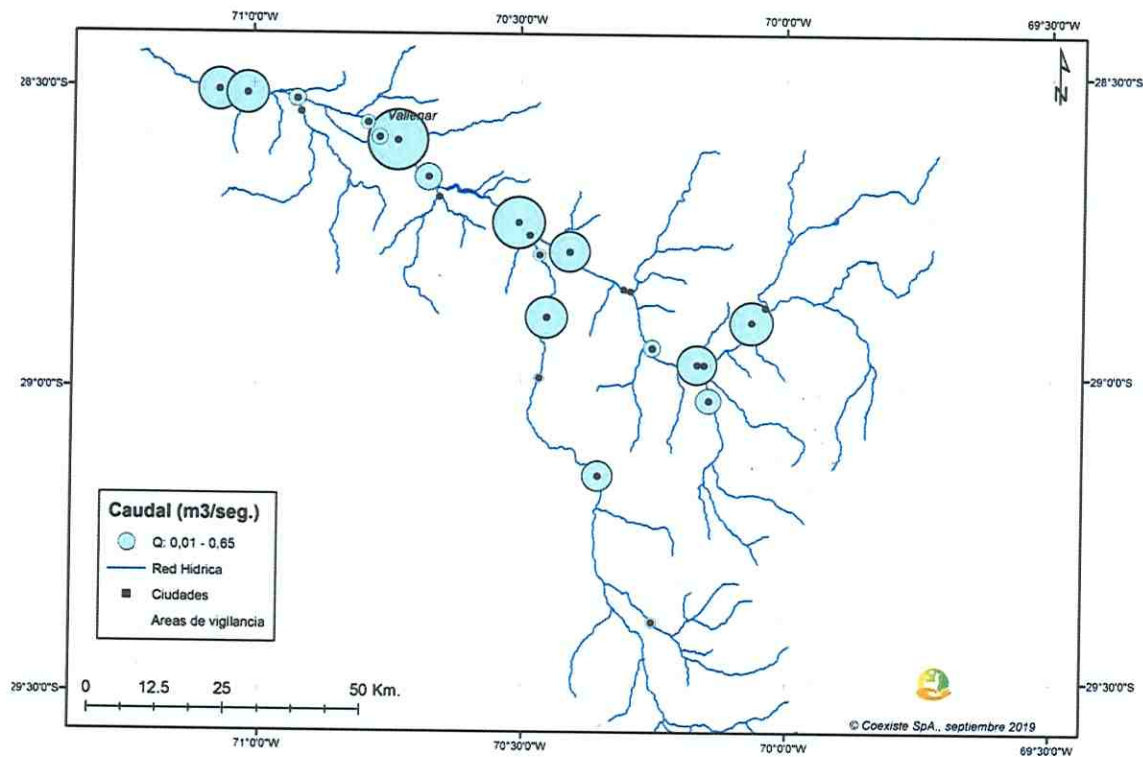


FIGURA 12: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS VALORES DE CAUDAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Los valores de flujo muestran una distribución heterogénea a lo largo de la cuenca, con predominancia de caudales bajos a medios. La velocidad promedio de corriente muestra, como es esperable, un gradiente decreciente desde cabeceras a hacia la desembocadura, pero con un descenso más brusco aguas debajo del embalse Santa Juana (ver Figura 11). El caudal, en cambio, no muestra un patrón homogéneo ni gradiente claro (Figura 12). Esta configuración podría ser explicada por las diversas presiones de uso de extracción de agua a lo largo de la cuenca, junto con las perturbaciones físicas de los cauces (obras hidráulicas, canales, modificaciones de perfiles de cauces, remoción de cubierta vegetal, etc.) que implicarían perturbaciones en los caudales naturales.



## II. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS



2 2 9 1

### pH

Los valores de pH muestran poca variación espacial, con una distribución de los valores bastante homogénea, dentro del rango esperado para las cuencas de la zona, en la franja básica, aunque los valores más altos se acercan bastante al límite superior establecido en la NCh1333 (Figura 13).

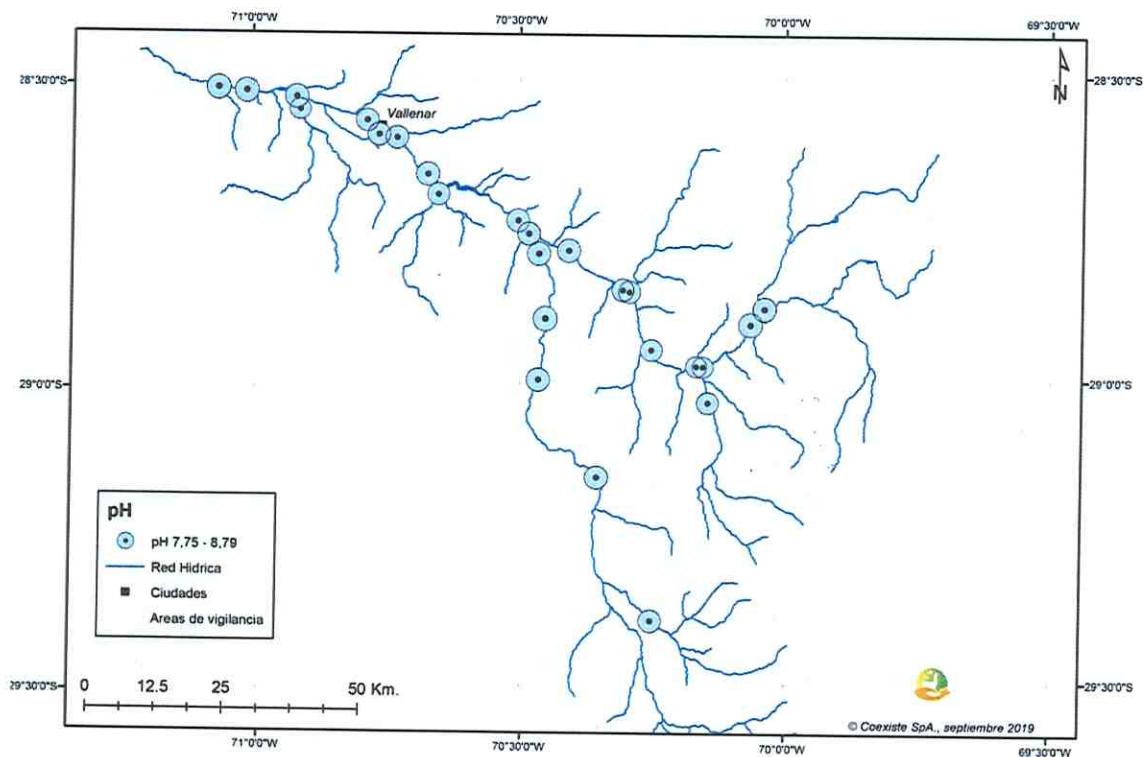


FIGURA 13: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS VALORES DE PH. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.





### Temperatura del agua

Los valores de Temperatura muestran valores medias-bajas (13,4 en promedio, 14,7 en mediana) con un gradiente altitudinal esperable, y valores coherentes para la temporada de muestreo.

