DIAGNÓSTICO AMBIENTAL DE LOS RÍOS RAHUE Y DAMAS

"PROPUESTAS PARA PROGRAMAS DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD PRIMARIA Y SECUNDARIA DE SUS AGUAS"

Presentado por:

Laboratorio de Limnología
Universidad de Los Lagos

Financiado por: **Ilustre Municipalidad de Osorno**

MARZO 2021

EJECUTADO POR:

Norka Fuentes González
Dra. rer. nat, mención Limnología PhD
Directora Laboratorio de Limnología, Universidad de los Lagos
Coordinadora general del estudio, Investigador principal
Propuestas de programas de vigilancia de calidad primaria y secundaria de los ríos Rahue y Damas

Catalina Ríos Henríquez
Licenciado en Biología Marina, Biólogo Marino
Asistente de Investigación, Laboratorio de Limnología, Universidad de los Lagos

Aldo Arriagada Castro
Dr. (c) en Sistemática y Biodiversidad, Biólogo Marino
Asistente de Investigación, Laboratorio de Limnología, Universidad de los Lagos

CON LA COLABORACIÓN DE:

Red Ambiental ciudadana de Osorno
Corporación Rahue
Determinación participativa de las estaciones de monitoreo del estudio ambiental

Cecilia Smith-Ramírez
Dra. en Ciencias, mención Biología y Ecología
Propuesta de acciones de restauración para control de la sedimentación, recuperación de calidad de agua y de biodiversidad nativa en los ríos Rahue y Damas

Francisco Araos Leiva
Dr. en Ambiente y Sociedad, Antropólogo
Propuesta de Monitoreo Ciudadano de las condiciones ambientales de los ríos Damas y Rahue

AGRADECEMOS EL APOYO BRINDADO POR:

Los estudiantes Celso Mondhlane, Fernanda Soto, Carlos Zurita, Javiera García, Elizabeth Guzmán, María Elena Riobó y Claudia Casanova, durante los terrenos y actividades de laboratorio

CÍTESE COMO:

Fuentes, N., Ríos-Henríquez, C. y Arriagada, A. 2021. Diagnóstico ambiental “Propuestas para Programas de Vigilancia de la calidad primaria y secundaria de las aguas de los ríos Rahue y Damas”. Informe final 119 páginas. Convenio de Colaboración, Universidad de Los Lagos y la Ilustre Municipalidad de Osorno.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1. ANTECEDENTES GENERALES 11

1.1 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO AMBIENTAL 12

1.2 OBJETIVOS 13

1.3 ÁREA DE ESTUDIO 14

1.4 DETERMINACIÓN EN FORMA PARTICIPATIVA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO 16

2. PROGRAMA DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD PRIMARIA DE LOS RÍOS RAHUE YDAMAS. 25

2.1 ANTECEDENTES 25

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO 26

2.3 MATERIAL Y MÉTODOS 26

2.3.1 ANÁLISIS QUÍMICOS DEL AGUA 26

2.4 RESULTADOS 31

2.4.1 RÍO RAHUE 31

2.4.2 RÍO DAMAS 37

2.5 CONCLUSIONES CALIDAD PRIMARIA DE LOS RÍOS RAHUE Y DAMAS 42

2.5.1 RÍO RAHUE 42

2.5.2 RÍO DAMAS 43

2.6 PROPUESTA ESTACIONES DE MONITOREO PROGRAMA DE VIGILANCIA 44

2.6.1 RÍO RAHUE 44

2.6.2 RÍO DAMAS 47

3. ANTECEDENTES Y PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO Y PARÁMETROS PARA LA ELABORACIÓN DE LA NORMA SECUNDARIA DE LOS RÍOS RAHUE Y DAMAS. 50

3.1 ANTECEDENTES 50

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO 52

3.3 MATERIAL Y MÉTODOS 52

3.3.1 ANÁLISIS QUÍMICOS DEL AGUA 52

3.3.2 PARÁMETROS COMPLEMENTARIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD SECUNDARIA DE LAS AGUAS 57

3.4 RESULTADOS 65

3.4.1 RÍO RAHUE 65
3.4.2 RÍO DAMAS..... 77
3.5 CONCLUSIONES 88
3.5.1 RÍO RAHUE 89
3.5.2 RÍO DAMAS..... 93
3.6 PROPUESTA ESTACIONES Y PARÁMETROS PROGRAMA DE MONITOREO 97
3.6.1 RÍO RAHUE 97
3.6.2 RÍO DAMAS..... 101
4. **CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES**..... 105
ANEXO 1: Propuesta de acciones de restauración para control de la sedimentación, recuperación de calidad de agua y de biodiversidad nativa en los ríos Rahue y Damas.... 110
ANEXO 2: Propuesta de elaboración y aplicación de una estrategia de monitoreo participativo de las condiciones ambientales de los ríos Damas y Rahue por medio de herramientas de ciencia ciudadana. 113
5. **LITERATURA CITADA**..... 114

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1	Detalle de las estaciones de monitoreo del río Rahue (**RRE**), con información de ubicación, caudal (m3/s) y breve descripción de amenaza o característica de cada estación de monitoreo.	**18**
Tabla 2	Detalle de las estaciones de monitoreo del río Damas (**RDM**), con información de ubicación, caudal (m3/s) y breve descripción de amenaza o característica de cada estación de monitoreo.	**20**
Tabla 3	Metodologías de muestreo y condiciones de preservación de las muestras de agua para programa de vigilancia de su calidad primaria.	**27**
Tabla 4	Lista de parámetros fisicoquímicos y metodologías para su análisis en conformidad con la norma DS 143/2008.	**28**
Tabla 5	Concentraciones de los metales cromo (mg/L; metal esencial disuelto), mercurio, arsénico, cadmio y plomo (mg/L; metales no esenciales disueltos) y cianuro (mg/L; indicador inorgánico), en la columna de agua del río Rahue.	**32**
Tabla 6	Concentraciones de tetracloruro de carbono (mg/L), benzo (a) pirenos (HAPs) (mg/L) y bifenilos policlorados PCBs (mg/L), en las estaciones del río Rahue.	**33**
Tabla 7	Concentraciones de indicadores orgánicos plaguicidas, 2,4-D; atrazina; carbofurano; clorotalonilo; cyanacina; simazina; trifluralina; lindano; heptacloro; dieldrin; alfa-clordano; gamma-clordano y aldrin en el río Rahue.	**35**
Tabla 8	Indicadores fisicoquímicos pH y Color (Pt-Co) y microbiológicos (Coliformes fecales (NMP/100ml)) en las estaciones del río Rahue.	**36**
Tabla 9	Concentraciones de los metales cromo (mg/L; metal esencial disuelto), mercurio, arsénico, cadmio y plomo (mg/L; metales no esenciales disueltos) y cianuro (mg/L; indicador inorgánico), en la columna de agua del río Damas.	**37**
Tabla 10	Concentraciones de tetracloruro de carbono (mg/L), benzo (a) pirenos (HAPs) (mg/L) y bifenilos policlorados PCBs (mg/L) como indicadores orgánicos incluidos en la DS 143 para las estaciones ubicadas en el río Damas.	**38**
Tabla 11	Concentraciones de indicadores orgánicos plaguicidas, 2,4-D; Atrazina; carbofurano; clorotalonilo; cyanacina; simazina; trifluralina; lindano; heptacloro; dieldrin; alfa-clordano; gamma-clordano y aldrin incluidos en la DS 143 para las estaciones ubicadas en el río Damas.	**40**
Tabla 12	Indicadores fisicoquímicos pH y color (Pt-Co) y microbiológicos (Coliformes fecales (NMP/100ml)) en las estaciones ubicadas en el río Damas.	**41**

Tabla 13 Estaciones de monitoreo obligatorias y sugeridas, para ser incorporadas en el Programa de Vigilancia de la calidad primaria de las aguas del río Rahue. **45**

Tabla 14 Estaciones de monitoreo obligatorias y sugeridas, para ser incorporadas en el Programa de Vigilancia de la calidad primaria de las aguas del río Damas. **48**

Tabla 15 Metodologías de muestreo y condiciones de preservación de las muestras de agua. **53**

Tabla 16 Descripción de metodologías y valores o concentraciones máximas de parámetros fisicoquímicos y biológicos por clase de calidad de agua según Guía para el establecimiento de normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales y marinas (MMA, 2017, CONAMA, 2004). **54**

Tabla 17 Clases de calidad consideradas en la guía para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales y marinas. **56**

Tabla 17 B Indicadores de Eutrofización en la guía para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales y marinas **58**

Tabla 18 Clasificación de la calidad del agua según el Índice EPT (porcentaje Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera). **60**

Tabla 19 Clasificación de la calidad del agua según Índice ChIBF (Índice Biótico de familia de macroinvertebrados chilenos). **60**

Tabla 20 Valores de tolerancia de macroinvertebrados bentónicos utilizados en la determinación de Índice Biótico de Familias (ChIBF) (Tomado de Figueroa et al., 2003). **61**

Tabla 21 Resultado de los indicadores fisicoquímicos (oxígeno disuelto (mg/L), pH, conductividad (uS/cm), temperatura (°C), color (Pt-Co) y sólidos totales suspendidos (mg/L), incluidos en la norma secundaria para las estaciones ubicadas en el río Rahue. **65**

Tabla 22 Concentraciones (mg/L) de los indicadores inorgánicos: amonio, cianuro, Cloruro y de los indicadores orgánicos: aceites y grasas (mg/L), PCBs (ug/L), HAPs (ug/L) en el río Rahue. **67**

Tabla 23 Concentraciones de los metales esenciales disueltos: manganeso, hierro, cromo, níquel, cobre y zinc, incluidos en la norma secundaria para las estaciones ubicadas en el río Rahue. **68**

Tabla 24 Resultados de los indicadores metales no esenciales disueltos (Arsénico (mg/L); Cadmio (ug/L); Plomo (mg/L) incluidos en la norma secundaria para las estaciones ubicadas en el río Rahue. **69**

Tabla 25 Resultados de indicadores microbiológicos, Coliformes fecales expresados en NMP/100 ml, incluido en la norma secundaria para las estaciones ubicadas en el río Rahue. **70**

Tabla 26 Concentraciones de los indicadores de eutrofización: clorofila "a", nitrógeno y fósforo total, en las estaciones ubicadas en el río Rahue. **72**

Tabla 27 Concentración de metales pesados: cromo, arsénico, plomo y cadmio en los sedimentos de las estaciones de monitoreo del Río Rahue, valores comparados con US/EPA 1991 (adaptado por Nichols *et al.*, 1991) **74**

Tabla 28 Resultado del índice EPT (porcentaje Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera), indicador de calidad del agua en las estaciones de monitoreo ubicadas en el río Rahue. **75**

Tabla 29 Resultado del índice ChIBF (Índice Biótico de familia de macroinvertebrados chilenos) indicador de calidad del agua en las estaciones de monitoreo ubicadas en el río Rahue. **76**

Tabla 30 Resultado de los indicadores fisicoquímicos (oxígeno disuelto (mg/L), pH, conductividad (uS/cm), temperatura (°C), color (Pt-Co) y sólidos totales suspendidos (mg/L), incluidos en la norma secundaria para las estaciones ubicadas en el río Damas. **78**

Tabla 31 Concentraciones de los indicadores inorgánicos: amonio, cianuro, cloruro y de los indicadores orgánicos: aceites y grasas, PCBs y HAPs, en el río Damas. **79**

Tabla 32 Concentraciones de manganeso (mg/L), hierro (mg/L), cromo (ug/L), níquel (ug/L), cobre(ug/L) y zinc (mg/L) como indicadores de metales esenciales disueltos, parámetros incluidos en la norma secundaria para las estaciones ubicadas en el río Damas. **81**

Tabla 33 Concentraciones de arsénico (mg/L), cadmio (mg/L) y plomo (mg/L) como indicadores metales no esenciales disueltos incluidos en la norma secundaria para las estaciones ubicadas en el río Damas. **82**

Tabla 34 Concentraciones de Coliformes fecales expresados en NMP/100 ml, incluido en la norma secundaria para las estaciones ubicadas en el río Damas. **83**

Tabla 35 Resultados de clorofila "a"(µg/L), nitrógeno total (N-total) y fósforo total (P-total) incluidos en la norma secundaria como estado trófico para las estaciones ubicadas en el río Damas. **85**

Tabla 36 Concentración de metales pesados: cromo, arsénico, plomo y cadmio en los sedimentos de las estaciones de monitoreo del Río Damas, valores comparados con US/EPA 1991 (adaptado por Nichols *et al., 1991).* **86**

Tabla 37 Resultado del índice %EPT (porcentaje Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera) para determinar calidad de agua en cada estación de muestreo ubicadas en el río Damas. **87**

Tabla 38 Resultado del índice ChIBF (Chile_Índice Biótico de familia) para determinar calidad de agua en cada estación de muestreo ubicadas en el río Damas. **88**

Tabla 39 Propuesta de estaciones de monitoreo, según los parámetros alterados detectados en el diagnóstico ambiental para el Programa de Vigilancia de la Norma Secundaria de calidad ambiental del río Rahue. **98**

Tabla 40 Propuesta de estaciones de monitoreo, según los parámetros alterados detectados en el diagnóstico ambiental, para el Programa de Vigilancia de la Norma Secundaria de calidad ambiental del río Damas. **102**

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de la cuenca del Río Bueno y su red hídrica que incluye los ríos Rahue y Damas. **14**

Figura 2 Talleres participativos para la determinación de las estaciones de monitoreo de los ríos Rahue y Damas, realizados en el Laboratorio de Limnología de la Universidad de los Lagos. Se observa a la Dra. Norka Fuentes junto a miembros de la Red Ambiental ciudadana de Osorno y junto a Prof. Ulises Mosqueira de Corporación Rahue. **16**

Figura 3 Estaciones de monitoreo ubicadas en los ríos Rahue y Damas, entre sus nacientes y desembocaduras. RRE corresponde a río Rahue y RDM corresponde a río Damas. **17**

Figura 4 Estaciones de monitores en el río Rahue. Los números corresponden a: 1: RRE1; 2: RRE2; 3: RRE3; 4: RRE4; 5: RRE5; 6: RRE6; 7: RRE7; 8: RRE8, en círculo se observa tubo de descarga directa al río. Fuente: Laboratorio de Limnología. **21**

Figura 5 Estaciones de monitores en el río Rahue. Los números corresponden a: 1: RRE9, en circulo se observa tubo de descarga directa al río desde la feria ganadera.; 2: RRE10; 3: RRE11; 4: RRE12; 5 y 6: RRE13, tubo de descarga de la planta de tratamiento de aguas servidas empresa ESSAL; 7: RRE14; 8: RRE15. Fuente: Laboratorio de Limnología. **22**

Figura 6 Estaciones de monitores en el río Damas. Los números corresponde a: 1 y 2: RDM1, en número 2 se observa encauzamiento del río Damas; 3: RDM2; 4: RDM3; 5: RDM4; 6: RDM5; 7 y 8: RDM6, en círculo rojo se observa la descarga directa al río Damas mediante un tubo de la empresa CALO. Fuente: Laboratorio de Limnología. **23**

Figura 7 Estaciones de monitores en el río Damas. Los números corresponde a lo siguiente: 1: RDM7; 2: RDM8; 3: RDM9; 4: RDM10; 5: RDM11; 6: RDM12. Fuente: Laboratorio de Limnología. **24**

Figura 8 Ubicación de las estaciones en el río Rahue en situación de emergencia ambiental, y las concentraciones de indicadores microbiológicos, Coliformes fecales, expresados en NMP/100 ml, que sobrepasaron los umbrales estipulados en norma primaria. **42**

Figura 9 Ubicación de las estaciones en el río Damas en situación de emergencia ambiental, y las concentraciones de indicadores microbiológicos, Coliformes fecales, expresados en NMP/100 ml y valor de pH, que sobrepasaron los umbrales estipulados en norma primaria. **43**

Figura 10 Ubicación de estaciones de muestreo de alerta de emergencia ambiental (triángulos rojos) y estaciones de interés (triángulos naranjos), propuestos para el río Rahue. **46**

Figura 11 Ubicación de estaciones de muestreo de alerta de emergencia ambiental (triángulos rojos), propuestas para el río Damas. **49**

Figura 12 Macroinvertebrados bentónicos de agua dulce, taxa representante de familias que indican buena calidad de agua registrado en los ríos Rahue y Damas. 1 y 2: Familia Leptophlebiidae; orden: Ephemeroptera; 3 y 4: Familia Gripopterygidae, orden Plecoptera; 5 Familia Glossosomatidae , orden Trichoptera; 6: Familia Hydropsychidae, orden Trichoptera. Fuente: Laboratorio de Limnología. **62**

Figura 13 Macroinvertebrados bentónicos de agua dulce, taxa representante de familias que indican mala calidad de agua registrado en los ríos Rahue y Damas. 1 y 2: Familia Chironomidae; orden: Diptera; 3: familia Empididae, orden Diptera; 4: Phylum: Annelida, orden Haplotaxidae; 5 Familia Chilinidae, orden Gastropoda; 6: Familia Physidae, orden Basommatophora. Fuente: Laboratorio de Limnología. **63**

Figura 14 Ubicación de las estaciones en el río Rahue, donde Color (Pt-Co) indicó deterioro de la calidad secundaria del río. **90**

Figura 15 Ubicación de las estaciones en el río Rahue, donde el indicador microbiológico, Coliformes fecales (NMP/100 ml) indicó deterioro de la calidad secundaria del río. **90**

Figura 16 Ubicación de las estaciones en el río Rahue, donde las concentraciones de los indicadores de eutrofización, fósforo y nitrógeno total (mg/L), indican las condiciones de mesotrofia, eutrofia e hipertrofia del ecosistema fluvial. **91**

Figura 17 Ubicación de las estaciones en el río Rahue, donde el índice biótico %EPT (porcentaje Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera) indicó deterioro de la calidad secundaria del río. **92**

Figura 18 Ubicación de las estaciones en el río Rahue, donde índice biótico ChIBF (Chile Índice Biótico de familia) indicó deterioro de la calidad secundaria del río. **92**

Figura 19 Ubicación de las estaciones en el río Damas, donde los indicadores fisicoquímicos, color (Pt-Co); oxígeno disuelto (mg/L); Temperatura (°C) y pH mostraron valores alterados según los límites establecidos en la norma secundaria para las estaciones ubicadas en el río. **94**

Figura 20 Ubicación de las estaciones en el río Damas, donde los indicadores microbiológicos, Coliformes fecales expresados en NMP/100 ml mostraron valores alterados según los límites establecidos en la norma secundaria para las estaciones ubicadas a lo largo del río. **95**

Figura 21 Ubicación de las estaciones en el río Damas, donde las concentraciones de los indicadores de eutrofización, fósforo y nitrógeno total (mg/L), indican, la condición trófica de mesotrófico, eutrófico e hipertrófico del ecosistema fluvial. **95**

Figura 22 Ubicación de las estaciones en el río Damas, donde el índice %EPT (porcentaje Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera) indicó deterioro de la calidad secundaria del río. **96**

Figura 23 Ubicación de las estaciones en el río Damas, donde el índice ChIBF (Chile_Índice Biótico de familia) indicó deterioro de la calidad secundaria del río. **96**

Figura 24 Ubicación de estaciones de monitoreo (cuadrados rojos), y control (cuadrados naranjos), propuestas para el río Rahue. **100**

Figura 25 Ubicación de estaciones de monitoreo (cuadrados rojos), propuestas para el río Damas. **104**

1. ANTECEDENTES GENERALES

Los ecosistemas fluviales[1] son importantes para las comunidades urbanas y rurales por los diversos recursos que proporcionan. La mayoría de los asentamientos humanos se desarrollaron en torno a ríos, ya que estos brindan diversos servicios ecosistémicos, tales como, provisión de agua y alimento, regulación de inundaciones y sequías, regulación de la calidad de agua y secuestro de carbono (Polo, 2014, Fuentes *et al.*, 2015, Gastezzi-Arias *et al.*, 2016). Sin embargo, estos valiosos ecosistemas, forman parte del sistema de eliminación de residuos urbanos e industriales, que degradan paulatinamente la calidad de sus aguas e impactan las comunidades biológicas que en ellos habitan (Pozo, 2015). El deterioro por origen antrópico está principalmente relacionado con la contaminación por materia orgánica, enriquecimiento de nutrientes, eliminación y/o degradación del bosque de ribera, canalización y regulación de los cauces, y persistencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Alonso y Camargo, 2005).

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA) motivado por la conservación y protección de los ecosistemas acuáticos nacionales, ha promovido la regulación de la calidad del agua en ríos a través de criterios científico-técnicos aprobados a nivel nacional e internacional, e incluidos en la Ley 19.300 Bases Generales del Medio Ambiente. Queda establecido en esta ley que la función del estado en esta materia es dictar normas para regular la presencia de contaminantes en el medio ambiente y prevenir potenciales riesgos. En específico, la Ley 19.300 incluye dos elementos importantes para regular la calidad de los recursos hídricos como el DS 143/2008, el cual establece las Normas de Calidad Primaria para aguas continentales superficiales y la guía para el establecimiento de Normas Secundarias de la Calidad de las aguas (NSCA) (CONAMA 2004, MMA, 2017). En su conjunto, ambas normas regulan las concentraciones y/o valores de contaminantes presentes en el medio acuático, y los derechos legales y ambientales asociados al uso de este recurso.

La Norma de Calidad Primaria establece los niveles de calidad ambiental que deben mostrar las aguas continentales superficiales del país, cuyo uso se enmarque en las actividades de recreación con contacto directo. El objetivo de esta normativa es salvaguardar la salud de la población, para lo cual es necesario detectar a tiempo concentraciones nocivas de compuestos inorgánicos, orgánicos, pesticidas, metales y microbiológicos. Además, establece los niveles que determinan situaciones de emergencia ambiental. Por otro lado, la NSCA tiene un enfoque ecosistémico que permite asegurar la provisión de bienes y servicios de los ecosistemas (riego, turismo, pesca artesanal, etc.), y el suministro permanente de agua de adecuada calidad, tal como lo establecen los Planes de Seguridad del Agua (PSA) de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

---

[1] Ecosistemas fluviales o lóticos. Se refiere a los ríos, riachuelos y arroyos. Los cuerpos de agua que fluyen o se movilizan en una sola dirección, ayudados por la diferencia de pendientes.

Para el buen funcionamiento de las Normas Primarias y Secundarias de Calidad Ambiental se deben establecer programas de vigilancia, reconocidos como un instrumento y mecanismo de control que permite evaluar el grado de cumplimiento de las normas, con el fin de establecer programas de monitoreo sistemáticos, destinados a medir y controlar la calidad de las aguas en determinados puntos geográficos y en un periodo de tiempo específico.

Este estudio proporciona resultados relacionados con los objetivos específicos comprometidos en el convenio establecido entre la Universidad de los Lagos y la Ilustre Municipalidad de Osorno (DU 2893) Diagnóstico Ambiental de los ríos Damas y Rahue. Los ríos Damas y Rahue son los principales cauces que atraviesan el radio urbano de la ciudad de Osorno. Sin embargo y pese a las innumerables denuncias de eventos de contaminación de sus aguas, hasta el momento se desconoce la calidad secundaria (resguarda el ecosistema) y primaria (resguarda las personas) de las aguas de ambos ríos, en razón de lo cual, no se han evaluado las condiciones ambientales de diferentes tramos y tampoco se han confeccionado programas de vigilancia para su conservación y protección.

1.1 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO AMBIENTAL

Actualmente en la comuna de Osorno existe un evidente interés y preocupación por parte de la ciudadanía respecto de la calidad ambiental, estética y calidad primaria de las aguas de los ríos Rahue y Damas. Este interés ha quedado registrado en los últimos años con las continuas denuncias y noticias en prensa escrita y radial (Diario Austral de Osorno, radio Biobío Chile, entre otros), como por ejemplo "*Personas que se bañan en el río Rahue se exponen a sufrir afecciones cutáneas y gastrointestinales*" (Diario austral, 07 de febrero de 2016). También han existido denuncias sobre vertimiento de aguas servidas hacia el río Rahue desde la planta de tratamiento de la Empresa de Servicios Sanitarias (ESSAL) y la contaminación por petróleo desde la misma empresa durante el año 2019. Adicionalmente se han presentado innumerables denuncias por malos olores y turbiedad del agua (color blanco lechoso), y en el último mes, el hallazgo de peces y aves muertas en el río Damas (Fuentes: Radio Sago, El Mostrador, Radio Biobío, País lobo). Situaciones sanitarias de este tipo, puede agravarse, como lo estamos viendo, en escenarios del cambio climático, donde los caudales experimentan disminuciones importantes que afectan la capacidad de autorrecuperación de los ríos.

Por su parte, la Ilustre Municipalidad de Osorno cuya misión señalada en el Plan de Desarrollo de Comunal PLADECO, es de buscar un Osorno integrado a sus ríos, en el impulso de un moderno modelo de urbanización, aprovechándolos no solo como la cara de presentación de la ciudad, sino también como espacios abiertos a la comunidad. El trabajo en torno a este desafío para los próximos cuatro años, supone entonces un reconocimiento al capital ecológico de los ríos Rahue y Damas, en el contexto de un moderno modelo de desarrollo urbano que pretende la mejor calidad de vida de los habitantes de la comuna de Osorno.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo General

Realizar un diagnóstico de la calidad ambiental de los ríos Damas y Rahue, para el establecimiento de programas de vigilancia de la calidad primaria y secundaria de sus aguas.

Objetivos específicos

- Determinar de forma participativa, las estaciones de monitoreo en los tramos de los ríos Rahue y Damas
- Determinar la calidad primaria, según la normativa vigente (DS 143/2008) de las aguas de los ríos Damas y Rahue para el establecimiento de un programa de vigilancia en el ámbito de la gestión municipal.
- Generar antecedentes de la condición ambiental de las aguas de los ríos Damas y Rahue mediante el uso de indicadores fisicoquímicos y biológicos para el establecimiento de su norma secundaria y un programa de monitoreo que resguarde la salud del ecosistema fluvial

1.3 ÁREA DE ESTUDIO

Características generales de los ríos Damas y Rahue

La subcuenca del río Rahue, que incluye al río Damas, se encuentra inserta en la cuenca del río Bueno, la cual es compartida entre la Región de Los Ríos y Los Lagos (Figura 1). La cuenca del río Bueno cubre una superficie de 15.366 km2, y se incluye dentro de las 15 cuencas de mayor tamaño de Chile (DGA2016).

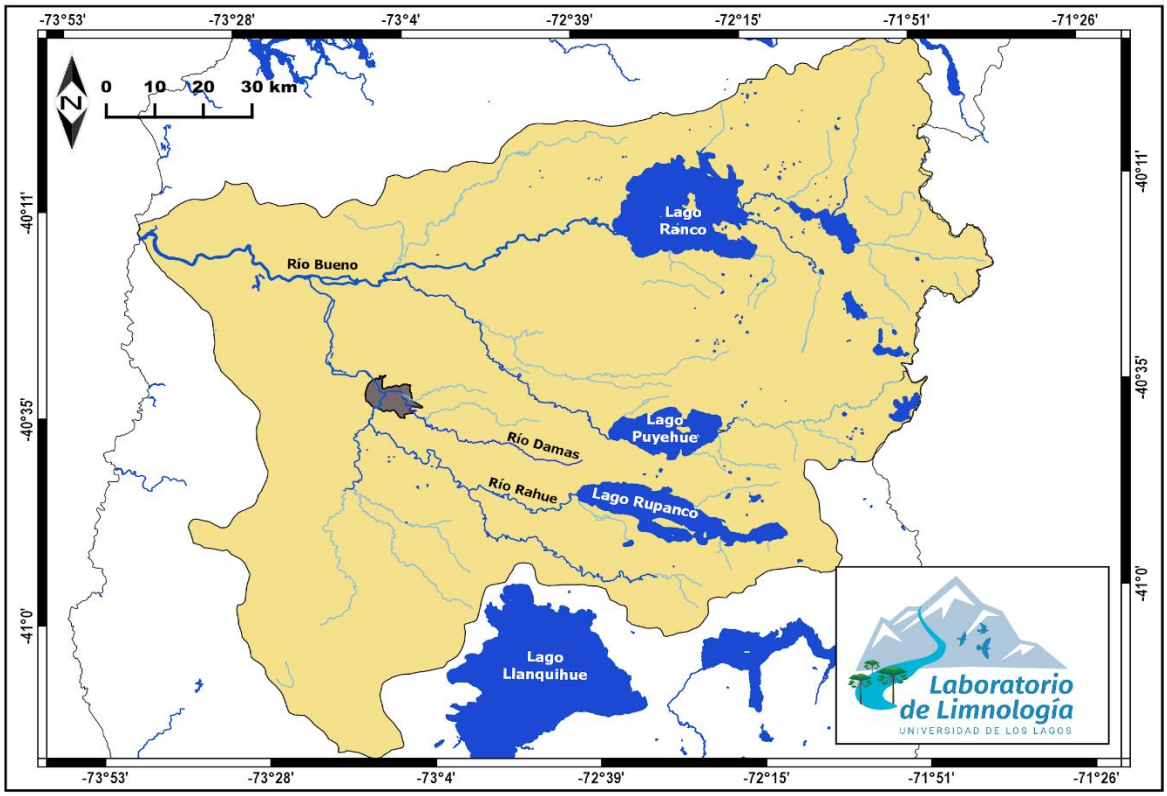

Figura 1: Mapa de la cuenca del Río Bueno y su red hídrica que incluye los ríos Rahue y Damas.

Río Damas

El río Damas nace en la depresión intermedia de la provincia de Osorno, específicamente en sector Quema del Buey, próximo al Lago Puyehue, y desemboca en el río Rahue, ciudad de Osorno (Figueroa *et al.*, 2003; Figura 1). Posee una cuenca de aproximadamente 514 km^2 y una longitud total de 52 km, de los cuales 48 km se emplazan en el sector rural y 4 km en el radio urbano de la ciudad de Osorno (Patrick *et al.*, 1998; Parra *et al.*, 1999). Su cauce total evidencia una pendiente baja, con una media de 1,8% (DGA, 2004). Climáticamente se inserta en el clima templado lluvioso a frío lluvioso, con un régimen pluvial que en promedio bordea los 1300 mm/año de precipitaciones, observándose sus mayores caudales en los meses

invernales, y bajos escurrimientos en primavera y verano (DGA, 2004). Su caudal promedio es de 3,1 m^3/s (Parra *et al.*, 1999) y su lecho corresponde al de un ambiente o hábitat de ritrón (bolones). Sus principales tributarios son estero Lutún, río Tijeral, río Moro, estero Pichidamas y Quebrada Honda (Arriagada, 2012).

Según Figueroa *et al.*, (2003), los principales usos de suelo desarrollados en la cuenca del río Damas corresponden a ganadero y agrícola con 78,2 % (401,6 km^2), forestal con 19,3 % (98,9 km^2) y urbano-industrial con 2,6 % (13,23 km^2). De esta forma, el paisaje predominante en la cuenca del río Damas corresponde a praderas artificiales (71 % de la superficie), bosque o renoval nativo (16 %) y bosque ripariano (8 %) (Patrick *et al.*, 1998).

El agua de este río es utilizada principalmente para actividades agroindustriales, consumo de ganado y abastecimiento de agua potable. Entorno al río se localizan lecherías, las empresas Skretting y la empresa Watt´s (CALO) que descarga sus riles al río Damas. Además, se han detectado una serie de sectores del río donde se han registrado descargas ilegales que aumentan la eutrofización del sistema especialmente en el tramo urbano. También se reconoce la incorporación de contaminantes de origen difuso procedentes de las actividades agrícolas que se desarrollan en el borde del río Damas a través de todo su cauce (Arriagada, 2012). La mayor parte de sus riberas son terrenos privados sin accesibilidad ni visibilidad pública, usados para actividades industriales y residenciales -en algunos casos sin permiso y sin servicio de alcantarillado-, convirtiéndose en un vertedero de residuos industriales y domiciliarios (Veloso, 2016).

Río Rahue

El río Rahue nace en el desagüe del lago Rupanco y desemboca en el río Bueno (García, 2018, Figura 1). El tamaño de su cuenca alcanza los 2.160 km^2, una longitud máxima de 120 km y un rango de altitud que varía entre 6 y 141 msnm (DGA, 2004). Posee un régimen nivoso-pluvioso, siendo sus principales tributarios los ríos Coihueco, Negro, Damas y Forrahue. En tramos superiores del río su curso corre rápido y encajonado, mientras que en tramos inferiores es lento y navegable.

Los principales usos de suelo en la cuenca del río Rahue se relacionan con actividades agrícolas, ganaderas y forestales (García, 2018). Las actividades agrícola y ganadera ocupan el 43,5% de su superficie (Parra *et al.*, 1999, Mondlane, 2020). A pesar del predominio de actividades productivas ligadas al mundo rural, se ha observado en las últimas décadas una mayor presencia de actividades industriales como mataderos, lácteos, áridos, forestales y pisciculturas, las cuales se establecen como nuevas alternativas de trabajo para el sector, pero al mismo tiempo nuevas fuentes potenciales de contaminación (García, 2018). Específicamente las empresas que realizan sus descarga de riles directamente al río o alguno de sus tributarios, reguladas por DS 90/2000 (norma emisión), son la piscicultura El Copihue de Aquafarms, Áridos Dowling y Schilling SA, Frigorífico de Osorno, Nestlé (planta de Cancura), las pisciculturas Las Quemas Chile y Rupanquito, Prolesur, pisciculturas Santa Juana y Cancura, matadero Frigorífico del Sur (Mafrisur), Envases Roble Alto, Lácteos Paraguay, Lácteos Mulpulmo, Distribuidora JA Ltda.

1.4 DETERMINACIÓN EN FORMA PARTICIPATIVA DE LAS ESTACIONES DE MONITOREO

Objetivo Específico: Determinar de forma participativa, las estaciones de monitoreo en los ríos Rahue y Damas.

Para determinar la ubicación de las estaciones del monitoreo en los ríos Damas y Rahue, se realizaron reuniones técnicas con representantes de la comunidad local interesada, siguiendo los principios básicos de participación que rigen el concepto de ciencia ciudadana. Para esto se invitó a elaborar un mapa participativo a miembros de organizaciones que han realizado arduos y extensos trabajos de monitoreo y vigilancia ambiental en ambos ríos, como es el caso de los miembros de la Red ambiental ciudadana de Osorno, y la Corporación Rahue (Figura 2). Las estaciones determinadas fueron validadas en reunión con Sr. Raul Sporman, jefe de medio ambiente de la Ilustre municipalidad de Osorno. Considerar que la participación de la ciudadanía en las investigaciones científicas, motiva a la comunidad a utilizar sus conocimientos locales para influir en la toma de decisiones. Para mejorar el esfuerzo del monitoreo ambiental, la ciencia ciudadana aumenta las capacidades de la comunidad y puede promover un mayor sentimiento de manejo medioambiental.

Figura 2: Talleres participativos para la determinación de las estaciones de monitoreo de los ríos Rahue y Damas, realizados en el Laboratorio de Limnología de la Universidad de los Lagos. Se

observa a la Dra. Norka Fuentes junto a miembros de la Red Ambiental ciudadana de Osorno y junto a Prof. Ulises Mosqueira de Corporación Rahue.

El taller realizado en Septiembre 2018 permitió la determinación de las estaciones de monitoreo en los ríos Damas y Rahue, considerando información relevante como 1) amenazas puntuales de contaminación que los participantes al taller habían detectado durante las últimas décadas, y 2) antecedentes bibliográficos disponibles (Figura 2).

El diseño de muestreo consensuado por los participantes permitió localizar en ambos ríos estaciones de muestreo al interior del núcleo urbano de Osorno, y otras estaciones distribuidas en tramos antes y después del núcleo urbano. La selección de los sectores a monitorear la calidad de las aguas, tomó en cuenta los procesos de dispersión y transporte de sedimentos, considerando que la movilidad de nutrientes y contaminantes depende de variables como la morfología y caudal del río, con un rango de transporte que varía entre 4,5 km y 10 km (Schnoor, 1996).

Considerando el grado de amenaza puntual de contaminación en ambos ríos y los antecedentes bibliográficos, se determinaron 27 estaciones de monitoreo (Figura 3, Tablas 1 y 2), 15 localizadas en diferentes tramos del río Rahue (Figura 4 y 5) y 12 en el río Damas (Figura 6 y 7).

