

CRECIMIENTO DE LA VEGETACIÓN ACUÁTICA EN EL CANAL PRINCIPAL DE RIEGO DEL ALTO VALLE

RIO NEGRO - ARGENTINA

Marzo 2023



Autores***Agua Rionegrinas S.E. (ARSE)***

Ing. Enrique Kamerbeek

Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC)

Lic. Héctor Labollita

Lic. Mgter. Ayelen Othaz Brida

M.M.O. Gustavo Romero

Adm. J. Aníbal Contreras

Departamento Provincial de Aguas de Río Negro (DPA)

Ing. Gabriel Sorá

Ing. Agr. María de la Paz Merino Tosoni

Ing. Agr. Cesar Storti

Consortio de Segundo Grado

Ing. Osvaldo Vettori

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)

Ing. Agr. Mgter. María Lucía Mañueco

Dra. Cecilia Gittins

Ing. Agr. MsC. Miguel Sheridan

Lic. Mgter. Ayelen Montenegro

Ing. Mgter. Maira Guiñazu

Ing. Agr. Myrian Barrionuevo

Lic. Mgter. Joaquin Córdoba

Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud (FACIAS) - Universidad Nacional del Comahue

Dra. Adela Bernardis

Lic. Cecilia Navarro

Índice de Contenidos

1.	Canal Principal de Riego y efectos de la vegetación acuática	12
1.1	Canal Principal de Riego del Alto Valle	12
1.2	Usos múltiples del Canal Principal.....	13
1.3	El efecto de las aguas claras	14
1.4	Condiciones que generan variaciones de turbiedad del agua en el sistema de riego: apertura del vertedero en Portezuelo Grande.....	15
2.	Condiciones climáticas locales y cambio climático regional.	17
2.1	Argentina en el escenario del calentamiento global	17
2.2	Proyecciones futuras en Argentina.....	19
2.3	Impactos del cambio climático proyectados en la región del Comahue.....	20
3.	Monitoreo de la calidad del agua	23
3.1	Temporada 2019 - 2020 (1º Temporada).....	23
3.1.1	Antecedentes	23
3.1.2	Metodología	23
3.1.3	Resultados	24
3.1.3.1	Calidad de Agua 2019-2020	24
3.1.3.2	Análisis de los Resultados	27
3.1.4	Conclusiones de la temporada.....	30
3.2	Temporada 2020 – 2021 (2ª Temporada).....	31
3.2.1	Antecedentes	31
3.2.2	Metodología	31
3.2.3	Resultados	32
3.2.3.1	Calidad de Agua 2020-2021	32
3.2.3.2	Análisis de los Resultados	37
3.2.4	Comparación de resultados de las temporadas 2019-2020 y 2020-2021	38
3.2.5	Conclusiones y recomendaciones.....	40
3.3	Temporada 2021 – 2022 (3ª Temporada).....	40
3.3.1	Antecedentes	40
3.3.2	Metodología	40
3.3.3	Resultados	41
3.3.3.1	Calidad de Agua 2021-2022	41

3.3.4	Comparación entre los resultados de las tres temporadas	42
3.3.5	Conclusiones de la temporada y recomendaciones	43
3.4	Conclusiones y recomendaciones de calidad del agua	43
4.	Sedimentos	44
4.1	Introducción.....	44
4.2	Análisis visual.....	44
4.3	Análisis de parámetros químicos.....	45
4.4	Conclusión.....	46
5.	Relevamiento de vegetación acuática	47
5.1	Introducción.....	47
5.2	Temporada 2019 - 2020.....	47
5.2.1	Diseño del relevamiento.....	47
5.2.2	Resultados	49
5.2.3	Observaciones del muestreo.....	49
5.3	Temporada 2020 - 2021.....	50
5.3.1	Diseño del relevamiento.....	50
5.3.2	Resultados	50
5.3.3	Observaciones del muestreo.....	50
5.4	Temporada 2021 - 2022.....	51
5.4.1	Diseño del relevamiento.....	51
5.4.2	Resultados	51
5.4.3	Observaciones del muestreo.....	51
5.5	Estrategias de manejo y consideraciones en función de los resultados preliminares	52
6.	Propuestas de manejo del sistema para minimizar el crecimiento de vegetación acuática	56
6.1	Calidad del agua y vegetación acuática.....	56
6.2	Propuesta de manejo de la vegetación acuática.....	57
6.3	Propuestas de operación para el control de la vegetación	59
7.	Bibliografía.....	62
8.	Anexos.....	65
8.1	Anexo I: Mapas de ubicación de sitios muestreados en las tres temporadas.	65
8.2	Anexo II: Informe de recorrido del día 12/07/19.	68

8.2.1	Sitios muestreados.....	68
8.2.2	Mediciones <i>in situ</i>	68
8.2.3	Análisis microscópico	69
8.3	Anexo III: Registros históricos en Dique Ballester y análisis de tendencia de las variables. 70	
8.4	Anexo IV: Fichas de las especies registradas en los muestreos	74
8.5	Anexo V: Sistematización del encuentro/taller interinstitucional.	76
8.5.1	Asistentes	76
8.5.2	Resultados del debate y análisis conjunto	77
8.5.3	Consideraciones finales.....	78