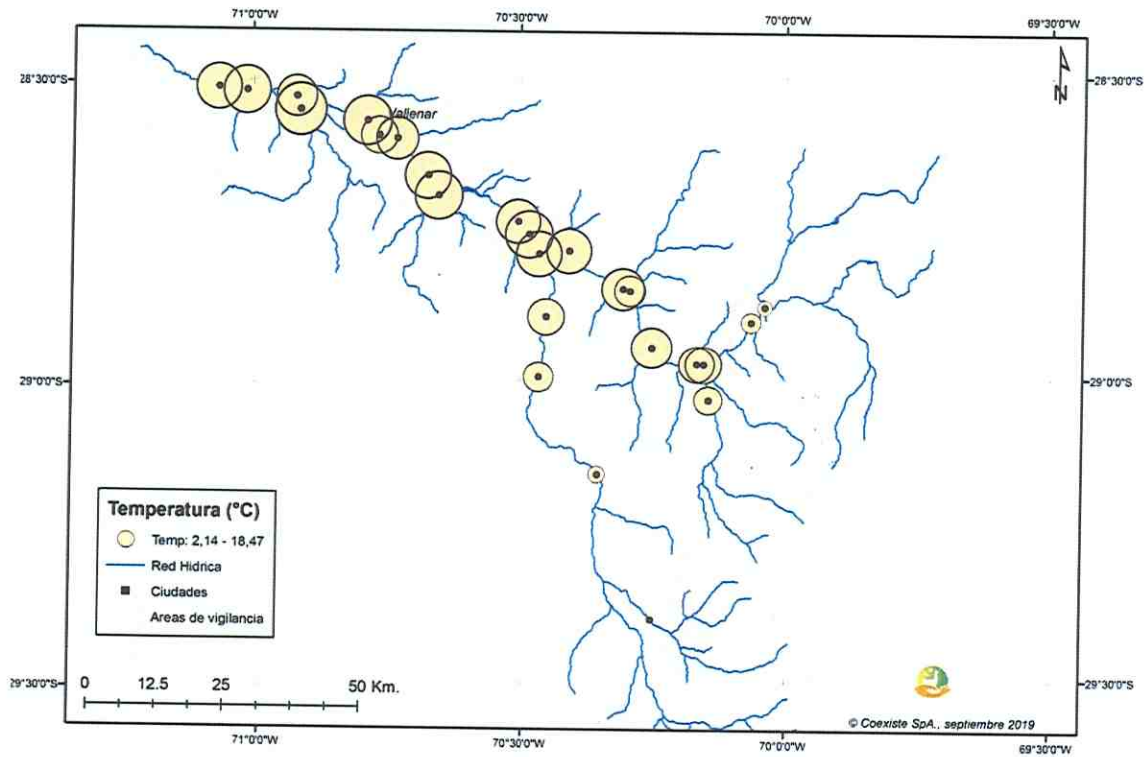


FIGURA 14: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS VALORES DE TEMPERATURA DEL AGUA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



### Oxígeno Disuelto

Los valores de Oxígeno disuelto muestran una tendencia a valores altos respecto de lo normal, pero en concordancia con las condiciones de pH, temperatura y Conductividad. Se aprecia un leve gradiente espacial de aumento de cabecera hacia desembocadura (Figura 15 y Figura 10).

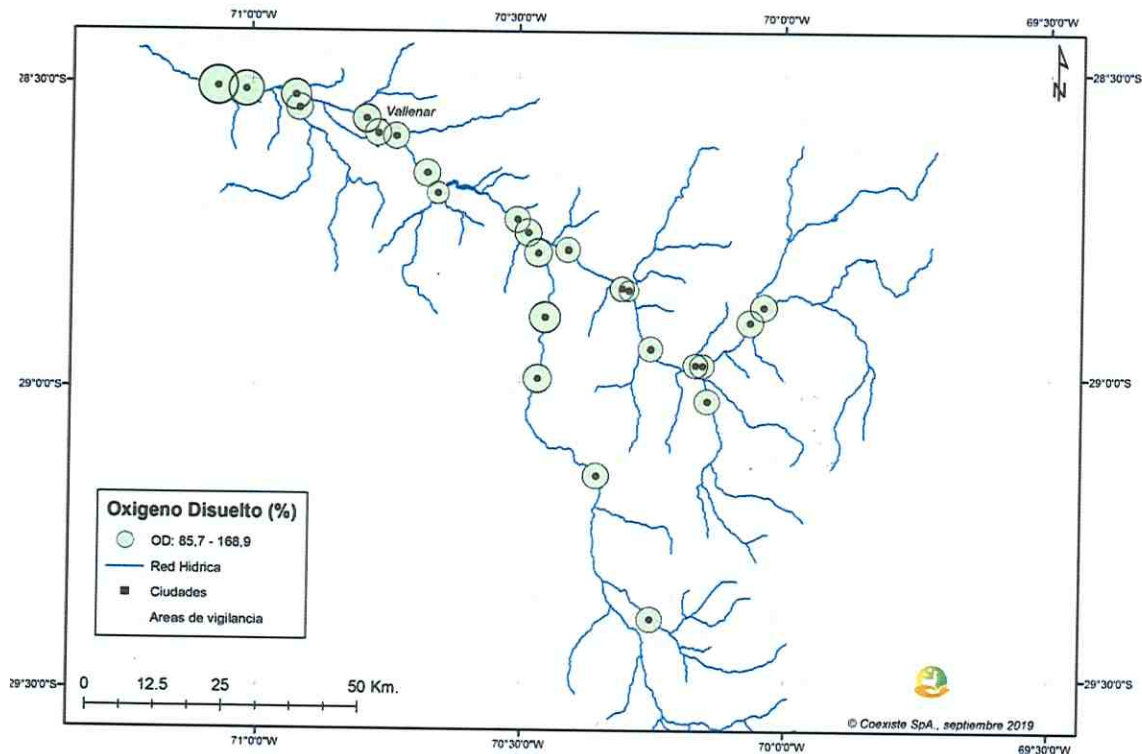


FIGURA 15: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS VALORES DE OXÍGENO DISUELTO (%). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



## Conductividad eléctrica

2294

Los valores de Conductividad Eléctrica (Figura 16) junto con las concentraciones de Sulfatos (Figura 17), tienen un patrón muy similar en concordancia con lo que muestran las correlaciones. Se observa un gradiente muy marcado geográficamente, con concentración de los valores altos en la parte baja de la cuenca (sitios M19, M23, M24, M25) y el sitio M16 (quebrada marginal que alimenta el rio Huasco en Área de Vigilancia HU-20).

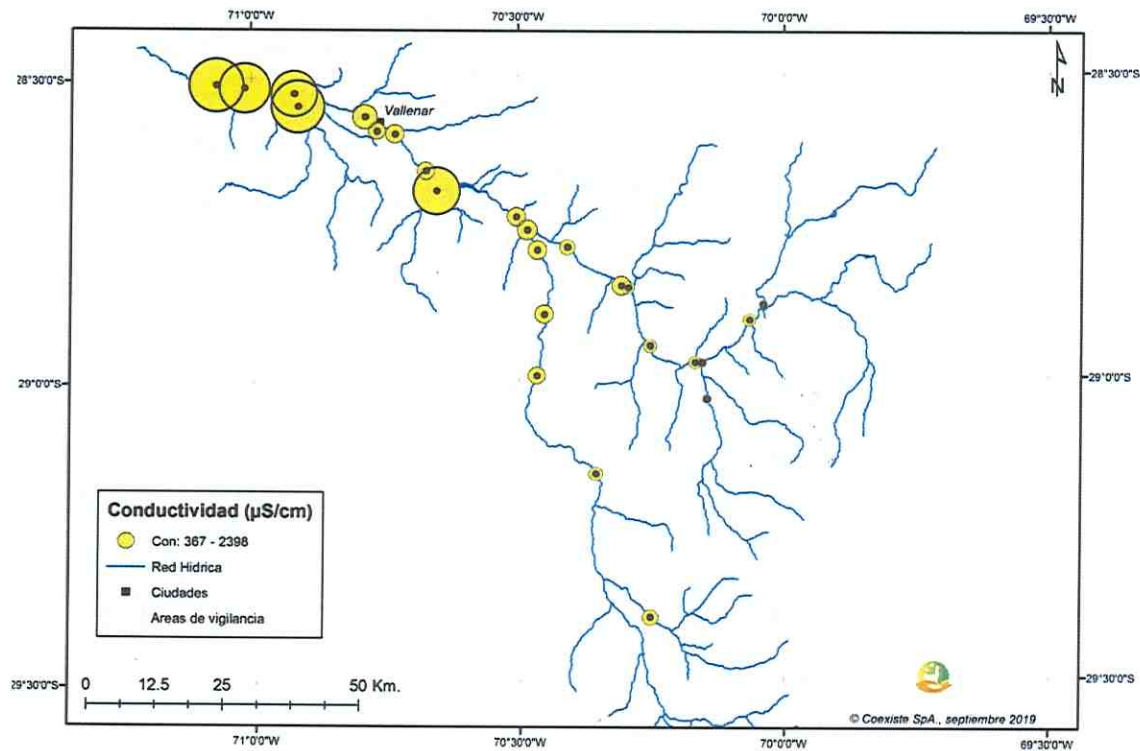


FIGURA 16: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS VALORES DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.