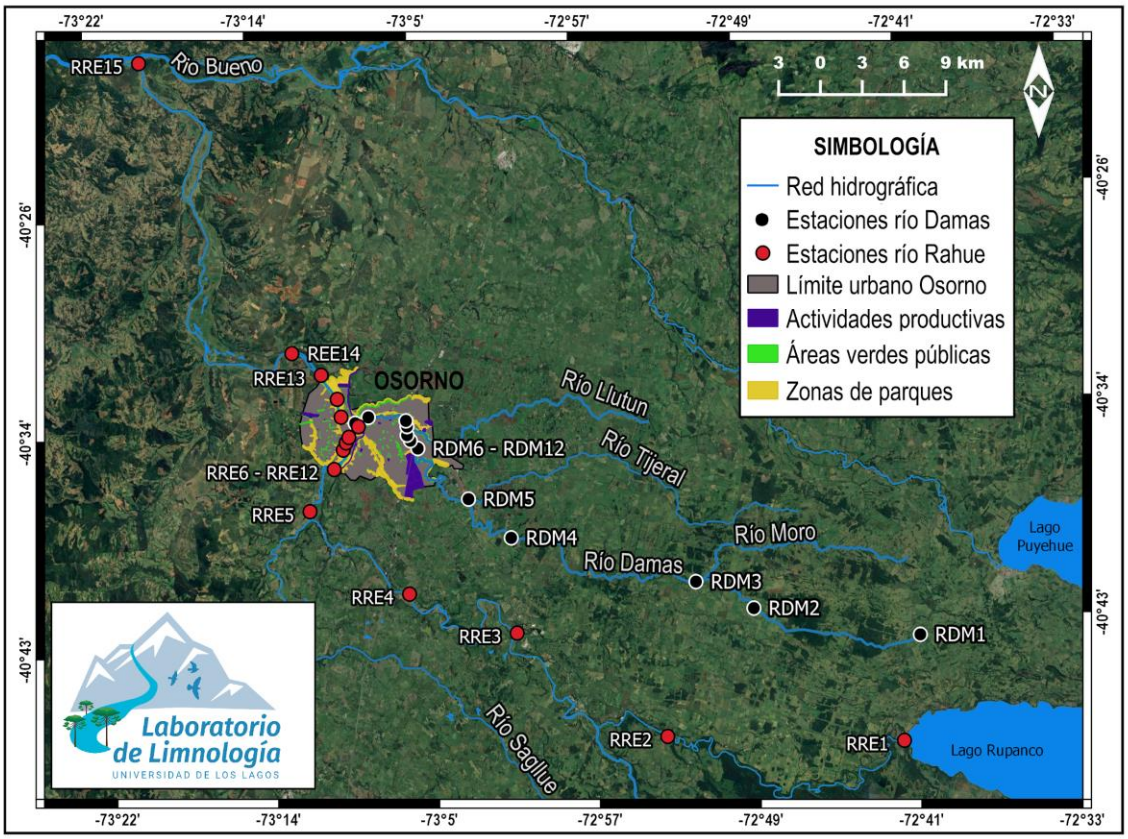

Figura 3: Estaciones de monitoreo ubicadas en los ríos Rahue y Damas, entre sus nacientes y desembocaduras. **RRE** corresponde a río Rahue y **RDM** corresponde a río Damas.

Tabla 1: Detalle de las estaciones de monitoreo del río Rahue (**RRE**), con información de ubicación, caudal (m^3/s) y breve descripción de amenaza o característica de cada estación de monitoreo.

Río Rahue				
Estación de monitoreo	Coordenadas UTM Huso 19 S WGS 84		Caudal (m^3/s)	Descripción
	Norte	Este		
RRE1	694742	5482276	75,1	Estación control en la naciente del río. Borde de río con alta biodiversidad y bosque de pantano tipo hualves.
RRE2	677812	5483708	81,01	Estación aguas abajo de Piscicultura. Sector con praderas y bosque.
RRE3	667527	5491650	84,9	Estación aguas abajo de confluencia con Estero Pichil, antecedentes de descargas desde empresa Mafrisur.
RRE4	660010	5494890	82,05	Sector de Praderas
RRE5	653279	5501125	113	Sector de confluencia con Río Negro (principal afluente del río Rahue).
RRE6	655213	5503941	108,97	Parque Arnoldo Keim. Zona que probablemente no tenga sistema de alcantarillado. Se realiza extracción de áridos. Es un lugar municipal, donde se encuentran los viveros para cultivar las plantas de ornamentación de la ciudad.
RRE7	655948	5505253	95,25	Ex parque municipal Aravena de Ovejería.
RRE8	656192	5505738	88,41	Estación aguas abajo del puente colgante ubicado en el sector de Ovejería. Descarga a través de tubo visible.
RRE9	656408	5506106	88,78	Estación aguas abajo de Feria ganadera de empresas Tattersall y Sociedad Ganadera de Osorno. Antecedentes de descarga al río de heces y residuos mediante zanjas y tubos. Además de heces de animales al alcantarillado.
RRE10	657142	5506808	92,82	Sector aguas abajo de confluencia con estero Ovejería.
RRE11	655950	5507554	105,86	Zona detectada como aliviadero de tormentas, normalmente cubierto con vegetación.

Río Rahue				
Estación de monitoreo	Coordenadas UTM Huso 19 S WGS 84		Caudal (m^3/s)	Descripción
RRE12	655757	5508817	101,79	En esta zona se ha registrado reiteradamente el vertido de basura en el borde del río.
RRE13	654725	5510569	104,09	Estación aguas debajo de descarga de las aguas tratadas por parte de ESSAL, (Pampa Alegre).
RRE14	652731	5512224	100	Sector con praderas y bosques de ribera.
RRE15	643134	5533172	101,86	Control de salida, sector de praderas.

Tabla 2: Detalle de las estaciones de monitoreo del río Damas (**RDM**), con información de ubicación, caudal (m^3/s) y breve descripción de amenaza o característica de cada estación de monitoreo.

Río Damas				
Estación de monitoreo	Coordenadas UTM Huso 19 S WGS 84		Caudal (m^3/s)	Descripción
	Norte	Este		
RDM1	696382	5489586	0,3	Control de Naciente. Sector de praderas y bosque
RDM2	684587	5492231	1,18	Sector de praderas y bosque
RDM3	680567	5494360	1,96	Sector de praderas y bosque
RDM4	667551	5498315	1,85	Sector de praderas
RDM5	664679	5501224	1,83	Aguas abajo de confluencia con río Tijeral. Zona de praderas, acopio de ripio y plantaciones de eucaliptus.
RDM6	661293	5504997	2,21	Aguas abajo de descarga Watt's, CALO, tubo de descarga visible.
RDM7	660798	5505579	2,07	Estación aguas abajo de empresa Skretting, aserradero y construcción de edificios
RDM8	660588	5505980	1,08	Estación aguas abajo de Casona Ulagos, Liceo Industrial
RDM9	660621	5506585	1,3	Aguas abajo de confluencia con esteros Lutun y Barro Blanco.
RDM10	660572	5506984	3,62	Estación aguas abajo de aliviadero de tormenta ESSAL-Los Notros, varias veces este punto ha aparecido en la prensa por eliminación de residuos domiciliarios al río
RDM11	657898	5507409	1,91	Denuncias de descarga de desechos de procesos de curtiembre
RDM12	656927	5507065	1,67	Control de salida: sector de desembocadura del río damas en el río Rahue.

Figura 4: Estaciones de monitores en el río Rahue. Los números corresponden a: 1: RRE1; 2: RRE2; 3: RRE3; 4: RRE4; 5: RRE5; 6: RRE6; 7: RRE7; 8: RRE8, en círculo se observa tubo de descarga directa al río. Fuente: Laboratorio de Limnología.

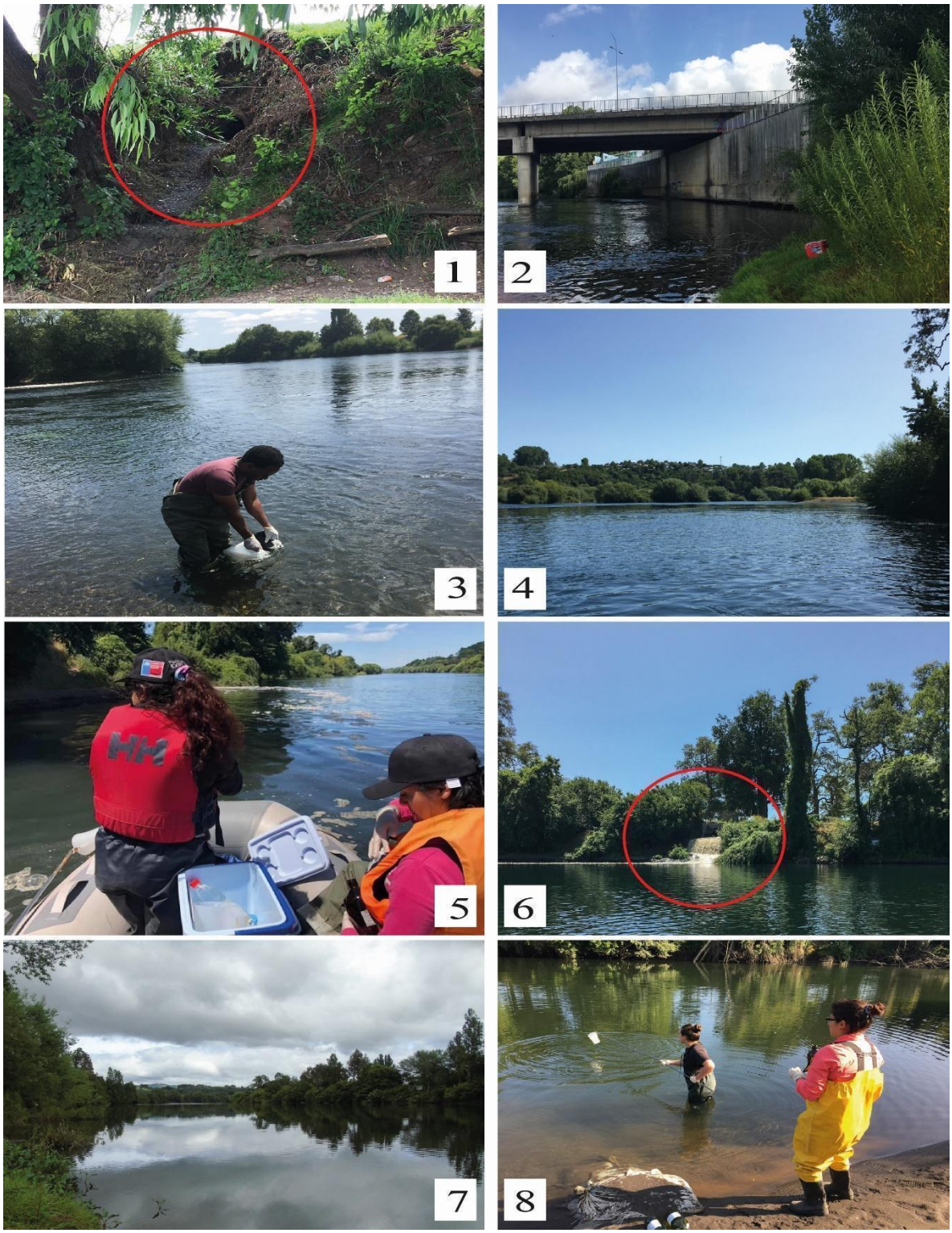

Figura 5: Estaciones de monitores en el río Rahue. Los números corresponden a: 1: RRE9, en circulo se observa tubo de descarga directa al río desde la feria ganadera.; 2: RRE10; 3: RRE11; 4: RRE12; 5 y 6: RRE13, tubo de descarga de la planta de tratamiento de aguas servidas empresa ESSAL; 7: RRE14; 8: RRE15. Fuente Laboratorio de Limnología.

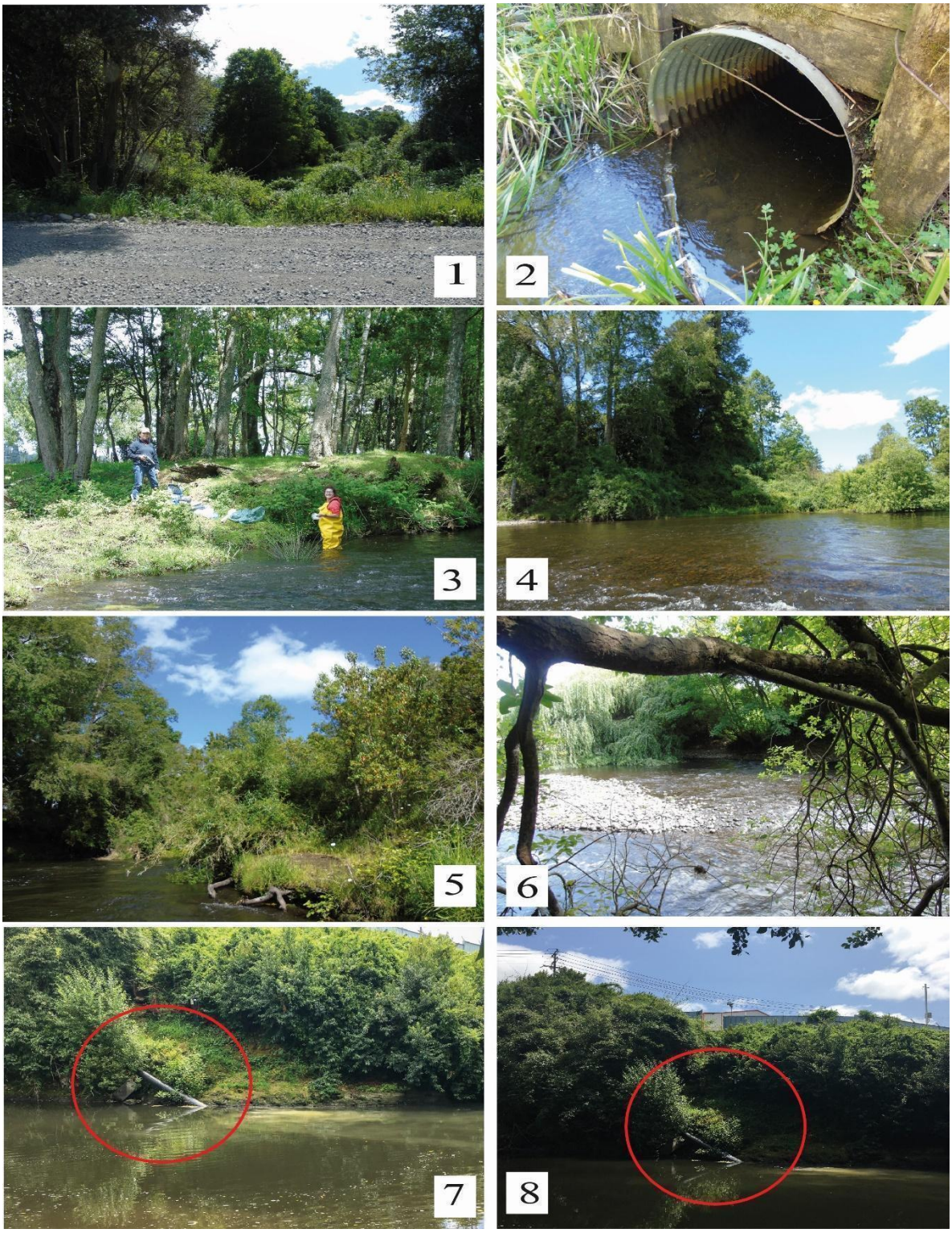

Figura 6: Estaciones de monitores en el río Damas. Los números corresponde a: 1 y 2: RDM1, en número 2 se observa encauzamiento del río Damas; 3: RDM2; 4: RDM3; 5: RDM4; 6: RDM5; 7 y 8: RDM6, en círculo rojo se observa la descarga directa al río Damas mediante un tubo de la empresa Watt´s (CALO). Fuente: Laboratorio de Limnología.

Figura 7: Estaciones de monitores en el río Damas. Los números corresponde a lo siguiente: 1: RDM7; 2: RDM8; 3: RDM9; 4: RDM10; 5: RDM11; 6: RDM12. Fuente: Laboratorio de Limnología.

2. PROGRAMA DE VIGILANCIA DE LA CALIDAD PRIMARIA DE LOS RÍOS RAHUE Y DAMAS

2. 1 ANTECEDENTES

Los ríos son catalogados como activos vitales para las sociedades humanas, ya que brindan una variedad de bienes y servicios imprescindibles para el buen desarrollo de la vida, tales como, agua potable, alimentos, energía y recreación. A pesar de estos beneficios, el ser humano tiende a intervenir estos ecosistemas para beneficio propio, modificando su curso natural y caudal para fomentar la producción de energía y agricultura, lo que perjudica en el largo plazo el funcionamiento natural de los sistemas fluviales (Baggio *et al.*, 2017). Además, los ríos son utilizados para eliminación de residuos industriales y domiciliarios, que aportan compuestos inorgánicos, orgánicos, pesticidas, metales, organismos patógenos, materia orgánica y nutrientes (Pavé y Marchese, 2005), degradando paulatinamente la calidad de agua (Pozo, 2015), situación que ocurre cuando la cantidad y calidad de los desechos introducidos en los ríos, supera su capacidad de recuperación (Pavé y Marchese, 2005).

La contaminación de los ríos afecta negativamente al ser humano, transformando en algunos casos a estos ecosistemas en focos de enfermedades zoonóticas, virales y parasitarias, las cuales aumentan su incidencia en aguas contaminadas con materia fecal (Gastezzi-Arias *et al.*, 2016). El contacto directo con aguas contaminadas también produce infecciones dermatológicas y oculares, tales como sarna, tracoma, úlceras cutáneas, etc. (Satterthwaite, 1993). En el caso de contaminación ocasionada por metales como el arsénico, los casos reportados en el norte de Chile evidencian los graves problemas que ocasionan una alta concentración de este elemento en el ambiente y en la salud de las personas, relacionados con cáncer de vejiga, pulmón, riñón, hígado y piel (González *et al.*, 2014).

Dentro de la Ley 19.300 se incluye el Decreto Supremo N.º 143/2008, el cual establece en todo el territorio chileno las Normas de Calidad Primaria (NPC) [2] para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo. Para salvaguardar la salud de la población que tiene contacto con aguas continentales superficiales, es necesario determinar su calidad y establecer Programas de Vigilancias que funcionen como mecanismos de control de la norma, y como instrumentos para evaluar el grado de cumplimiento de los límites establecidos según los parámetros normados.

Los ríos Damas y Rahue son los principales cauces que atraviesan el radio urbano de la ciudad de Osorno. Hasta el momento se desconoce la calidad primaria de las aguas de estos ríos, y por lo tanto, no se ha podido establecer su condición ambiental, como tampoco un Programa de vigilancia.

---

[2] Calidad Primaria: se refiere a la calidad ambiental de las aguas utilizadas por las personas para actividades de contacto directo con ellas.

La insuficiente protección ambiental en los ríos Rahue y Damas, el cambio en el uso de suelo y la creciente actividad industrial e inmobiliaria, ha gatillado que estos ríos sufran numerosas intervenciones, provocando una paulatina degradación ambiental con varios episodios de contaminación hídrica, reportadas en innumerables ocasiones por la Red Ambiental Ciudadana de Osorno. Frente a este escenario, este estudio proporcionará los antecedentes necesarios para que la autoridad sanitaria pueda establecer un programa de monitoreo sistemático, destinado a medir y controlar la calidad primaria de las aguas de los ríos Damas y Rahue, en determinados puntos geográficos y en un periodo de tiempo específico, para el control y seguimiento, con el fin de salvaguardar la salud de la población que realiza actividades de contacto directo con las aguas de estos ecosistemas fluviales.

Según el DS 143/2008, el monitoreo de calidad de agua para las normas primarias, deberá efectuarse conforme al programa de vigilancia aprobado mediante resolución por la autoridad sanitaria, de acuerdo a las directrices que emita el ministerio de salud. Por lo que, le corresponde a la autoridad sanitaria fiscalizar el cumplimiento de la norma, aplicando para ello las regulaciones y procedimientos establecidos en el código sanitario y demás regulaciones pertinentes. Una vez establecido un Programa de Vigilancia, será la autoridad sanitaria, en conjunto con el director regional de MMA quienes elaborarán un informe bianual del estado de la calidad primaria de las aguas de estos dos ríos.

2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Determinar la calidad primaria, según la normativa vigente (DS 143/2008) de las aguas de los ríos Damas y Rahue para el establecimiento de un programa de vigilancia en el ámbito de la gestión municipal.

2.3 MATERIAL Y MÉTODOS

Las campañas de terreno fueron organizadas entre noviembre del 2019 y la primera semana de enero del 2020. Los terrenos fueron ejecutados en enero del 2020 durante la época estival, donde la pluviosidad es menor. Durante las actividades de terreno y laboratorio participó un equipo de 12 personas.

2.3.1 ANÁLISIS QUÍMICOS DEL AGUA

El muestreo de agua se efectuó siguiendo la metodología, condiciones de preservación y manejo de muestras indicados en la Tabla 3 del DS N° 143/2008 en su artículo 5, donde se indican las directrices para verificar el cumplimiento de las normas primarias de calidad ambiental contenidas en el decreto.

Tabla 3: Metodologías de muestreo y condiciones de preservación de las muestras de agua para programa de vigilancia de su calidad primaria.

Identificación	Título de la norma
NCh411/1. Of 96 DS. N° 501 de 1996, del Ministerio de Obras Públicas.	Calidad del agua – muestreo – parte 1: Guía para el diseño de programas de muestreo
NCh411/2. Of 96 DS. N° 501 de 1996, del Ministerio de Obras Públicas.	Calidad del agua – muestreo – parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo
NCh411/6. Of 98 DS. N° 84 de 1998, del Ministerio de Obras Públicas	Calidad del agua – muestreo – parte 6: Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua.
Colección y preservación de las muestras	Descritas en el número 1060 del "Standard Methods" for examination of water and wastewater. 21th edition 2005. APHA-AWWA-WPCF.

En cada una de las 27 estaciones de monitoreo, determinadas en forma participativa (Figura 3, 4, 5, 6, 7; Tabla 1 y Tabla 2), se obtuvieron con ayuda de una pértiga, muestras de agua por duplicado o triplicado, para determinar las concentraciones y valores de los parámetros normados en el DS 143/2008. Los análisis de las muestras de agua fueron encomendados a laboratorios acreditados y especializados en análisis de aguas superficiales (Tabla 4). Adicionalmente se obtuvieron muestras de agua para determinar la presencia de Coliformes fecales según DS 143/2008, que fueron analizadas en el laboratorio Centro Análisis de Alimento (CEAL) de la Universidad de Los Lagos. Paralelamente se midió *in situ* el pH utilizando equipo multiparamétrico perteneciente al Laboratorio de Limnología de la Universidad de Los Lagos.

Tabla 4: Lista de parámetros fisicoquímicos, valores límites y metodologías para su análisis en conformidad con la norma DS 143/2008.

Parámetro	Unidad	Valor límites (rangos o máximos)	Metodología analítica	Referencia
Color	Escala Pt-Co	100	Fotométrico SQ 118	APHA 1996
pH	Unidad de pH	6,0 - 8,5 (1)	Equipo ThermoScientfic	4500-H +B Electronic method
Cianuro	mg/L	0,77	Fotométrico SQ 118	APHA 1996
Bifenilos policlorados (PCBs)	mg/L	0,0055	Cromatografía Gaseosa con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (GC-MS/MS)	EPA 3510C
Benzo(a)pireno	mg/L	0,0022	Cromatografía Gaseosa con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (GC-MS/MS)	EPA 3510C
Tetracloruro de carbono	mg/L	0,022	Liquid–liquid extraction gas chromatographic (GC)	St. Methods 6232 B
Ácido 2,4 diclorofenoxiacético (2,4 D)	mg/L	0,33	Cromatografía Gaseosa con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (GC-MS/MS) Cromatografía Líquida con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (HPLC-MS/MS)	Método basado en AOAC 19th edition 2012, 970.52, 985.22, Pesticides Analysed with HPLC Procedures, Analytical Methods for Pesticide Residues in Foodstuffs, Sixth edition, Ministry of Public Health, Welfare and Sport, The Netherlands
Aldrín* y Dieldrín *	mg/L	0,00033	Cromatografía Gaseosa con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (GC-MS/MS) Cromatografía Líquida con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (HPLC-MS/MS)	Método basado en AOAC 19th edition 2012, 970.52, 985.22, Pesticides Analysed with HPLC Procedures, Analytical Methods for Pesticide Residues in Foodstuffs, Sixth edition, Ministry of Public Health, Welfare and Sport, The Netherlands
Atrazina	mg/L	0,022	Cromatografía Gaseosa con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (GC-MS/MS) Cromatografía Líquida con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (HPLC-MS/MS)	Método basado en AOAC 19th edition 2012, 970.52, 985.22, Pesticides Analysed with HPLC Procedures, Analytical Methods for Pesticide Residues in Foodstuffs, Sixth edition, Ministry of Public Health, Welfare and Sport, The Netherlands

Parámetro	Unidad	Valor límites (rangos o máximos)	Metodología analítica	Referencia
Carbofurano	mg/L	0,055	Cromatografía Gaseosa con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (GC-MS/MS) Cromatografía Líquida con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (HPLC-MS/MS)	Método basado en AOAC 19th edition 2012, 970.52, 985.22, Pesticides Analysed with HPLC Procedures, Analytical Methods for Pesticide Residues in Foodstuffs, Sixth edition, Ministry of Public Health, Welfare and Sport, The Netherlands
Clordano*	mg/L	0,0022	Cromatografía Gaseosa con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (GC-MS/MS) Cromatografía Líquida con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (HPLC-MS/MS)	Método basado en AOAC 19th edition 2012, 970.52, 985.22, Pesticides Analysed with HPLC Procedures, Analytical Methods for Pesticide Residues in Foodstuffs, Sixth edition, Ministry of Public Health, Welfare and Sport, The Netherlands
Clorotalonil	mg/L	1,21	Cromatografía Gaseosa con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (GC-MS/MS) Cromatografía Líquida con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (HPLC-MS/MS)	Método basado en AOAC 19th edition 2012, 970.52, 985.22, Pesticides Analysed with HPLC Procedures, Analytical Methods for Pesticide Residues in Foodstuffs, Sixth edition, Ministry of Public Health, Welfare and Sport, The Netherlands
Cyanazina	mg/L	0,0066	Cromatografía Gaseosa con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (GC-MS/MS) Cromatografía Líquida con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (HPLC-MS/MS)	Método basado en AOAC 19th edition 2012, 970.52, 985.22, Pesticides Analysed with HPLC Procedures, Analytical Methods for Pesticide Residues in Foodstuffs, Sixth edition, Ministry of Public Health, Welfare and Sport, The Netherlands
Heptaclor*	mg/L	0,00033	Cromatografía Gaseosa con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (GC-MS/MS) Cromatografía Líquida con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (HPLC-MS/MS)	Método basado en AOAC 19th edition 2012, 970.52, 985.22, Pesticides Analysed with HPLC Procedures, Analytical Methods for Pesticide Residues in Foodstuffs, Sixth edition, Ministry of Public Health, Welfare and Sport, The Netherlands
Lindano*	mg/L	0,022	Cromatografía Gaseosa con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (GC-MS/MS) Cromatografía Líquida con	Método basado en AOAC 19th edition 2012, 970.52, 985.22, Pesticides Analysed with HPLC Procedures, Analytical Methods for Pesticide

Parámetro	Unidad	Valor límites (rangos o máximos)	Metodología analítica	Referencia
			Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (HPLC-MS/MS)	Residues in Foodstuffs, Sixth edition, Ministry of Public Health, Welfare and Sport, The Netherlands
Simazina	mg/L	0,022	Cromatografía Gaseosa con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (GC-MS/MS) Cromatografía Líquida con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (HPLC-MS/MS)	Método basado en AOAC 19th edition 2012, 970.52, 985.22, Pesticides Analysed with HPLC Procedures, Analytical Methods for Pesticide Residues in Foodstuffs, Sixth edition, Ministry of Public Health, Welfare and Sport, The Netherlands
Trifluralina	mg/L	0,22	Cromatografía Gaseosa con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (GC-MS/MS) Cromatografía Líquida con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (HPLC-MS/MS)	Método basado en AOAC 19th edition 2012, 970.52, 985.22, Pesticides Analysed with HPLC Procedures, Analytical Methods for Pesticide Residues in Foodstuffs, Sixth edition, Ministry of Public Health, Welfare and Sport, The Netherlands
Arsénico	mg/L	0,11	Espectrómetro de Masas con Plasma Inductivo Acoplado (ICP-MS)	EPA 6020
Cadmio	mg/L	0,033	Espectrómetro de Masas con Plasma Inductivo Acoplado (ICP-MS)	EPA 6020
Cromo total	mg/L	0,55	Espectrómetro de Masas con Plasma Inductivo Acoplado (ICP-MS)	EPA 6020
Mercurio	mg/L	0,011	Espectrómetro de Masas con Plasma Inductivo Acoplado (ICP-MS)	EPA 6020
Plomo	mg/L	0,11	Espectrómetro de Masas con Plasma Inductivo Acoplado (ICP-MS)	EPA 6020
Coliformes fecales (NMP)	NMP/100 ml	1000	PRT-712.03-005, I.S.P. 2010	Ensayos acreditados de acuerdo a Certificado LE 1147, INN Chile

(1): El pH está expresa en términos de valor mínimo y máximo

(*): Plaguicidas prohibidos por el SAG

2.4 RESULTADOS

Las concentraciones o valores de cada uno de los parámetros normados en el DS 143/2008 corresponden a dos o tres replicas de cada analito, obtenidas desde la misma estación, sólo en el caso de los PCBs y Benzo(a) pireno se analizó solo una muestra. Los resultados que no indican desviación estándar corresponden a aquellos en que las dos o tres muestras indicaban lo mismo.

2.4.1 RÍO RAHUE

2.4.1.1 Metales Disueltos

Las concentraciones de metales esenciales y no esenciales (mg/L) presentes en la columna de agua del río Rahue registraron bajas concentraciones (Tabla 5). Ninguno de estos metales sobrepasó los límites máximos establecidos en DS 143/2008, cumpliendo con la normativa en todas las estaciones muestreadas.

2.4.1.2 Indicadores Orgánicos

Las concentraciones de los indicadores orgánicos Tetracloruro de Carbono, Benzo (a) pireno (HAPs) y Bifenilos policlorados PCBs, presentaron concentraciones menores a los límites máximos establecidos por la normativa DS 143/2008. Por lo tanto, estos resultados indican que la columna de agua del río Rahue se encuentra libre de estos elementos (Tabla 6).

Tabla 5: Concentraciones de los metales Cromo (metal esencial disuelto), Mercurio, Arsénico, Cadmio y Plomo (metales no esenciales disueltos) y Cianuro (indicador inorgánico), en la columna de agua del río Rahue.

METALES DISUELTOS						
Parámetro	**Cromo**	**Cianuro**	**Mercurio**	**Arsénico**	**Cadmio**	**Plomo**
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
DS 143 Límite máximo permitido						
	0,55	0,77	0,011	0,11	0,033	0,11
RRE1	$<2x\ 10^{-5}$	0,001 ± 0,000	<0,0001	$0,0005 \pm 2,8\ x10^{-5}$	$3\ x10^{-6} \pm 3\ x10^{-6}$	$<4\ x10^{-6} \pm 0$
RRE2	$<2x\ 10^{-5}$	0,003 ± 0,0006	<0,0001	$0,0005 \pm 1,4\ x10^{-5}$	$2\ x10^{-6} \pm 1\ x10^{-6}$	$<4\ x10^{-6} \pm 0$
RRE3	$<2x\ 10^{-5}$	0,002 ± 0,0006	<0,0001	$0,0005 \pm 1,3\ x10^{-5}$	2 x10-6 ± $1\ x10^{-6}$	$<4\ x10^{-6} \pm 0$
RRE4	$<2x\ 10^{-5}$	<0,002 ± 0,000	<0,0001	$0,0005 \pm 1,7\ x10^{-5}$	$2\ x10^{-6} \pm 1\ x10^{-6}$	$<4\ x10^{-6} \pm 0$
RRE5	$<2x\ 10^{-5}$	0,002 ± 0,000	<0,0001	$0,0004 \pm 8\ x10^{-6}$	$<1\ x10^{-6} \pm 0$	$3\ x10^{-4} \pm 2\ x10^{-4}$
RRE6	$<2x\ 10^{-5}$	0,002 ± 0,000	<0,0001	$0,0004 \pm 5\ x10^{-6}$	$<1\ x10^{-6} \pm 0$	$<2\ x10^{-6} \pm 0$
RRE7	$<2x\ 10^{-5}$	0,002 ± 0,001	<0,0001	0,0008 ± 6 x10-^{6}	$<1\ x10^{-6} \pm 0$	$<2\ x10^{-6} \pm 0$
RRE8	$<2x\ 10^{-5}$	0,002 ± 0,001	<0,0001	$0,0008 \pm 5,6\ x10^{-5}$	$<1\ x10^{-6} \pm 0$	$2\ x10^{-4} \pm 2\ x10^{-4}$
RRE9	$<2x\ 10^{-5}$	0,001 ± 0,0006	<0,0001	$0,0008 \pm 1,6\ x10^{-5}$	$<1\ x10^{-6} \pm 0$	<2 x10-6 ± 0
RRE10	$<2x\ 10^{-5}$	0,001 ± 0,000	<0,0001	$0,0009 \pm 2,9\ x10^{-5}$	$<1\ x10^{-6} \pm 0$	$2,8\ x10^{-5} \pm 3,6\ x10^{-5}$
RRE11	$<2x\ 10^{-5}$	0,002 ± 0,000	<0,0001	$0,0004 \pm 1,2\ x10^{-5}$	$<1\ x10^{-6} \pm 0$	$<4\ x10^{-6} \pm 0$
RRE12	$<2x\ 10^{-5}$	0,001 ± 0,000	<0,0001	$0,0004 \pm 8,8\ x10^{-5}$	$4\ x10^{-6} \pm 3x10^{-6}$	$<3\ x10^{-6} \pm 0$
RRE13	$<2x\ 10^{-5}$	0,002 ± 0,000	<0,0001	$0,0003 \pm 2,8\ x10^{-5}$	$3,6\ x10^{-5} \pm 4,8\ x10^{-5}$	$7,6\ x10^{-5} \pm 1\ x10^{-4}$
RRE14	$<2x\ 10^{-5}$	0,002 ± 0,0006	<0,0001	$0,0005 \pm 1,1\ x10^{-5}$	$7\ x10^{-6} \pm 4\ x10^{-6}$	$<4\ x10^{-6} \pm 0$
RRE15	$<2x\ 10^{-5}$	0,005 ± 0,000	<0,0001	$0,0005 \pm 1,2\ x10^{-5}$	$2\ x10^{-6} \pm 1\ x10^{-6}$	$<4\ x10^{-6} \pm 0$

Tabla 6: Concentraciones de Tetracloruro de Carbono, Benzo (a) pirenos (HAPs), y bifenilos policlorados PCBs, en las estaciones del río Rahue.

INDICADORES ORGÁNICOS			
Estación/Parámetro	**Tetracloruro de carbono**	**Benzo (a) pireno (HAP)**	**Bifenilos Policlorados PCBs**
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L
DS 143 Límite máximo permitido			
	0,022	0,0022	0,0055
RRE1	<0,002	<0,00001	<0,00001
RRE2	<0,002	<0,00001	<0,00001
RRE3	<0,002	<0,00001	<0,00001
RRE4	<0,002	<0,00001	<0,00001
RRE5	<0,002	<0,00001	<0,00001
RRE6	<0,002	<0,00001	<0,00001
RRE7	<0,002	<0,00001	<0,00001
RRE8	<0,002	<0,00001	<0,00001
RRE9	<0,002	<0,00001	<0,00001
RRE10	<0,002	<0,00001	<0,00001
RRE11	<0,002	<0,00001	<0,00001
RRE12	<0,002	<0,00001	<0,00001
RRE13	<0,002	<0,00001	<0,00001
RRE14	<0,002	<0,00001	<0,00001
RRE15	<0,002	<0,00001	<0,00001

2.4.1.3 Plaguicidas

Los indicadores más relevantes dentro de la normativa DS 143/2008 corresponden a los compuestos orgánicos plaguicidas, varios de estos contaminantes son considerados tóxicos para el ser humano. Los resultados indican que en el río Rahue ninguno de los plaguicidas, 2,4 D, Atrazina, Carbofurano, Clorotalonilo, Cyanacina, Simazina, Trifluralina, Lindano (prohibido), Heptacloro (prohibido), Dieldrín (prohibido), Alfa-Clordano (prohibido), Gamma-Clordano (prohibido), Aldrín (prohibido) presentaron concentraciones mayores a las establecidas en la normativa (Tabla 7).