Índice de Tablas

Tabla 1. Coordenadas de localización de los sitios de monitoreo en el Canal Principal de Riego en la zona Alto Valle.....	24
Tabla 2. Valores de mediciones in situ, y resultados de nutrientes y bacteriológicos obtenidos en el sitio 1 del Canal Principal de Riego, Alto Valle.	24
Tabla 3. Valores de mediciones in situ, y resultados de nutrientes y bacteriológicos obtenidos en el sitio 2 del Canal Principal de Riego, Alto Valle.	25
Tabla 4. Valores de mediciones in situ, y resultados de nutrientes y bacteriológicos obtenidos en el sitio 3 del Canal Principal de Riego, Alto Valle.	25
Tabla 5. Valores de mediciones in situ, y resultados de nutrientes y bacteriológicos obtenidos en el sitio 4 del Canal Principal de Riego, Alto Valle.	25
Tabla 6. Valores de mediciones in situ, y resultados de nutrientes y bacteriológicos obtenidos en el sitio 5 del Canal Principal de Riego, Alto Valle.	26
Tabla 7. Valores de mediciones in situ, y resultados de nutrientes y bacteriológicos obtenidos en el sitio 6 del Canal Principal de Riego, Alto Valle.	26
Tabla 8. Valores promedio de las variables analizadas en el sitio de referencia Dique Ballester, sitio de referencia de la calidad del agua del Canal Principal de Riego, Alto Valle.	26
Tabla 9. Metodología empleada en los análisis de calidad de agua del Canal Principal de Riego en Alto Valle promedio de las variables analizadas en el sitio de referencia Dique Ballester, sitio de referencia de la calidad del agua del Canal Principal de Riego, Alto Valle.....	31
Tabla 10. Valores de mediciones in situ y resultados de nutrientes disueltos y totales obtenidos en el sitio 1 en la Progresiva km 4,5 del Canal Principal de Riego, Alto Valle.	33
Tabla 11. Valores de mediciones in situ y resultados de nutrientes disueltos y totales obtenidos en el sitio 2 en la Progresiva km 45 del Canal Principal de Riego, Alto Valle.	33
Tabla 12. Valores de mediciones in situ y resultados de nutrientes disueltos y totales obtenidos en el sitio 3 en la Progresiva km 82 del Canal Principal de Riego, Alto Valle.	34

Tabla 13. Valores promedio de las variables analizadas en el sitio de referencia Dique Ballester, sitio de referencia de la calidad del agua ingresante al Canal Principal de Riego Alto Valle.	34
Tabla 14. Valores promedio de variables de calidad del agua analizadas en los sitios monitoreados del CPRAV, en la primera (2019-2020) y segunda (2020-2021) temporada.	39
Tabla 15. Metodología empleada en los análisis de calidad de agua del Canal Principal en la zona Alto Valle.	41
Tabla 16. Valores de mediciones in situ obtenidos durante el muestreo del 05/11/2021, en las cuatro Progresivas evaluadas del Canal Principal de Riego, Alto Valle.	41
Tabla 17. Valores de mediciones in situ y resultados de nutrientes disueltos y totales obtenidos durante el muestreo del 20/04/2022, en las cuatro Progresivas evaluadas del Canal Principal de Riego, Alto Valle.	41
Tabla 18. Valores promedio de las variables de calidad de agua analizadas en el sitio Dique Ballester, sitio de referencia de la calidad del agua ingresante al Canal Principal de Riego Alto Valle.	42
Tabla 19. Valores promedio de variables de calidad del agua analizadas en los sitios monitoreados del CPRAV, en la primera (2019-2020), segunda (2020-2021) y tercera (2021-2022) temporada.	42
Tabla 20. Resultados obtenidos en muestras de sedimentos colectadas en varios sitios del Canal Principal de Riego, en la temporada 2021-2022.	45
Tabla 21. Coordenadas de los puntos de muestreo. Los puntos 4, 5, 9 y 13 corresponden a sectores con revestimiento.	48
Tabla 22. Contenido de carbono, nitrógeno y relación C/N de las macrófitas del Canal Principal de Riego.	50
Tabla 23. Factores que afectan al crecimiento, uso y aprovechamiento de las diferentes especies halladas en el relevamiento.	55
Tabla 24. Ubicación de los sitios muestreados.	68
Tabla 25. Mediciones in situ realizadas en los sitios de muestreo.	68

Tabla 26. Observaciones a campo y resultados del análisis microscópico realizados sobre muestras colectadas en julio 2019.....	69
Tabla 27. <i>Resultados del análisis de tendencia (coeficiente de Spearman)</i>	73