### III. DISTRIBUCIÓN DE LAS CARGAS DE CONTAMINANTES

112

2 2 9 5

Se destacan especialmente los elementos con patrones bien marcados y cargas que superan los valores umbrales establecidos en la Norma Chilena de Calidad vigente (NCh 1333). Se obvian los elementos cuyas concentraciones se encontraron por debajo del límite de detección en la totalidad de los sitios muestreados, a saber: Arsénico ( $<0.0047 \mu\text{g/L}$ ), Mercurio ( $<0.0002 \mu\text{g/l}$ ), Fosfatos ( $<1 \text{ mg/l}$ ).

#### Sulfatos

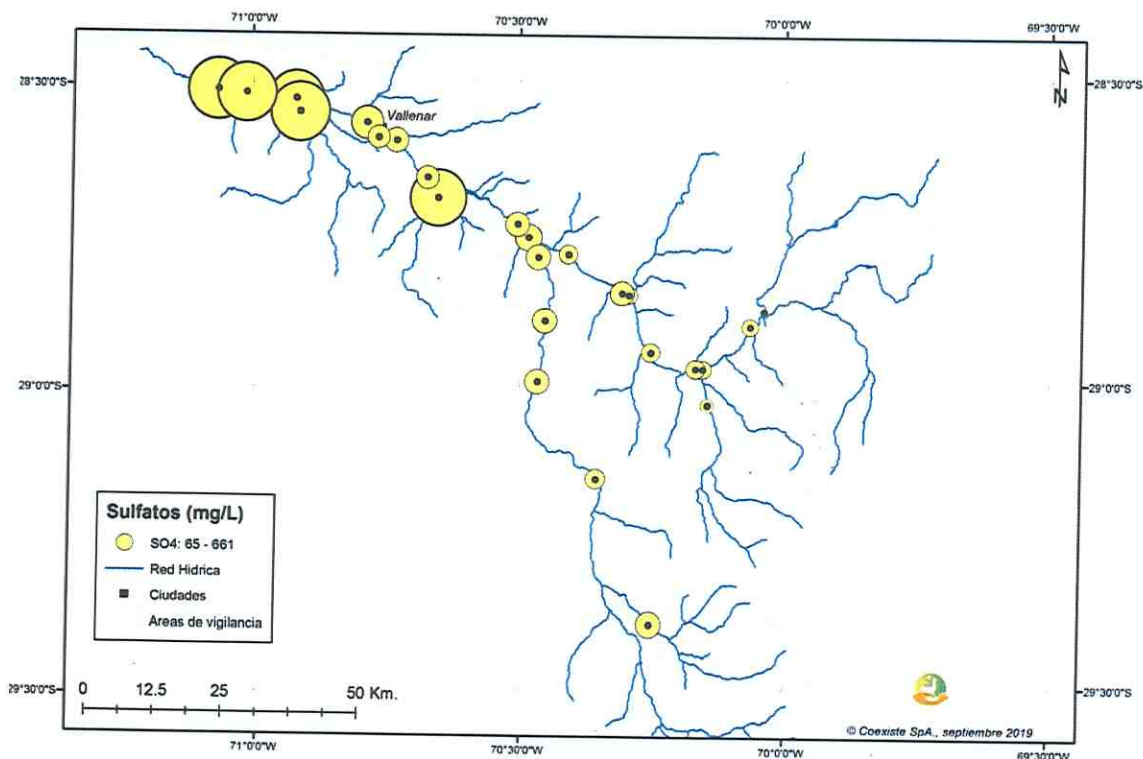


FIGURA 17: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS VALORES DE SULFATOS EN LA CUENCA DE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Las concentraciones de Sulfatos muestran un gradiente creciente desde cabeceras hacia la desembocadura, con los valores de Sulfatos más altos concentrados en la cuenca baja, en concordancia con las fuertes correlaciones con variables espaciales (ver Figura 17 y correlograma en Figura 10). Estos altos valores superan aquí el umbral máximo establecido por la NCh1333 vigente, en un sector de fuertes presiones antrópicas, en particular de actividades agrícolas y agroindustriales, sectores urbanizados, y pasivos mineros (sitios M19, M23, M24, M25 de las Áreas de Vigilancia HU-30 y HU-40, y M16 situado en una quebrada marginal que alimenta el río Huasco comprendida en el Área de Vigilancia HU-20).



## Manganeso

22961

En el otro extremo de la cuenca, se puede apreciar otro patrón, esta vez con valores altos de Manganeso, también superando los umbrales de 0.2 mg/L permitidos por la norma NCh1333 (ver Figura 18): 1,11 en M01 (Área de Vigilancia PO-20), y valores entre 0.46 y 0,56 en los sitios M07 a M10, y 0.28 en M11 (Áreas de Vigilancia CO-10, CH-10, TR-10).

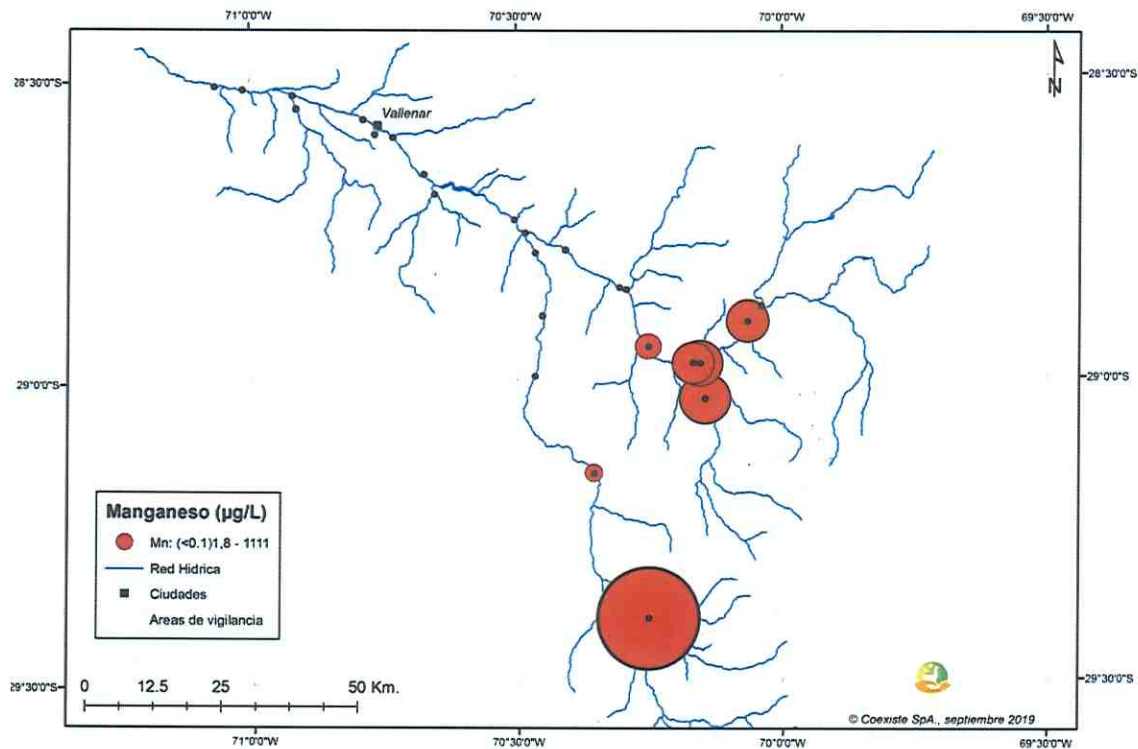


FIGURA 18: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS VALORES DE MANGANESO EN LA CUENCA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Aunque los valores de Manganeso están muy relacionados con los de zinc, este último elemento no presenta concentraciones altas, en un rango bastante por debajo del umbral establecido por norma (Figura 19).