2.4.1.5 Indicadores fisicoquímicos y microbiológicos

Los indicadores fisicoquímicos pH y Color (Pt-Co) no sobrepasaron los valores establecidos en la normativa DS 143/2008. Sin embargo, los indicadores microbiológicos (Coliformes fecales), registraron concentraciones que sobrepasan el límite permitido en las estaciones **RRE3** (sector de confluencia con el estero Pichil, antecedentes de descargas desde empresa Mafrisur), **RRE9** (sector donde se realiza la feria ganadera de empresas Tattersall y Sociedad Ganadera de Osorno) y **RRE10** (sector de confluencia con estero Ovejería) (Tabla 8).
.

Tabla 7: Concentraciones de indicadores orgánicos plaguicidas, 2,4-D; Atrazina; Carbofurano; Clorotalonilo; Cyanacina; Simazina; Trifluralina; Lindano; Heptacloro; Dieldrin; Alfa-clordano; Gamma-clordano y Aldrin en el río Rahue.

INDICADORES ORGÁNICOS PLAGUICIDAS													
Estación/ Parámetro	**2,4 - D**	**Atrazina**	**Carbofurano**	**Clorotalonilo**	**Cyanazina**	**Simazina**	**Trifluralina**	**Lindano**	**Heptacloro**	**Dieldrin**	**Alfa-clordano**	**Gamma-Clordano**	**Aldrin**
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
DS 143 Límite máximo permitido													
	0,33	0,022	0,055	1,21	0,0066	0,022	0,22	0,022	0,00033	0,00033	0,0022	0,0022	0,00033
RRE1	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RRE2	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RRE3	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RRE4	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RRE5	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RRE6	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RRE7	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RRE8	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RRE9	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RRE10	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RRE11	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RRE12	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RRE13	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RRE14	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RRE15	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003

Tabla 8: Indicadores fisicoquímicos (pH y Color) y microbiológicos (Coliformes fecales) en las estaciones del río Rahue.

Parámetro	pH	Color	Coliformes fecales
DS 143 Límite máximo permitido			
	6,0 - 8,5	100	1000
Unidad		Pt-Co	NMP/100 ml
RRE1	7,17 ± 0,07	1,33 ± 0,58	1,80 ± 0,00
RRE2	7,35 ± 0,03	5,33 ± 0,58	1,80 ± 0,00
RRE3	7,68 ± 0,08	3,67 ± 0,58	1648 ± 1742
RRE4	7,60 ± 0,10	3 ± 0	5,60 ± 4,80
RRE5	6,82 ± 0,05	26,33 ± 1,53	79,00 ± 53,67
RRE6	7,54 ± 0,08	8,67 ± 0,58	29,00 ± 5,29
RRE7	7,66 ± 0,08	7 ± 0	5,93 ± 6,99
RRE8	7,47 ± 0,09	7,66 ± 0,58	36,50 ± 10,48
RRE9	7,42 ± 0,07	6 ± 0	1813 ± 1523
RRE10	7,75 ± 0,13	15 ± 1,73	1880 ± 1343
RRE11	7,42 ± 0,07	4,67 ±0,58	5,60 ± 1,91
RRE12	7,18 ± 0,12	4 ± 0	719,00 ± 806,54
RRE13	7,09 ± 0,05	14 ± 1	199,67 ± 137,91
RRE14	7,59 ± 0,07	3 ± 0	93,60 ± 127,41
RRE15	7,76 ± 0,05	14 ± 2,65	15,67 ± 6,43

2.4.2 RÍO DAMAS

2.4.2.1 Metales Disueltos

Las concentraciones de metales esenciales y no esenciales presentes en la columna de agua del río Damas registraron bajas concentraciones. Todos los metales evaluados no sobrepasaron los límites establecidos en DS 143/2008, cumpliendo de esta forma con la normativa en todas las estaciones muestreadas (Tabla 9).

Tabla 9: Concentraciones de los metales Cromo (metal esencial disuelto), Mercurio, Arsénico, Cadmio y Plomo (metales no esenciales disueltos) y Cianuro (indicador inorgánico), en la columna de agua del río Damas.

INDICADORES METALES NO ESENCIALES DISUELTOS						
Parámetro	**Cromo**	**Cianuro**	**Mercurio**	**Arsénico**	**Cadmio**	**Plomo**
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
DS 143 Límite máximo permitido						
	0,55	0,77	0,011	0,11	0,033	0,11
RDM1	$<2x\ 10^{-5}$	0,003 ± 0,000	<0,00001	$7,3\ x10^{-5} \pm 4\ x10^{-6}$	$2\ x10^{-6} \pm 0,0$	$<4\ x10^{-6} \pm 0,0$
RDM2	$<2x\ 10^{-5}$	0,001 ± 0,001	<0,00001	$0,0005 \pm 1,6\ x10^{-5}$	$<1\ x10^{-5} \pm 0,0$	$1,2x10^{-4} \pm 3,3\ x10^{-5}$
RDM3	$<2x\ 10^{-5}$	0,002 ± 0,001	<0,00001	$0,0005 \pm 3,5\ x10^{-5}$	$<1\ x10^{-5} \pm 0,0$	$<2\ x10^{-6} \pm 0,0$
RDM4	$<2x\ 10^{-5}$	0,002 ± 0,001	<0,00001	$0,0008 \pm 3,1\ x10^{-5}$	$3\ x10^{-6} \pm 2\ x10^{-6}$	$<4\ x10^{-6} \pm 0,0$
RDM5	$<2x\ 10^{-5}$	0,001 ± 0,000	<0,00001	$0,0005 \pm 2\ x10^{-6}$	$<1\ x10^{-5} \pm 0,0$	$<2\ x10^{-6} \pm 0,0$
RDM6	$<2x\ 10^{-5}$	0,002 ± 0,000	<0,00001	0,0007 ± 0,0003	$3\ x10^{-6} \pm 2\ x10^{-6}$	$<4\ x10^{-6} \pm 0,0$
RDM7	$<2x\ 10^{-5}$	0,005 ± 0,000	<0,00001	$0,0009 \pm 2\ x10^{-6}$	$7\ x10^{-6} \pm 2\ x10^{-6}$	$8,7\ x10^{-5} \pm 3,7\ x10^{-5}$
RDM8	$<2x\ 10^{-5}$	0,002 ± 0,001	<0,00001	$0,0008 \pm 6,2\ x10^{-5}$	$2\ x10^{-6} \pm 1\ x10^{-6}$	$9,1\ x10^{-5} \pm 1,1\ x10^{-3}$
RDM9	$<2x\ 10^{-5}$	0,005 ± 0,000	<0,00001	0,0007 ± 0,004	$1,1\ x10^{-5} \pm 7\ x10^{-6}$	$9,4\ x10^{-5} \pm 1,2\ x10^{-3}$
RDM10	$<2x\ 10^{-5}$	0,002 ± 0,001	<0,00001	$0,0005 \pm 2,8\ x10^{-5}$	$<1\ x10^{-5} \pm 0,0$	$<2\ x10^{-6} \pm 0,0$
RDM11	$<2x\ 10^{-5}$	0,001 ± 0,000	<0,00001	$0,0005 \pm 2,3\ x10^{-5}$	$<1\ x10^{-5} \pm 0,0$	$<2\ x10^{-6} \pm 0,0$
RDM12	$<2x\ 10^{-5}$	0,001 ± 0,000	<0,00001	$0,001 \pm 5\ x10^{-6}$	$<1\ x10^{-5} \pm 0,0$	$<2\ x10^{-6} \pm 0,0$

2.4.2.2 Indicadores orgánicos

Las concentraciones de los indicadores orgánicos, Tetracloruro de Carbono, Benzo (a) pireno (HAPs) y bifenilos policlorados PCBs, fueron menores a los límites máximos establecidos por la normativa DS 143/2008. Estos resultados indican que la columna de agua del río Damas se encuentra libre de estos elementos (Tabla 10).

Tabla 10: Concentraciones de Tetracloruro de Carbono, Benzo (a) pirenos (HAPs), y bifenilos policlorados PCBs como indicadores orgánicos incluidos en la DS 143/2008 para las estaciones ubicadas en el río Damas.

INDICADORES ORGÁNICOS			
Parámetro	**Tetracloruro de carbono**	**Benzo (a) pireno (HAP)**	**Bifenilos Policlorados PCBs**
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L
DS 143 Límite máximo permitido			
	0,022	0,0022	0,0055
Estación			
RDM1	<0,002	<0,00001	<0,00001
RDM2	<0,002	<0,00001	<0,00001
RDM3	<0,002	<0,00001	<0,00001
RDM4	<0,002	<0,00001	<0,00001
RDM5	<0,002	<0,00001	<0,00001
RDM6	<0,002	<0,00001	<0,00001
RDM7	<0,002	<0,00001	<0,00001
RDM8	<0,002	<0,00001	<0,00001
RDM9	<0,002	<0,00001	<0,00001
RDM10	<0,002	<0,00001	<0,00001
RDM11	<0,002	<0,00001	<0,00001
RDM12	<0,002	<0,00001	<0,00001

2.4.2.3 Plaguicidas

Los indicadores más relevantes dentro de la normativa DS 143/2008 corresponden a los compuestos plaguicidas, ya que varios de estos compuestos se encuentran prohibidos y son considerados tóxicos para los seres humanos. Los resultados indican que en el río Damas ninguno de los plaguicidas analizados: 2,4 D, Atrazina, Carbofurano, Clorotalonilo, Cyanacina, Simazina, Trifluralina, Lindano (prohibido), Heptacloro (prohibido), Dieldrín (prohibido), Alfa-Clordano (prohibido), Gamma-Clordano (prohibido), Aldrín (prohibido) sobrepasaron los límites máximos establecidos en la normativa (Tabla 11).

2.4.2.4 Indicadores fisicoquímicos y microbiológicos

Los valores de pH y Color (Pt-Co) se encuentran dentro de los límites máximos indicados en el DS 143/2008 en 11 estaciones de monitoreo del río Damas. Sin embargo, en la estación **RDM6** el pH resultó más ácido que lo indicado en la normativa (Tabla 12). Así mismo, los indicadores microbiológicos (Coliformes fecales), registraron concentraciones que sobrepasan el límite permitido en el 50% de las estaciones muestreadas. En este caso, las estaciones ubicadas fuera del radio urbano de la ciudad de Osorno presentaron concentraciones menores al límite permitido por el DS 143/2008, sin embargo, las estaciones urbanas entre la zona de descarga de la empresa Watt´s **RDM6** y la confluencia con el río Rahue (**RDM12**), presentaron concentraciones que superan los límites permitidos. También se aprecia que la concentración de Coliformes fecales aumentó dramáticamente en el río Damas entre la estación **RDM9** ((aguas abajo de confluencia con esteros Lutun y Barro Blanco) y su desembocadura, registrándose el valor más alto en la estación **RDM10** (Tabla 12). En el sector donde se ubica esta última estación, se detectó la presencia de un aliviadero de tormentas que se corresponde con la población Los Notros.

Tabla 11: Concentraciones de indicadores orgánicos plaguicidas, 2,4-D, Atrazina, Carbofurano, Clorotalonilo, Cyanacina, Simazina, Trifluralina, Lindano, Heptacloro, Dieldrin, Alfa-clordano, Gamma-clordano y Aldrin incluidos en la DS 143/2008 para las estaciones ubicadas en el río Damas.

INDICADORES ORGÁNICOS PLAGUICIDAS													
Parámetro	**2,4 - D**	**Atrazina**	**Carbofurano**	**Clorotalonilo**	**Cyanazina**	**Simazina**	**Trifluralina**	**Lindano**	**Heptacloro**	**Dieldrin**	**Alfa-clordano**	**Gamma-Clordano**	**Aldrin**
Unidad	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
DS 143 Límite máximo permitido													
	0,33	0,022	0,055	1,21	0,0066	0,022	0,22	0,022	0,00033	0,00033	0,0022	0,0022	0,00033
Estación													
RDM1	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RDM2	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RDM3	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RDM4	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RDM5	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RDM6	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RDM7	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RDM8	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RDM9	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RDM10	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RDM11	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003
RDM12	<0,1	<0,01	<0,01	<0,1	<0,006	<0,01	<0,1	<0,01	<0,0003	<0,0003	<0,002	<0,002	<0,0003

Tabla 12: Indicadores fisicoquímicos (pH y Color) y microbiológicos (Coliformes fecales) en las estaciones ubicadas en el río Damas.

INDICADORES FISICOQUÍMICOS y MICROBIOLÓGICOS			
Parámetro	**pH**	**Color**	**Coliformes fecales**
Unidad		Pt-Co	NMP/100 ml
DS 143 Límite máximo permitido			
	6,0 - 8,5	100	1000
Estación			
RDM1	7,09 ± 0,04	25 ± 3,46	1,93 ± 0,12
RDM2	7,56 ± 0,05	15,33 ± 0,58	16,67 ± 5,51
RDM3	7,94 ± 0,09	14 ± 0	22,33 ± 9,02
RDM4	6,78 ± 0,11	25,67 ± 4,93	45,33 ± 21,36
RDM5	7,49 ± 0,02	21 ± 1	50,33 ± 28,02
RDM6	5,36 ± 0,61	29,67 ± 13,20	8116,67 ± 8380,98
RDM7	7,56 ± 0,02	17 ± 1	1180,00 ± 815,60
RDM8	6,48 ± 0,04	18,67 ± 0,58	2866,67 ± 1096,97
RDM9	6,69 ± 0,04	17,33 ± 3,06	19333,33 ± 4041,45
RDM10	6,83 ± 0,05	21,33 ± 1,15	81000,00 ± 48445,85
RDM11	7,07 ± 0,05	18 ± 1	60333,33 ± 29022,98
RDM12	7,46 ± 0,17	17 ± 1,73	31333,33 ± 20033,31

2.5 CONCLUSIONES CALIDAD PRIMARIA DE LOS RÍOS RAHUE Y DAMAS

2.5.1 RÍO RAHUE

Los resultados de indicadores fisicoquímicos, inorgánicos, orgánicos y microbiológicos, medidos en el río Rahue e incluidos en el DS143/2008, mostraron que sólo las concentraciones de **Coliformes fecales (NMP/100 ml), sobrepasaron los valores establecidos por la norma en tres estaciones.** Estas corresponden a las estaciones **RRE3** (aguas abajo confluencia con el estero Pichil, antecedentes de descargas desde empresa Mafrisur), **RRE9** (sector donde se realiza la feria ganadera de empresas Tattersall y Sociedad Ganadera de Osorno) y **RRE10** (sector de confluencia con estero Ovejería) (Figura 3, 4 y 5). De acuerdo con estos resultados, puede concluirse que las estaciones mencionadas se encuentran en situación de emergencia ambiental (Figura 8).

Por el contrario, los indicadores fisicoquímicos (temperatura (°C), pH, Color (Pt-Co)), los metales disueltos, los indicadores orgánicos Tetracloruro de Carbono (mg/L), Benzo (a) pirenos (HAPs) (mg/L), PCBs (mg/L) y los indicadores orgánicos plaguicidas (mg/L), **no sobrepasaron los límites establecidos en la normativa.**

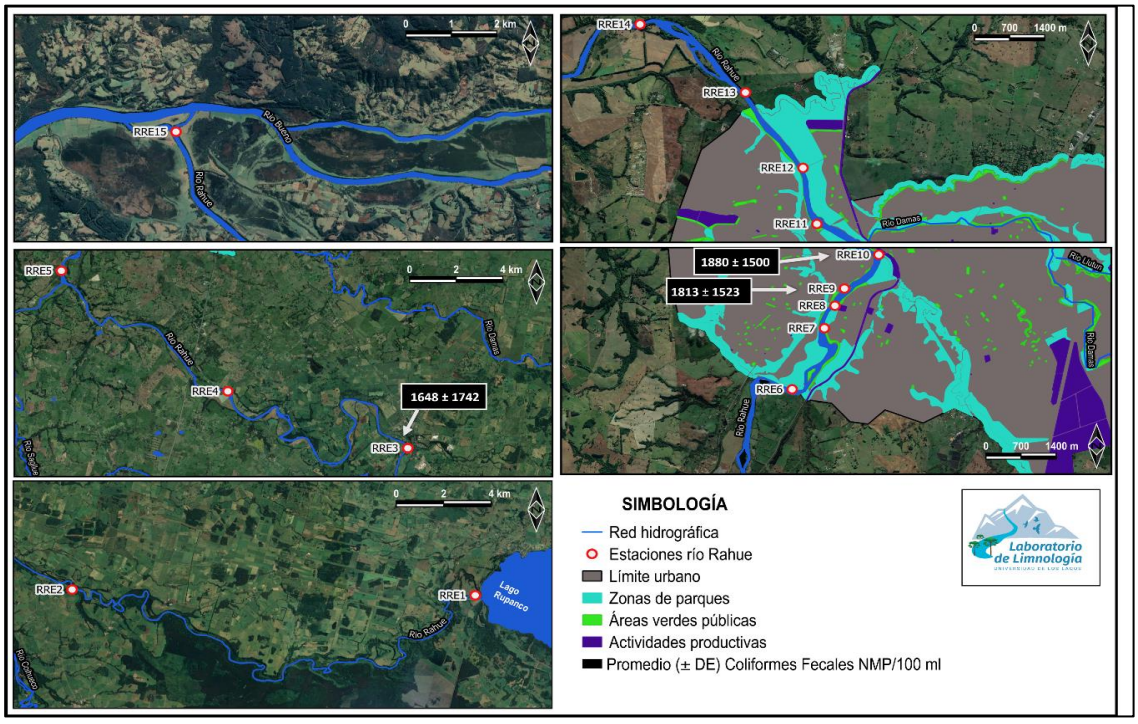

Figura 8: Ubicación de las estaciones en el río Rahue en situación de emergencia ambiental, y las concentraciones de indicadores microbiológicos, Coliformes fecales, expresados en NMP/100 ml, que sobrepasaron los umbrales estipulados en norma primaria.

2.5.2 RÍO DAMAS

Los resultados de los indicadores fisicoquímicos analizados en el río Damas, mostraron que solo el **pH presentó un valor alterado (ácido)** en la estación **RDM6** y que además, las concentraciones de **Coliformes fecales (NMP/100ml)**, **sobrepasaron los valores establecidos en el DS 143/2008** en las estaciones ubicadas en el núcleo urbano identificadas como **RDM6** (aguas abajo descarga empresa Watt's)**, RDM7** (aguas abajo empresa Skretting, aserradero y construcción edificios), **RDM8** (aguas abajo de Casona Ulagos, Liceo Industrial)**, RDM9** (aguas abajo de confluencia con esteros Lutun y Barro Blanco), **RDM10** (aguas abajo de aliviadero de tormenta ESSAL-Los Notros)**, RDM11** (denuncia de descarga de desechos de procesos de curtiembre) **y RDM12** (sector de desembocadura del río damas en el río Rahue) (Figura 6 y 7). De acuerdo con estos resultados, puede concluirse que las estaciones mencionadas se encuentran en situación de emergencia ambiental (Figura 9).

Por el contrario, el color, la temperatura, los metales disueltos, los indicadores orgánicos Tetracloruro de Carbono (mg/L), Benzo (a) pirenos (HAPs) (mg/L), PCBs (mg/L) y los indicadores orgánicos plaguicidas, **no sobrepasaron los límites establecidos en la normativa.**

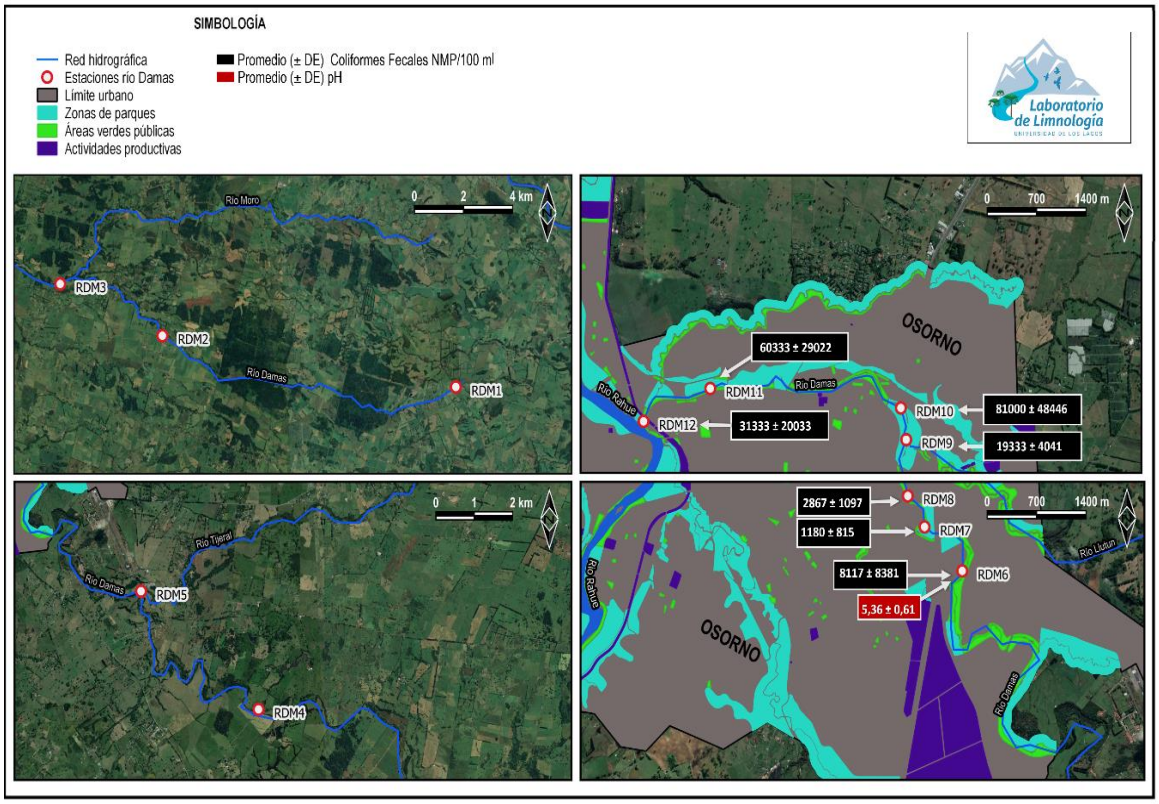

Figura 9: Ubicación de las estaciones en el río Damas en situación de emergencia ambiental, y las concentraciones de indicadores microbiológicos, Coliformes fecales, expresados en NMP/100 ml y valor de pH, que sobrepasaron los umbrales estipulados en norma primaria.

2.6 PROPUESTA ESTACIONES DE MONITOREO Y PARÁMETROS PROGRAMA DE VIGILANCIA

2.6.1 RÍO RAHUE

De acuerdo con los resultados y conclusiones obtenidos en este estudio ambiental, podemos señalar que el indicador microbiológico, **Coliformes Fecales,** sobrepasó la concentración máxima permitida (>1000 NMP/100 ml) en una estación del sector rural, **RRE3** (aguas abajo confluencia con estero Pichil, descarga de riles de empresa Mafrisur) y en dos estaciones localizadas al interior del radio urbano de la ciudad de Osorno, específicamente las estaciones **RRE9** (aguas debajo sector feria ganadera de empresas Tattersall y Sociedad Ganadera de Osorno) y **RRE10** (aguas debajo de confluencia con estero Ovejería), por lo cual estas estaciones se encuentran en situación de emergencia ambiental (Figura 10).

Tomando en cuenta que los terrenos que colindan con las estaciones **RRE6** (Parque Arnoldo Keim) **y RRE7** (Ex parque municipal Aravena de Ovejería) son municipales (Figura 3 y 4, Tabla 1) y que la municipalidad ha indicado que quisiera implementar el uso de sus parques, sugerimos también la incorporación de estas estaciones en el Programa de Vigilancia del Río Rahue

Considerando lo anterior, sugerimos a la autoridad sanitaria incorporar las estaciones **RRE3, RRE6, RRE7, RRE9 y RRE10** en el Programa de Vigilancia para el río Rahue (Tabla 13, Figura 10). Según el DS 143/2008, el monitoreo para las normas primarias, deberá efectuarse conforme al programa de vigilancia aprobado mediante resolución por la autoridad sanitaria, de acuerdo a las directrices que emita el ministerio de salud.

Las estaciones en situación de emergencia ambiental según artículo N°6 del DS 143/2008 deberán ser monitoreadas mensualmente hasta que mejoren sus concentraciones y dejen de poner en riesgo inminente la salud de las personas que realicen actividades de contacto directo en el río Rahue. En el caso que el río incluya la actividad de bañistas, la frecuencia de monitoreo en época de baño debiera aumentar a una vez por semana en estas estaciones. Sin embargo, advertimos que este estudio indica sólo la calidad de las aguas, por lo que, si estas áreas se implementaran como balnearios, es necesario realizar estudios complementarios, por ejemplo, de correntometrías (elaborado por la armada), y capacidad de carga de bañistas.

Los ríos son ambientes cambiantes y su contaminación por agentes contaminantes, debido a actividades productivas pueden aumentar rápidamente, por lo que la situación de no emergencia, de los parámetros incluidos en este estudio puede cambiar rápidamente, por lo que se sugiere realizar un monitoreo cada dos años de todos los parámetros establecidos en la normativa DS143/2008, durante época estival.

Tabla 13: Estaciones de monitoreo obligatorias y sugeridas, para ser incorporadas en el Programa de Vigilancia de la calidad primaria de las aguas del río Rahue.

DS 143/2008: Establece Normas de Calidad Primaria para las aguas continentales superficiales aptas para actividades de recreación con contacto directo.					
Estaciones en situación de emergencia ambiental según resultados Diagnóstico Ambiental					
Estaciones	Georreferencia		Descripción	Parámetros normativa	Periodicidad de muestreo
	Norte	Este			
RRE3	667527	5491650	>1000 NMP/100 ml Aguas abajo sector de confluencia con Estero Pichil, descarga de riles desde empresa Mafrisur	Coliformes fecales	Una vez al mes y si fuera utilizarse como área de bañistas 1 vez a la semana
RRE9	656408	5506106	>1000 NMP/100 ml Aguas abajo de lugar donde se realiza la feria ganadera de empresas Tattersall y Sociedad Ganadera de Osorno	Coliformes fecales	Una vez al mes y si fuera utilizarse como área de bañistas 1 vez a la semana
RRE10	657142	5506808	>1000 NMP/100 ml Aguas abajo de sector de confluencia con estero Ovejería	Coliformes fecales	Una vez al mes y si fuera utilizarse como área de bañistas 1 vez a la semana
Estaciones sugeridas					
RRE6	655213	5503941	Zona parque municipal Arnoldo Keim	Coliformes fecales	Una vez al mes y si fuera utilizarse como área de bañistas 1 vez a la semana
RRE7	655948	5505253	Zona ex parque municipal Aravena de Ovejería	Coliformes fecales	Una vez al mes y si fuera utilizarse como área de bañistas 1 vez a la semana

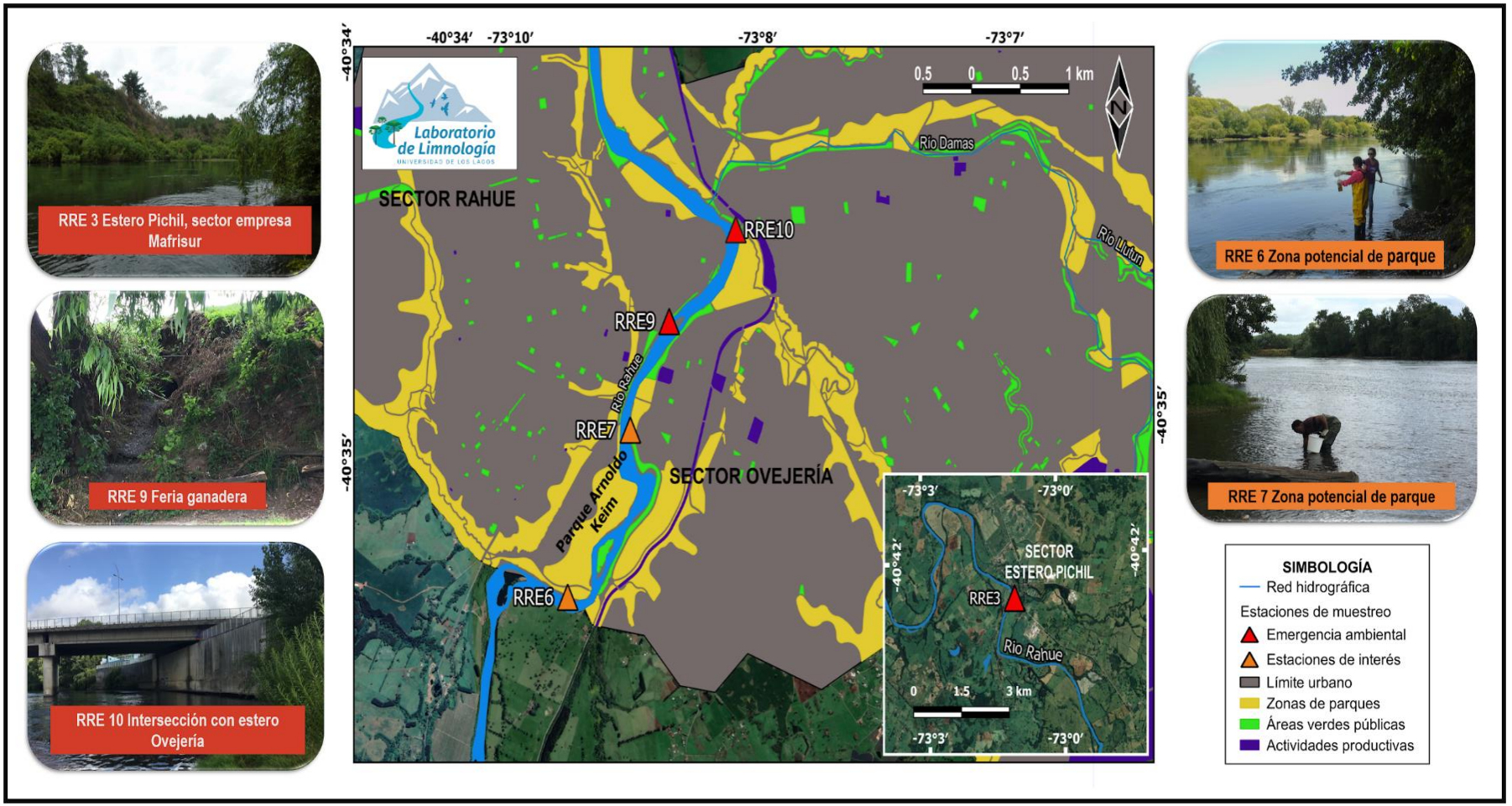

Figura 10: Ubicación de estaciones de muestreo de alerta de emergencia ambiental (triángulos rojos) y estaciones de interés (triángulos naranjos), propuestos para el río Rahue.

2.6.2 RÍO DAMAS

De acuerdo con los resultados obtenidos en el diagnóstico ambiental realizado, podemos indicar que el parámetro fisicoquímico **pH fue ácido (5,36± 0,61)** en la estación **RDM6,** menor a valor mínimo de pH=6,0, establecido en la normativa ambiental vigente (DS 143/2008) para aguas en situación de normalidad. De la misma forma, el indicador microbiológico **Coliformes Fecales** sobrepasó las concentraciones máximas permitidas (>1000 NMP/100 ml) en las estaciones localizadas al interior del radio urbano de la ciudad de Osorno, específicamente las estaciones **RDM6** (Aguas abajo descarga de empresa Watt´s (CALO), **RDM9** (aguas abajo confluencia esteros Lutun y Barro Blanco)**, RDM10** (aguas abajo aliviadero de tormenta empresa ESSAL), **RDM11**(denuncia descarga de desechos de curtiembres), **RDM12** (porción final de río), por lo cual, estas estaciones se encuentran en situación de emergencia ambiental (Figura 9).

Considerando lo anterior, sugerimos a la autoridad sanitaria incorporar las estaciones **RDM6**, **RDM9, RDM10, RDM11, RDM12** en el Programa de Vigilancia para el río Damas (Tabla 14, Figura 11). Según el DS 143/2008, el monitoreo para las normas primarias, deberá efectuarse conforme al programa de vigilancia aprobado mediante resolución por la autoridad sanitaria, de acuerdo a las directrices que emita el ministerio de salud.

Las anteriores estaciones en situación de emergencia ambiental, según artículo N°6 del DS 143/2008, deberán ser monitoreadas mensualmente hasta que mejoren sus concentraciones y dejen de poner en riesgo inminente la salud de las personas que realicen actividades de contacto directo en el río Damas (Tabla 14). El río Damas en su condición ambiental actual, en su porción urbana, no puede ser utilizado por bañistas.

Los ríos son ambientes cambiantes y su contaminación por agentes contaminantes, debido a actividades productivas pueden aumentar rápidamente, por lo que la situación de no emergencia, de los parámetros incluidos en este estudio puede cambiar rápidamente, por lo que se sugiere realizar un monitoreo cada dos años de todos los parámetros establecidos en la normativa DS143/2008.

Tabla 14: Estaciones de monitoreo obligatorias y sugeridas, para ser incorporadas en el Programa de Vigilancia de la calidad primaria de las aguas del río Damas.

DS 143 Establece Normas de Calidad Primaria para las Aguas Continentales Superficiales Aptas para Actividades de Recreación con Contacto Directo.					
Estaciones obligatorias según resultados Diagnóstico Ambiental					
Estaciones	Georreferencia		Descripción/Justificación	Parámetros normativa	Periodicidad de muestreo
RDM6	661293	5504997	>1000 NMP/100 ml y pH ácido- Descarga Aguas abajo descarga Watt's, tubo visible	Coliformes fecales; pH	Una vez al mes
RDM7	660798	5505579	>1000 NMP/100 ml Aguas debajo de empresa Skretting, aserradero y construcción de edificios	Coliformes fecales	Una vez al mes
RDM8	660588	5505980	>1000 NMP/100 ml Aguas debajo de Casona Ulagos, Liceo Industrial	Coliformes fecales	Una vez al mes
RDM9	660621	5506585	>1000 NMP/100 ml Aguas abajo confluencia con Estero Lutun y Estero Barro Blanco	Coliformes fecales	Una vez al mes
RDM10	660572	5506984	>1000 NMP/100 ml Aguas abajo aliviadero de tormentas empresa ESSAL, Los Notros.	Coliformes fecales	Una vez al mes
RDM11	657898	5507409	>1000 NMP/100 ml Denuncia de descarga de desechos de procesos de curtiembre	Coliformes fecales	Una vez al mes
RDM12	656927	5507065	>1000 NMP/100 ml Control salida, desembocadura del río damas en el río Rahue	Coliformes fecales	Una vez al mes

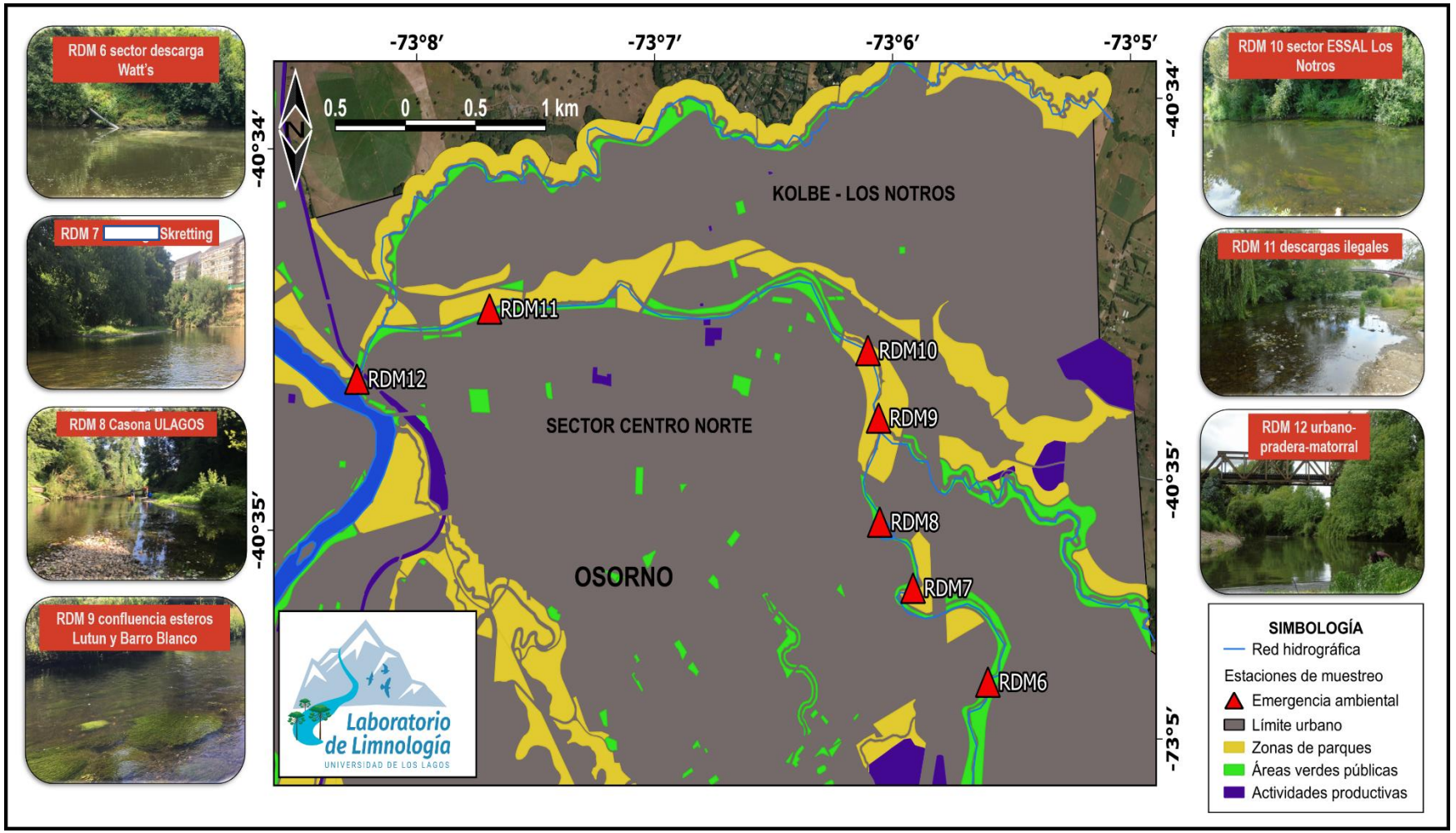

Figura 11: Ubicación de estaciones de muestreo de alerta de emergencia ambiental (triángulos rojos), propuestas para el río Damas.

3. ANTECEDENTES, PROPUESTA DE ESTACIONES DE MONITOREO Y PARÁMETROS PARA ELABORACIÓN DE LA NORMA SECUNDARIA DE LOS RÍOS RAHUE Y DAMAS

3.1 ANTECEDENTES

Los ríos son ecosistemas dinámicos, complejos, cuya flora y fauna son importantes en el equilibrio y funcionalidad del ambiente, por lo que son de gran importancia para el planeta y, por lo cual, deben ser considerados hábitats preferenciales para la protección ambiental (Fuentes *et al.*, 2015, Gastezzi-Arias *et al.*, 2016). Estos ecosistemas han sido catalogados como corredores biológicos que proporcionan procesos ecológicos, tales como, la regulación del clima, mantención de la fertilidad de los suelos, control de inundaciones, purificación del agua y mantención de la biodiversidad (Mendoza-Cariño *et al.*, 2014). Los ríos urbanos son considerados corredores biológicos interurbanos, es decir, extensiones territoriales que proporcionan conectividad entre paisajes, ecosistemas, hábitats modificados o naturales, donde la fauna encuentra refugio y alimento dentro de la masa de concreto, permitiéndoles establecerse y reproducirse (Torres, 2014).

La urbanización en estos cuerpos de agua ha sido la principal causa de su destrucción y deterioro. Actividades antrópicas han modificado el ciclo hidrológico, los volúmenes de agua y han convirtiendo a los ríos en receptores de aguas negras, residuos químicos y residuos sólidos no tratados que dañan la calidad ambiental del ecosistema (Vidal y Romero, 2010; Gastezzi-Arias *et al.*, 2016). Las principales causas de su contaminación son la introducción de materia orgánica, sedimentos, contaminantes orgánicos e inorgánicos persistentes y la eliminación o degradación del bosque de ribera, lo que ha provocado aumentos en la erosión (Alonso y Camargo, 2005). Este creciente daño trae inminentes e inevitables problemas ambientales y sus consecuencias son gravísimas para el hombre, por lo que es necesario establecer normativas y programas de restauración y mitigación para así contrarrestar, mitigar y reparar el daño ambiental generado por estas perturbaciones (Aronson *et al.*, 2007).

El Ministerio del Medio Ambiente (MMA), ha establecido criterios científico-técnicos de reconocimiento nacional e internacional, los cuales están incluidos en la guía para la elaboración de Normas Secundarias de calidad Ambiental en Aguas Continentales y Marinas (NSCA). El marco jurídico de las NSCA se compone de dos regulaciones principales, la Ley 19.300 sobre bases generales del medio ambiente de 1994 (versión 2016) y el Decreto Supremo Nº 38 de 2012, del MMA. A la fecha, las NSCA vigentes en Chile se encuentran aplicadas en las cuencas de los ríos Serrano (2010), Maipo (2015), Biobío (2015), y los lagos Llanquihue (2010) y Villarrica (2013).

Las NSCA son instrumentos regulatorios cuyo objetivo es conservar o preservar los ecosistemas acuáticos a través del mantenimiento o mejoramiento de la calidad de las aguas continentales y marinas. Ellas apoyan el control del impacto de contaminantes de fuentes puntuales y difusas en la calidad del agua y su impacto en los ecosistemas

(MMA, 2017). Parte fundamental de la NSCA es un Programa o Áreas de Vigilancia, que tiene por objetivo establecer un programa de monitoreo sistemático, destinado a medir y controlar la calidad de las aguas continentales superficiales y marinas en las áreas de vigilancia, en determinados puntos geográficos y en un periodo de tiempo específico. Para establecer un programa de vigilancia, primero se debe evaluar la calidad del agua mediante indicadores fisicoquímicos asociados a los biológicos (Figueroa *et al.*, 2003; Rivera-Abreu, 2004; Córdova *et al.*, 2009; Fierro *et al.,* 2012; Fuentes *et al.,* 2015, 2016, 2019, 2020), ya que el uso de ambos indicadores resulta ser complementario. Mientras los indicadores fisicoquímicos muestran la condición ambiental en el momento de la medición, los bioindicadores indican un periodo de tiempo mayor, relacionado con los tiempos de vida de los organismos empleados (Resh *et al.*, 1996; Zúñiga, 2009). Con estos resultados se pueden proponer estaciones de monitoreo y áreas de vigilancia a largo plazo.

Una vez realizado el diagnóstico ambiental y establecido el programa de vigilancia, el siguiente paso es mitigar y reparar el daño ambiental detectado. Una de las alternativas sugeridas por expertos, es la restauración de las riberas de los ecosistemas acuáticos. Para ello, se deben reforestar las orillas más degradadas, con lo que a largo plazo incrementa la protección del suelo, frenando la escorrentía y facilitando la infiltración del agua, se regulan los caudales, evitando que aumenten fuertemente en invierno o disminuyan drásticamente en verano y también regulan la temperatura del agua. Adicionalmente contribuye a una baja carga de nutrientes en las aguas superficiales, logrando que sean compatibles para el consumo humano, riego y recreación (Gastezzi-Arias *et al.,* 2016; Smith *et al.,* 2019). Es recomendable realizar la reforestación con especies nativas, con lo que se proporciona materia orgánica alóctona al ecosistema (Fuentes *et al.,* 2013) y se crea conectividad entre seres vivos mediante los corredores ribereños, potenciando hábitats para la flora y fauna, por ende, aumenta la diversidad en el ecosistema.

Los ríos Damas y Rahue son los principales cauces que atraviesan el radio urbano de la ciudad de Osorno. Actualmente, se desconoce la calidad secundaria de sus aguas (resguarda ecosistema) por lo cual no se han podido generar los antecedentes necesarios para el establecimiento de su NSCA y un Programa de vigilancia que asegure su protección. La insuficiente protección ambiental en los ríos Rahue y Damas, los constantes cambios en el uso de suelo y la creciente actividad industrial e inmobiliaria han causado que a lo largo de las últimas décadas estos ríos hayan sufrido numerosos eventos de contaminación, que incluyen la pérdida de su biodiversidad y que han provocado una paulatina degradación ambiental. Estos eventos han sido denunciados en innumerables ocasiones por la Red Ambiental Ciudadana de Osorno. El Programa de Vigilancia para la NSCA que aquí se presenta, deberá ser aprobado mediante resolución por el Ministerio de Medio Ambiente.

3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

Generar antecedentes de la condición ambiental de las aguas de los ríos Damas y Rahue mediante el uso de indicadores fisicoquímicos y biológicos para el establecimiento de su norma secundaria y un programa de monitoreo que resguarde la salud del ecosistema fluvial

3.3 MATERIAL Y MÉTODOS

Las campañas de terreno fueron organizadas entre noviembre del 2019 y la primera semana de enero del 2020. Se consideraron 15 estaciones de monitoreo en el río Rahue y 12 estaciones de monitoreo en el río Damas. Los terrenos fueron ejecutados en enero del 2020, época estival.

En cada una de las 27 estaciones de monitoreo (Figura 3, 4, 5, 6 y 7; Tabla 1 y 2) dispuestas en los ríos Rahue y Damas se realizaron mediciones *in situ* de oxígeno disuelto (% saturación y mg/L), pH, conductividad (uS) y temperatura (°C), mediante equipos multiparamétricos del Laboratorio de Limnología de la Universidad de Los Lagos.

3.3.1 ANÁLISIS QUÍMICOS DEL AGUA

El muestreo de agua se efectuó siguiendo la metodología, condiciones de preservación y manejo de muestras indicados en la Tabla 15 del DS N° 19/2013 en su artículo 9 y CONAMA (2004).

Tabla 15: Metodologías de muestreo y condiciones de preservación de las muestras de agua.

Identificación	Título de la norma
NCh411/1. Of96 DS. N° 501 de 1996, del Ministerio de Obras Públicas.	Calidad del agua – muestreo – parte 1: Guía para el diseño de programas de muestreo
NCh411/2. Of96 DS. N° 501 de 1996, del Ministerio de Obras Públicas.	Calidad del agua – muestreo – parte 2: Guía sobre técnicas de muestreo
NCh411/3. Of96 DS. N° 501 de 1996, del Ministerio de Obras Públicas	Calidad del agua – muestreo – parte 3: Guía sobre la preservación y manejo de las muestras.
NCh411/6. Of98 DS. N° 84 de 1998, del Ministerio de Obras Públicas	Calidad del agua – muestreo – parte 6: Guía para el muestreo de ríos y cursos de agua.
Collection and preservation of samples	Descritas en el número 1060 del “Standard Methods” for examination of water and wastewater. 21th edition 2005. APHA-AWWA-WPCF.

Se obtuvieron con ayuda de una pértiga, muestras de agua, por duplicado o triplicado, para determinar las concentraciones o valores de los parámetros complementarios y normados en la guía para la elaboración de Normas Secundarias de calidad Ambiental en Aguas Continentales y Marinas (NSCA) (MMA, 2017, CONAMA 2004). Los análisis de las muestras de agua fueron encomendados a laboratorios acreditados y especializados en análisis de aguas superficiales (Tabla 16). Este estudio no incluyó los resultados de los plaguicidas ya que los límites de detección del laboratorio eran adecuados para la norma primaria y no para la norma secundaria.

Adicionalmente se obtuvieron muestras de agua para determinar la presencia de coliformes fecales, estas muestras fueron analizadas en el laboratorio Centro Análisis de Alimento (CEAL) de la Universidad de Los Lagos y para determinar la concentración de sólidos totales, orgánicos e inorgánicos en suspensión y clorofila "a" en el Laboratorio de Limnología de la Universidad de los Lagos.

Los resultados fueron comparados con los valores umbrales de la norma secundaria y clasificados según las distintas clases de calidad (Tabla 17).

Tabla 16: Descripción de metodologías y valores o concentraciones máximas de parámetros fisicoquímicos y biológicos por clase de calidad de agua según guía para el establecimiento de normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales y marinas (MMA, 2017, CONAMA 2004).

Parámetro	**Unidad**	**Valor límite**				**Metodología analítica**	**Referencia**
		Clase Excepción	**Clase 1**	**Clase 2**	**Clase 3**		
[1]Temperatura	T°C	<0,5	1,5	1,5	3	2550 Termometric	Equipo ThermoScientfic
[2]Oxígeno Disuelto	mg/L	>7,5	7,5	5,5	5	4500-0 G Membrane electrode method	Equipo ThermoScientfic
Conductividad	µS/cm	<600	750	1.500	2.250	Standard Methods N° 2510 B. Celda de conductividad	Equipo OAKTON
pH	Rango	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5	6,0 - 8,5	4500-H +B Electronic method	Equipo ThermoScientfic
Color	Pt-Co	<16	20	100	>100	Fotométrico SQ 118	APHA 1996

Parámetro	Unidad	Valor límite				Metodología analítica	Referencia
		Clase Excepción	Clase 1	Clase 2	Clase 3		
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	<24	30	50	80	2540 Gravimetric	NCh 2313/05 of. 2005
Amonio	mg/L	<0,5	1	1,5	2,5	Limnol. Analyses Exc. 7.	Limnol. Analyses
Cianuro	ug/L	<4	5	10	50	Fotométrico SQ 118	APHA 1996
Cloruro	mg/L	<80	100	150	200	Método argonometrico de Mohr	NCh 2313/32 of. 99
Aceites y grasas	mg/L	<4	5	5	10	Método gravimétrico	EPA 1664
PCBs (Bifenilos Policlorados)	µg/L	*	0,04	0,045	>0,045	Cromatografía Gaseosa con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (GC-MS/MS)	EPA 3510C
Benzo(a) pireno- HAPs (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos)	µg/L	<0,016	0,2	1	1	Cromatografía Gaseosa con Detector de Masas de Triple Cuadrupolo (GC-MS/MS)	EPA 3510C
Manganeso	mg/L	<0,04	0,05	0,2	0,2	Espectrómetro de Masas con Plasma Inductivo Acoplado (ICP-MS)	EPA 6020
Hierro	mg/L	<0,8	1	5	5	Espectrómetro de Masas con Plasma Inductivo Acoplado (ICP-MS)	EPA 6020
Cromo	ug/L	<8	10	100	100	Espectrómetro de Masas con Plasma Inductivo Acoplado (ICP-MS)	EPA 6020

Parámetro	Unidad	Valor límite				Metodología analítica	Referencia
		Clase Excepción	Clase 1	Clase 2	Clase 3		
Níquel	ug/L	<42	52	200	200	Espectrómetro de Masas con Plasma Inductivo Acoplado (ICP-MS)	EPA 6020
Cobre	ug/L	<7,2	9	200	1000	Espectrómetro de Masas con Plasma inductivo Acoplado (ICP-MS)	EPA 6020
Zinc	mg/L	<0,096	0,12	1	5	Espectrómetro de Masas con Plasma Inductivo Acoplado (ICP-MS)	EPA 6020
Arsénico	mg/L	<0,04	0,05	0,1	0,1	Espectrómetro de Masas con Plasma Inductivo Acoplado (ICP-MS)	EPA 6020
Cadmio	ug/L	<1,8	2	10	10	Espectrómetro de Masas con Plasma Inductivo Acoplado (ICP-MS)	EPA 6020
Plomo	mg/L	<0,002	0,0025	0,2	5	Espectrómetro de Masas con Plasma Inductivo Acoplado (ICP-MS)	EPA 6020
Coliformes fecales	NMP/100 ml	<10	1000	2000	5000	PRT-712.03-005, I.S.P. 2010	Ensayos acreditados de acuerdo a Certificado LE 1147, INN Chile

[1] Expresado en términos de valor mínimo

[2]Diferencia de temperatura entre la zona analizada y la temperatura natural del agua

Tabla 17: Clases de calidad consideradas en la guía para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales y marinas

Clases	Significado
Excepcional	Indica un agua de mejor calidad que la Clase 1, que, por su extraordinaria pureza y escasez, forma parte única del patrimonio ambiental de la República.
Clase 1 Muy buena calidad	Indica un agua adecuada para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto y para los usos comprendidos en las Clases 2 y 3.
Clase 2 Buena calidad	Indica un agua adecuada para el desarrollo de la acuicultura, de la pesca deportiva y recreativa, y para los usos comprendidos en la Clase 3.
Clase 3 Regular calidad	Indica un agua adecuada para bebida de animales y para riego restringido.
Las clases de calidad comprendidas entre la Clase Excepcional y la Clase 3, son aptas para la captación de agua para potabilizarla, según el tratamiento que se utilice.	
Las aguas que excedan los límites establecidos para la Clase 3, indicarán un agua de mala calidad, en general no adecuada para la conservación de las comunidades acuáticas o su aprovechamiento para los usos prioritarios sin el tratamiento adecuado.	

3.3.1.1 Sólidos Suspendidos Totales (Seston)

Se tomaron tres litros de agua en cada punto de muestreo, para luego, en el Laboratorio de Limnología de la Universidad de Los Lagos, filtrar el agua utilizando filtros de fibra de vidrio GF/C 47 mm con apertura de poro de 0.6 µm. Una vez terminado el proceso anterior, los filtros permanecieron 12 horas secándose a 37° C, para luego pesarlos en una balanza analítica de precisión y finalmente quemar la materia orgánica a 450°C por 4 h en una mufla.

Los resultados de este parámetro se representan como sólidos suspendidos (total, orgánico e inorgánico) en mg/l.

S.S. total = (Peso seco-Peso filtro)*1000/ Volumen(l)
S.S. orgánico = (Peso seco- Peso muflado)*1000/Volumen (l)
S.S. inorgánico = (Peso muflado- Peso filtro)/Volumen (l)*1000

En este estudio no fueron considerados los plaguicidas orgánicos, ya que los límites de detección para las diferentes clases de calidad de agua son menores a los de la normativa primaria. Cabe destacar que este estudio fue requerido, en primera instancia, para establecer un programa de vigilancia de la calidad primaria, no obstante, cuando se pudo también se utilizaron estos resultados para determinar la calidad secundaria de los ecosistemas de los ríos Rahue y Damas.

3.3.2 PARÁMETROS COMPLEMENTARIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD SECUNDARIA DE LAS AGUAS

En forma complementaria fueron determinadas en las 27 estaciones de monitoreo descritas en Tablas 1 y 2, otros parámetros relevantes con el objeto de determinar la calidad ambiental secundaria de las aguas de los ríos Rahue y Damas.

3.3.2.1 Indicadores de Eutrofización, nitrógeno total (N-total), fósforo total (P-total) y Clorofila "a".

Determinación de Clorofila "a": indicador de Biomasa de algas-eutrofización

Para la obtención de clorofila-a se obtuvieron cinco litros de agua en cada punto de muestreo, manteniendo los envases con las muestras en condiciones de oscuridad hasta que se realizó el proceso de filtración en el Laboratorio de Limnología de la Universidad de Los Lagos. Durante la filtración fue añadido a las muestras el compuesto Carbonato de Magnesio (MgCO3) al filtro de fibra de vidrio GF/F 47 mm con una apertura de poro de 0.3 µm, y posteriormente conservadas en frío hasta el análisis. La determinación de clorofila-a se realizó a través del método de Nusch (1980), utilizando etanol al 90%. Finalmente se realizó la lectura en un espectrofotómetro UV/VIS marca JASCO modelo V-630 de doble haz, a 665 nm y 750 nm. Los resultados se representaron en µg/l.

$$Clorofila\ a\ (\mu g/L) = 29.6 * (A - B) * v/(V * k)$$

Donde:
A: la diferencia en la absorbancia 665 nm – 750 nm antes de la acidificación
B: la diferencia en la absorbancia 665 nm – 750 nm después de la acidificación
V: volumen de muestra filtrada (l)
v: volumen de extracción (cm 3) (10 ml)
k: longitud de cubeta (1 cm)

Se obtuvieron muestras de agua por duplicado, con ayuda de una pértiga. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de la Universidad Austral LIMNOLAB según metodologías acreditadas (N-total =Standard Methods Edición 2005 y P-total= 4500-P B/5 Standard Methods Edition 2005).

Tabla 17 B: Indicadores de Eutrofización según guía para el establecimiento de las normas secundarias de calidad ambiental para aguas continentales y marinas (MMA, 2017)

INDICADORES DE EUTROFIZACIÓN			
Parámetro	**Clorofila "a"**	**N-total**	**P-total**
Unidad	ug/L	mg/L	mg/L
Límites Guía NSCA			
Oligotrófico	<10	<0,7	<0,025
Mesotrófico	10--30	0,7- 1,5	0,025 - 0,075
Eutrófico	31 - 50	1,6-2,0	0,076 - 0,1
Hipertrófico	>50	>2	>0,1
Oligotrófico	Óptima para la protección y conservación de ecosistema acuáticos, alta biodiversidad con una gran densidad, siempre una buena concentración de oxígeno, escasa carga orgánica		
Mesotrófico	Disminución de biodiversidad, tendencia al aumento del estado trófico (mayor abundancia de macrófitas, aumento de turbiedad, etc.), gran diversidad de peces, pero no apta para peces sensibles, oxígeno se reduce (cargas orgánicas, algas)		
Eutrófico	Condición crítica para el ecosistema acuático, daños en su estructura y función (mortalidad ≥ 50% del ecosistema acuático), muy pocas especies tolerantes con abundancia muy alta, especies sensibles desaparecen, mortalidad masiva de peces, concentraciones ambientalmente inaceptables		
Hipertrófico	Intoxicaciones, aparición de cianobacterias tóxicas, peces desaparecen, pérdida de biodiversidad, concentraciones ambientalmente inaceptables, muy poco oxígeno, alta turbiedad		

3.3.2.3 Determinación de Caudal

La metodología utilizada en la medición de caudales (aforo) corresponde a la relación de Área - Velocidad (DGA, 1978), y cuyo protocolo establece la ejecución de los siguientes pasos: (a) selección de la sección transversal al flujo, (b) definición de subsecciones verticales según ancho del cauce, (c) medición de la velocidad media en la subsección vertical y (d) cálculo del caudal en cada subsección y del caudal total. La

velocidad de flujo fue medida con un correntómetro portátil PCE 7700 y un contador mecánico; la profundidad media fue calculada con un mínimo tres mediciones en la sección del río; y el ancho de los ríos fue estimado con una huincha metálica, según el método de sección transversal (Gordon *et al.,* 1992). La expresión matemática para el cálculo de caudal utilizada fue:

$$Qi = ViAi \quad (1)$$

(1) Donde Vi es velocidad de la corriente de la sección i (m/s) y Ai es el área de la sección i (m^2).

3.3.2.4 Índices bióticos para definir calidad de agua

Muestras cuantitativas de macroinvertebrados bentónicos se obtuvieron en estaciones de fondos de cantos rodados (entre 6 a 10 cm de diámetro), a una profundidad que varió entre 0,2 y 0,4 metros, utilizando una red Surber de 0,09 m^2 de área de superficie de muestreo y 250 μm de abertura de malla (Fuentes *et al.,* 2020). En cada estación se obtuvieron muestras por triplicado. Las muestras colectadas fueron almacenadas en bolsas plásticas y mantenidas con alcohol técnico 95° hasta su análisis. En el laboratorio las muestras fueron limpiadas, separándose los organismos para realizar la identificación bajo lupa estereoscópica Kyoto SMZ-140, utilizando pinzas y agujas de disección. La identificación de especímenes se realizó con el apoyo de literatura especializada, llegando hasta el nivel taxonómico de familia, siguiendo a Domínguez y Fernández (2009) y claves preparadas por Figueroa y Araya disponibles en: http://www2.udec.cl/~rfiguero/.
Una vez identificados los organismos a nivel de familia, estos fueron contabilizados y almacenados en frascos de vidrio con alcohol 95° en el Laboratorio de Limnología de la Universidad de Los Lagos.

Con el objetivo de determinar la salud ambiental de los ecosistemas de los ríos Damas y Rahue, se aplicaron los índices bióticos EPT y ChIBF. El índice EPT (Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera), se basa en la utilización de 3 órdenes de macroinvertebrados que son indicadores ambientales, debido a que se consideran sensibles a la contaminación (Figura 12). Para aplicar este índice se debe contabilizar el número total de individuos obtenidos de los órdenes Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera, y determinar a qué porcentaje del número total de individuos capturados corresponden. Posteriormente, el valor obtenido para cada estación con este índice, fue comparado con las clases de calidad indicadas en la tabla 18.

Tabla 18: Clasificación de la calidad del agua según el Índice EPT (porcentaje Ordenes Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera).

Clase	*Índice EPT (%)*	*Calidad del agua*
1	75-100	Muy Buena
2	50-74	Buena
3	25-49	Regular
4	0-24	Mala

Por su parte, el índice ChIBF indica el grado de perturbación de los ecosistemas y corresponde a una modificación de Figueroa *et al.,* (2003) del índice biótico de familias (IBF: Hilsenhoff, 1988) propuesto por Hauer y Lamberty (1996). Este índice se basa en la determinación de tolerancia asignados para cada familia (Tabla 20) los cuales son multiplicados por el correspondiente número de individuos encontrados para dicha familia (Figura 12 y 13). Luego, estos valores se suman y el resultado obtenido se divide por el número total de individuos hallados en la muestra, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$ChIBF = \frac{1}{N}\sum \quad ni * ti$$

Para este índice un valor de tolerancia 0 indica que es un taxa sensible, mientras que 10 indica que es tolerante (Figura 12 y 13). Posteriormente, el valor obtenido para cada estación con este índice, fue comparado con las clases de calidad indicadas en la Tabla 19.

Tabla 19: Clasificación de la calidad del agua según Índice ChIBF (Índice Biótico de familia de macroinvertebrados chilenos).

Clase	*ChIBF*	*Características ambientales*
1	0 – 3,75	Muy buena, no perturbado
2	3,76 – 4,63	Bueno, moderadamente perturbado
3	4,64 – 6,12	Regular, perturbado
4	6,13 – 7,25	Malo, muy perturbado
5	7,26 – 10	Muy malo, fuertemente perturbado

Tabla 20: Valores de tolerancia de macroinvertebrados bentónicos utilizados en la determinación de Índice Biótico de Familias (ChIBF) (Tomado de Figueroa *et al.*, 2003).

Orden (o Clase)	**Familia**	**Valor de tolerancia**	**Orden (o Clase)**	**Familia**	**Valor de tolerancia**
Plecoptera			Megaloptera		
	Gripopterygiidae	1		Corydalidae	0
	Notonemouridae	0		Sialidae	4
	Perlidae	1			
	Diamphipnoidae	0	Lepidoptera		
	Eustheniidae	0		Pyralidae	5
	Austroperlidae	1			
			Platyhelminthes		
				Turbellaria	4
Ephemeroptera					
	Baetidae	4	Acari		4
	Caenidae	7	Decapoda		6
	Leptophlebiidae	2			
	Siphlonuridae	7	Coleoptera		
	Oligoneuriidae	2		Elmidae	4
	Ameletopsidae	2		Psephenidae	4
	Coloburiscidae	3			
	Oniscigastridae	3	Diptera		
				Athericidae	2
				Blephariceridae	0
Odonata				Ceratopogonidae	6
	Aeshnidae	3		Chironomidae	7
	Calopterygidae	5		Empididae	6
	Gomphidae	1		Ephydridae	6
	Lestidae	9		Psychodidae	10
	Coenagrionidae	9		Simuliidae	6
	Cordulidae	5		Tipulidae	3
	Petaluridae	5			
			Amphipoda		
Trichoptera				Gammaridae	4
	Calamoceratidae	3		Hyalellidae	8
	Glossosomatidae	0			
	Helicopsychidae	3	Mollusca		
	Hydropsychidae	4		Amnicolidae	6
	Hydroptilidae	4		Lymnaeidae	6
	Leptoceridae	4		Physidae	8
	Limnephilidae	2		Sphaeriidae	8
	Ecnomidae	3		Chilinidae	6
	Helicophidae	6			
	Polycentropodidae	3	Oligochaeta		8
	Philopotamidae	2	Hirudinea		10
	Hydrobiosidae	0			
	Sericostomatidae	3			

Figura 12: Macroinvertebrados bentónicos de agua dulce, taxa representante de familias que indican buena calidad de agua registrado en los ríos Rahue y Damas. 1 y 2: Familia Leptophlebiidae; orden: Ephemeroptera; 3 y 4: Familia Gripopterygidae, orden Plecoptera; 5 Familia Glossosomatidae, orden Trichoptera; 6: Familia Hydropsychidae, orden Trichoptera. Fuente: Laboratorio de Limnología.

Figura 13: Macroinvertebrados bentónicos de agua dulce, taxa representante de familias que indican mala calidad de agua registrado en los ríos Rahue y Damas. 1 y 2: Familia Chironomidae; orden: Diptera; 3: familia Empididae, orden Diptera; 4: Phylum: Annelida, orden Haplotaxidae; 5 Familia Chilinidae, orden Gastropoda; 6: Familia Physidae, orden Basommatophora. Fuente: Laboratorio de Limnología.

3.3.2.5 Metales pesados en sedimentos

Se obtuvieron muestras de sedimento desde las 27 estaciones ubicadas en los ríos Rahue y Damas para determinar la concentración de metales pesados, lo que fueron tamizadas en húmedo con un tamiz de 2 mm y enviadas al Laboratorio de Geoquímica de la Universidad Austral de Chile, donde fueron procesadas y tamizadas en seco utilizando un tamiz de 63 µm, luego, se realizó la digestión ácida en microondas según protocolo EPA 3051 mediante ácido nítrico y clorhídrico. Finalmente, se analizaron en espectrómetro de masas con plasma inductivo según protocolo EPA 6020.

Se determinaron los siguientes metales pesados según su biotoxicidad:

- **Arsénico (As):** elemento común en el medio ambiente y en el ecosistema acuático. Es un elemento teratogénico y carcinogénico, produciendo muerte fetal y malformaciones por lo que es importante mantenerlo en bajas concentraciones. Es usado extensamente en el proceso de curtiembre de pieles, fabricación de plaguicidas, aditivos para piensos y productos farmacéuticos, actualmente se utiliza en la industria electrónica, en los procesos de aleaciones metálicas de minerías y en la remoción del azufre de centrales termoeléctricas (Oyanedel, 2015).
- **Cadmio (Cd):** es relativamente raro, usualmente está presente en pequeñas cantidades y asociado al Zinc. Este metal no es esencial para el organismo por lo tanto se acumula en los riñones provocando una disfunción renal, además es teratógeno y embriotóxico (Ramírez, 2005). El origen antropogénico es desde fundiciones, humo y polvos; productos de incineración de materiales que contienen Cd, combustibles fósiles, fertilizantes, aguas servidas municipales y descargas de lodos. Sus mayores usos son en el acero galvanizado, producción de pinturas y en las industrias de plástico y baterías (Eisler, 2007).
- **Cromo (Cr):** es uno de los siete elementos más abundantes. Altas concentraciones en el organismo tienen efectos teratogénicos, mutagénicos y carcinogénicos, ingresando por vía digestiva, respiratoria y cutánea, causando dermatitis y úlceras en la piel. El origen antropogénico es desde la elaboración de pinturas, baterías de alta temperatura, fungicidas, curtido de pieles, industrias papeleras, factorías de textiles (Barriga, 2012).
- **Plomo (Pb):** es uno de los metales más tóxicos, no es esencial ni beneficioso para los organismos vivos y todos los efectos son adversos. Cuando se absorbe en altas concentraciones es mutagénico y teratogénico, además, podría llegar a ser carcinogénico. El uso del plomo en la industria química, construcción, pinturas y gasolina ha ido disminuyendo con los años, sin embargo, hay usos que son indispensables, como en las baterías de automóviles, pinturas que protegen las cubiertas y techumbres de la humedad y en soldaduras (Barriga, 2012).

3.4 RESULTADOS

3.4.1 RÍO RAHUE

3.4.1.1 Parámetros indicadores de Clase de calidad, según guía para establecimiento de normas secundarias

Indicadores Fisicoquímicos

Los valores de pH y las concentraciones de oxígeno disuelto (mg/L), conductividad (uS/cm), temperatura (°C), color (Pt-Co) y sólidos totales suspendidos (mg/L), medidos en el río Rahue, se corresponden con la clase excepción en gran parte de las estaciones muestreadas (Tabla 21). Sin embargo, en la estación **RRE5 (**aguas abajo confluencia con Río Negro**). el parámetro color registró un valor de 26,33 ± 1,53 Pt-Co, determinando una clasificación de Clase 2** (i.e., calidad de agua no adecuada para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y para el riego irrestricto). Esta estación se encuentra ubicada en la desembocadura del río Negro y recibe los materiales transportados por este río (Figura 3).

Indicadores orgánicos e inorgánicos

Las concentraciones de los indicadores inorgánicos: amonio (mg/L), cianuro (mg/L) y cloruro (mg/L)), y orgánicos: aceites y grasas (mg/L), bifenilos policlorados PCBs (µg/L), Benzo(a) pireno (µg/L) registradas en el río Rahue, resultaron menores a los límites máximos permitidos en la norma secundaria (Tabla 22).

Indicadores inorgánicos-metales esenciales y no esenciales disueltos

Las concentraciones de los metales esenciales disueltos en la columna de agua como Manganeso (mg/L), Hierro (mg/L), Cromo (µg/L), Níquel (ug/L), Cobre (ug/L) y Zinc (mg/L) fueron bajas comparadas con los límites máximos establecidos en la norma secundaria (Tabla 23). De acuerdo con estos resultados todas las estaciones se encuentran incluidas en la clase Excepción, y por lo tanto, las concentraciones medidas no afectarían negativamente al ambiente.

Tabla 21: Resultado de los indicadores fisicoquímicos (oxígeno disuelto (mg/L), pH, conductividad (uS/cm), temperatura (°C), color (Pt-Co) y sólidos totales suspendidos (mg/L), incluidos en la norma secundaria para las estaciones ubicadas en el río Rahue.

INDICADORES FISICOQUÍMICOS						
Parámetro	**Temperatura ***	**[1]Oxígeno Disuelto**	**Conductividad**	**pH**	**Color**	**Sólidos Suspendidos Totales**
Unidad	**°C**	**mg/L**	**µs/cm**	**Rango**	**Pt-Co**	**mg/L**
Límites Norma Secundaria						
Clase Excepción	<0,5	>7,5	<600	6,0 - 8,5	<16	<24
Clase 1	1,5	7,5	750	6,0 - 8,5	20	30
Clase 2	1,5	5,5	1.500	6,0 - 8,5	100	50
Clase 3	3	5	2.250	6,0 - 8,5	>100	80
RRE1	17,83 ± 0,06	8,9 ± 0,07	41,03 ± 0,53	7,17 ± 0,07	1,33 ± 0,58	3,70 ± 0,71
RRE2	19,73 ± 0,06	9,82 ± 0,10	46,55 ± 1,93	7,35 ± 0,03	5,33 ± 0,58	2,35 ± 0,21
RRE3	19,83 ± 0,35	8,62 ± 0,10	73,27 ± 2,03	7,68 ± 0,08	3,67 ± 0,58	1,50 ± 0,00
RRE4	19,67 ± 0,06	8,77 ± 0,09	54,1 ± 0,20	7,60 ± 0,10	3 ± 0	1,25 ± 0,07
RRE5	19,13 ± 0,06	7,87 ± 0,14	78,94 ± 6,01	6,82 ± 0,05	26,33 ± 1,53	4,13 ± 0,41
RRE6	18 ± 0	9,35 ± 0,14	42,50 ± 12,95	7,54 ± 0,08	8,67 ± 0,58	2,29 ± 0,06
RRE7	18,5 ± 1,04	9,2 ± 0,08	44,03 ± 13,32	7,66 ± 0,08	7 ± 0	3,40 ± 0,99
RRE8	17,9 ± 0	9,18 ± 0,04	46,84 ± 0,41	7,47 ± 0,09	7,66 ± 0,58	1,95 ± 0,21
RRE9	17,7 ± 0	8,81 ± 0,04	39,20 ± 11,75	7,42 ± 0,07	6 ± 0	1,80 ± 0,57
RRE10	17,43 ± 0,06	8,84 ± 0,11	55,12 ± 12,31	7,75 ± 0,13	15 ± 1,73	4,10 ± 2,26
RRE11	20,93 ± 0,12	9,84 ± 0,03	54,14 ± 1,49	7,42 ± 0,07	4,67 ±0,58	1,70 ± 0,42
RRE12	21 ± 0	8,64 ± 0,09	57,55 ± 0,07	7,18 ± 0,12	4 ± 0	4,05 ± 0,92
RRE13	21,53 ± 0,06	9,3 ± 0,19	111,65 ± 5,08	7,09 ± 0,05	14 ± 1	16,06 ± 1,34
RRE14	20,3 ± 0	8,86 ± 0,05	65,11 ± 0,27	7,59 ± 0,07	3 ± 0	1,85 ± 0,64
RRE15	20,6 ± 0	7,93 ± 0,09	63,32 ± 3,89	7,76 ± 0,05	14 ± 2,65	2,45 ± 0,07

*Diferencia de temperatura entre la zona analizada y la temperatura natural del agua.