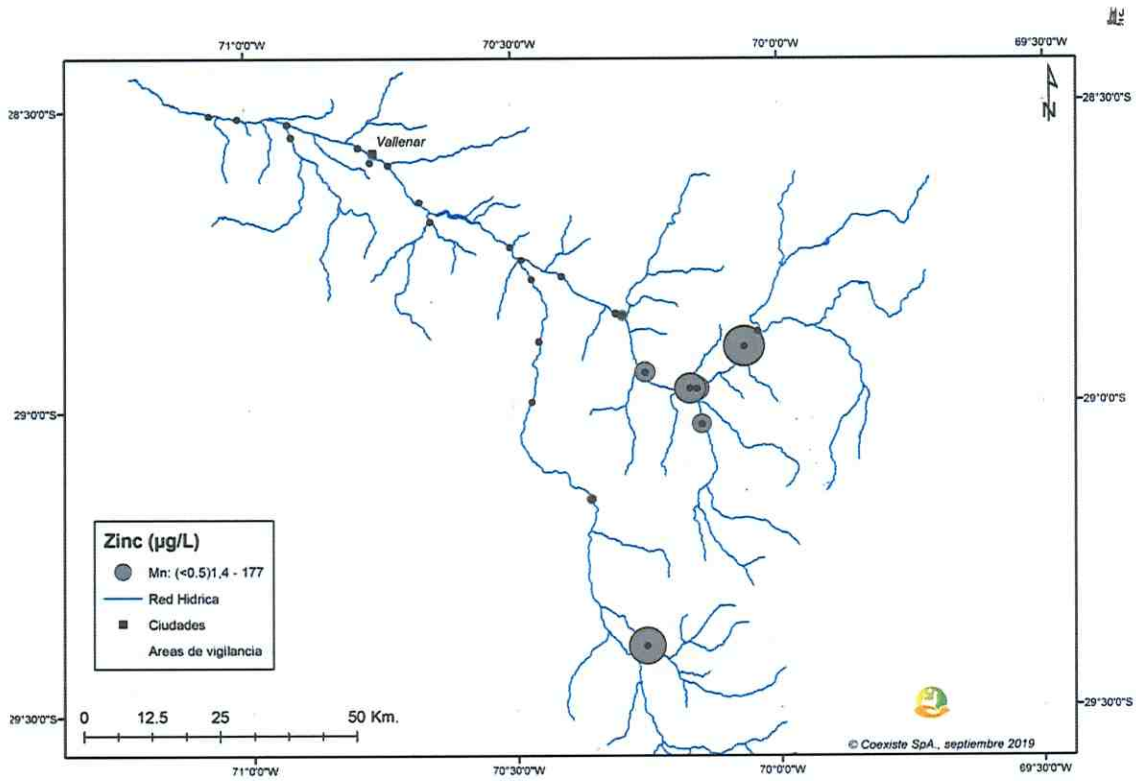


FIGURA 19: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS VALORES DE ZINC EN LA CUENCA DE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

### Amonio

Las concentraciones de amonio son bastante bajas en toda la cuenca, entre 0.01 a 0.07 mg/L., pero con niveles en la franja alta del rango en la subcuenca del rio Carmen, y en menor proporción en la parte baja de la subcuenca del Tránsito (ver Figura 20).



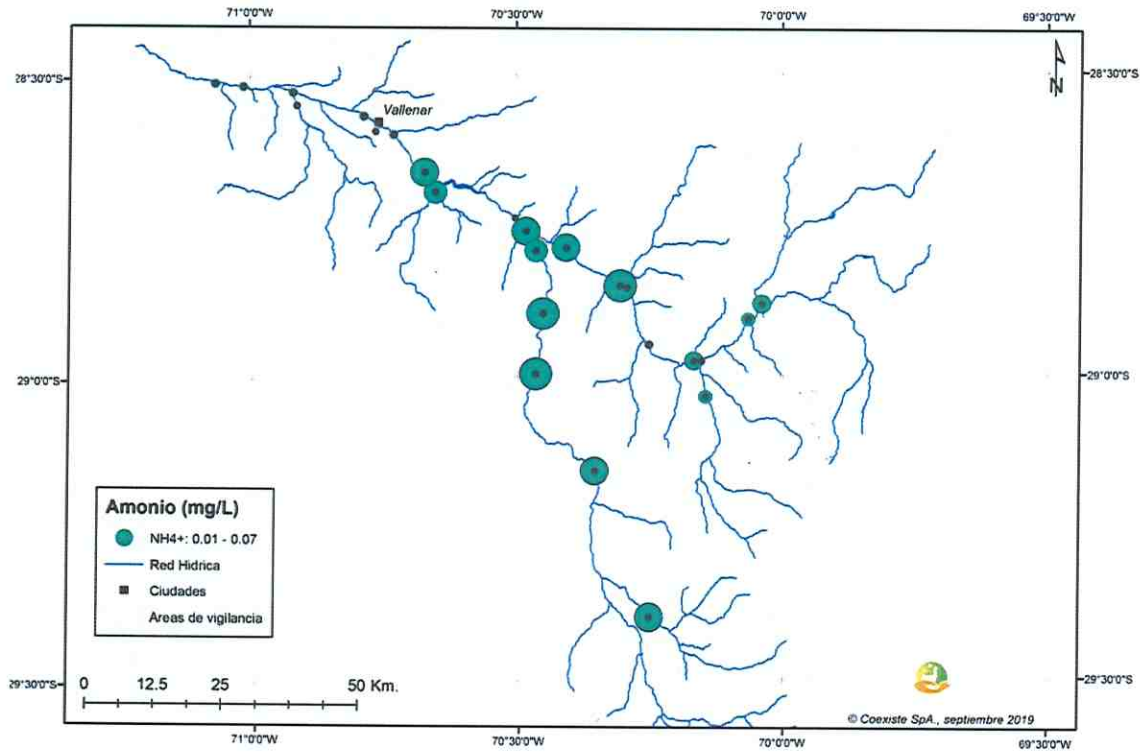


FIGURA 20: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS VALORES DE AMONIO EN LA CUENCA DE ESTUDIO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.



## Coliformes

La distribución espacial de los coliformes totales muestra un leve gradiente geográfico, un poco perturbado por el impacto de las concentraciones de ciertos elementos metálicos (Figura 21 y Figura 10): Zinc sobre todo (coef. correlación de -0,72), Manganeso (-0,58) y Cobre (-0,59).

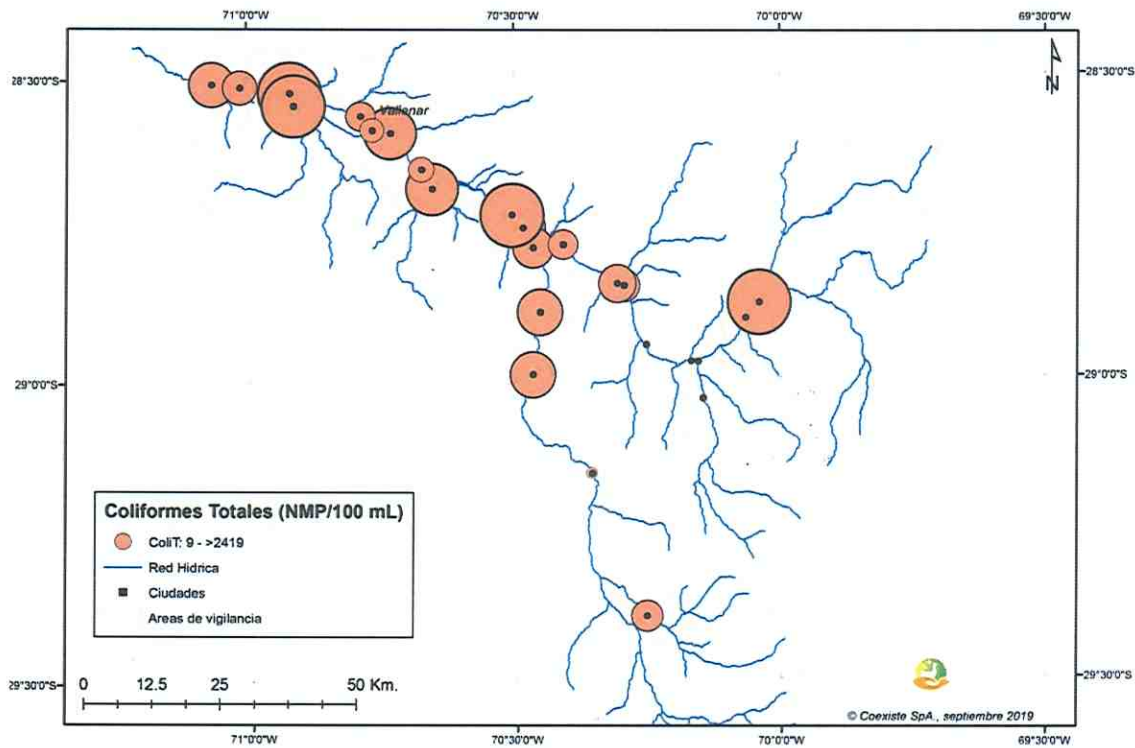


FIGURA 21: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS VALORES DE COLIFORMES TOTALES EN LA CUENCA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

La proporción de coliformes fecales, es en promedio inferior a 20%, pero en algunos sitios pueden llegar hasta un poco más de 40% (M13, M18 y M21), y hasta 100% en el sitio M04 con un nivel de 1733 NPM/100 ml (ver Figura 22).