[1] Expresado en términos de valor mínimo

Tabla 22: Concentraciones de los indicadores inorgánicos: Amonio, Cianuro, Cloruro y de los indicadores orgánicos: aceites y grasas, PCBs y HAPs en el río Rahue.

INDICADORES INORGÁNICOS				INDICADORES ORGÁNICOS		
Parámetro	**Amonio**	**Cianuro**	**Cloruro**	**Aceites y grasas**	**Bifenilos Policlorados PCBs**	**Benzo (a) pireno (HAP)**
Unidad	mg/L	ug/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L
Límites Norma Secundaria						
Clase Excepción	<0,5	<4	<80	<4	*	<0,016
Clase 1	1	5	100	5	0,04	0,2
Clase 2	1,5	10	150	5	0,045	1
Clase 3	2,5	50	200	10	>0,045	1
RRE1	0,15 ± 0,03	1 ± 0,0	1,83 ± 0,82	1,70 ± 0,36	<0,01	<0,01
RRE2	0,19 ± 0,01	3 ± 0,6	3,55 ± 0,71	1,90 ± 0,46	<0,01	<0,01
RRE3	0,07 ± 0,01	2 ± 0,6	5,43 ± 0,82	1,80 ± 0,60	<0,01	<0,01
RRE4	0,24 ± 0,05	2 ± 0,0	1,66 ± 0,41	2,13 ± 0,81	<0,01	<0,01
RRE5	0,04 ± 0,01	2 ± 0,0	4,96 ± 0,00	2,00 ± 0,00	<0,01	<0,01
RRE6	0,04 ± 0,02	2 ± 0,0	2,60 ± 0,41	3,53 ± 0,31	<0,01	<0,01
RRE7	0,04 ± 0,01	2 ± 1	3,78 ± 0,40	2,13 ± 0,75	<0,01	<0,01
RRE8	0,06 ± 0,02	2 ± 1	4,49 ± 0,41	3,40 ± 0,72	<0,01	<0,01
RRE9	0,07 ± 0,03	1 ± 0,6	4,73 ± 1,08	2,27 ± 0,15	<0,01	<0,01
RRE10	0,04 ± 0,00	1 ± 0,0	3,54 ± 1,22	1,70 ± 0,46	<0,01	<0,01
RRE11	0,15 ± 0,05	2 ± 0,0	2,35 ± 0,39	1,77 ± 0,83	<0,01	<0,01
RRE12	0,01 ± 0,00	1 ± 0,0	3,08 ± 0,41	2,23 ± 0,58	<0,01	<0,01
RRE13	0,71 ± 0,25	2 ± 0,0	9,67 ± 1,76	2,50 ± 0,66	<0,01	<0,01
RRE14	0,22 ± 0,06	2 ± 0,6	3,55 ± 0,71	1,77 ± 0,45	<0,01	<0,01
RRE15	0,31 ± 0,05	5 ± 0,0	4,49 ± 0,81	1,83 ± 0,21	<0,01	<0,01

Tabla 23: Concentraciones de los metales esenciales disueltos: Manganeso, Hierro, Cromo, Níquel, Cobre y Zinc, incluidos en la norma secundaria para las estaciones ubicadas en el río Rahue.

INDICADORES METALES ESENCIALES DISUELTOS						
Estación/ Parámetro Unidad	**Manganeso** mg/L	**Hierro** mg/L	**Cromo** ug/L	**Níquel** ug/L	**Cobre** ug/L	**Zinc** mg/L
Límites Norma Secundaria						
Clase Excepción	<0,04	<0,8	<8	<42	<7,2	<0,096
Clase 1	0,05	1	10	52	9	0,12
Clase 2	0,2	5	100	200	200	1
Clase 3	0,2	5	100	200	1000	5
RRE1	0,001 ± 0,0003	0,004 ± 0,0002	0,020 ± 0,000	<0,004 ± 0,000	<0,02 ± 0,00	0,002 ± 0,002
RRE2	0,001 ± 6 x10^{-5}	0,008 ± 0,0001	0,020 ± 0,000	<0,004 ± 0,000	<0,02 ± 0,00	0,0005 ± 0,004
RRE3	0,014 ± 0,001	0,11 ± 0,0003	0,020 ± 0,000	<0,004 ± 0,000	<0,02 ± 0,00	<0,002 ± 0,00
RRE4	0,004 ± 7 x10^{-5}	0,04 ± 0,0005	0,020 ± 0,000	<0,004 ± 0,000	<0,02 ± 0,00	0,007 ± 0,0005
RRE5	0,032 ± 0,0002	0,689 ± 0,0009	0,020 ± 0,000	<0,004 ± 0,000	0,04 ± 0,02	0,002 ± 7 x10^{-5}
RRE6	0,008 ± 0,0002	0,121 ± 0,0057	0,020 ± 0,000	<0,004 ± 0,000	<0,05 ± 0,00	0,0008 ± 0,0009
RRE7	0,026 ± 0,0003	0,277 ± 0,0019	0,020 ± 0,000	<0,004 ± 0,000	<0,05 ± 0,00	0,0007 ± 0,0006
RRE8	0,023 ± 0,003	0,410 ± 0,0011	0,020 ± 0,000	<0,004 ± 0,000	1,37 ± 0,04	0,029 ± 0,013
RRE9	0,017 ± 0,0001	0,393 ± 0,0049	0,020 ± 0,000	<0,004 ± 0,000	2,08 ± 2,68	0,004 ± 0,0023
RRE10	0,040 ± 0,002	0,432 ± 0,033	0,020 ± 0,000	<0,004 ± 0,000	0,05 ± 0,00	0,003 ± 0,003
RRE11	0,006 ± 0,0006	0,071 ± 0,005	0,020 ± 0,000	<0,004 ± 0,000	<0,02 ± 0,00	0,003 ± 0,002
RRE12	0,0122 ± 0,001	0,124 ± 0,009	0,020 ± 0,000	0,008 ± 0,000	<0,02 ± 0,00	0,001± 0,001
RRE13	0,013 ± 0,001	0,109 ± 0,012	0,020 ± 0,000	0,169 ± 0,228	1,40 ± 1,67	0,014 ± 0,016
RRE14	0,0099 ± 6 x10^{-5}	0,128 ± 0,004	0,020 ± 0,000	<0,004 ± 0,000	<0,02 ± 0,00	0,003 ± 0,003
RRE15	0,0165 ± 0,0005	0,179 ± 0,004	0,020 ± 0,000	<0,004 ± 0,000	<0,02 ± 0,00	0,003 ± 0,0004

Tabla 24: Resultados de los indicadores metales no esenciales disueltos Arsénico, Cadmio y Plomo, incluidos en la norma secundaria, para las estaciones ubicadas en el río Rahue.

INDICADORES METALES NO ESENCIALES DISUELTOS			
Parámetro	**Arsénico**	**Cadmio**	**Plomo**
Unidad	mg/L	µg/L	mg/L
Límites Norma Secundaria			
Clase Excepción	<0,04	<1,8	<0,002
Clase 1	0,05	2	0,0025
Clase 2	0,1	10	0,2
Clase 3	0,1	10	5
RRE1	$0{,}0005 \pm 2{,}8 \times 10^{-5}$	$0{,}003 \pm 0{,}003$	$4 \times 10^{-6} \pm 0$
RRE2	$0{,}0005 \pm 1{,}4 \times 10^{-5}$	$0{,}002 \pm 0{,}001$	$4 \times 10^{-6} \pm 0$
RRE3	$0{,}0005 \pm 1{,}3 \times 10^{-5}$	$0{,}002 \pm 0{,}001$	$4 \times 10^{-6} \pm 0$
RRE4	$0{,}0005 \pm 1{,}7 \times 10^{-5}$	$0{,}002 \pm 0{,}001$	$4 \times 10^{-6} \pm 0$
RRE5	$0{,}0004 \pm 8 \times 10^{-6}$	$0{,}001 \pm 0{,}000$	$3 \times 10^{-4} \pm 2 \times 10^{-4}$
RRE6	$0{,}0004 \pm 5 \times 10^{-6}$	$0{,}001 \pm 0{,}000$	$2 \times 10^{-6} \pm 0$
RRE7	$0{,}0008 \pm 6 \times 10^{-6}$	$0{,}001 \pm 0{,}000$	$2 \times 10^{-6} \pm 0$
RRE8	$0{,}0008 \pm 5{,}6 \times 10^{-5}$	$0{,}001 \pm 0{,}000$	$2 \times 10^{-4} \pm 2 \times 10^{-4}$
RRE9	$0{,}0008 \pm 1{,}6 \times 10^{-5}$	$0{,}001 \pm 0{,}000$	$2 \times 10^{-6} \pm 0$
RRE10	$0{,}0009 \pm 2{,}9 \times 10^{-5}$	$0{,}001 \pm 0{,}000$	$2{,}8 \times 10^{-5} \pm 3{,}6 \times 10^{-5}$
RRE11	$0{,}0004 \pm 1{,}2 \times 10^{-5}$	$0{,}001 \pm 0{,}000$	$4 \times 10^{-6} \pm 0$
RRE12	$0{,}0004 \pm 8{,}8 \times 10^{-5}$	$0{,}004 \pm 0{,}003$	$3 \times 10^{-6} \pm 0$
RRE13	$0{,}0003 \pm 2{,}8 \times 10^{-5}$	$0{,}036 \pm 0{,}048$	$7{,}6 \times 10^{-5} \pm 1 \times 10^{-4}$
RRE14	$0{,}0005 \pm 1{,}1 \times 10^{-5}$	$0{,}007 \pm 0{,}004$	$4 \times 10^{-6} \pm 0$
RRE15	$0{,}0005 \pm 1{,}2 \times 10^{-5}$	$0{,}002 \pm 0{,}001$	$4 \times 10^{-6} \pm 0$

Con respecto a las concentraciones de los metales no esenciales disueltos como el Arsénico (mg/L), Cadmio (ug/L) y Plomo (mg/L) (Tabla 24), estas fueron menores a los umbrales máximos permitidos.

Indicadores microbiológicos

Tabla 25: Resultados de indicadores microbiológicos, coliformes fecales expresados en NMP/100 ml, incluido en la norma secundaria para las estaciones ubicadas en el río Rahue.

INDICADORES MICROBIOLÓGICOS	
Parámetro	**Coliformes fecales**
Unidad	NMP/100 ml
Límites Norma Secundaria	
Clase Excepción	<10
Clase 1	1000
Clase 2	2000
Clase 3	5000
Estación	
RRE1	1,80 ± 0,00
RRE2	1,80 ± 0,00
RRE3	1648 ± 1742
RRE4	5,60 ± 4,80
RRE5	79,00 ± 53,67
RRE6	29,00 ± 5,29
RRE7	5,93 ± 6,99
RRE8	36,50 ± 10,48
RRE9	1813 ± 1523
RRE10	1880 ± 1343
RRE11	5,60 ± 1,91
RRE12	719,00 ± 806,54
RRE13	199,67 ± 137,91
RRE14	93,60 ± 127,41
RRE15	15,67 ± 6,43

Los indicadores microbiológicos (Coliformes fecales, NMP/100 ml), indican que la calidad de las aguas en las estaciones **RRE3** (aguas abajo confluencia con el estero Pichil, descarga de riles de empresa Mafrisur) y en dos estaciones localizadas al interior del radio urbano de la ciudad de Osorno, específicamente las estaciones **RRE9** (aguas abajo de sector donde se realiza la feria ganadera) y **RRE10** (aguas abajo de confluencia con estero Ovejería) del río Rahue son inadecuadas para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, así como para su uso de riego irrestricto (clase 2).

3.4.1.2 Parámetros complementarios en la determinación de la calidad ambiental de los ríos

Indicadores de eutrofización

En la guía para el establecimiento de Normas Secundarias en aguas continentales y marinas (MMA, 2017), se incluyen los parámetros clorofila-a (ug/L), nitrógeno total (mg/L) y fósforo total (mg/L) para la determinación del estado trófico de los ríos (Smith *et al.,* 1999). Considerando esta normativa, todas las estaciones monitoreadas en el río Rahue presentan bajas concentraciones de microalgas en la columna de agua. Sin embargo, las estaciones **RRE3** (aguas abajo confluencia con el estero Pichil) y **RRE13** (aguas abajo de descarga de las aguas tratadas por empresa ESSAL). registraron altas concentraciones de fósforo y nitrógeno, indicando un alto grado de perturbación antrópica (calidad eutrófico-hipertrófico; Tabla 26); además, la estación **RRE5 (**aguas abajo confluencia con Río Negro) mostró una alta concentración de fósforo (ambiente eutrófico) y las estaciones **RRE14** y **RRE15** (control de salida praderas y bosque) presentaron concentraciones de fósforo moderadamente altas (ambiente mesotrófico).

Tabla 26: Concentraciones de los indicadores de eutrofización: clorofila “a”, nitrógeno y fósforo total, en las estaciones ubicadas en el río Rahue.

INDICADORES DE EUTROFIZACIÓN			
Parámetro	**Clorofila "a"**	**N-total**	**P-total**
Unidad	ug/L	mg/L	mg/L
Límites Guía NSCA			
Oligotrófico	<10	<0,7	<0,025
Mesotrófico	10--30	0,7- 1,5	0,025 - 0,075
Eutrófico	31 - 50	1,6-2,0	0,076 - 0,1
Hipertrófico	>50	>2	>0,1
RRE1	2,54 ± 0,45	0,046 ± 0,005	0,006 ± 0,000
RRE2	3,03 ± 0,72	0,048 ± 0,004	0,006 ± 0,000
RRE3	1,40 ± 0,43	1,744 ± 0,712	0,151 ± 0,003
RRE4	2,21 ± 0,12	0,098 ± 0,002	0,014 ± 0,000
RRE5	2,01 ± 0,18	0,523 ± 0,007	0,083 ± 0,001
RRE6	2,49 ± 1,11	0,141 ± 0,003	0,020 ± 0,001
RRE7	3,46 ± 0,67	0,120 ± 0,001	0,021 ± 0,000
RRE8	2,41 ± 0,87	0,127 ± 0,002	0,020 ± 0,001
RRE9	2,98 ± 0,53	0,130 ± 0,005	0,020 ± 0,001
RRE10	3,32 ± 0,45	0,152 ± 0,006	0,022 ± 0,000
RRE11	3,14 ± 0,15	0,118 ± 0,003	0,018 ± 0,001
RRE12	2,39 ± 1,10	0,160 ± 0,007	0,024 ± 0,000
RRE13	7,18 ± 0,29	1,578 ± 0,032	0,654 ± 0,044
RRE14	3,32 ± 0,32	0,155 ± 0,007	0,028 ± 0,001
RRE15	2,97 ± 0,31	0,182 ± 0,007	0,043 ± 0,001

Metales pesados en sedimentos

La concentración de metales pesados en sedimento fue comparada con el reglamento US/EPA (adaptado por Nichols *et al.,* 1991), ya que actualmente no existe normativa chilena que regule las concentraciones de estos metales pesados en sedimentos. Según reglamento US/EPA los metales pesados: cromo (µg/g), arsénico (µg/g), plomo (µg/g) y cadmio (µg/g) presentan una contaminación moderada a no contaminado, es decir, se encuentra en concentraciones naturales que no afectan a los organismos de manera negativa (Tabla 27).

Indicadores biológicos

Los resultados del índice EPT indicaron que las estaciones **RRE8 (**aguas abajo del puente colgante ubicado en el sector de Ovejería), **RRE10** (sector de confluencia con estero Ovejería) y **RRE14** registran una calidad regular, en tanto que la estación **RRE6**, ubicada en el parque Arnoldo Keim, registra una mala calidad ambiental. Complementariamente el índice ChIBF muestra que la estación **RRE10** presenta una calidad regular (lugar donde desemboca el estero Ovejería) y la estación **RRE13** (aguas abajo de descarga de las aguas tratadas por empresa ESSAL) una mala calidad (Tablas 28 y 29).

En estos lugares, productos de perturbaciones antrópicas, predominaron organismos tolerantes a la contaminación larvas de moscas (chironomidos), caracoles, gusanos (oligoquetos) y no representantes sensibles a la contaminación (Figuras 12 y 13).

Tabla 27: Concentración de metales pesados: cromo, arsénico, plomo y cadmio en los sedimentos de las estaciones de monitoreo del Río Rahue, valores comparados con US/EPA 1991 (adaptado por Nichols *et al.*, 1991)

Parámetro Unidad	**Cromo** µg/g	**Arsénico** µg/g	**Plomo** µg/g	**Cadmio** µg/g
US/EPA 1991				
No contaminado	<25	<3	<40	
Contaminación moderada	25 - 75	3 - 8	40 - 50	
Contaminación alta	>75	>8	>60	>6
Estación				
RRE1	54,36 ± 0	6,69 ± 0	5,24 ± 0	<0,147
RRE2	47,04 ± 0	3,01 ± 0	13,46 ± 0	<0,147
RRE3	43,69 ± 0	3,2 ± 0	5,42 ± 0	<0,147
RRE4	34,64 ± 0	4,28 ±0	5,42 ±0	<0,147
RRE5	39,50 ± 10,27	4,51 ± 1,49	13,55 ± 0,41	<0,147
RRE6	50,58 ± 11,44	5,13 ± 0,38	14,24 ± 0,33	<0,147
RRE7	36,52 ± 3,14	4,09 ± 0,18	24,17 ± 4,50	<0,147
RRE8	46,11 ± 0	4,51 ± 0	40,45 ± 0	<0,147
RRE9	43,70 ± 1,10	3,64 ± 1,29	20,38 ± 10,59	<0,147
RRE10	50,64 ± 13,62	3,26 ± 0,04	13,20 ± 1,49	<0,147
RRE11	45,17 ± 0	3,35 ± 0	8,14 ± 0	<0,147
RRE12	60,77 ± 0	2,92 ± 0	21,09 ± 0	<0,147
RRE13	45,17 ± 0	3,34 ± 0	9,4 ± 0	<0,147
RRE14	42,6 ± 0	3,03 ± 0	6,11 ± 0	<0,147
RRE15	39,9 ± 0	2,46 ± 0	3,82± 0	<0,147

Tabla 28: Resultado del índice EPT (porcentaje Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera), indicador de calidad del agua en las estaciones de monitoreo ubicadas en el río Rahue. mala calidad del agua, regular calidad del agua.

Estaciones	Ephemeroptera	Plecoptera	Trichoptera	Otros	Total	%EPT
RRE1	24	0	73	33	130	**74,62**
RRE2	206	9	243	66	524	**87,4**
RRE4	62	0	0	62	124	**50**
RRE5	143	0	0	55	198	**72,22**
RRE6	32	4	1	196	233	**15,88**
RRE8	110	7	0	220	337	**34,72**
RRE9	34	0	0	25	59	**57,63**
RRE10	12	0	0	33	45	**26,67**
RRE13	12	0	0	287	299	**4,01**
RRE14	197	2	0	254	453	**43,93**

Tabla 29: Resultado del índice ChIBF (Índice Biótico de familia de macroinvertebrados chilenos) indicador de calidad del agua en las estaciones de monitoreo ubicadas en el río Rahue. muy mala calidad ambiental, regular calidad ambiental.

Orden	Familia	RRE1	RRE2	RRE4	RRE5	RRE6	RRE8	RRE9	RRE10	RRE13	RRE14
Ephemeroptera	Baetidae	X	X			X	X	X			X
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Plecoptera	Gripopterygidae		X			X	X				X
Trichoptera	Glossosomatidae		X								
Trichoptera	Hydropsychidae	X	X			X					
Coleoptera	Elmidae		X	X		X	X	X			X
Coleoptera	Psephenidae	X	X	X							
Diptera	Athericidae	X	X								
Diptera	Chironomidae	X	X	X		X	X	X	X	X	X
Diptera	Simulidae									X	X
Diptera	Tipulidae		X	X							X
Odonata	Gomphidae		X								
Acari	Acari	X		X	X						
Amphipoda	Hyalellidae	X				X	X		X	X	
Decapoda	Aeglidae	X	X	X	X	X	X		X		X
Mollusca	Chilinidae	X	X	X	X	X	X		X	X	X
Isopoda	Janiriidae					X			X	X	X
Mollusca	Lymnaeidae				X					X	
Mollusca	Physidae									X	
Oligochaeta	Haplotaxidae									X	
Hirudinea	Glossiphoniidae			X		X			X	X	
	ChIBF	**3,81**	**3,25**	**4,07**	**2,61**	**4,16**	**3,57**	**4,1**	**5,18**	**7,22**	**3,69**

3.4.2 RÍO DAMAS

3.4.2.1 Parámetros indicadores de Clase de calidad, según Guía para establecimiento de normas secundarias para ecosistemas fluviales

Indicadores fisicoquímicos

Los valores de pH y las concentraciones de los parámetros oxígeno disuelto (mg/L), conductividad (uS/cm), temperatura (°C) color (Pt-Co) y sólidos totales suspendidos (mg/L), medidos en el río Damas, indicaron que la calidad de sus aguas en las estaciones **RDM1** (naciente río)**, RDM4** (sector praderas), **RDM5** (aguas abajo río Tijeral), **RDM6** (aguas abajo descarga empresa Watt's)**, RDM7** (aguas abajo empresa Skretting, aserradero y construcción de edificios), **RDM9** (aguas abajo de confluencia con esteros Lutun y Barro Blanco)**, y RDM12** (desembocadura en río Rahue) son, según estos indicadores, inadecuadas para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y para el riego irrestricto (clase 2) (Tabla 30).

Indicadores orgánicos e inorgánicos

Las concentraciones de los indicadores inorgánicos: amonio (mg/L), cianuro (mg/L) y cloruro (mg/L), y orgánicos: aceites y grasas (mg/L), bifenilos policlorados PCBs (μg/L), Benzo (a) pireno (μg/L), registradas en las estaciones del río Damas, fueron menores a los límites permitidos en la norma secundaria (Tabla 31), por lo que, no constituyen una amenaza a la calidad ambiental del río.

Tabla 30: Resultado de los indicadores fisicoquímicos (oxígeno disuelto (mg/L), pH, conductividad (uS/cm), temperatura (°C), color (Pt-Co) y sólidos totales suspendidos (mg/L), incluidos en la norma secundaria para las estaciones ubicadas en el río Damas.

INDICADORES FISICOQUÍMICOS						
Parámetro	**Temperatura***	**[1]Oxígeno Disuelto**	**Conductividad**	**pH**	**Color**	**Sólidos Suspendidos Totales**
Unidad	°C	mg/L	µs/cm	Rango	Pt-Co	mg/L
Límites Norma Secundaria						
Clase Excepción	<0,5	>7,5	<600	6,0 - 8,5	<16	<24
Clase 1	1,5	7,5	750	6,0 - 8,5	20	30
Clase 2	1,5	5,5	1.500	6,0 - 8,5	100	50
Clase 3	3	5	2.250	6,0 - 8,5	>100	80
Estación						
RDM1	15,27 ± 0,06	9,39 ± 0,10	68,32 ± 1,03	7,09 ± 0,04	25 ± 3,46	17,80 ± 5,23
RDM2	12,83 ± 0,06	10,30 ± 0,13	62,67 ± 1,42	7,56 ± 0,05	15,33 ± 0,58	1,70 ± 0,00
RDM3	14,63 ± 0,06	10,16 ± 0,06	87,05 ± 23,78	7,94 ± 0,09	14 ± 0	4,40 ± 1,41
RDM4	18 ± 0	10,94 ± 0,30	63,19 ± 19,62	6,78 ± 0,11	25,67 ± 4,93	3,45 ± 0,07
RDM5	20,1 ± 0,10	9,74 ± 0,10	81,91 ± 2,76	7,49 ± 0,02	21 ± 1	3,83 ± 0,24
RDM6	20,97 ± 0,15	8,45 ± 0,01	95,18 ± 0,43	5,36 ± 0,61	29,67 ± 13,20	3,80 ± 0,57
RDM7	30,63 ± 0,65	6,08 ± 0,01	137,50 ± 0,79	7,56 ± 0,02	17 ± 1	4,45 ± 3,04
RDM8	20,03 ± 0,15	7,33 ± 0,11	88,11 ± 38,43	6,48 ± 0,04	18,67 ± 0,58	5,50 ± 0,14
RDM9	21,53 ±0,06	6,16 ± 0,04	149,93 ± 5,05	6,69 ± 0,04	17,33 ± 3,06	5,70 ± 3,82
RDM10	20,90 ± 0	8,54 ± 0,16	123,23 ± 3,31	6,83 ± 0,05	21,33 ± 1,15	4,42 ± 0,35
RDM11	20,13 ± 0,06	8,90 ±0,09	117,63 ± 4,97	7,07 ± 0,05	18 ± 1	3,20 ± 0,00
RDM12	19,60 ± 0	5,59 ± 0,03	130,53 ± 2,05	7,46 ± 0,17	17 ± 1,73	3,25 ± 0,07

*Diferencia de temperatura entre la zona analizada y la temperatura natural del agua.
[1] Expresado en términos de valor mínimo

Tabla 31: Concentraciones de los indicadores inorgánicos: Amonio, Cianuro, Cloruro y de los indicadores orgánicos: aceites y grasas, PCBs y HAPs, en el río Damas.

INDICADORES INORGÁNICOS				INDICADORES ORGÁNICOS		
Parámetro	**Amonio**	**Cianuro**	**Cloruro**	**Aceites y grasas**	**Bifenilos Policlorados PCBs**	**Benzo (a) pireno (HAP)**
Unidad	mg/L	ug/L	mg/L	mg/L	µg/L	µg/L
Límites Norma Secundaria						
Clase Excepción	<0,5	<4	<80	<4	*	<0,016
Clase 1	1	5	100	5	0,04	0,2
Clase 2	1,5	10	150	5	0,045	1
Clase 3	2,5	50	200	10	>0,045	1
Estación						
RDM1	0,350 ± 0,115	3 ± 0,0	4,723 ± 0,820	2,93 ± 0,81	<0,01	<0,01
RDM2	0,040 ± 0,010	1 ± 1	4,487 ± 0,410	2,17 ± 0,15	<0,01	<0,01
RDM3	0,047 ± 0,006	2 ± 1	4,487 ± 0,410	2,33 ± 0,35	<0,01	<0,01
RDM4	0,213 ± 0,084	2 ± 1	4,960 ± 0,710	3,01 ± 0,54	<0,01	<0,01
RDM5	0,033 ± 0,040	1 ± 0,0	2,270 ± 0,242	2,63 ± 0,50	<0,01	<0,01
RDM6	0,293 ± 0,101	2 ± 0,0	12,290 ± 2,682	2,57 ± 0,31	<0,01	<0,01
RDM7	0,460 ± 0,204	5 ± 0,0	5,433 ± 1,478	2,43 ± 0,21	<0,01	<0,01
RDM8	0,317 ± 0,006	2 ± 1	4,487 ± 0,410	2,58 ± 0,65	<0,01	<0,01
RDM9	0,613 ± 0,081	5 ± 0,0	8,507 ± 0,705	3,03 ± 1,10	<0,01	<0,01
RDM10	0,087 ± 0,023	2 ± 1	8,743 ± 2,865	2,93 ± 0,23	<0,01	<0,01
RDM11	0,020 ± 0,017	1 ± 0,0	9,217 ± 1,875	1,97 ± 0,45	<0,01	<0,01
RDM12	0,017 ± 0,006	1 ± 0,0	9,927 ± 1,236	3,20 ± 0,87	<0,01	<0,01

Indicadores inorgánicos-metales esenciales y no esenciales disueltos

Las concentraciones de los metales esenciales disueltos en la columna de agua (Tabla 32): Manganeso (mg/L), Hierro (mg/L), Cromo (ug/L), Níquel (ug/L), Cobre (ug/L) y Zinc (mg/L), resultaron bajas en las estaciones muestreadas, determinando que estos parámetros no afectaron negativamente al medio acuático (clase excepción).

En relación con las concentraciones de los metales no esenciales disueltos (Tabla 33) Arsénico (mg/L), Cadmio (ug/L) y Plomo (mg/L), estas fueron menores a los umbrales máximos permitidos por lo que no podrían en riesgo la calidad ambiental del río.

Indicadores microbiológicos

Los indicadores microbiológicos muestran que la calidad de las aguas en las estaciones del río Damas insertas en el núcleo urbano (**RDM6- RDM7- RDM8- RDM9- RDM10- RDM11- RDM12**), se ve afectada por la contaminación de Coliformes Fecales (NMP/100 ml) producto de las actividades productivas y domiciliarias que descargan sus efluentes al río (Tabla 34). Con base a este resultado, el agua incluida en el tramo urbano del río Damas presenta condiciones inadecuadas para la protección y conservación de las comunidades acuáticas, para el riego irrestricto, desarrollo acuícola, pesca deportiva y recreativa.

Destacan por su mala calidad la estación **RDM6,** ubicada aguas abajo de descarga empresa Watt´s (CALO), junto con la estación **RDM10** (81000,00 ± 48445,85), identificada como aliviadero de tormentas de la empresa ESSAL en sector Los Notros (Tabla 2 y Tabla 34). Para esta última estación, existen en el sector varias denuncias por parte de los vecinos sobre descargas de desechos domiciliarios al río.

Tabla 32: Concentraciones de Manganeso, Hierro, Cromo, Níquel, Cobre y Zinc como indicadores de metales esenciales disueltos, parámetros incluidos en la norma secundaria para las estaciones ubicadas en el río Damas.

INDICADORES METALES ESENCIALES DISUELTOS						
Parámetro Unidad	**Manganeso** mg/L	**Hierro** mg/L	**Cromo** ug/L	**Níquel** ug/L	**Cobre** ug/L	**Zinc** mg/L
Límites Norma Secundaria						
Clase Excepción	<0,04	<0,8	<8	<42	<7,2	<0,096
Clase 1	0,05	1	10	52	9	0,12
Clase 2	0,2	5	100	200	200	1
Clase 3	0,2	5	100	200	1000	5
Estación						
RDM1	0,019 ± 5 x10^{-5}	0,48 ± 0,006	0,02	<0,004 ± 0,000	<0,02 ± 0,00	0,003 ± 0,0006
RDM2	0,016 ± 0,0007	0,39 ± 0,020	0,02	<0,004 ± 0,000	0,95 ± 0,37	0,007 ± 0,002
RDM3	0,0074 ± 0,0002	0,11 ± 0,0009	0,02	<0,004 ± 0,000	<0,05 ± 0,00	0,002 ± 0,0003
RDM4	0,023 ± 0,0004	0,25 ± 0,003	0,02	<0,004 ± 0,000	<0,02 ± 0,00	0,001 ± 4 x10^{-5}
RDM5	0,008 ± 0,0002	0,11 ± 0,001	0,02	<0,004 ± 0,000	<0,05 ± 0,00	0,001 ± 0,001
RDM6	0,021 ± 0,003	0,56 ± 0,029	0,02	0,585 ± 0,403	0,98 ± 0,34	0,003 ± 0,0005
RDM7	0,059 ± 0,002	0,47 ± 0,021	0,02	0,160 ± 0,014	<0,02 ± 0,00	0,002 ± 0,0006
RDM8	0,029 ± 0,001	0,39 ± 0,017	0,02	<0,004 ± 0,000	<0,02 ± 0,00	0,003 ± 0,0003
RDM9	0,074 ± 0,036	0,39 ± 0,19	0,02	0,330 ± 0,311	<0,25 ± 0,32	0,015 ± 0,011
RDM10	0,007 ± 0,0003	0,11 ± 0,0008	0,02	<0,004 ± 0,000	<0,05 ± 0,00	0,002 ± 0,0001
RDM11	0,008 ± 3 x10^{-5}	0,22 ± 0,0008	0,02	<0,004 ± 0,000	<0,05 ± 0,00	0,003 ± 0,002
RDM12	0,014 ± 0,0004	0,21 ± 0,0003	0,02	<0,004 ± 0,000	0,05 ± 0,00	0,002 ± 0,0006

Tabla 33: Concentraciones de Arsénico, Cadmio y Plomo como indicadores metales no esenciales disueltos incluidos en la norma secundaria para las estaciones ubicadas en el río Damas.

INDICADORES METALES NO ESENCIALES DISUELTOS			
Parámetro Unidad	**Arsénico** mg/L	**Cadmio** ug/L	**Plomo** mg/L
Límites Norma Secundaria			
Clase Excepción	<0,04	<1,8	<0,002
Clase 1	0,05	2	0,0025
Clase 2	0,1	10	0,2
Clase 3	0,1	10	5
RDM1	$7,3 \times 10^{-5} \pm 4 \times 10^{-6}$	0,002 ± 0,0	$4 \times 10^{-6} \pm 0,0$
RDM2	$0,0005 \pm 1,6 \times 10^{-5}$	0,01 ± 0,0	1,2 x10-4 ± $3,3 \times 10^{-5}$
RDM3	$0,0005 \pm 3,5 \times 10^{-5}$	0,01 ± 0,0	$2 \times 10^{-6} \pm 0,0$
RDM4	$0,0008 \pm 3,1 \times 10^{-5}$	0,003 ± 0,002	$4 \times 10^{-6} \pm 0,0$
RDM5	$0,0005 \pm 2 \times 10^{-6}$	0,01 ± 0,0	$2 \times 10^{-6} \pm 0,0$
RDM6	0,0007 ± 0,0003	0,003 ± 0,002	$4 \times 10^{-6} \pm 0,0$
RDM7	$0,0009 \pm 2 \times 10^{-6}$	0,007 ± 0,002	$8,7 \times 10^{-5} \pm 3,7 \times 10^{-5}$
RDM8	$0,0008 \pm 6,2 \times 10^{-5}$	0,002 ± 0,001	$9,1 \times 10^{-5} \pm 1,1 \times 10^{-3}$
RDM9	0,0007 ± 0,004	0,011 ± 0,007	$9,4 \times 10^{-5} \pm 1,2 \times 10^{-3}$
RDM10	$0,0005 \pm 2,8 \times 10^{-5}$	0,01 ± 0,0	$2 \times 10^{-6} \pm 0,0$
RDM11	$0,0005 \pm 2,3 \times 10^{-5}$	0,01 ± 0,0	$2 \times 10^{-6} \pm 0,0$
RDM12	$0,001 \pm 5 \times 10^{-6}$	0,01 ± 0,0	$2 \times 10^{-6} \pm 0,0$

Tabla 34: Concentraciones de Coliformes fecales expresados en NMP/100 ml, incluido en la norma secundaria para las estaciones ubicadas en el río Damas.