2300

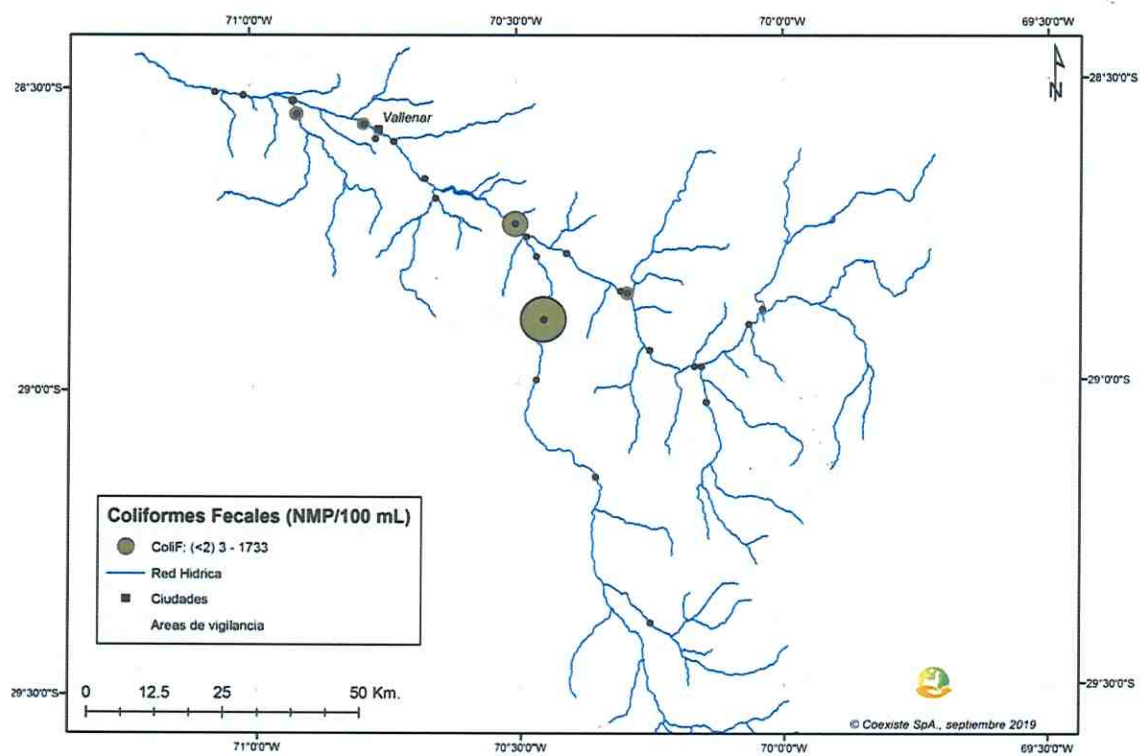


FIGURA 22: DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS VALORES DE COLIFORMES FECALES EN LA CUENCA. FUENTE: ELABORACION PROPIA.





## B. COMPARACIÓN DE VALORES DE PARÁMETROS MEDIDOS CON LOS DATOS DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO POR ÁREA DE VIGILANCIA.

Se propone a continuación una breve comparación de los valores obtenidos durante este estudio, con los valores de medianas de cada parámetro provenientes de las Estaciones de Monitoreo por Área de Vigilancia (ver Figura 23 - rotulado "ante AGIES 2019" en los demás gráficos).

Para tal efecto, se calcularon las medianas por Área de Vigilancia de cada parámetro medido en los sitios definidos en el presente estudio. Se resume en la Tabla 10 los valores obtenidos. (rotulados "AGIES 2019" en los gráficos).

TABLA 10: VALORES DE MEDIANAS POR ÁREA DE VIGILANCIA PARA CADA PARÁMETRO CONSIDERADO EN ESTE ESTUDIO.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

	CA-10	CA-20	CH-10	CO-10	HU-10	HU-20	HU-30	HU-40	PO-20	TR-10
<i>Vpro</i>	0.7	0.7	0.8	0.7	0.7	0.4	0.25	0.35	0.7	0.7
<i>Q</i>	0.33	0.175	0.24	0.27	0.57	0.17	0.1	0.46	0.12	0.19
<i>pH</i>	8.42	8.6	7.955	8.545	8.35	8.3	8.1	8.735	8.13	8.02
<i>Temp</i>	6.06	14.885	11.74	6.37	15.96	16.75	16.535	16.68	2.14	14.69
<i>OD</i>	115.2	120.85	108.2	116.15	111.2	114.7	125.3	160.75	109.9	107.7
<i>ORP</i>	122.8	124.5	173.75	164.4	118.4	157.5	112.7	143.5	122.6	162
<i>Con</i>	666	831	414.5	479	810	831	2187	2318.5	710	606
<i>TDS</i>	333	415.5	237	239	405	415	1097.5	1158.5	355	303
<i>Turb</i>	26.4	4.35	13.5	10	6.7	1.4	7.3	4.6	9.2	14.5
<i>Al</i>	1007	189.5	429.5	988	162	621	NA	NA	477	271
<i>As</i>	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
<i>CN</i>	0.03	0.03	0.045	0.02	0.05	0.02	0.02	0.035	0.04	0.04
<i>Cu</i>	9.2	3.8	10.35	22.25	15.7	9.6	9.75	11.65	7.8	18.2
<i>Fe</i>	513	128	85	169.5	314	164	NA	38	294	213
<i>Hg</i>	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<i>Mn</i>	192	18.1	530.5	235.25	15.8	3	16.05	11.05	1111	62.8
<i>Zn</i>	45	11	95	89.8	26.3	8.5	2.45	4.6	159	48.7
<i>NO3</i>	4.6	3.2	3.3	3.65	3.4	3.1	4.65	4.65	6.5	3.6
<i>PO4</i>	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
<i>SO4</i>	223	277	181	123	262	262	628	652	275	209
<i>NH4</i>	0.06	0.065	0.025	0.035	0.01	0.02	0.015	0.02	0.06	0.04
<i>ColiT</i>	457	1733	57.5	1214.5	>2419	1120	>2419	1516.5	1203	1120
<i>ColiF</i>	15	93.5	NA	12	980	151.5	438.5	173.5	NA	195

Luego se comparan gráficamente mediante boxplots, la variación de la distribución de cada parámetro (ver Figura 24, Figura 25, Figura 26).

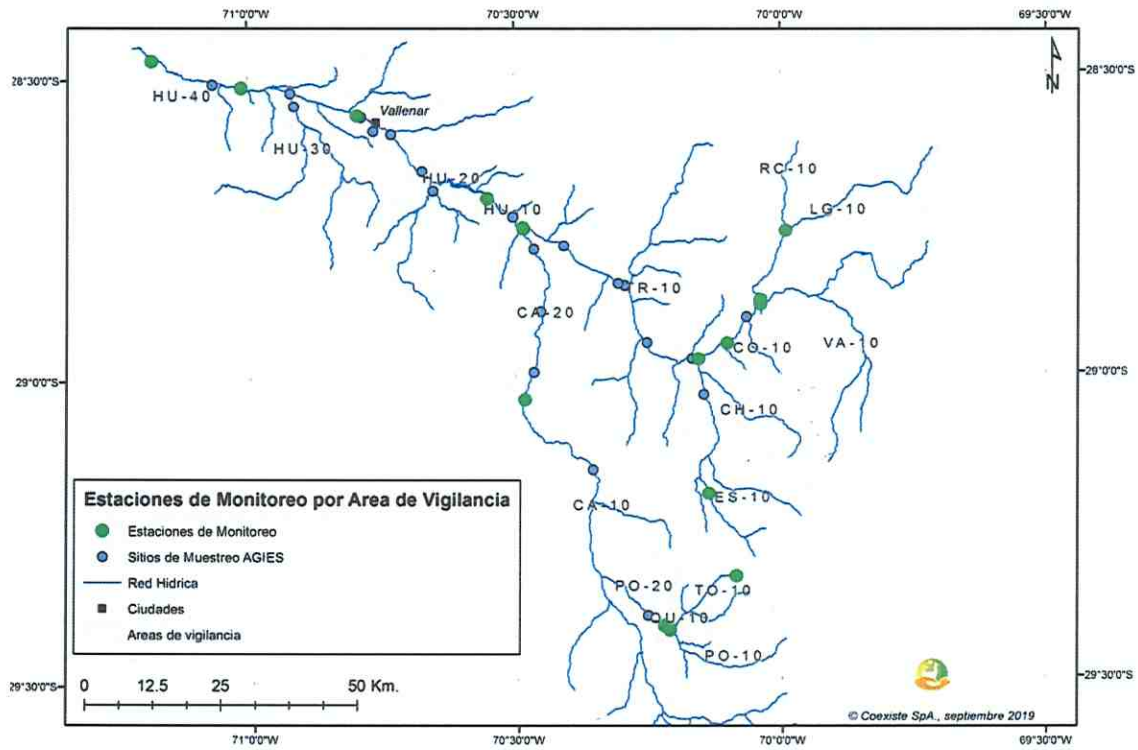


FIGURA 23: LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO DE CADA ÁREA DE VIGILANCIA (EN VERDE), Y DE LOS SITIOS DEL PRESENTE ESTUDIO (EN AZUL). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA, EN BASE A DATOS DEL NSCA HUASCO Y DATOS PROPIOS.

### Parámetros físicos:

Los valores de pH del presente estudio presentan un rango similar en amplitud con los de las Estaciones de Monitoreo, pero con valores más altos, aunque sin valores extremos, ni fuera de los umbrales inferiores y superiores de la NCh1333.

El mismo patrón se observa para el Oxígeno Disuelto y la Conductividad eléctrica. Para esta última, aunque se observa mayores valores por encima del umbral superior permitido por la NCh1333, los valores extremos son más elevados en la serie de las Estaciones de monitoreo.



**Distribucion comparada de los valores de parametros 1/3**  
Umrales de acuerdo a Norma vigente NCh1333 - 1978 Mod. 87

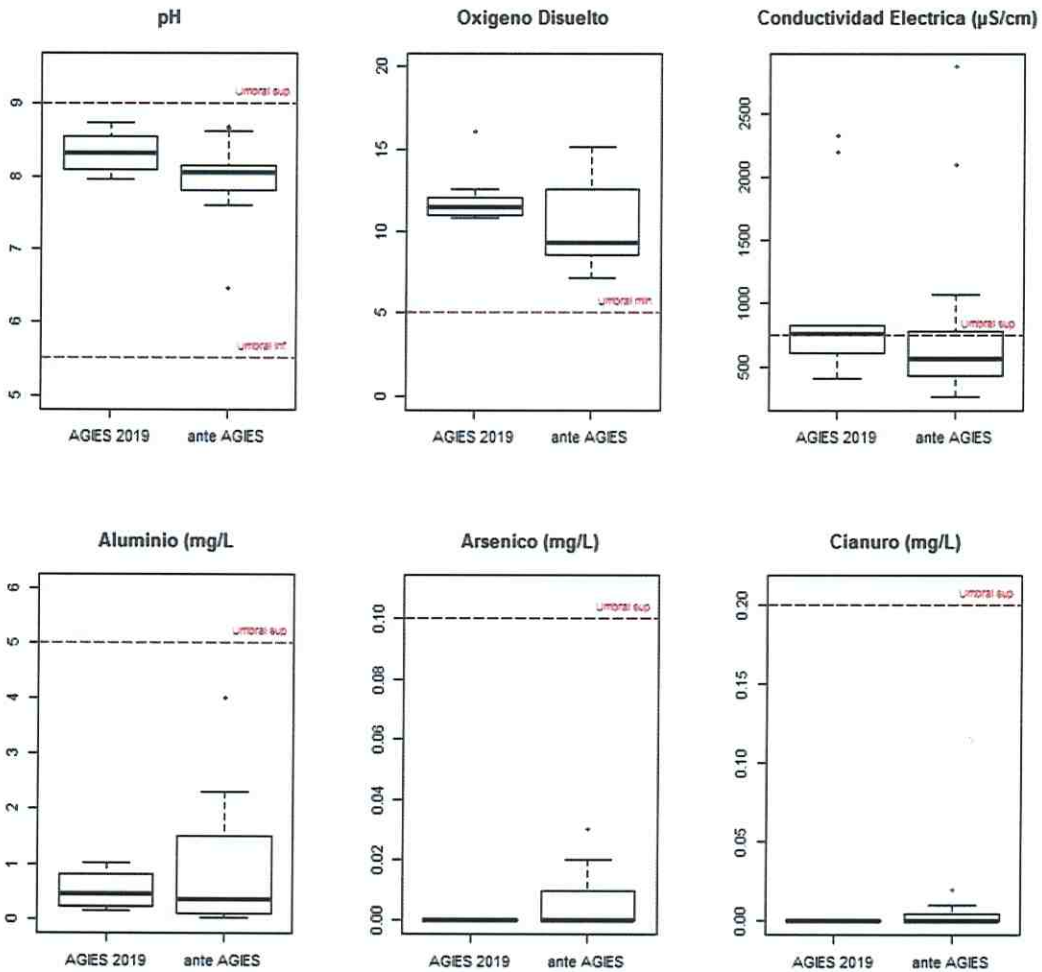


FIGURA 24: COMPARACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA ENTRE LOS SITIOS DEL PRESENTE ESTUDIO Y LAS ESTACIONES DE MONITOREO POR ÁREA DE VIGILANCIA (1/3). FUENTE ELABORACIÓN PROPIA.

**Elementos metálicos:**

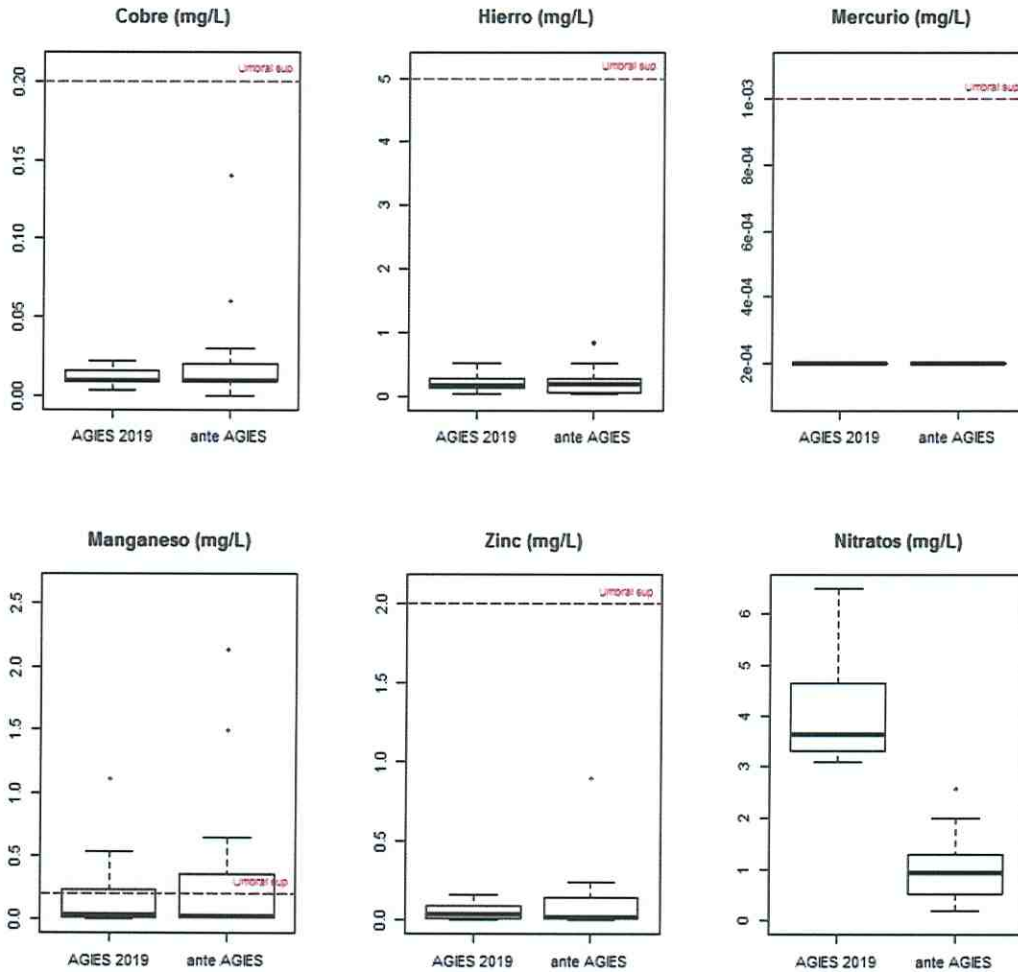
Aunque las medianas de los valores de medianas son similares, en general las proporciones de valores en el rango medio a alto parecen estar más grandes en los datos de Estaciones de monitoreo de las Áreas de vigilancia, respecto de los valores levantados en este estudio (ver Figura 24 y Figura 25). Cabe destacar que los valores de Arsénico, Mercurio y Fosfatos no son comparables, por encontrarse fuera del límite de detección.