INDICADORES MICROBIOLÓGICOS	
Parámetro	**Coliformes fecales**
Unidad	NMP/100 ml
Límites Norma Secundaria	
Clase Excepción	<10
Clase 1	1000
Clase 2	2000
Clase 3	5000
Estación	
RDM1	1,93 ± 0,12
RDM2	16,67 ± 5,51
RDM3	22,33 ± 9,02
RDM4	45,33 ± 21,36
RDM5	50,33 ± 28,02
RDM6	8116,67 ± 8380,98
RDM7	1180,00 ± 815,60
RDM8	2866,67 ± 1096,97
RDM9	19333,33 ± 4041,45
RDM10	81000,00 ± 48445,85
RDM11	60333,33 ± 29022,98
RDM12	31333,33 ± 20033,31

3.4.2.2 Parámetros complementarios en la determinación de la calidad ambiental del río Damas

Indicadores de eutrofización

En la guía para el establecimiento de Normas Secundarias en aguas continentales y marinas (MMA, 2017) se incluyen los parámetros Clorofila-a (ug/L), Nitrógeno Total (mg/L) y Fósforo Total (mg/L) para la determinación del estado trófico de los ríos (Smith *et al.,* 1999). Considerando esta normativa, todas las estaciones presentan bajas concentraciones de microalgas en la columna de agua del río Damas. No obstante, las concentraciones de fósforo total (mg/L) fueron altas en las estaciones **RDM3** (sector de praderas), **RDM5** (aguas abajo de confluencia con río Tijeral), y en el núcleo urbano de la ciudad de Osorno **RDM6, RDM7, RDM8, RDM9, RDM10 y RDM12** (ambiente eutrófico) y la concentración de nitrógeno total (mg/L) fue alta en la estación **RDM10** ubicada aguas abajo de aliviadero de tormenta ESSAL-Los Notros (ambiente eutrófico). Las aguas de las estaciones rurales **RDM1, RDM2, RDM4,** registraron moderadas concentraciones de fósforo y nitrógeno (ambiente mesotrófico) (Tabla 35).

Metales pesados en sedimentos

La concentración de metales pesados en sedimento fue comparada en el reglamento US/EPA (adaptado por Nichols *et al.,* 1991), ya que actualmente no existe normativa chilena que regule las concentraciones de estos metales en sedimento. Según reglamento US/EPA los metales: cadmio (μg/g), cromo (μg/g), arsénico (μg/g), plomo (μg/g) presentan una contaminación moderada a no contaminado, es decir, son concentraciones naturales que no revisten un peligro para ningún organismo vivo (Tabla 36).

Tabla 35: Resultados de clorofila “a”, Nitrógeno total (N-total) y fósforo total (P-total) incluidos en la norma secundaria como estado trófico para las estaciones ubicadas en el río Damas.

INDICADORES DE EUTROFIZACIÓN			
Parámetro Unidad	**Clorofila "a"** ug/L	**N-Total** mg/L	**P-total** mg/L
Límites Guía NSCA			
Oligotrófico	<10	<0,7	<0,025
Mesotrófico	10--30	0,7- 1,5	0,025 - 0,075
Eutrófico	31 - 50	1,6-2,0	0,076 - 0,1
Hipertrófico	>50	>2	>0,1
Estación			
RDM1	2,26 ± 0,19	0,896 ± 0,060	0,017 ± 0,000
RDM2	2,93 ± 0,31	0,222 ± 0,004	0,035 ± 0,000
RDM3	2,87 ± 0,44	0,395 ± 0,024	0,077 ± 0,002
RDM4	3,30 ± 0,09	0,242 ± 0,004	0,070 ± 0,001
RDM5	2,98 ± 0,43	0,275 ± 0,007	0,082 ± 0,001
RDM6	2,83 ± 0,03	0,358 ± 0,006	0,082 ± 0,002
RDM7	8,34 ± 2,54	0,798 ± 0,040	0,088 ± 0,010
RDM8	3,54 ± 0,75	0,718 ± 0,015	0,089 ± 0,001
RDM9	5,31 ± 0,44	1,075 ± 0,012	0,085 ± 0,001
RDM10	2,39 ± 0,13	1,647 ± 0,043	0,157 ± 0,006
RDM11	3,02 ± 0,27	0,635 ± 0,003	0,074 ± 0,000
RDM12	2,86 ± 0,19	0,840 ± 0,029	0,083 ± 0,006

Tabla 36: Concentración de metales pesados: cromo, arsénico, plomo y cadmio en los sedimentos de las estaciones de monitoreo del Río Damas, valores comparados con US/EPA 1991 (adaptado por Nichols *et al.*, 1991).

Parámetro	**Cromo**	**Arsénico**	**Plomo**	**Cadmio**
Unidad	µg/g	µg/g	µg/g	µg/g
US/EPA 1991				
No contaminado	<25	<3	<40	
Contaminación moderada	25 - 75	3 - 8	40 - 50	
Contaminación alta	>75	>8	>60	>6
RDM1	24,41 ± 0	3,71 ± 0	6,15 ± 0	<0,147
RDM2	23,61 ± 3,25	5,13 ± 0,41	14,50 ± 1,94	<0,147
RDM3	27,57 ± 2,31	6,25 ± 0,04	47,35 ± 3,78	<0,147
RDM4	32,71 ± 0	5,38 ± 0	14,48 ± 0	<0,147
RDM5	36,17 ± 0,63	3,96 ± 1,51	12,99 ± 7,91	<0,147
RDM6	26,93 ± 0	6,03 ± 0	10,75 ± 0	<0,147
RDM7	28,05 ± 0	5,3 ± 0	17,01 ± 0	<0,147
RDM8	34,12 ± 12,40	4,93 ± 0,98	36,83 ± 11,79	<0,147
RDM9	25,45 ± 0	3,85 ± 0	17,39 ± 0	<0,147
RDM10	27,83 ± 5,38	4,56 ± 0,07	28,13 ± 5,66	<0,147
RDM11	26,61 ± 2,46	3,46 ± 0,42	16,76 ± 7,51	<0,147
RDM12	30,87 ± 6,58	5,43 ± 0,04	47,01 ± 0,35	<0,147

Indicadores biológicos

Los resultados del índice EPT muestran la existencia de aguas con muy buena calidad en las estaciones **RDM1, RDM2** ambas ubicadas en la naciente del río Damas, además de la estación **RDM4**, ubicada en un predio privado con bosque de ribera. En cambio las aguas de la estación **RDM5**, ubicada en la desembocadura del estero Tijeral, son de calidad regular y las estaciones **RDM3** (sector praderas), y las que se localizan en el núcleo urbano de Osorno **RDM6, RDM7, RDM8, RDM9, RDM10, RDM11, RDM12** presenta una muy mala calidad (Tabla 37). Complementariamente el índice ChIBF presenta que las estaciones **RDM1 y RDM2** tiene una calidad excelente y la **RDM4** muy buena. En cambio, las estaciones **RDM3 y RDM5** muestran una calidad regular, propia de un ambiente perturbado; y el tramo existente entre las estaciones **RDM6** hasta **RDM12** (núcleo urbano) muestran una mala calidad, correspondiendo a un ambiente muy perturbado (Tabla 38). En estos lugares, productos de perturbaciones antrópicas, predominaron organismos tolerantes a la contaminación larvas de moscas (chironomidos), caracoles, gusanos (oligoquetos) y no representantes sensibles a la contaminación (Figuras 12 y 13).

Tabla 37: Resultado del índice EPT (porcentaje Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera), indicador de calidad del agua en las estaciones de monitoreo ubicadas en el río el río Damas. mala calidad del agua, regular calidad del agua.

Estaciones	Ephemeroptera	Plecoptera	Trichoptera	Otros	Total	**%EPT**
RDM1	123	10	5	31	169	**81,66**
RDM2	282	0	20	43	345	**87,54**
RDM3	143	0	5	509	657	**22,53**
RDM4	264	3	109	116	492	**76,42**
RDM5	159	3	113	799	1074	**25,61**
RDM6	71	0	59	2027	2157	**6,03**
RDM8	0	0	3	1358	1358	**0,22**
RDM9	0	0	0	723	723	**0**
RDM10	0	0	0	680	680	**0**
RDM11	40	0	0	1119	1159	**3,45**
RDM12	1	0	0	82	83	**1,21**

Tabla 38: Resultado del índice ChIBF (Índice Biótico de familia de macroinvertebrados chilenos) indicador de calidad del agua en las estaciones de monitoreo ubicadas en el río Damas. mala calidad del agua, regular calidad del agua.

Orden	Familia	RDM1	RDM2	RDM3	RDM4	RDM5	RDM6	RDM8	RDM9	RDM10	RDM11	RDM12
Ephemeroptera	Baetidae	X	X	X	X	X	X					
Ephemeroptera	Leptophlebiidae	X	X	X	X	X	X				X	X
Plecoptera	Gripopterygidae	X			X	X						
Trichoptera	Calamoceratidae		X									
Trichoptera	Glossosomatidae		X	X	X							
Trichoptera	Hydrobiosidae		X	X	X							
Trichoptera	Hydropsychidae	X	X		X	X	X					
Trichoptera	Limnephilidae			X	X							
Trichoptera	Parasericostomatidae	X										
Coleoptera	Psephenidae		X		X	X	X					
Coleoptera	Elmidae		X		X	X	X					
Diptera	Athericidae				X		X					
Diptera	Blepharicidae				X							
Diptera	Ceratopogonidae		X									
Diptera	Chironomidae	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Diptera	Empididae				X		X				X	
Diptera	Simulidae	X	X	X		X						
Diptera	Tipulidae		X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Acari	Acari				X							
Amphipoda	Hyalellidae		X					X	X	X	X	X
Decapoda	Aeglidae	X	X	X		X	X					
Mollusca	Lymnaeidae								X		X	
Mollusca	Physidae						X	X	X	X	X	X
	ChIBF	**2,67**	**2,57**	**6,01**	**3,81**	**5,82**	**6,65**	**6,96**	**6,92**	**7,04**	**7,03**	**7,1**

3.5 CONCLUSIONES

3.5.1 RÍO RAHUE

En las 15 estaciones ubicadas en el río Rahue, las concentraciones de indicadores inorgánicos: amonio (mg/L), cianuro (mg/L) y cloruro (mg/L), orgánicos: aceites y grasas (mg/L), Bifenilos policlorados PCBs (ug/L), Benzo(a) pireno (ug/L), metales esenciales y no esenciales disueltos, y las concentraciones o valores de los indicadores fisicoquímicos: oxígeno disuelto (mg/L), pH, conductividad (uS/cm), temperatura (°C), Color (Pt-Co) y sólidos totales suspendidos (mg/L) fueron menores a los límites máximos descritos en la guía para elaboración e implementación de Normas de Calidad Secundaria (MMA, 2017, CONAMA, 2004), por lo que estos analitos no ponen en peligro la calidad ambiental del río. No obstante, en la estación **RRE5 (**aguas abajo confluencia con Río Negro) el Color (Pt-Co) presentó una concentración más alta, que clasifica a este sector en clase 2, y por lo tanto, la calidad de agua resultó en este lugar, inadecuada para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y para riego. Para esta estación la alteración de este parámetro fue asociada con el transporte de materiales que aporta el río Negro desde su confluencia (Tabla 21, Figura 14).

Los indicadores microbiológicos **Coliformes fecales** (NMP/100ml) (Tabla 25, Figura 9) muestran que la calidad de las aguas en las estaciones **RRE3** (aguas abajo confluencia con el estero Pichil)**, RRE9** (aguas abajo sector donde se realiza la feria ganadera de empresas Tattersall y Sociedad Ganadera de Osorno) y **RR10** (sector de confluencia con estero Ovejería) resultaron inadecuadas para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y para el riego irrestricto (clase 2).

Complementariamente la concentración de los metales: cromo (µg/g), arsénico (µg/g), plomo (µg/g) y cadmio (µg/g) registraron, en los sedimentos, concentraciones moderadas por lo que no ponen en riesgo la salud del ecosistema. Mientras que, los **indicadores de eutrofización** (Tabla 26, Figura 10) muestran en las estaciones **RRE3** y **RRE13** (aguas abajo de descarga de las aguas tratadas por empresa ESSAL) concentraciones muy altas de fósforo (mg/L) y nitrógeno (mg/L), evidenciando un alto grado de perturbación antrópica (calidad eutrófico-hipertrófico). También se registró una concentración alta de fósforo en la estación **RRE5** (ambiente eutrófico) y moderadamente altas en las estaciones **RRE14** y **RRE15** (ambiente mesotrófico).

Los indicadores biológicos (**índices EPT y ChIBF**), muestran perturbaciones y mala calidad ambiental de algunas estaciones. En lo particular, el índice EPT muestra una calidad regular en las estaciones **RRE8 (**aguas abajo del puente colgante ubicado en el sector de Ovejería)**, RRE10** (lugar donde desemboca el estero Ovejería) y **RRE14**, en tanto que la estación **RRE6** ubicada en el parque Arnoldo Keim, presentó una mala calidad ambiental. Por su parte, el índice ChIBF muestra que la estación **RRE10** presenta calidad regular y la estación **RRE13** una mala calidad (Tablas 28 y 29; Figuras 11 y 12). Los índices utilizados en este estudio, incluidos en la normativa ambiental y complementarios, resultaron eficientes como indicadores de la calidad ambiental o salud

del ecosistema en las estaciones monitoreadas, permitiendo categorizar la calidad del agua en una escala biológica comprensible, y proporcionando una perspectiva de los potenciales cambios que puede sufrir un ecosistema bajo presiones antrópicas constantes en el tiempo o puntuales.

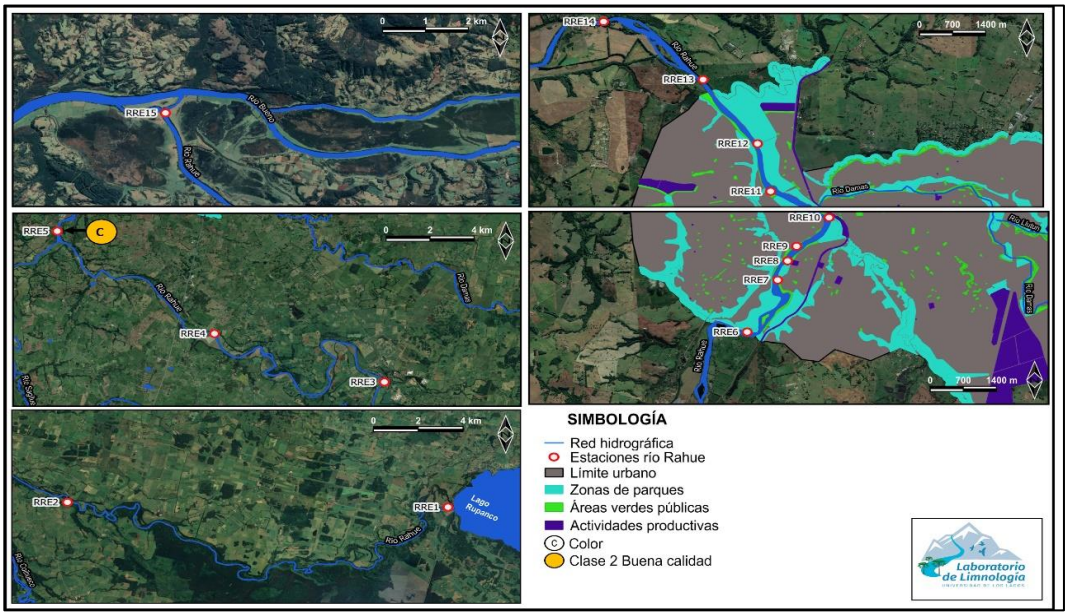

Figura 14: Ubicación de las estaciones en el río Rahue, donde Color (Pt-Co) indicó deterioro de la calidad secundaria del río.

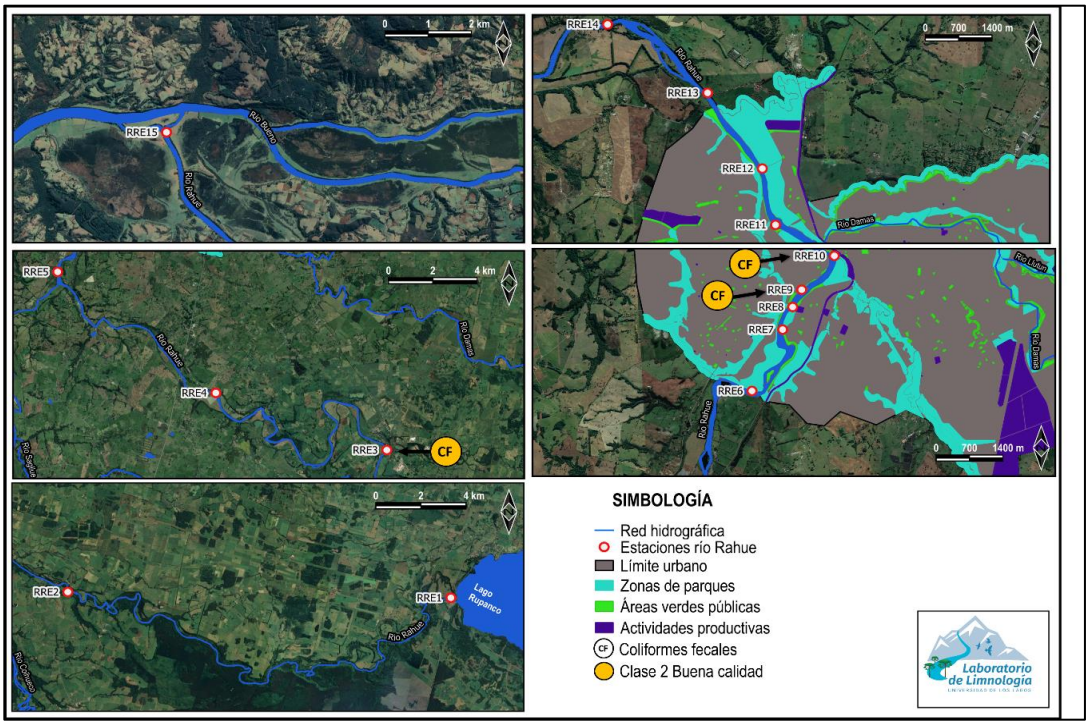

Figura 15: Ubicación de las estaciones en el río Rahue, donde el indicador microbiológico, Coliformes fecales (NMP/100 ml) indicó deterioro de la calidad secundaria del río.

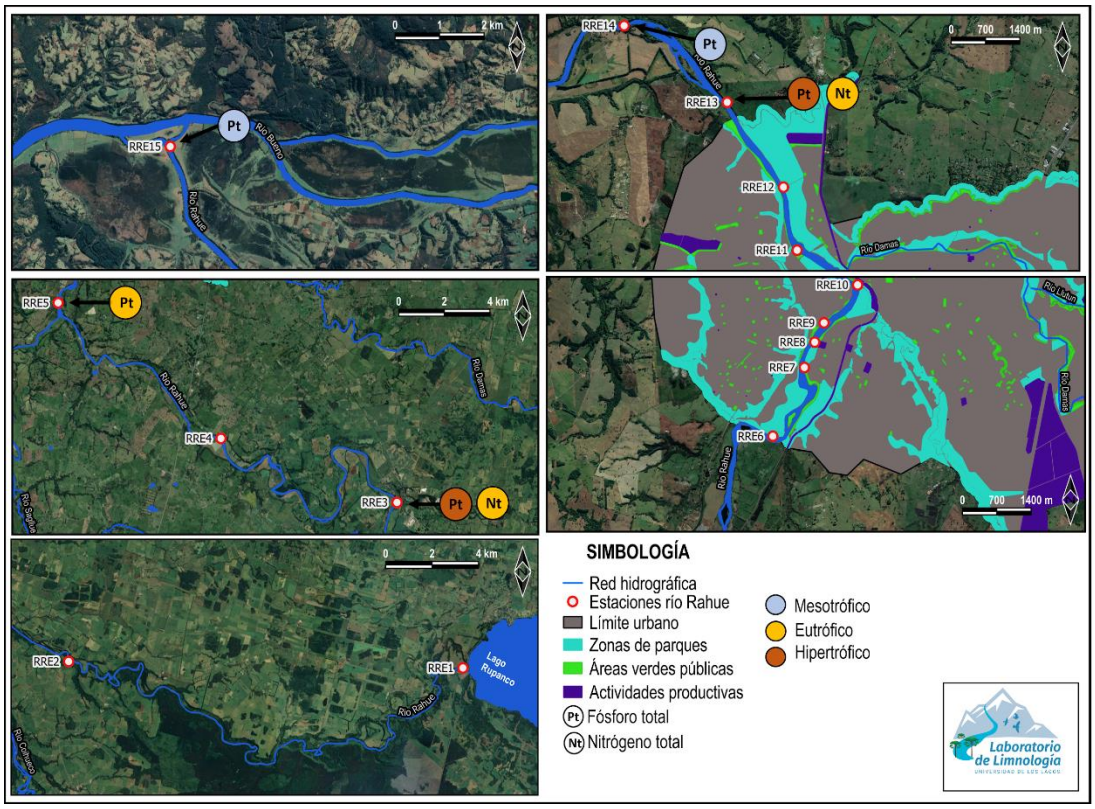

Figura 16: Ubicación de las estaciones en el río Rahue, donde las concentraciones de los indicadores de eutrofización, fósforo y nitrógeno total (mg/L), indican las condiciones de mesotrofia, eutrofia e hipertrofia del ecosistema fluvial.

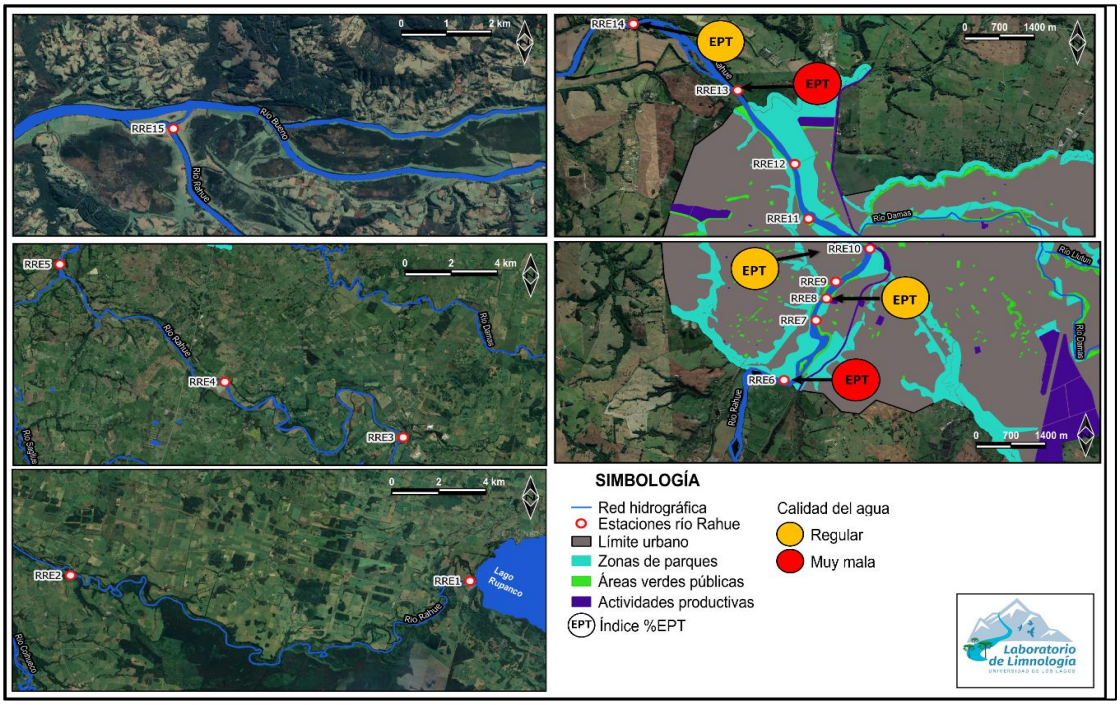

Figura 17: Ubicación de las estaciones en el río Rahue, donde el índice biótico %EPT (porcentaje Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera) indicó deterioro de la calidad secundaria del río.

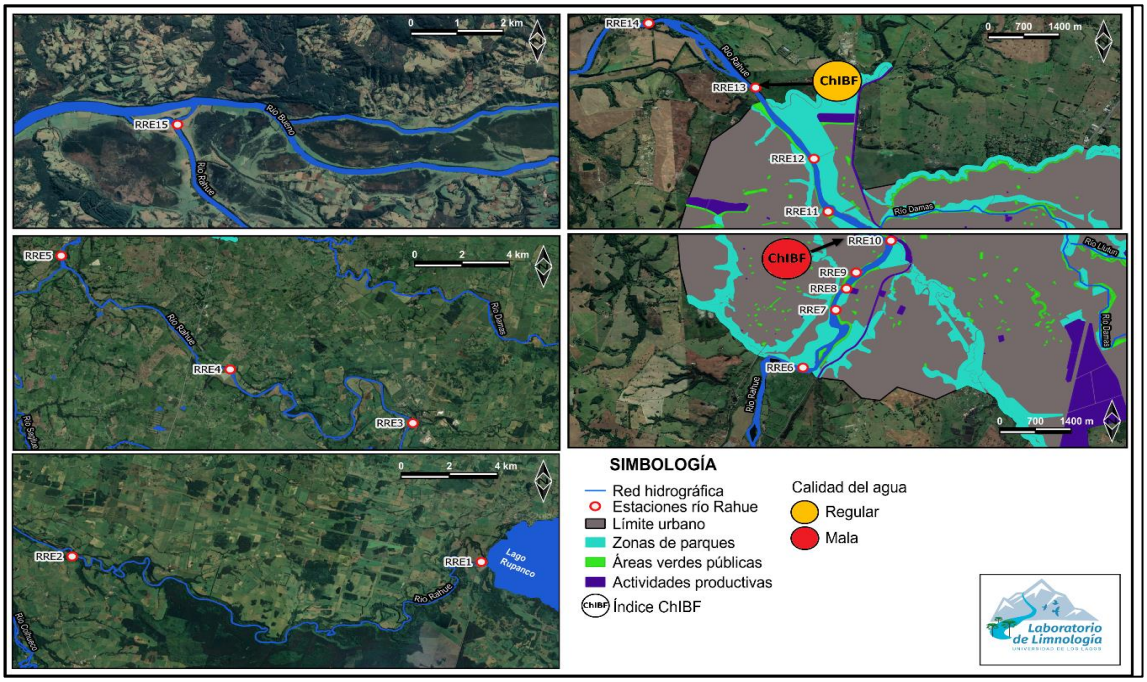

Figura 18: Ubicación de las estaciones en el río Rahue, donde índice biótico ChIBF (Chile Índice Biótico de familia) indicó deterioro de la calidad secundaria del río.

3.5.2 RÍO DAMAS

En el río Damas, las concentraciones de indicadores inorgánicos: amonio (mg/L), cianuro (mg/L) y cloruro (mg/L), orgánicos: (aceites y grasas (mg/L), Bifenilos policlorados PCBs (ug/L), Benzo(a)pireno (ug/L), metales esenciales y no esenciales disueltos, resultaron menores a los límites máximos descritos en la guía para elaboración e implementación de Normas de Calidad Secundaria (MMA, 2017, CONAMA 2004) (Tablas 31, 32, 33) por lo que su presencia no pone en riesgo la calidad ambiental del ecosistema. Sin embargo, los indicadores fisicoquímicos oxígeno disuelto (mg/L), pH, conductividad (uS/cm), temperatura (°C), color (Pt-Co) y sólidos totales suspendidos (mg/L), presentaron en las estaciones **RDM1**(naciente), **RDM4** (sector de praderas), **RDM5** (sector de praderas)**, RDM6** (aguas abajo de descarga Watt's, CALO), **RDM7** (aguas abajo de empresa Skretting, aserradero y construcción de edificios)**, RDM9** (aguas abajo de confluencia con esteros Lutun y Barro Blanco) **y RDM12** (desembocadura en río Rahue)**,** de acuerdo con los límites máximos establecidos en la guía para elaboración e implementación de Normas de Calidad Secundaria (MMA, 2017, CONAMA, 2004), concentraciones o valores inadecuadas para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y para el riego irrestricto (clase 2). Específicamente en la estación **RDM7** la temperatura registró un incremento de 10°C con respecto a las demás estaciones, en tanto que la concentración de oxígeno disuelto (mg/L) fue menor en las estaciones **RDM7, RDM9 y RDM12**. El pH resultó ácido en la estación **RDM6** y el color (Pt-Co) levemente alto en las estaciones **RDM1**, **RDM4, RDM5, RDM6** (Figura 19).

El indicador microbiológico **Coliformes fecales** (NMP/100ml) indicó que la calidad de las aguas en las estaciones ubicadas en el núcleo urbano de la ciudad de Osorno, **RDM6, RDM7, RDM8, RDM9, RDM10, RDM11, RDM12,** son inadecuadas para la protección y conservación de las comunidades acuáticas y para el riego irrestricto (clase 3). Inclusive, en algunas de estas estaciones localizadas en el núcleo urbano de la ciudad de Osorno, las concentraciones de Coliformes fecales sobrepasan hasta 80 veces los umbrales establecidos en la normativa (Tabla 34, Figura 20).

Complementariamente la concentración de los metales cromo (µg/g), arsénico (µg/g), plomo (µg/g) y cadmio (µg/g) registraron en los sedimentos concentraciones moderadas por lo que no ponen en riesgo la salud del ecosistema. Mientras que, los **indicadores de eutrofización** (Tabla 35, Figura 21) muestran muy altas concentraciones de nitrógeno total (mg/L) y fósforo total (mg/L) en la estación **RDM10** (ambiente hipertrófico), altas concentraciones de fósforo en las estaciones **RDM3** (sector de praderas**) , RDM5, RDM6; RDM7, RDM8, RDM9 y RDM12** (ambiente eutrófico), concentraciones moderadas de nitrógeno total (mg/L) en las estaciones **RDM1, RDM7, RDM8, RDM9 y RDM12** y moderadamente altas de fósforo total (mg/L) en las estaciones **RDM2, RDM4, RDM11**, indicando una condición ambiental de mesotrofia. Las altas concentraciones registradas en el río indican un alto grado de eutrofización y perturbación antrópica de su ambiente.

Los indicadores biológicos (**índices EPT y ChIBF**), muestran perturbaciones y mala calidad ambiental de algunas estaciones (Tabla 37, 38; Figura 22). En particular, las estaciones **RDM1**, **RDM2** y **RDM4** presentaron una calidad muy buena. Las primeras dos estaciones se localizan en la naciente del río, en tanto que la tercera se encuentra en un predio privado, donde el dueño indica que privilegia contar con bosque de ribera bien conservado, restringiendo el acceso del ganado (vacunos) al río. Una calidad de agua regular fue registrada en la estación **RDM5**, ubicada en la desembocadura del estero Tijeral. Una mala calidad de agua fue registrada en la estación **RDM3**, y desde la estación **RDM6 (**descarga empresa Whatt´s) hasta **RDM12** (desembocadura en río Rahue) (Tabla 37, Figura 16). Los resultados del índice ChIBF fueron coherentes con los obtenidos con el índice EPT, indicando una menor calidad de agua en las estaciones insertas en el núcleo urbano, con algunas diferencias en los rangos de calidad. Las estaciones **RDM1** y **RDM2** fueron clasificadas como de excelente calidad, y **RDM4** muy buena; en contraste, las estaciones **RDM3** y **RDM5** muestran una calidad relativamente mala, y las estaciones comprendidas entre **RDM6** y **RDM12** presentaron mala calidad.

Los índices utilizados en este estudio, incluidos en la normativa ambiental y los complementarios, resultaron eficientes como indicadores de la calidad ambiental o salud del ecosistema en las estaciones monitoreadas, permitiendo categorizar la calidad del agua en una escala biológica comprensible, y proporcionando una perspectiva de los potenciales cambios que puede sufrir un ecosistema bajo presiones antrópicas constantes en el tiempo o puntuales.

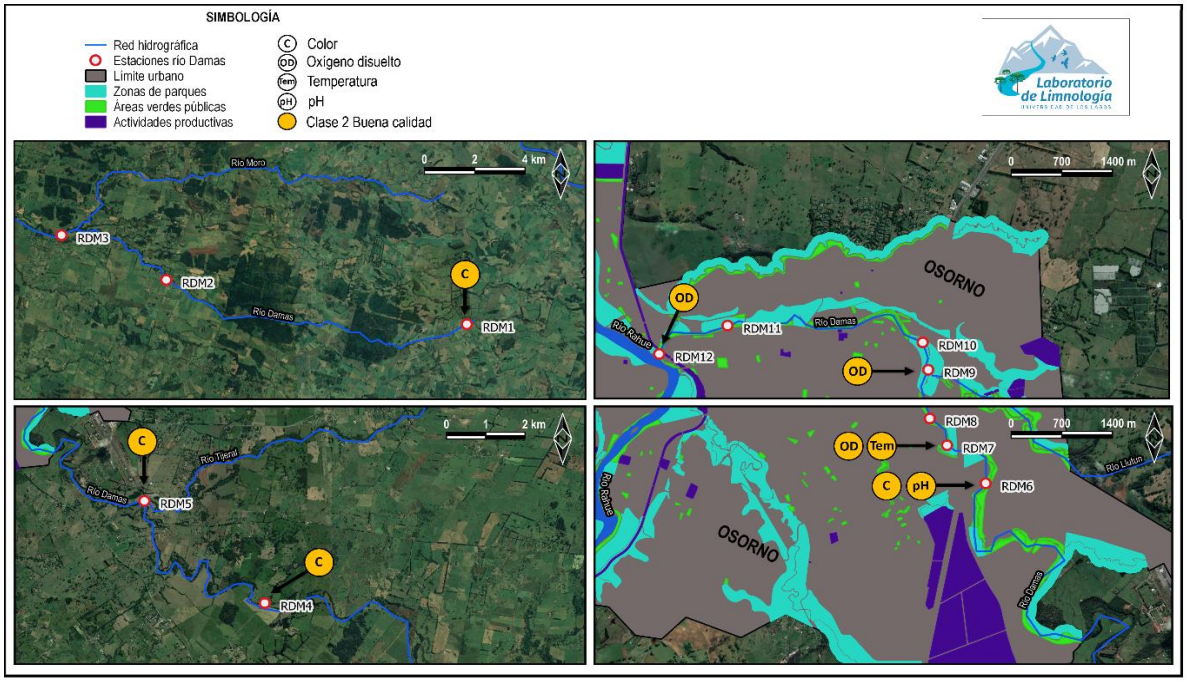

Figura 19: Ubicación de las estaciones en el río Damas, donde los indicadores fisicoquímicos, color (Pt-Co); oxígeno disuelto (mg/L); Temperatura (°C) y pH mostraron valores alterados según los límites establecidos en la norma secundaria para las estaciones ubicadas en el río.

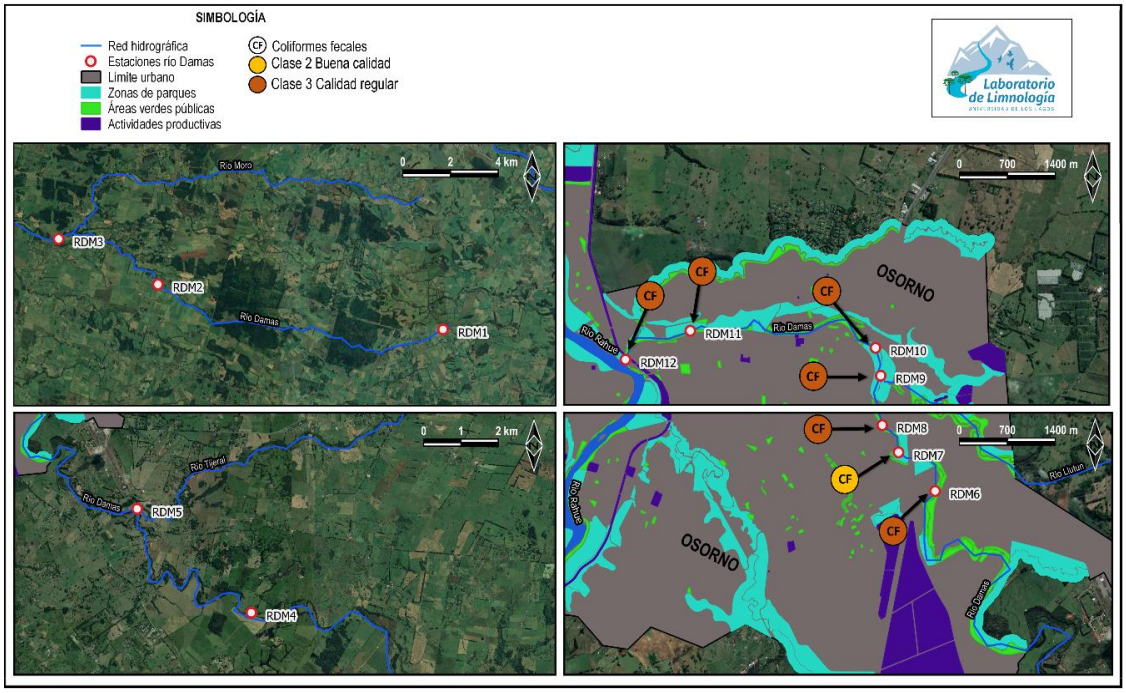

Figura 20: Ubicación de las estaciones en el río Damas, donde los indicadores microbiológicos, Coliformes fecales expresados en NMP/100 ml mostraron valores alterados según los límites establecidos en la norma secundaria para las estaciones ubicadas a lo largo del río.