**Distribucion comparada de los valores de parametros 2/3**  
 Umbrales de acuerdo a Norma vigente NCh1333 - 1978 Mod. 87

Nº 2304



**FIGURA 25: COMPARACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA ENTRE LOS SITIOS DEL PRESENTE ESTUDIO Y LAS ESTACIONES DE MONITOREO POR ÁREA DE VIGILANCIA (2/3). FUENTE ELABORACIÓN PROPIA.**

Dado que los patrones son similares, también se puede apreciar aquí que una importante proporción de valores de Manganeseo con valores altos, con los extremos más altos en las Estaciones de monitoreo que en los de este estudio.

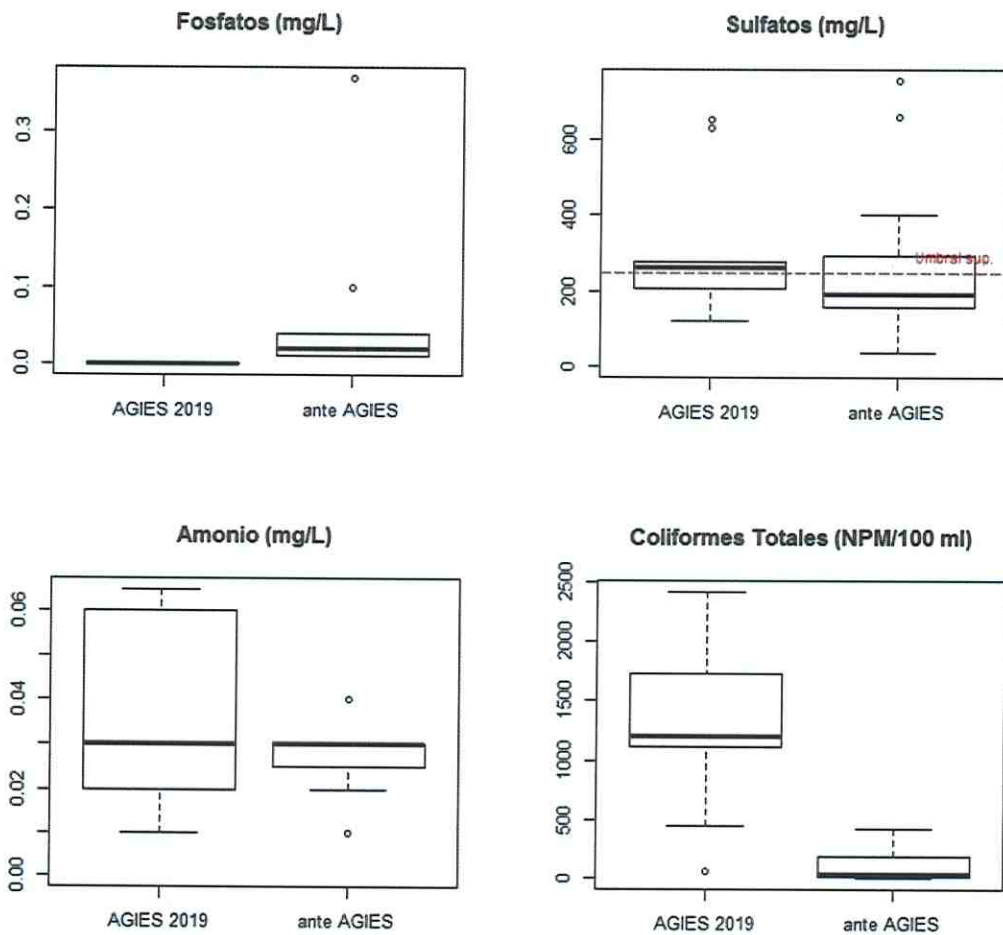


**Elementos ionizados:**

En lo que respecta a los sulfatos, el rango de valores es más estrecho en los datos levantados en este estudio, pero con mediana más alta. El rango de los valores de amonio, al contrario, y a pesar de mostrar medianas iguales, se muestra mucho más amplio que en el caso de las Estaciones de monitoreo.

**Distribucion comparada de los valores de parametros 3/3**

Umbral de acuerdo a Norma vigente NCh1333 - 1978 Mod. 87



**FIGURA 26: COMPARACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES DE PARÁMETROS DE CALIDAD DE AGUA ENTRE LOS SITIOS DEL PRESENTE ESTUDIO Y LAS ESTACIONES DE MONITOREO POR ÁREA DE VIGILANCIA (3/3). FUENTE ELABORACIÓN PROPIA.**

Finalmente, los valores medianas de Coliformes totales en los sitios superan ellos los valores máximos de las medianas de las Estaciones de monitoreo.



## V. BIBLIOGRAFIA

APHA, AWWA & WEF Eds. (2018). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, DC, USA. <https://www.standardmethods.org/>

CABIN (2012). Canadian Aquatic Biomonitoring Network field manual - wadeable streams. Monograph from the Science and Technology Department of the Canada Environment Agency. Ottawa, Ontario. 57 pp.

DGA (2004). Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad. Cuenca del Rio Huasco. 111 pp.

MOP-DGA (2009). Análisis de impacto económico y Social de anteproyecto de Normas Secundarias de Calidad – Cuenca Rio Huasco. S.I.T. N°171. Santiago. 126 pp.

Moya C., Rojas C., Herrera C., Troncoso R. (2009). Caracterización hidroquímica de las aguas superficiales del Rio Huasco. XII Congreso Geológico Chileno: 1-4.

QGIS Development Team (2017) QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>



## ANEXO 1.- FICHA DE TERRENO 1

Nombre del curso de agua:	Equipo de trabajo:
Nombre de la estación:	Fecha de muestreo:
Coordenadas: S                      W	Hora de muestreo:
Altitud (m.s.n.m.):	

Nota: Indicar Norte

### MAPA DE LA UBICACIÓN DEL SITIO

<input type="checkbox"/> ficha terreno	<input type="checkbox"/> curso arriba	<input type="checkbox"/> curso abajo	<input type="checkbox"/> entre el curso	<input type="checkbox"/> vista aérea
<input type="checkbox"/> otras _____				

### FOTOGRAFÍAS DEL SITIO

### DESCRIPCIÓN DEL ENTORNO

Ubica curso de agua:  Cordillera alta  Precordillera  Zona de meandros  Desembocadura

Uso de suelo circundante: <input type="checkbox"/> Minería <input type="checkbox"/> Agricultura <input type="checkbox"/> Canales de regadío <input type="checkbox"/> Vertederos <input type="checkbox"/> Veranadas <input type="checkbox"/> Plantas de agua potable rural (APR) <input type="checkbox"/> Plantas de tratamiento de aguas rural <input type="checkbox"/> Comercial/Industrial <input type="checkbox"/> Otros _____
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Estructura de la ribera:  Natural  Mitad natural y artificial  Artificial

	Cobertura (%)	Especies dominantes		
Árboles				
Arbustos				
Herbáceas				

Tipo vegetación de la ribera:

Superficie de la muestra de vegetación (A x L):

Ancho:

Largo:

Descripción vegetación de la ribera:





## ANEXO 2.- FICHA DE TERRENO DESCRIPCIÓN USO DE SUELO Y SUS POSIBLES FUENTES DE CONTAMINACIÓN DIFUSAS

Nombre del curso de agua:

Nombre de la estación:

Fecha:

Uso	Descripción	Fuentes difusas	Indicar (No ó Si y describir)	Topografía de la fuente
Agrícola y agroindustria	Superficies principalmente ocupadas con especies frutales de alto valor comercial, empastadas y hortalizas, siendo las principales: alfalfa, olivos, vid de mesa, hortalizas y pastos. industria agropecuaria (crianza y reproducción de cerdos, como también su posterior faena).	Drenaje de agroquímicos a fuentes de agua (escorrentía aguas superficiales, deriva por pulverización). Descargas de riles.		Pendiente:  Exposición:  Altitud:
Actividad minera	Actividad minera relevante como Pascua Lama, El Morro y la planta de pellets de Huasco de propiedad de la Compañía Minera del Pacífico.	Relaves, botaderos estériles, pasivos huérfanos.		Pendiente:  Exposición:  Altitud
Pastoreo y veranadas	Praderas antrópicas con muy baja cobertura arbórea, e individuos aislados de espino generalmente, destinada al resguardo y pastoreo de ganado.	Drenaje de agroquímicos a fuentes de agua (escorrentía aguas superficiales, deriva por pulverización). Contaminación orgánica por las deposiciones de los animales.		Pendiente:  Exposición:  Altitud
Asentamiento humano	Localidad ó pueblo cercano al punto de muestreo.	Vertederos, plantas de agua potable rural (APR), plantas de tratamiento de aguas rurales.		Pendiente:  Exposición:  Altitud

Comentarios:



## ANEXO 3.- FICHA DE TERRENO 2

2309

Nombre del curso de agua: \_\_\_\_\_ Folio de trabajo: \_\_\_\_\_  
 Nombre de la estación: \_\_\_\_\_ Fecha de muestreo: \_\_\_\_\_  
 Coordenadas: S \_\_\_\_\_ W \_\_\_\_\_  
 Altitud (m.s.n.m.): \_\_\_\_\_

## Fotos

- Ficha terreno     curso arriba     curso abajo     entre el curso     vista aérea  
 otro \_\_\_\_\_

FOTOGRAFÍAS DEL SITIOCARACTERÍSTICAS DEL HABITAT FISICO

Velocidad general estimada de corriente (cm/s):  Muy lenta     Lenta     Mediana     Rápida     Muy rápida (torrencial)  
 Condiciones del sustrato:  Limpio     Con algas     Materia orgánica     Deposito químico     otros

## Uso de suelo circundante:

- Minería     Agricultura     Canales de regadío     Vertederos     Veranadas  
 Plantas de agua potable rural (APR)     Plantas de tratamiento de aguas rural  
 Comercial/Industrial     Otros \_\_\_\_\_

Perturbaciones o contaminaciones visibles dentro el río:

Descripción vegetación acuática:

CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

Numero de muestras:

Coordenadas de las muestras:

Color Aparente:

Transparencia:  Clara     Turbia     Muy turbia

MEDICIONES IN SITU:

pH:

Temperatura (°C):

Oxígeno disuelto (%):

ORP (mV):

Conductividad (µS/cm):

TDS (ppm):

Turbidez (FNV):



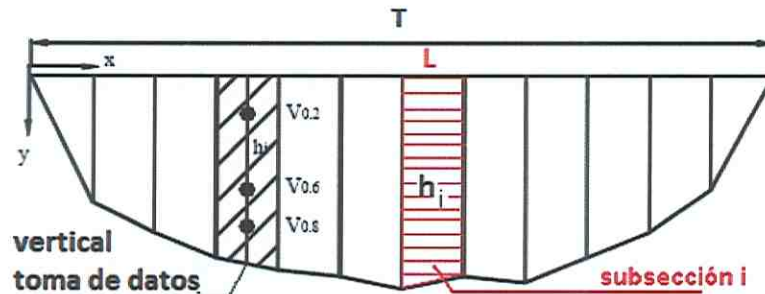
## ANEXO 4.- PERFIL TRANSVERSAL DE VELOCIDAD

Consideraciones y precauciones preliminares:

- Procurar medir en una sección homogénea del cauce. Esta sección debe ser perpendicular al flujo natural y ubicado en lo posible lejos de obstáculos naturales y artificiales tanto aguas arriba como abajo. Si no fuera posible respetar el criterio de homogeneidad, por existir más de un brazo, medir independientemente las diferentes secciones del cauce; en este último caso, el caudal total se obtiene de la suma de los caudales parciales (de cada sección de brazo).
- Los flujos deben ser lo más regular posible. Para tal efecto se debe asegurar que el nivel de agua no tenga variación significativa durante el proceso de medición. Variaciones aceptables: 1 cm en periodo de estiaje, 3-5 cm en periodo de crecida. Si los niveles de agua muestran variaciones rápidas, se precisa medirlas, por lo menos, al principio, durante y al finalizar la medición de Velocidad-Área, respecto de un elemento de referencia estable (puente, vara métrica u otro elemento de referencia).

**Medición perfil de velocidad, según "Anexo Aforo en Canales No Revertidos" de la Comisión Nacional de Riego**

- A. Medir el ancho superficial o espejo de agua "T", tal como el mostrado en la figura.



- B. Dividir el ancho superficial T, en subsecciones.

$$L = \frac{T}{n}$$

Donde n es N° de subsecciones:

Ancho T (m)	n
< 1	4
1 - 2	6
2 - 4	10
4 - 8	16
8 - 10	20
T >10	24

- C. Se comenzará midiendo desde el lado izquierdo del perfil mirando hacia aguas abajo



D. Medición de la velocidad

Nº 23101

Alturas para medir la velocidad:

$h_{esc \text{ subsección}}$ (m)	Medida de la velocidad en subsección
$h \leq 0,2$	$0,6 h_{esc \text{ subsección}}$
$0,2 < h \leq 0,5$	$0,2 h_{esc \text{ subsección}}$ y $0,6 h_{esc \text{ subsección}}$
$h > 0,5$	$0,2 h_{esc \text{ subsección}}$ ; $0,6 h_{esc \text{ subsección}}$ y $0,8 h_{esc \text{ subsección}}$

NOTA:

- $h_{esc \text{ subsección}}$  está dada por la altura de escurrimiento en la sección, mayor altura en la sección de aforo. "h" deberá ser medido desde la superficie libre.
- Para cada vertical se debe proceder de la misma forma, medir la altura de escurrimiento y tomar los datos de la velocidad con tres repeticiones en cada posición del molinete.

E. Cálculo del caudal aforado

- La velocidad media, se deberá determinar como el promedio de las velocidades medidas en la vertical respectiva.
- Para la determinación del caudal que escurre por cada subsección, se debe utilizar la velocidad promedio calculada en el apartado anterior:

$$Q_i = \Omega_i \bar{V}_i$$

Donde:

- $\Omega_i$  área de escurrimiento de la sección, calculada como  $b_i * h_i$
- $b_i$  ancho de la sección i y que corresponde a L para las secciones centrales y en extremos es igual a 1.5L





**ANEXO 5.- FICHA TERRENO MEDICIÓN PERFIL TRANSVERSAL DE VELOCIDAD** 2 3 1 2

Código sitio	Numero subsección	Fecha muestreo	Ancho lleno del cauce	Ancho Subsección (cm)	h subsección (cm)	Velocidad (m/s)			Área subsección		
						0,2h	0,6h	0,8h	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>2</sup> )
	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
	1										
	2										
	3										
	4										
	5										
	1										
	2										
	3										
	4										
	5										