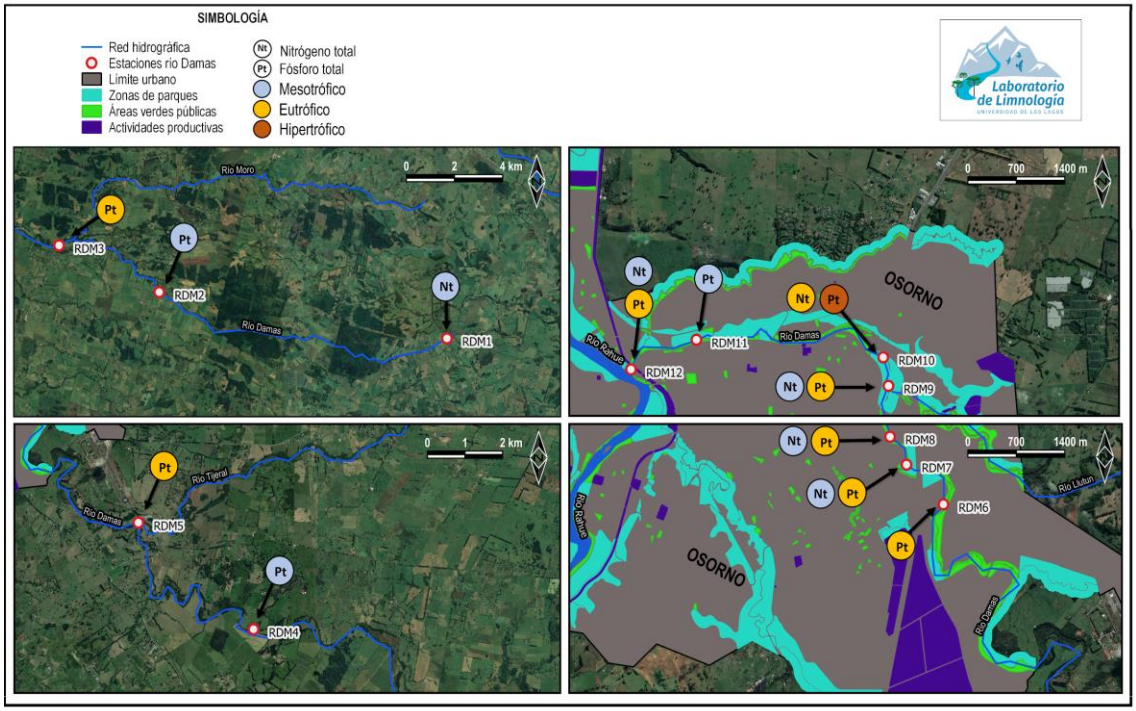

Figura 21: Ubicación de las estaciones en el río Damas, donde las concentraciones de los indicadores de eutrofización, fósforo y nitrógeno total (mg/L), indican, la condición trófica de mesotrófico, eutrófico e hipertrófico del ecosistema fluvial.

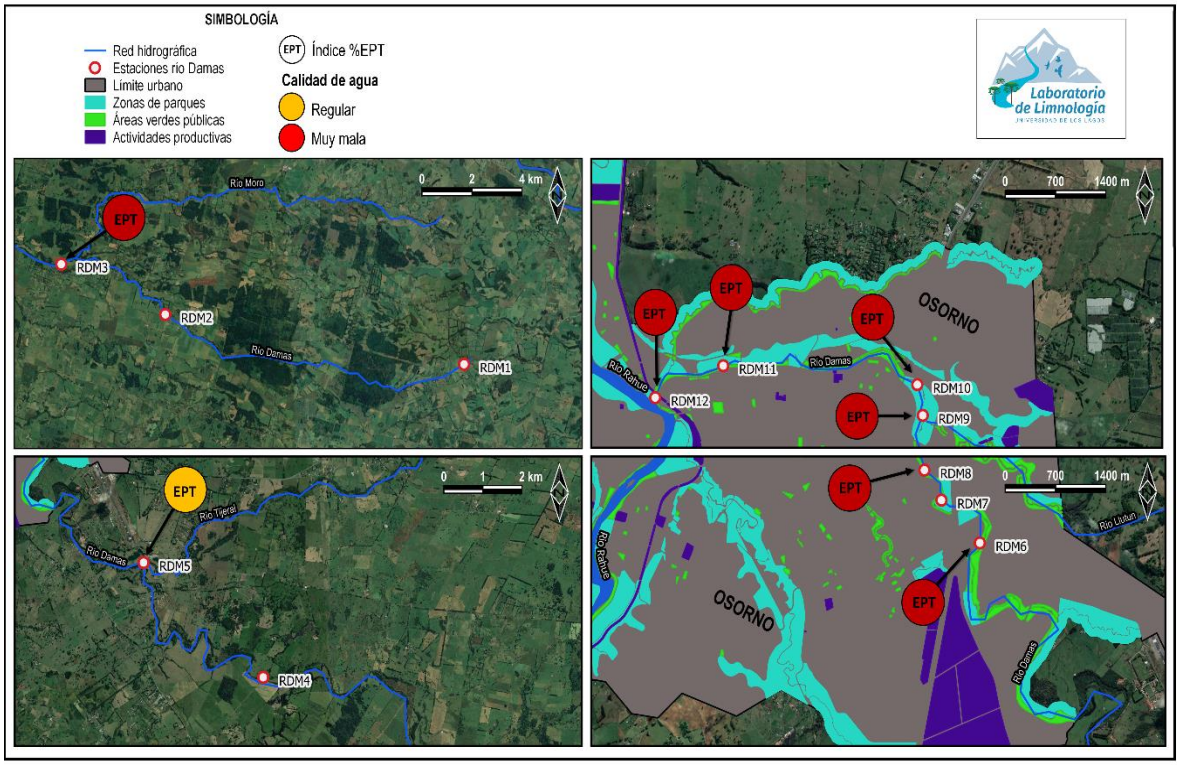

Figura 22: Ubicación de las estaciones en el río Damas, donde el índice %EPT (porcentaje Ephemeroptera-Plecoptera-Trichoptera) indicó deterioro de la calidad secundaria del río.

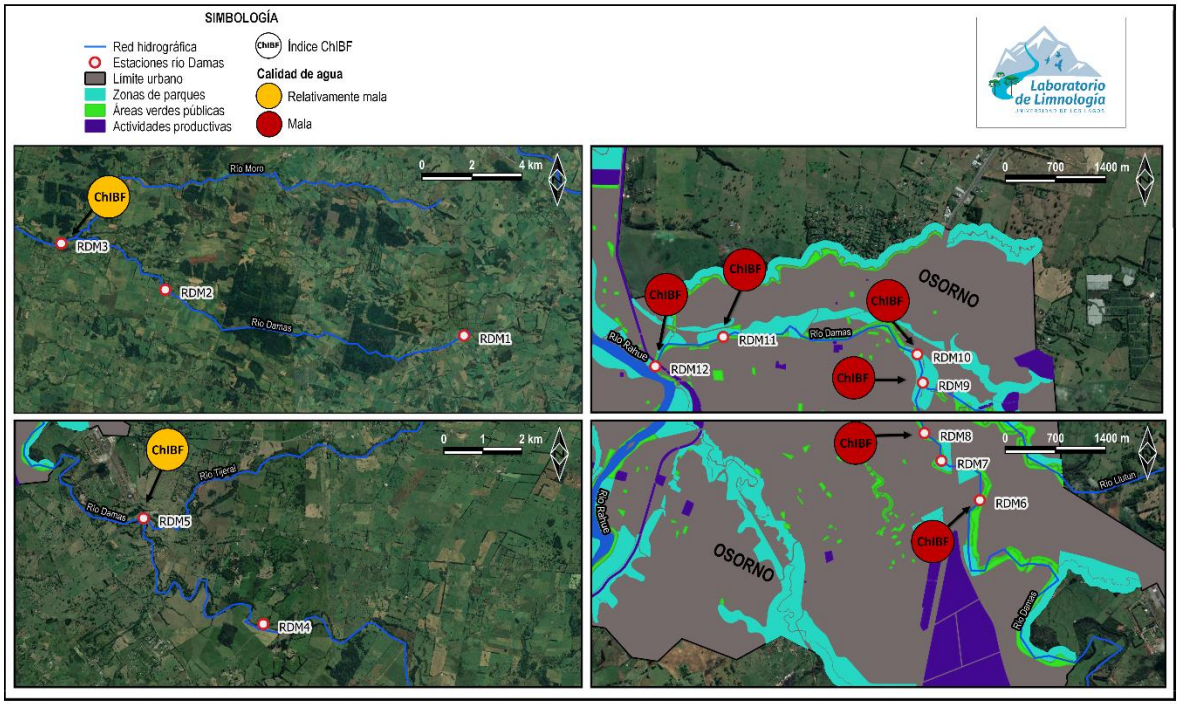

Figura 23: Ubicación de las estaciones en el río Damas, donde el índice ChIBF (Chile_Índice Biótico de familia) indicó deterioro de la calidad secundaria del río.

3.6 PROPUESTA ESTACIONES PROGRAMA DE MONITOREO

3.6.1 RÍO RAHUE

Los resultados del diagnóstico ambiental realizado durante enero 2020 (periodo estival), evidenciaron, según indicadores fisicoquímicos, indicadores de eutrofización y bioindicadores (Índice EPT, ChIBF), un deterioro de la calidad secundaria de las aguas del río Rahue. Según estos indicadores, las estaciones **RRE3** (aguas abajo de confluencia con Estero Pichil, antecedentes de descargas desde empresa Mafrisur), **RRE5** (aguas abajo de confluencia con Río Negro), **RRE6** (Parque Arnoldo Keim), **RRE9** (aguas abajo de Feria ganadera), **RRE10** (aguas abajo de confluencia con estero Ovejería) y **RRE13** (aguas abajo de descarga de las aguas tratadas por ESSAL), presentaron condiciones inadecuadas para la protección y conservación de las comunidades acuáticas del río Rahue (Figuras 5 y 6).

Los parámetros que presentaron valores o concentraciones mayores a los correspondientes para aguas de muy buena calidad, según la guía para la elaboración de Normas Secundarias de calidad ambiental en aguas continentales y marinas (NSCA) (MMA, 2017, CONAMA 2004) fueron el color (Pt-Co), la concentración de Coliformes fecales (NMP/100ml), la concentración de nitrógeno total (mg/L), y de fósforo total (mg/L). Complementariamente los bioindicadores (índices EPT y ChIBF) registraron perturbaciones y mala calidad ambiental en algunas de estas estaciones.

Cabe mencionar que las concentraciones o valores de los indicadores inorgánicos (amonio (mg/L), cianuro (mg/L) y cloruro (mg/L)), orgánicos (aceites y grasas (mg/L), Bifenilos policlorados PCBs (ug/L), Benzo(a) pireno (ug/L), metales esenciales y no esenciales disueltos, y los indicadores fisicoquímicos: oxígeno disuelto (mg/L), pH, conductividad (uS/cm), temperatura (°C), color (Pt-Co) y sólidos totales suspendidos (mg/L) fueron menores a los límites máximos descritos en la guía para elaboración e implementación de Normas de Calidad Secundaria (MMA, 2017, CONAMA, 2004), por lo que su presencia no pone en riesgo la salud ambiental del río. De igual modo, las concentraciones de los metales cadmio (µg/g), cromo (µg/g), arsénico (µg/g), plomo (µg/g) en sedimentos fueron menores a concentraciones máximas según la US/EPA 1991 (adaptado por Nichols *et al.*, 1991).

Considerando lo anterior, se sugiere incluir en el programa de monitoreo del anteproyecto de la norma secundaria para el río Rahue las estaciones **RRE3**, **RRE5**, **RRE6**, **RRE9, RRE10**, **RRE13 que indicaron un deterioro ambiental** y las estaciones de referencia o controles **RRE1** y **RRE15** localizadas en la cabecera y desembocadura del río Rahue. La primera estación evidenció condiciones de oligotrofia y una calidad ambiental de excepción, en tanto que la segunda estación representa la sección final del gradiente de condiciones ambientales. Además, se sugiere monitorear anualmente, durante época estival, los parámetros que causaron la contaminación de este río: color (Pt-Co), la concentración de Coliformes fecales (NMP/100ml), de nitrógeno total

(mg/L), y de fósforo total (mg/L) y los bioindicadores (índices EPT y ChIBF) basados en las familias de macroinvertebrados presentes en el ecosistema (Tabla 39).

Los ríos son ambientes cambiantes y su contaminación por agentes contaminantes, debido a actividades productivas puede variar rápidamente, por lo que se recomienda realizar un estudio de todos los parámetros incluidos en este estudio (Tabla 16) cada cuatro años y realizar a la brevedad un estudio de plaguicidas, que complemente el estudio ambiental realizado.

Tabla 39: Propuesta de estaciones de monitoreo, según los parámetros alterados detectados en el diagnóstico ambiental para el Programa de Vigilancia de la Norma Secundaria de calidad ambiental del río Rahue.

Propuesta de estaciones y parámetros para Anteproyecto NSCA del río Rahue					
Estaciones	Georreferencia		Descripción	Parámetros	Periodicidad de muestreo
RRE1	694742	5482276	Estación control en la naciente del río. Borde de río con alta biodiversidad y bosque de pantano tipo hualves.	Coliformes fecales (NMP/100ml); nitrógeno total y fósforo total (mg/L); pH, oxígeno disuelto (mg/L), temperatura (°C) Bioindicadores (MIB)	1 vez al año durante época estival
RRE3	667527	5491650	Aguas abajo confluencia con Estero Pichil, antecedentes de descargas desde empresa Mafrisur	Coliformes fecales (NMP/100ml); nitrógeno total y fósforo total (mg/L); pH, oxígeno disuelto (mg/L), temperatura (°C) Bioindicadores (MIB)	1 vez al año durante época estival
RRE5	653279	5501125	Aguas abajo confluencia con Río Negro (principal afluente del río Rahue)	Coliformes fecales (NMP/100ml); nitrógeno total y fósforo total (mg/L); pH, oxígeno disuelto (mg/L), temperatura (°C) Bioindicadores (MIB)	1 vez al año durante época estival
RRE6	655213	5503941	Parque Arnoldo Keim. Zona que probablemente no tenga sistema de alcantarillado. Se realiza extracción de áridos. Es un lugar municipal, donde se encuentran los viveros para cultivar las plantas de ornamentación de la ciudad.	Coliformes fecales (NMP/100ml); nitrógeno total y fósforo total (mg/L); pH, oxígeno disuelto (mg/L), temperatura (°C) Bioindicadores (MIB)	1 vez al año durante época estival

Propuesta de estaciones y parámetros para Anteproyecto NSCA del río Rahue					
Estaciones	Georreferencia		Descripción	Parámetros	Periodicidad de muestreo
RRE9	656408	5506106	Agua abajo Feria ganadera de empresas Tattersall y Sociedad Ganadera de Osorno, denuncia por descarga de heces y residuos directamente al río mediante zanjas y tubos. Además, también existe descarga de heces de animales al alcantarillado.	Coliformes fecales (NMP/100ml); nitrógeno total y fósforo total (mg/L); pH, oxígeno disuelto (mg/L), temperatura (°C) Bioindicadores (MIB)	1 vez al año durante época estival
RRE10	657142	5506808	Aguas abajo confluencia con estero Ovejería	Coliformes fecales (NMP/100ml); nitrógeno total y fósforo total (mg/L); pH, oxígeno disuelto (mg/L), temperatura (°C) Bioindicadores (MIB)	1 vez al año durante época estival
RRE13	654725	5510569	Aguas abajo descarga de las aguas tratadas por parte de ESSAL (Pampa Alegre).	Coliformes fecales (NMP/100ml); nitrógeno total y fósforo total (mg/L); pH, oxígeno disuelto (mg/L), temperatura (°C) Bioindicadores (MIB)	1 vez al año durante época estival
RRE15	643134	5533172	Control de salida, sector de praderas.	Coliformes fecales (NMP/100ml); nitrógeno total y fósforo total (mg/L); pH, oxígeno disuelto (mg/L), temperatura (°C) Bioindicadores (MIB)	1 vez al año durante época estival

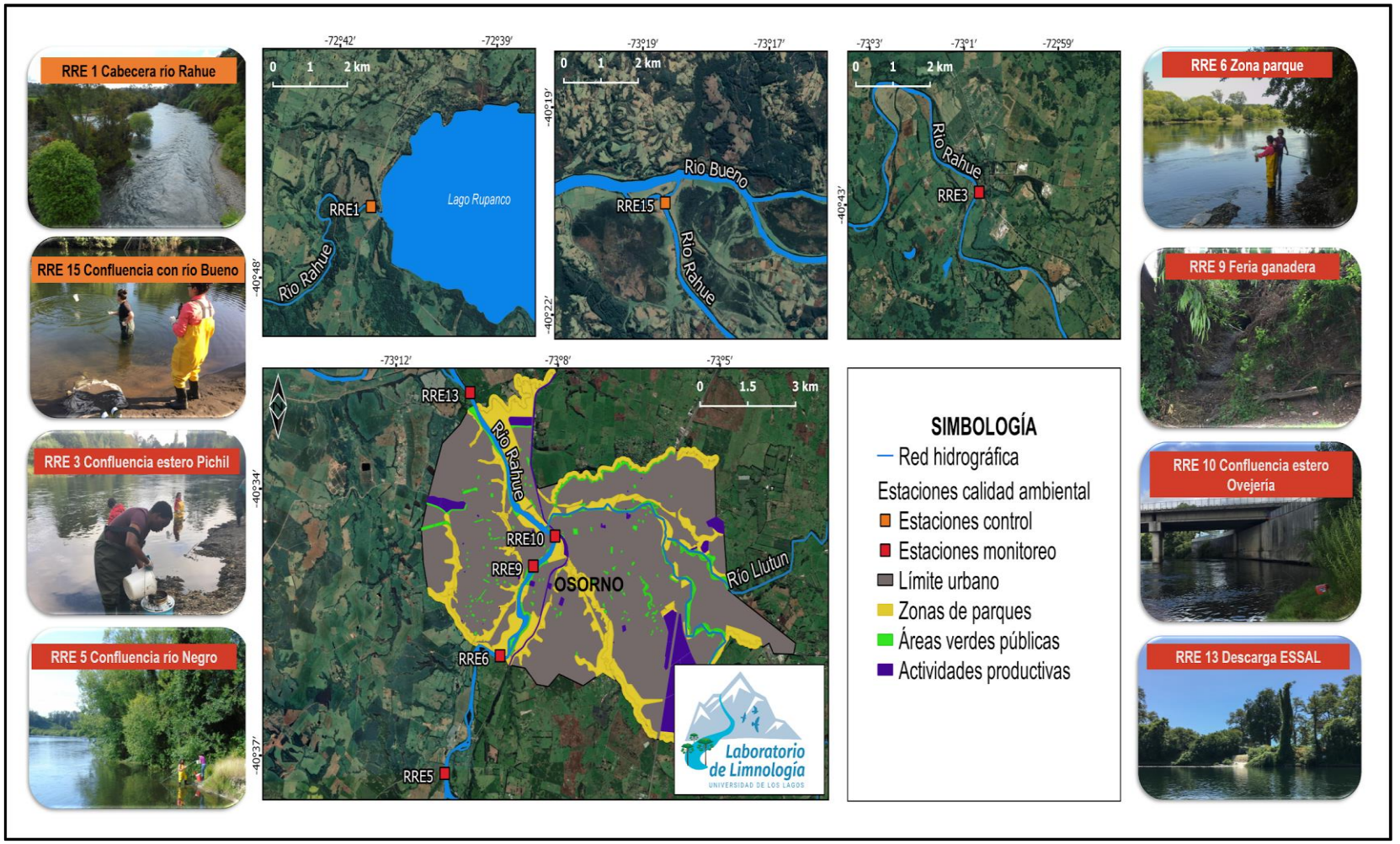

Figura 24: Ubicación de estaciones de monitoreo (cuadrados rojos) y control (cuadrados naranjos), propuestas para el río Rahue.

3.6.2 RÍO DAMAS

Los resultados del diagnóstico ambiental realizado durante enero 2020 (periodo estival), evidenciaron, según indicadores fisicoquímicos, indicadores de eutrofización y bioindicadores (Índice EPT, ChIBF), un deterioro de la calidad secundaria de las aguas del río Damas. Según estos indicadores, el río desde su naciente **DM1**, **DM2** sectores rurales **DM3, DM4, DM5,** y en el núcleo urbano **DM6, DM7, DM8, DM9, DM10, DM11 y DM12** presentó uno o varios parámetros alterados, que indican que este río presenta condiciones inadecuadas para la protección y conservación de las comunidades acuáticas.

Los parámetros que presentaron valores o concentraciones mayores a los correspondientes para aguas de muy buena calidad, según la guía para la elaboración de Normas Secundarias de calidad ambiental en aguas continentales y marinas (NSCA) (MMA, 2017, CONAMA 2004) fueron la temperatura (°C), el color (Pt-Co), el pH, la concentración de oxígeno disuelto (mg/L), la concentración de Coliformes fecales (NMP/100ml), la concentración de nitrógeno total (mg/L), y de fósforo total (mg/L). Complementariamente los bioindicadores (índices EPT y ChIBF) registraron perturbaciones y mala calidad ambiental la mayoría de las estaciones.

Cabe mencionar, que la conductividad (µS/cm), la concentración de sólidos totales suspendidos (mg/L) y las concentraciones de los indicadores inorgánicos (amonio (mg/L), cianuro (mg/L) y cloruro (mg/L)), orgánicos (aceites y grasas (mg/L), Bifenilos policlorados PCBs (ug/L), Benzo(a) pireno (ug/L), metales esenciales y no esenciales disueltos, fueron menores a los límites máximos indicados en la guía para elaboración e implementación de Normas de Calidad Secundaria (MMA, 2017, CONAMA, 2004), por lo que su presencia no pone en riesgo la salud ambiental del ecosistema. Además, las concentraciones de los metales cadmio (µg/g), cromo (µg/g), arsénico (µg/g), plomo (µg/g) en sedimentos fueron menores a concentraciones máximas permitidas según la US/EPA 1991 (adaptado por Nichols *et al.,* 1991).

Considerando lo anterior, se sugiere incluir en el programa de monitoreo del anteproyecto de la norma secundaria para el río Damas las estaciones **RDM5**, **RDM6**, **RDM7**, **RDM9, RDM10 y DM12 que indicaron un deterioro ambiental** y la estación de referencia o control **RDM2**, aun cuando el parámetro color fue un poco alto, esto puede ser atribuible a la presencia de sustancias húmicas en el ecosistema aportados por material alóctono terrestre (Fuentes *et al.,* 2013a, 2013b). Además, se sugiere monitorear anualmente los parámetros que causaron la contaminación de este río: pH, oxígeno disuelto (mg/L), temperatura (°C), Coliformes fecales (NMP/100 ml), fósforo total (mg/L), nitrógeno total (mg/L) y los bioindicadores (índices EPT y ChIBF) basados en las familias de macroinvertebrados presentes en el ecosistema (Tabla 40).

La estación **DM3** y **DM4** se ubican en áreas de praderas agrícolas o ganaderas, la estación **DM5** recibe los aportes del río Tijeral, la estación **DM6** recibe la descarga de

empresa Watt´s (CALO), la estación **DM7** se ubica aguas abajo de empresa Skretting, aserradero y construcción de edificios, la estación **DM9** recibe los aportes del estero Lutun, la estación **DM10** se ubica aguas abajo de aliviadero de tormenta de empresa ESSAL en sector los notros y **DM12** se ubica en la desembocadura del río (Tabla 40; Figura 19).

Los ríos son ambientes cambiantes y su contaminación por agentes contaminantes, debido a actividades productivas puede variar rápidamente, por lo que se recomienda realizar un estudio de todos los parámetros incluidos en este estudio (Tabla 16) cada cuatro años y realizar un estudio de plaguicidas, que complemente el estudio ambiental realizado.

Tabla 40: Propuesta de estaciones de monitoreo, según los parámetros alterados detectados en el diagnóstico ambiental, para el Programa de Vigilancia de la Norma Secundaria de calidad ambiental del río Damas.

Propuesta de estaciones y parámetros para Anteproyecto NSCA del río Rahue					
Estaciones	Georreferencia		Justificación	Parámetros normativa	Periodicidad de muestreo
	Norte	Este			
RDM2	684587	5492231	Control de Naciente. Sector de praderas y bosque	Temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/L), pH, color (Pt-co), Coliformes fecales (mg/L), nitrógeno y fósforo total(mg/L), índice EPT y ChIBF (Bioindicadores)	1 vez al año durante época estival
RDM5	664679	5501224	Aguas abajo confluencia con Río Tijeral. Zona de praderas, acopio de Ripio y plantaciones de eucaliptus	Temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/L), pH, color (Pt-co), Coliformes fecales (mg/L), nitrógeno y fósforo total(mg/L), índice EPT y ChIBF (Bioindicadores)	1 vez al año durante época estival
RDM6	661293	5504997	Aguas abajo descarga Watt's CALO, tubo de descarga visible	Temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/L), pH, color (Pt-co), Coliformes fecales (mg/L), nitrógeno y fósforo total(mg/L), índice EPT y ChIBF (Bioindicadores)	1 vez al año durante época estival

Propuesta de estaciones y parámetros para Anteproyecto NSCA del río Rahue					
Estaciones	Georreferencia		Justificación	Parámetros normativa	Periodicidad de muestreo
RDM7	660798	5505579	Aguas abajo empresa Skretting, aserradero y construcción de edificios	Temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/L), pH, color (Pt-co), Coliformes fecales (mg/L), nitrógeno y fósforo total(mg/L), índice EPT y ChIBF (Bioindicadores)	1 vez al año durante época estival
RDM9	660621	5506585	Aguas abajo confluencia con esteros Lutun y Barro Blanco	Temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/L), pH, color (Pt-co), Coliformes fecales (mg/L), nitrógeno y fósforo total(mg/L), índice EPT y ChIBF (Bioindicadores)	1 vez al año durante época estival
RDM10	660572	5506984	Aguas abajo aliviadero de tormenta empresa ESSAL Sector Los Notros, Parque Chuyaca,	Temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/L), pH, color (Pt-co), Coliformes fecales (mg/L), nitrógeno y fósforo total(mg/L), índice EPT y ChIBF (Bioindicadores)	1 vez al año durante época estival
RDM12	656927	5507065	Control de salida: sector de desembocadura del río damas en el río Rahue	Temperatura (°C), oxígeno disuelto (mg/L), pH, color (Pt-co), Coliformes fecales (mg/L), nitrógeno y fósforo total(mg/L), índice EPT y ChIBF (Bioindicadores)	1 vez al año durante época estival

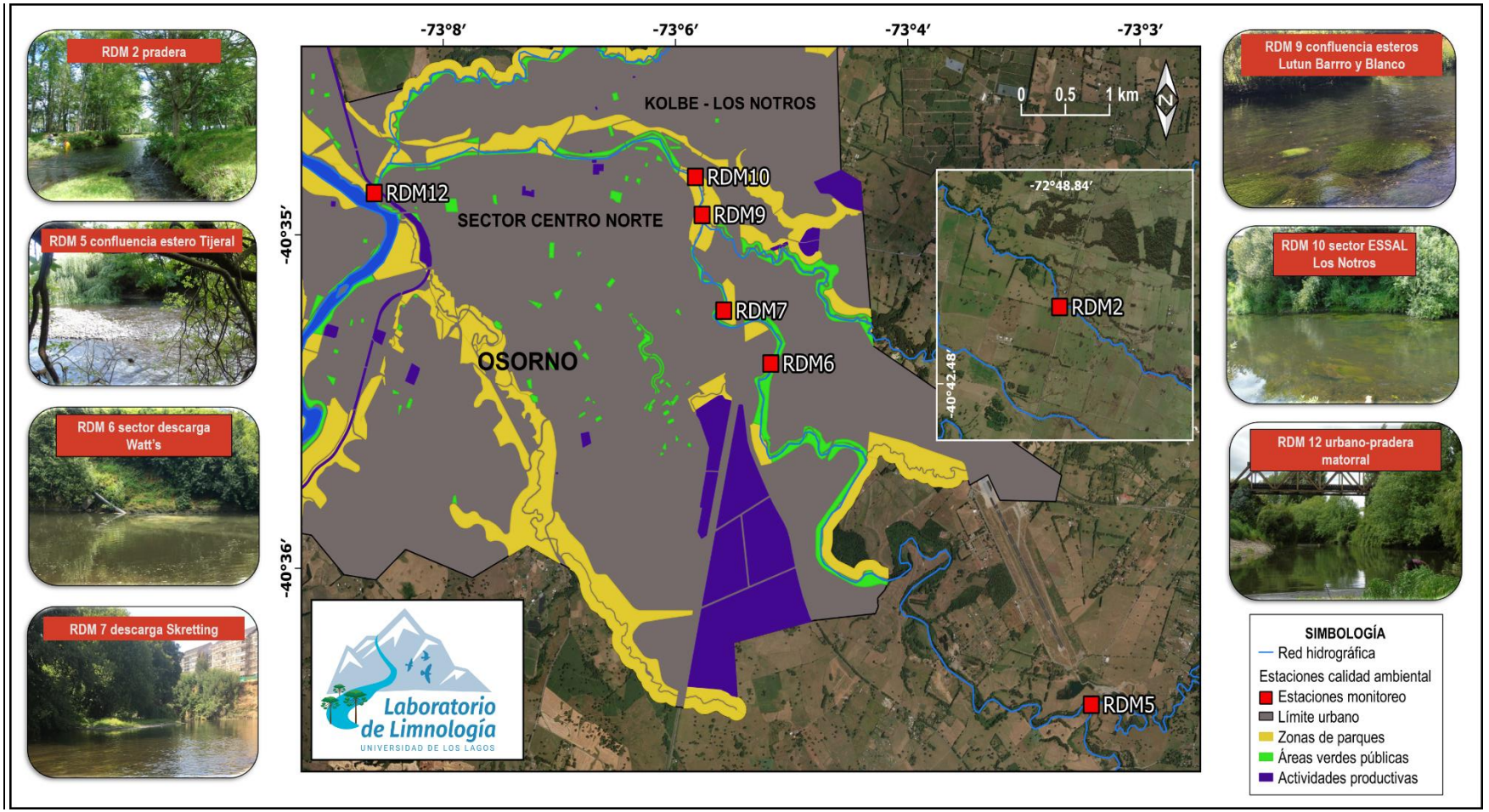

Figura 25: Ubicación de estaciones de monitoreo (cuadrados rojos), propuestas para el río Damas.

4. CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES

Para diseñar el programa de vigilancia de la calidad primaria de las aguas y proponer las estaciones y parámetros que debieran incluirse en el anteproyecto de la norma secundaria de los ríos Rahue y Damas (Subcuenca del río Rahue), se llevó a cabo un inventario exhaustivo de las características de la columna de agua de ambos ríos, a partir de un trabajo de campo y gabinete, basado en las normativas ambientales vigentes (DS 143/2008 y la guía para el establecimiento de Normas Secundarias de la calidad ambiental de las aguas continentales y marinas (MMA, 2017, CONAMA, 2004). En su conjunto, ambas normas regulan las fuentes puntuales de contaminación que se vierten al medio acuático, y los derechos legales y ambientales asociados al uso de este recurso. Con los datos obtenidos se aplicaron índices y bioindicadores de calidad de agua y se generaron mapas para visualizar las condiciones ambientales en diferentes tramos de los ríos, el diagnóstico ambiental y resultados globales del estudio.

Los índices utilizados, resultaron eficientes como indicadores de la calidad ambiental o salud del ecosistema en las estaciones monitoreadas, permitiendo categorizar la calidad del agua en una escala biológica comprensible, y proporcionando una perspectiva de los potenciales cambios que puede sufrir un ecosistema bajo presiones antrópicas constantes en el tiempo o puntuales. Por lo que, este estudio brinda antecedentes necesarios para el establecimiento de un Programa de Vigilancia de la calidad primaria y propone las estaciones de monitoreo y parámetros que debieran incluirse en la norma secundaria de los ríos.

Para el diagnóstico inicial y la determinación de las estaciones de monitoreo, se organizaron jornadas de trabajo en torno a los principales problemas de los ríos estudiados, a través de los cuales se establecieron los tramos con mayor deterioro y donde tentativamente los esfuerzos de muestreo diagnóstico y restauración futura deberían centrarse. La experiencia obtenida con organizaciones ambientales locales y sociales permitió claros avances en la gestión de ambos sistemas fluviales, facilitando el acercamiento a posiciones más acordes con los objetivos de un diagnóstico ambiental, y futuras recomendaciones para la recuperación y restauración de los tramos más afectados.

La evidencia obtenida puso de manifiesto la situación de emergencia ambiental del río Rahue en una estación del sector rural y estaciones localizadas al interior del radio urbano de la ciudad de Osorno, específicamente las estaciones **RRE3** (aguas abajo confluencia con el estero Pichil/descarga de riles empresa Mafrisur), **RRE9** (aguas abajo , denuncia descarga de feria ganadera de empresas Tattersall y Sociedad Ganadera de Osorno) y **RRE10** (aguas abajo confluencia con estero Ovejería), y del deterioro ambiental de las estaciones antes mencionadas y de las estaciones **RRE5** (aguas abajo confluencia del río Negro), **RRE6** (Parque Arnoldo Keim) y **RRE13** (aguas abajo tubo de descarga de la planta de tratamiento de las aguas servidas ESSAL). También se

identificó la situación de emergencia ambiental en cinco estaciones del río Damas, localizadas al interior del radio urbano de la ciudad de Osorno. Estas corresponden a las estaciones **RDM6** (aguas abajo descarga de empresa Watt´s), **RDM7** (aguas abajo sector empresa Skretting, aserradero y construcción edificios), **RDM8** (aguas abajo casona ULAGOS- Liceo industrial), **RDM9** (aguas abajo confluencia esteros Lutun y Barro Blanco)**, RDM10** (aguas abajo aliviadero de tormenta empresa ESSAL), **RDM11**(denuncia, descarga desechos de curtiembres), **RDM12** (porción final de río) y el deterioro ambiental de las estaciones antes mencionadas y de las estación **RDM5** (aguas abajo confluencia con río Tijeral)**.**

Los parámetros que resultaron ser contaminantes en algún tramo de los ríos fueron principalmente las **Coliformes fecales**, seguido por los nutrientes **fósforo total** y **nitrógeno total**, los que se relacionan con las disminuciones del **oxígeno disuelto** en la columna de agua y **pérdida de biodiversidad**. En algunas de las estaciones localizadas en el núcleo urbano de la ciudad de Osorno, las concentraciones de Coliformes fecales sobrepasan hasta 80 veces los umbrales establecidos en la normativa.

Se hace hincapié que el incremento de asentamientos humanos, la conversión de bosques en tierras de cultivo y pastizales y la expansión de actividades industriales, incrementan las concentraciones de nutrientes (nitrógeno, fósforo), bacterias y sedimentos en los cuerpos de agua (Fuentes *et al.*, 2013, 2019), por aportes desde fuentes puntuales, tales como, efluentes de mataderos, pisciculturas, lecherías, plantas de tratamientos de agua, residuos domiciliarios, además de fuentes difusas como actividades agrícolas y ganaderas (Alfaro *et al.*, 2004, Figueroa *et al.*, 2003, Leiva *et al.*, 2019), causando la contaminación, eutrofización y acidificación de ríos y lagos (Carpenter *et al.*, 1998, Pavé y Marchese, 2005, Fuentes *et al.*, 2019, Leiva et al., 2019).

Se hizo un gran esfuerzo por presentar un diagnóstico de los principales contaminantes y causas de dicho deterioro, resaltando como tales la falta de control de fuentes contaminantes puntuales y difusas, y la escasa sensibilidad ambiental de las poblaciones ribereñas. Cabe destacar que el río Damas ha sido impactado por más de 30 años. Un deficiente y desorganizado marco regulatorio ha provocado que las políticas públicas referentes a la protección de la calidad de sus aguas sean hasta el momento ineficaces frente a la normativa referente a la protección de los intereses industriales (Schindler, 2016).

Este estudio no incluyó para la determinación de la calidad secundaria de los ríos a los plaguicidas, ya que los límites de detección eran adecuados para la norma primaria y no para la norma secundaria, por lo cual se recomienda realizar a la brevedad un estudio de plaguicidas que complemente el estudio ambiental realizado.

Para recuperar la buena calidad ambiental que tenían hace 30 años los ríos Damas y Rahue, y para que los osorninos puedan hacer uso de sus riberas sin poner en riesgo su salud, es urgente trabajar en una estrategia de restauración o recuperación de estos

sistemas fluviales. Una estrategia de restauración de ríos debe estructurarse en torno a una serie de líneas de actuación, cada una de ellas con objetivos específicos y complementarios. Las líneas de actuación que proponemos se refieren a 1) la prevención de deterioros adicionales, 2) la protección y conservación de los tramos de mayor interés, 3) la eliminación o mitigación de impactos, 4) la restauración y rehabilitación de tramos fluviales, y 5) integración de políticas sobre el territorio.

Por ejemplo, la estrategia de restauración de un río debe incluir desde su inicio o a corto plazo, la **prevención de deterioros adicionales,** definiendo medidas de prevención de nuevos impactos en el sistema fluvial. Este objetivo debe enfocarse en el "estado químico" de las aguas, tratando de reducir las concentraciones de sustancias consideradas peligrosas o prioritarias en su erradicación, siendo de carácter urgente la recuperación del "estado ecológico" de los ecosistemas, valorado a través de indicadores de calidad físico-química (concentraciones de nutrientes, sólidos en suspensión, oxígeno disuelto, etc.) y bioindicadores (ver Sección 2 y 3: Propuestas para programas de vigilancia norma primaria y secundaria). Con dichas medidas se deben evitar procesos adicionales de eutrofización y contaminación, así como, la ejecución de nuevas propuestas de canalizaciones, dragados, ocupaciones de márgenes, aumentos caudales de riles de empresas, etc. Con respecto a la **integración de políticas sobre el territorio**, esto se refiere a la incorporación de las actividades de restauración de los ríos en los planes sectoriales de intervención y desarrollo local, y de esta forma, coordinar la planificación hidrológica con las políticas que tienen repercusión sobre el territorio.

La Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades, establece el denominado Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO), cuyo objetivo es delinear estrategias de desarrollo dentro del territorio comunal. En el caso de Osorno, se incluyen disposiciones para que los ríos Rahue y Damas se incorporen a la vida cotidiana de nuestra ciudad, sin embargo, esas disposiciones no se cumplen en la práctica. Considerando lo anterior, la implementación de un plan de vigilancia de la calidad primaria de las aguas y una Norma Secundaria de Calidad Ambiental de los ríos Damas y Rahue, redundará en un plan o programa permanente de regulación ambiental. Lo anterior, significa, la adopción de criterios de sustentabilidad para la protección, preservación o conservación de estos importantes ecosistemas hídricos. Es decir, priorizar la puesta en marcha de instrumentos de calidad ambiental y emisiones, como también, de gestión ambiental.

Lo anterior, estará debidamente monitoreado y fiscalizado, en donde también se incorpora la participación ciudadana (ver propuesta en Anexo 2). Ello, permitirá que el Plan de Desarrollo Comunal (PLADECO) de la comuna de Osorno, se reactive como una verdadera estrategia para así cumplir sus dictámenes de incorporar a los ríos Damas y Rahue al quehacer diario de nuestra ciudad y comuna. Cabe mencionar, que también la Norma Secundaria influirá positivamente para que la actual Ordenanza de Gestión Ambiental de la Ilustre Municipalidad de Osorno, incluya título, párrafo y artículos

referidos a la protección, preservación o conservación de los cursos de aguas existentes en nuestra comuna, incorporando a su vez, la educación ambiental formal e informal.

La organización e implementación de una estrategia efectiva de restauración de los ríos Damas y Rahue, debe considerar en el mediano y largo plazo la restauración ecológica (ver propuesta en Anexo 1), y la necesidad de implicar a los agentes sociales en la selección de opciones, teniendo en cuenta el fuerte contenido socio-económico y cultural en la utilización y asignación de recursos hídricos. Disminuir en la mayor medida posible este grado de intervención humana en la estructura y funcionamiento de los ríos, así como favorecer los mecanismos de regeneración natural, van a suponer las estrategias fundamentales para el logro de su mejora ecológica.

Algunas medidas útiles que sugerimos adicionalmente para mitigar y contrarrestar los efectos dañinos de las distintas actividades que contaminan los ríos son:

1. ***Mejoramiento sistema de alcantarillado y plantas de tratamiento aguas residuales:*** para esto se requiere la implementación sistemática de interceptores, conducciones de aguas residuales, y varias plantas de tratamiento, mejorando los sistemas de alcantarillado para que no colapsen en el periodo de lluvia y no exista la necesidad de utilizar aliviaderos de tormentas, por lo que se requiere de una limpieza semanal de alcantarillado, tanto de hojas que caen durante otoño-invierno, y de los desechos en general que obstruyen estos sistemas. Otra alternativa es sellar todos los aliviaderos de tormenta y redirigir a sistemas de tratamientos de aguas residuales. También se debe realizar un catastro de todos los emisarios legales e ilegales, con descarga directa a los ríos Rahue y Damas, y clausurarlos. Los desechos descargados por estos emisarios deben ser redirigidos a sistemas de alcantarillado que terminen en una planta de tratamiento (Pastén *et al.*, 2016).
2. ***Creación de humedales artificiales entorno a los lugares contaminados y conservación de los existentes:*** se basan en la interacción de los componentes naturales (suelo, vegetación y microorganismos) para la remoción de contaminantes (Crites *et al.*, 2014), siendo capaces de remover una variedad de contaminantes incluyendo sólidos suspendidos, material demandante de oxígeno, nutrientes, patógenos, metales y metaloides. Los humedales han sido ampliamente utilizados en distintos lugares del mundo (Kadlec and Wallace, 2009; Pastén *et al.*, 2016).

3. ***Ampliación del espacio fluvial:*** eliminación de elementos que frenen el caudal de los ríos (obstáculos), ampliación de lecho eliminando elementos externos a riberas, como árboles y arbustos exóticos, estructuras de concreto y microbasurales (González y García, 2007). Realizando estas acciones, los ríos pueden aumentar en anchura y mejorar su continuidad, permitiendo recuperar la dinámica hidrogeomorfológica y el

establecimiento de un corredor ribereño continuo que garantice la protección de la diversidad ecológica (GAN, 2013).

Para una articulación eficiente de las estrategias de recuperación de los tramos urbanos de ambos ríos, y consensuar acuerdos entre los diversos actores que inciden, se hace necesario utilizar las herramientas que proporciona la gobernanza de este territorio. La gobernanza permite integrar a la sustentabilidad en el objetivo de recuperación de los ríos impactados, actuando de forma transversal con la apropiación de los ríos como espacio público, su revalorización patrimonial, intereses privados y el bienestar común de los habitantes de toda la cuenca y no solo de la localidad urbana.

El desarrollo de una gobernanza aplicada a los ríos Damas y Rahue tendría como finalidad:

- Controlar la contaminación originada por sectores productivos y la población.
- Ofrecer alternativas de saneamiento a la contaminación difusa en sectores medios y altos de ambos ríos.
- Controlar la extracción de áridos que comprometen la estabilidad de las riberas y el funcionamiento de los cauces.
- Involucrar a la sociedad civil de forma directa en los instrumentos de planeación territorial.
- Sensibilizar a la población, gobiernos y empresarios sobre la necesidad de reinterpretar la función ambiental de los tramos urbanos de los ríos.
- Construir alternativas de mitigación de riesgos en conjunto con la comunidad

La recuperación de los ríos Rahue y Damas es posible. En otros países, como Francia, Reino Unido, Portugal, EEUU, Dinamarca, donde sus ríos recibieron por décadas todas las descargas industriales de empresas de distintos rubros, pudieron revertir la contaminación. Estos ríos sufrieron contaminaciones por los aportes de materia orgánica, metales pesados, hidrocarburos, Coliformes fecales etc. El denominador común para la recuperación fue el tratamiento de las aguas residuales, eliminación de tuberías que iban directo al río, reciclando e incineración de la basura y, en algunos casos, la eliminación de las zonas industriales alrededor de los ríos. Hoy en día las personas junto a sus familias pueden disfrutar de espacios verdes en torno a sus ríos, un gran ejemplo es el río Rin, en 1970 llegó a ser conocido como “la cloaca a cielo abierto de Europa”, hasta que ocurrió un incidente donde se descargaron 20 toneladas de sustancias altamente tóxicas, por lo que las autoridades de diferentes países tomaron la decisión de crear un programa de acción del Rin, que incluyó la construcción de estaciones monitoreadas de tratamiento de aguas residuales. El resultado es que actualmente el 95% de las aguas residuales de las empresas son tratadas y existen 63 especies de peces que viven allí.

ANEXO 1: PROPUESTA DE ACCIONES DE RESTAURACIÓN PARA EL CONTROL DE LA SEDIMENTACIÓN, RECUPERACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA Y DE BIODIVERSIDAD NATIVA EN LOS RÍOS RAHUE Y DAMAS

Cecilia Smith-Ramírez

Numerosos estudios han demostrado el rol positivo de la vegetación ribereña al amortiguar los impactos negativos de las actividades agropecuarias, forestales, industriales y asentamientos humanos (Lowrance, 1998). La vegetación ribereña retiene los sedimentos que de otra forma generan una mayor turbidez en el agua (Comeleo *et al.*, 1996; Daniels and Gilliam, 1996), controlan el exceso de nutrientes en aguas superficiales y subterráneas (absorbiéndose e impidiendo que entran al curso de agua), (Lowrance, 1998); haciéndola por ende compatible con el consumo humano, con la recreación y como hábitat para la fauna acuática y terrestre (Lara *et al.*, 2003, Smith-Ramírez *et al.*, 2019). Además, la vegetación ribereña brinda otros servicios, como sombra al curso de agua disminuyendo su evaporación en verano (Loicq *et al.*, 2018), regula los ciclos de inundación de tierras (Galat *et al.*, 1998), entre otros servicios.

En este estudio proponemos abordar el problema de control de sedimentos, recuperación de calidad de agua y biodiversidad nativa, incluyendo la opinión y participación de la comunidad interesada, en los ríos Rahue y Damas. Debido a que la restauración ribereña es una actividad a largo plazo y ocurre en espacios abiertos a la comunidad, es importante co-generar Programas a largo plazo de Restauración y cuidado de dicha vegetación. En esta revegetación se debe incluir especies de pantano (hualves), recuperación de especies amenazadas (boldo), generación de sotobosque (quila, maqui) y especies emblemáticas, helechos, juncos, etc. Se ha demostrado que los juncos y plantas flotantes absorben metales pesados, exceso de nutrientes y son además hábitat para aves, anfibios y otras especies.

La falta de protección arbórea/arbustiva de las nacientes y de las riberas ríos del sur de Chile tienen graves consecuencias en la mantención de los cursos de agua, y en su sedimentación dada la abundante precipitación (cada vez más intermitente e intensa según los modelos de cambio climático), uso intensivo por actividades agrícolas (descarga de nitratos) y tipo de suelo, además de características topográficas particulares de cada cuenca. Estudios preliminares muestran que el 9,7 % de la ribera del río Rahue y 48,6 % de la ribera del río Damas, desde su nacimiento hasta su desembocadura, presentan 5m, o menos, de ancho de cobertura arbórea/arbustiva (considerando ambas riberas). Además, el río Damas no presenta cobertura arbórea en un tramo entre 0 a 70 metros desde la vertiente principal de donde nace (Alaniz *et al.*, 2019). Cada ciertos tramos, ambos ríos no presentan vegetación por ser sitios de abrevadero de ganado, los que si bien son lugares acotados, es donde ocurre gran parte de la escorrentía que lleva desde la pradera agrícola sedimentos y exceso de nutrientes hacia el curso de agua. El aumento de las sequías que hemos tenido y seguiremos teniendo, afecta negativamente

la capacidad de infiltración de los suelos, si posterior a estas sequías sobrevienen lluvias muy intensas, la escorrentía (que arrastra sedimentos) aumentarán por no tener el suelo la capacidad de infiltrar agua durante las primeras horas de lluvia intensa. Además, al perderse la capacidad de infiltración la lluvia arrastrará restos de bostas al curso de agua aumentando bacterias como *Escherichia coli* (Collins, 2005). Una de las funciones de la vegetación ribereña es mantener la capacidad de infiltración del suelo, sin embargo, cuando las pendientes son altas y la lluvia es muy intensa y continuada, medidas adicionales a franjas de vegetación ribereña deben realizarse para prevenir los arrastres hacia los cursos de agua.

Existen varios estudios que muestran que las franjas de vegetación en la orilla de los humedales y cursos de agua detienen los procesos de sedimentación (Tabacchi *et al.*, 2000). En Brasil se ha encontrado que una franja de un árbol/arbusto (5 m) retiene sólo un 23,8% del sedimento (Monteiro *et al.,* 2016). La franja de vegetación mínima para reducir considerablemente procesos erosivos y arrastre de material no deseado al curso de agua, debiera ser de 30 a 50 m (dependiendo del estudio y propósito). Este ancho puede variar según las características del suelo, pendiente, pluviometría y uso del suelo. Las praderas si bien consumen menos agua que los árboles, no son eficientes en retener el suelo, siendo las especies más apropiadas para controlar la erosión aquellas con raíces profundizadoras, con gran cobertura y siempreverdes (Tabacchi *et al.,* 2000).

Para restaurar no siempre es necesario plantar, sino que primero se debe evaluar el quitar las limitantes para el restablecimiento natural (espontáneo) de las plantas deseadas, como lo es el cercado para evitar que ingrese el ganado. En el caso que se encuentren plantaciones de eucaliptos o pinos, o árboles aislados de estas especies en la orilla de los ríos Rahue y Damas, se recomienda dialogar con el/la propietario/a de forma de cortarlos. Estas especies consumen entre 200 a 350 mil m3 de agua para producir 1 m3 de madera (Hernández, 1998, Jara, 1999, González, 2003), además sus hojas son impermeabilizantes o hidrófobas, es decir repelen el agua impidiendo su infiltración. La tala de estos individuos debe realizarse sin provocar procesos erosivos hacia el curso de agua.

En este proyecto proponemos realizar mapas espacialmente explícitos identificando las áreas donde ocurre la mayor parte de la sedimentación y en qué cantidad (toneladas/ anuales) en los ríos Rahue y Damas, y donde deberían, ya sea la Municipalidad o los propietarios interesados, proteger las riberas de los ríos con la plantación de especies nativas u otros manejos. En estos análisis se pondrá especial énfasis en las áreas urbanas y periurbanas donde se pretende dar uso recreacional a estos ríos, y en los lugares donde se ha mostrado que hay mayor sedimentación, descargas de nutrientes y presencia de Coliformes fecales. El riesgo de erosión y sedimentación anual se obtendrá aplicando el modelo USLE. Los parámetros requeridos se obtendrán integrando datos de percepción remota y sistemas de información geográfica (a partir de imágenes satelitales gratuitas de alta resolución (Sentinel-2), con literatura sobre suelo y modelos de precipitación que incluyan las proyecciones de cambio climático. Con este mapa de priorización se

realizarán entrevistas a los propietarios de los lugares priorizados respecto a su disposición a vegetar las riberas de los ríos y de destinar recursos en ello. Antes de las entrevistas se informará a los propietarios de los problemas de sedimentación y eutroficación hacia los ríos Rahue y Damas al pasar por su propiedad. Posteriormente se realizará un taller al cual se invitarán a todos los propietarios entrevistados, ONG ambientales y Municipio, y se dará a conocer el resultado de las entrevistas, y la posibilidad de realizar restauración asociativa a escala de paisaje, metodologías, costos y tiempos. El enfoque de priorización de áreas a restaurar permite decidir dónde colocar los esfuerzos de restauración debido a que los recursos son limitados. La eficiencia de la restauración ecológica, en un mediano y largo plazo, se podrá verificar mediante el uso de indicadores fisicoquímicos y biológicos.

Objetivo general. Definir en forma participativa áreas a restaurar vegetación nativa para la recuperación de la diversidad nativa y control de la sedimentación en los Ríos Rahue y Damas, Región de Los Lagos.

Objetivos específicos

1.- Espacialización del riesgo de erosión y sedimentación en la cuenca de los ríos Rahue y Damas.

2.- Identificación y delimitación de áreas prioritarias a restaurar la vegetación nativa, en base a análisis espaciales.

3.- Conocer la disposición de propietarios de las áreas identificadas como adecuadas a restaurar en el punto anterior, para realizar acciones de restauración consistente en la plantación de una franja de vegetación de especies nativas, cercado o ambos.

4.- En base a los resultados del punto anterior, se propondrán las áreas prioritarias factibles socialmente a restaurar vegetación nativa en la orilla de los ríos Rahue y Damas.

5.- Implementación de la plantación o realización de otras medidas a definir con apoyo de Municipalidad, propietarios, grupos ambientalistas y comunidad en general.

6.- Monitoreo de éxito de la actividad anterior.

ANEXO 2: PROPUESTA DE ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DE UNA ESTRATEGIA DE MONITOREO PARTICIPATIVO DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES DE LOS RÍOS RAHUE Y DAMAS POR MEDIO DE HERRAMIENTAS DE CIENCIA CIUDADANA

Francisco Araos

Esta propuesta en el corto y mediano plazo, considera la formación de centinelas ambientales ciudadanos que desarrollan las actividades de monitoreo a través del uso de herramientas digitales de ciencia ciudadana (app y plataformas digitales gratuitas).

Este objetivo se compone de las siguientes etapas:

1. Evento de presentación de la iniciativa de ciencia ciudadana.

2. Formación de monitores: Taller de capacitación teórico-práctico de Centinelas Ambientales Ciudadanos. Se espera con el apoyo de los investigadores del laboratorio de limnología, desarrollar contenidos asociados a las dimensiones socioambientales de los ríos Damas y Rahue, así como técnicas participativas de recolección de datos.

3. Recolección de Datos: Los Centinelas Ambientales Ciudadanos participarán en la recolección de datos de los siguientes componentes: i) Biodiversidad; ii) Calidad de Agua; iii) Sitios de importancia sociocultural; iv) Amenazas Ambientales. En cada componente u objetivo específico se desarrollará 01 actividad de trabajo conjunto en terreno entre los Centinelas y los Investigadores de la Universidad de Los Lagos (Lab. de Ciencia Ciudadana y Lab. de Limnología). Además, se elaborará un plan de trabajo conjunto para la continuidad del monitoreo ciudadano por parte de los Centinelas durante al menos 2 meses, mediante la utilización de aplicativos y/o medios digitales (Aplicativos como INaturalist-Chile, E-Bird, bitácora wasap).

4. Sistematización y uso de los datos: Los datos recogidos estarán disponibles en una plataforma digital por definir para cada OE monitoreado (se propone el uso de Aplicativos como INaturalist-Chile, E-Bird, Plataforma informática de humedales del MMA Chile, Plataforma informática de la Mesa de Humedales de la Provincia de Osorno).

5. Divulgación y Comunicación: Se desarrollará una cápsula audiovisual para la divulgación de las actividades de monitoreo. Evento de presentación de los resultados (virtual y/o presencial).

5. LITERATURA CITADA

Alaniz, A.J. (2019). Cobertura de vegetación ribereña a lo largo de los cursos de agua de Chile centro-sur. Informe técnico. 36pp.

Alfaro, M. y Salazar, F. (2004). Ganadería y contaminación difusa, implicancias para el sur de Chile. Agricultura Técnica (Chile) 65(3):330-340.

Alonso, A., Camargo, J.A. (2005). Estado actual y perspectivas en el empleo de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos como indicadora del estado ecológico de los ecosistemas fluviales españoles. Asociación Española de Ecología Terrestre, Alicante, España Ecosistemas 14: 87-99.

Aronson, J., Renison, D., Rangel-Ch, J.O., Levy-Tacher, S., Ovalle, C., Del Pozo, A. (2007). Restauración del Capital Natural. Ecosistemas 16(3): 15-24.

Arriagada, A. (2012). Estudios realizados en el Río Damas usando macroinvertebrados bentónicos como bioindicadores de contaminación ambiental. Seminario de Revisión Bibliográfico. Magister en Ciencias, mención Producción, Manejo y Conservación de Recursos Naturales. Universidad de Los Lagos, Chile. 38 pp.

Baggio, M., Towe, C., Trüssel, D. (2017). Evaluating the Effects of River and Stream Restorations: Evidence from Recreational Fishing. Land Economics 96(1): 75-91.

Barriga, M. (2012). Estudio espacio temporal de metales traza (Pb, Cd, Cu, Mn, Zn, Cr, Ni, Ca, Mg, Fe, As, Hg) en agua y sedimentos de los lagos Calafquén – Pullinque, IX y XIV Región 2010-2011. Tesis de Grado presentada como parte de los requisitos para optar al Título de Químico Farmacéutico. Facultad de Ciencias. Universidad Austral de Chile, Chile. 106 pp.

Carpenter, S.R., Caraco, N.F., Correll D.L., Howarth, R.W., Sharpley, A.N., Smith, V.H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. Ecological Applications 8(3): 559-568.

Collins, R. (2005). In the poo: can riparian buffers reduce microbial contamination of waterways? Water & Atmosphere 13(2): 20-21.

Comeleo, R.L., Paul, J.F., August, P.V., Copeland, J., Baker, C., Hale, S.S., Latimer, R.W. (1996). Relationships between watershed stressors and sediment contamination in Chesapeake Bay estuaries. Landscape Ecology 11(5): 307-319.

Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA). (2004). Guía para el establecimiento de Normas Secundarias de Calidad de Aguas. http://www.sinia.cl/1292/articles-31476_Guia.pdf.

Córdova, S., Gaete, H., Aránguiz, F., Figueroa, R. (2009). Evaluación de la calidad de las aguas del estero Limache (Chile central), mediante bioindicadores y bioensayos. Latin American Journal of Aquatic Research 37(2):199-209.

Crites, R.W., Middlebrooks, E.J., Bastian, R.K., Reed, S.C. (2014). Natural Wastewater Treatment Systems. Boca Raton, FL: CRC Press.

Daniels, R.B., Gilliam, J.W. (1996). Sediment and chemical load reduction by grass and riparian filters. Soil Science Society of America Journal 60(1): 246-251.

Dirección General de Aguas (DGA). (1978). Calidad de Agua Primera Región. Gobierno de Chile.

Dirección General de Agua (DGA). (2004). Diagnóstico y clasificación de los cuerpos de agua según objetivos de calidad. Río Bueno. Ministerio de Obras Públicas. Gobierno de Chile.

Dirección General de Agua (DGA). (2016). Atlas del Agua Chile 2016. Ministerio de Obras Públicas, Gobierno de Chile.

Domínguez, E., Fernández, H.R. (2009). Macroinvertebrados bentónicos sudamericanos: sistemática y biología. Primera edición. Fundación Miguel Lillo, Tucumán, Argentina.

Eisler, R. (2007). Eisler's Encyclopedia of Environmentally Hazardous Priority Chemicals. Elsevier, Amsterdam.

Fierro, P., Bertrán, C., Mercado, M., Peña-Cortés, F., Tapia, J., Hauenstein, E., Vargas-Chacoff, L. (2012). Benthic macroinvertebrates assemblages as indicators of water quality applying a modified biotic index in a spatio-seasonal context in a coastal basin of Southern Chile. Revista de Biología Marina y Oceanografía 47(1): 23-33.

Figueroa, R., Valdovinos, C., Araya, E., Parra, O. (2003). Macroinvertebrados bentónicos como indicadores de calidad de agua del sur de Chile. Revista Chilena de Historia Natural 76: 275-285.

Fuentes, N., Güde, H., Straile, D. (2013a). Importance of allochthonous matter for profundal macrozoobenthic communities in a deep oligotrophic lake. International Review of Hydrobiology 98: 1-13.

Fuentes, N., Güde, H., Wessels, M., Straile, D. (2013b). Allochthonous contribution to seasonal and spatial variability of organic matter sedimentation in a deep oligotrophic lake (Lake Constance). Limnologica 43: 122-130

Fuentes, N., Nuñez D. y Ríos C. (2015). Ríos del AMCP-MU LML. En: Vilugrón, J., Rau, J., Cursach, J., Abarzúa, J. y Tobar, C. (eds.). Área marina costera protegida de múltiples usos Lafken Mapu Lahual. Guía de Aves y Mamíferos. Primera edición, Chile. pp. 29-39.

Fuentes, N., Núñez, D., Ríos, C. (2016). Criterios para la conservación de áreas marinas costeras protegidas. La Quinta Ola del Progreso de la Humanidad. Universidad Agraria del Ecuador (ISSN 2477-9229). Ecuador. 77-87 pp.

Fuentes, N., Núñez, D., Venegas, H. (2019). Diversidad de Plecoptera en un río de la Cordillera de la Costa de Chile. En: Smith-Ramírez, C. y Squeo, F.A. (Ed.) Biodiversidad y Ecología de los Bosques Costeros de Chile, Segunda Edición, editorial Universidad de Los Lagos. Chile. 77-80 pp.

Fuentes, N., S. Woelfl, J. Nimptsch y C. Ríos-Henríquez. 2019. Diagnóstico de la calidad de las aguas del Lago Rupanco. Informe Final. CPA Rupanco. Osorno, Chile.

Fuentes, N., Gómez, L., Venegas, H., Rau, J.R. (2020). Total devastation of river macroinvertebrates following a volcanic eruption in southern Chile. Ecosphere 11(4): e03105.

Galat, D.L., Fredrickson, L.H., Humburg, D.D., Bataille, K.J., Bodie, J.R., Dohrenwend, J., *et al.*, (1998). Flooding to Restore Connectivity of Regulated, Large-River Wetlands: Natural and controlled flooding as complementary processes along the lower Missouri River. BioScience 48(9): 721-733.

García, R. (2018). Impactos de la salmonicultura continental en la subcuenca del Rahue para el periodo de 1995 - 2015, Región de Los Lagos. Memoria para optar al Título de Geógrafo. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad de Chile, Chile. 195 pp.

Gastezzi-Arias, P., Alvarado-García, V., Pérez-Gómez, G. (2016). La importancia de los ríos como corredores interurbanos. Biocenosis 31(1-2): 39-45.

Gestión Ambiental de Navarra (GNA). (2013). Plan de restauración ecológica del río Bidasoa en Navarra. Documento 3: Plan de Restauración; Proyecto INTERREG IVB SUDOE. Territorios fluviales europeos (TFE).

González, A. (2003). Comparación de la eficiencia del uso de agua entre una plantación de *Pinus radiata* y una de *Eucalyptus globulus* en la zona del secano interior de la VII Región de Chile. Tesis Ing. For., Fac. de Cs. Forestales, Universidad Austral de Chile, Chile. 52 pp.

González, M., García, D. (2007). Restauración de Ríos: Guía metodológica para la elaboración de proyectos. Estrategia Nacional de Restauración de Ríos. España.

Gonzales, G.F., Zevallos, A., Gonzales-Castañeda, C., Núñez, D., Gastañaga, C., Cabezas, C., *et al.*, (2014). Contaminación ambiental, variabilidad climática y cambio climático: una revisión del impacto en la salud de la población peruana. Revi. Peru Med. Exp. Salud Pública 31(3): 547-56.

Gordon, N., McMahon, A., Finlayson, B. (1992). Stream Hidrology: An Introduction for Ecologists. Willey. Chichester, RU. 526 pp.

Hauer, F.R., Lamberty, G.A. (1996). Methods in stream ecology. Academic Press, San Diego, California, USA.

Hernández, C. (1998). Influencia del Medioambiente sobre la productividad y uso del agua en un bosque adulto de *Pinus radiata* (D. Don), Valdivia, X Región. Doctoral dissertation, Tesis Ing. For., Fac. de Cs. Forestales, Universidad Austral de Chile, Chile. 80 p.

Hilsenhoff, W. (1988). Rapid field assessment of organic pollution with a family-level biotic index. Journal of the North American Benthological Society 7(1): 65-68.

Jara, J. (1999). Influencia de las características de un rodal de *Pinus radiata* (D. Don) sobre la eficiencia en el uso del agua, en la zona Collipulli IX Región. Tesis Ing. For., Fac. de Cs. Forestales, Universidad Austral de Chile, Chile. 84 p.

Kadlec, R., Wallace, S. (2009). Treatment wetlands. Boca Raton, FL: CRC Press.

Lara, A., Soto, D., Armesto, J., Donoso, P., Wernli, C., Nahuelhual, L., Squeo, F. (2003). Componentes científicos clave para una política nacional sobre usos, servicios y conservación de los bosques nativos chilenos. Libro resultante de la reunión científica sobre bosques nativos realizada en Valdivia, los días 17-18 julio de 2003. Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile, Chile. 134 p. (Iniciativa Científica Milenio de Mideplan)

Leiva, G., N. Fuentes, S. Zelada y C. Ríos-Henríquez (2019). Application of the Lake Biotic Index (LBI) in the ecological characterization of a North Patagonian lake in Chile. Heliyon 5: e02492.

Loicq, P., Moatar, F., Jullian, Y., Dugdale, S.J., Hannah, D.M. (2018). Improving representation of riparian vegetation shading in a regional stream temperature model using LiDAR data. Science of the total environment 624: 480-490.

Lowrance, R. (1998). Riparian forest ecosystems as filters for nonpoint-source pollution. Successes, limitations, and frontiers in ecosystem science. Springer, NY NY. 113-141 pp.

Mendoza-Cariño, M., Quevedo-Nolasco, A., Bravo-Vinaja, A., Flores-Magdaleno, H., De La Isla De Bauer, M. L., Gavi-Reyes, F., Zamora-Morales, B. P. (2014). Estado ecológico de ríos y vegetación ribereña en el contexto de la nueva ley general de aguas de México. Revista Internacional de Contaminación Ambiental 30(4): 429-436

Ministerio del Medio Ambiente. (2017). Guía para la Elaboración de Normas Secundarias de Calidad Ambiental en Aguas Continentales y Marinas. Ministerio del Medio Ambiente. Santiago, Chile. 102 pp.

Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (2001). Decreto 90. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales. http://www.dga.cl/administracionrecursoshidricos/Documents/DTO_90_07_MAR_2001

Mondlhane, C.J. (2020). Impacto del cambio de uso de suelo sobre los macroinvertebrados bentónicos en la subcuenca del río Rahue, Chile. Tesis presentada para optar al grado académico de Magíster en Ciencias, Mención Producción, Manejo y Conservación de Recursos Naturales. Universidad de Los Lagos, Chile. 73 pp.

Monteiro, J.A.F, Kamali, B., Srinivasan, R., Abbaspour, K., Gücker, B. (2016). Modelling the effect of riparian vegetation restoration on sediment transport in a human-impacted Brazilian catchment. Ecohydrology 9(7): 1289-1303.

Nichols, S.J., Manny, B.A., Schloesser, D.W., Edsall, T.A. (1991). Heavy metal contamination of sediments in the Upper Connecting Channels of the Great Lakes. Hydrobiologia 219: 307-315.

Normas Primarias de Calidad de Aguas. (2008). Decreto Supremo 143/2008. http://www.creaucsc.cl/wp-content/uploads/2011/10/DS-143-Norma-calidad-Primaria-aguas-continentales.pdf

Nusch, E.A. (1980). Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigments determination. Archiv für Hydrobiologie Beiheft Ergebnisse der Limnologie14: 14-36.

Oyanedel, N. (2015). Exposición Laboral a Arsénico. Instituto de Salud Pública, Ministerio de Salud, Chile.

Parra, O., Valdovinos, C., Campos, H., Figueroa, R., Debels, P., Zaror, C. (1999). Diagnóstico de la calidad del río Damas, X Región, lineamientos para un plan de prevención y/o contaminación. Informe Final, Centro EULA-Chile, Universidad de Concepción 1: 1-286

Pastén, P., Vega, A., Guerra, P., Pizarro, J., Lizama, K. (2016). Calidad del Agua en Chile: Avances, desafíos y perspectivas. Calidad del Agua en las Américas: Riesgos y Oportunidades 176-202.

Patrick, D., Barra, R., Jaque, E., Parra, O. (1998). Diagnóstico de la calidad del agua del Río Damas: uso del suelo y producción hídrica. Unidad de sistemas acuáticos, Centro EULA, Universidad de Concepción. VI Jornadas del CONAPHI-CHILE.

Pavé, P.J., Marchese, M. (2005). Invertebrados bentónicos como indicadores de calidad del agua en ríos urbanos (Paraná-Entre Ríos, Argentina)" Ecología Austral 15(2): 183-197

Polo, M. (2014). Los servicios ecosistémicos de los ríos urbanos y su contribución en la adaptación al cambio climático. Revista Investigación Ambiental Ciencia y Política Pública 6(1): 46-51.

Pozo, K. (2015). Propuesta de elaboración de un plan de vigilancia para la Norma Secundaria de Calidad Ambiental para la cuenca del río Itata, Región del Biobío. Sustainability, Agri, Food and Environmental Research 2(1): 36-52.

Ramirez, A. (2005). Toxicología del cadmio: conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. Anales de la Facultad de Medicina 63: 1-10.

Resh, V., Myers, M., Hannaford, M. (1996). Macroinvertebrates as biotic indicators of environmental quality. In: Hauer, R.F., Lamberti, G. (ed.) Methods in Stream Ecology. Academic Press, Orlando, Florida. 647-667

Rivera, R. (2004). Estructura y composición de la comunidad de macroinvertebrados bentónicos en ríos de páramo y zonas boscosas, en los andes venezolanos: Tesis: Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela.

Satterthwaite, D. (1993). The impact on health of urban environments. Environment and Urbanization 5(2): 87-111

Schindler, D.W. (2016). Desafíos pasados, presentes y futuros para la gestión de la calidad del agua dulce en Canadá. Calidad del Agua en las Américas: Riesgos y Oportunidades 137 - 158

Schnoor, J. (1996). Environmental modeling: fate and transport of pollutants in water, air, and soil. John A. Wiley & Sons, Inc. Nueva York. United States.

Smith, V.H., Tilman, G.D., Nekola, J.C. (1999). Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems. Environ Pollut 100: 179-196

Smith-Ramírez, C., Cuevas, J.C., Mora, J.P., Bustos-Salazar, S.P., Zuñiga-Feest, A. (2019). Procesos ecosistémicos, dinámica regenerativa y restauración de especies de bosques pantanosos chilenos. En: Smith-Ramírez, C. & Squeo, F.A. (Ed.) Biodiversidad y Ecología de los Bosques Costeros de Chile, Segunda edición, editorial Universidad de Los Lagos, Chile. 427-444 pp.

Tabacchi, E., Lambs, L., Guilloy, H., Planty-Tabacchi, A.M., Muller, E., Décamps, H., (2000). Impacts of riparian vegetation on hydrological processes. Hydrological Processes 14: 16-17.

Torres, J. (2014). Corredor biológico río Torres sería el primer corredor interurbano del país. Crhoy.com. Recuperado de: http://www.crhoy.com/corredor-biologico-rio-torres-seria-el-primer-corredor-interurbano-del-pais-u4l7x/

US/EPA (United States Environmental Protection Agency). (1974). Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Protect Public Health and Welfare with Adequate Margin of Safety. EPA/ONAC Report No. 550/9-74-004.

Veloso, T. (2016). Anteproyecto Plan Regulador Comunal Osorno: Informe Ambiental Complementario. Ilustre Municipalidad de Osorno, Chile.

Vidal, C., Romero, H. (2010). Efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos Bío Bío y Andalién sobre los riesgos de inundación y anegamiento de la ciudad de Concepción. En: Pérez, L., Hidalgo, R. (ed.) Concepción Metropolitano (AMC). Planes, Procesos y Proyectos. Serie GEOlibros, Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile.

Zuñiga, M.C. (2009). Bioindicadores de calidad de agua y caudal ambiental. En: J.R.K. Cantera, Carvajal, Y.E., Castro, L.M.H. (eds.). El caudal ambiental: conceptos, experiencias y desafíos. Programa Editorial Universidad del Valle, Cali. 167-197.