Índice de Figuras

Figura 1. Red de riego y drenaje del Sistema Integral de Riego del Alto Valle.....	12
Figura 2. Detalle del Canal Principal en diferentes tramos. Izquierda: Canal Principal en zona urbana de Allen. Derecha: salto sobre el Canal Principal.....	13
Figura 3. Esquema de operación del Complejo Hidroeléctrico Cerros Colorados. La línea punteada indica el antiguo cauce del río Neuquén, tramo regulado entre la Presa Portezuelo Grande y el embalse El Chañar. Los puntos marcados en la imagen corresponden a: Presa Portezuelo Grande (A), Presa Loma de la Lata (B), Central Planicie Banderita (C) y Presa El Chañar (D). Fuente: AIC, 2019. www.aic.gov.ar	16
Figura 4. <i>Tendencias de temperatura y precipitación en Argentina. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (SMN), 2020.</i>	18
Figura 5. Incremento de la temperatura anual promedio en Argentina y efectos del calentamiento. Fuente: SMN, 2020.	19
Figura 6. Caudales anuales históricos, simulados (período 2015-2100) y tendencias para los ríos Limay y Alto Traful, según modelos climáticos para emisiones RCP 4.5.	20
Figura 7. Caudales anuales históricos, simulados (período 2015-2100) y tendencias para los ríos Limay y Alto Traful, según los modelos climáticos para emisiones RCP 8.5.....	21
Figura 8. Caudales anuales históricos, simulados (período 2015-2100) y tendencias para el río Collón Cura, según los modelos climáticos para emisiones RCP 4.5.....	21
Figura 9. Caudales anuales históricos, simulados (período 2015-2100) y tendencias para el río Collón Cura, según los modelos climáticos para emisiones RCP 8.5.....	22
Figura 10. Caudales anuales históricos, simulados (período 2015-2100) y tendencias para el río Neuquén, según los modelos climáticos para emisiones RCP 4.5.....	22
Figura 11. Caudales anuales históricos, simulados (período 2015-2100) y tendencias para el río Neuquén, según los modelos climáticos para emisiones RCP 8.5.....	23

Figura 12. Registros de turbiedad, caudal (eje principal) y nutrientes (NT y PT) medidos en el sitio 3 del CPR.	27
Figura 13. Ordenamiento de los sitios de acuerdo al ACP, basado en las variables analizadas en los seis sitios del CPRAV durante el período septiembre 2019 – marzo 2020. El primer número indica el sitio (1 a 6), y el segundo, indica el muestreo (1 a 7).de turbiedad, caudal (eje principal) y nutrientes (NT y PT) medidos en el sitio 3 del CPR.	28
Figura 14. Ordenamiento de los sitios de acuerdo al ACP, basado en las variables analizadas en los tres primeros sitios del CPRAV durante el período septiembre 2019 – marzo 2020. El primer número indica el sitio (1 a 3), y el segundo, indica el muestreo (1 a 3).de los sitios de acuerdo al ACP, basado en las variables analizadas en los seis sitios del CPRAV durante el período septiembre 2019 – marzo 2020. El primer número indica el sitio (1 a 6), y el segundo, indica el muestreo (1 a 7).de turbiedad, caudal (eje principal) y nutrientes (NT y PT) medidos en el sitio 3 del CPR.....	29
Figura 15. Registros de turbiedad en los tres sitios monitoreados del CPRAV durante el período septiembre de 2020 a abril de 2021.....	34
Figura 16. Concentraciones de nitrógeno total registradas en los tres sitios monitoreados del CPRAV durante el período septiembre de 2020 a abril de 2021.	35
Figura 17. Fracciones de nitrógeno promedios de las muestras colectadas en los tres sitios del CPRAV durante el período 2020-2021.....	36
Figura 18. Concentraciones de fósforo total registradas en los tres sitios monitoreados del CPRAV durante el período septiembre de 2020 a abril de 2021.	36
Figura 19. Ordenamiento de los sitios de acuerdo al ACP, basado en las variables analizadas en los tres sitios del CPRAV durante el período septiembre 2020 – abril 2021. Referencias: S1 (círculo), S2 (cuadrado) y S3 (rombo) indican los tres sitios muestreados de las progresivas; las letras y color indican los meses en que se efectuó el muestreo.	38
Figura 20. Turbiedad registrada en tres sitios comparables del CPRAV en la primera y segunda temporada.....	39
Figura 21. Bancos de sedimentos en el Canal Principal en época de no riego (sin agua).	44

Figura 22. A. Dispositivo, B. recolección en zonas revestidas, C. recolección en zonas sin revestir.	48
Figura 23. Localización de los puntos de muestreo en el mapa y especies relevadas.	49
Figura 24. Categorías de las estrategias de control de la vegetación acuática.	52
Figura 25. Fotografías del recorrido del canal en los meses de invierno.	58
Figura 26. Sistema de extracción mecánica en la Central Hidroeléctrica Ing. Cesar Cipolletti. Izquierda: acumulación de material vegetal en el sistema limpia rejas. Derecha: Sistema de extracción mecánica limpio.....	58
Figura 27. Acumulación de vegetación acuática en el sistema de limpia rejas de la Central Hidroeléctrica Ing. Cesar Cipolletti.	59

PRESENTACIÓN

La presencia de vegetación acuática en los canales del Sistema Integral de Riego del Alto Valle de Río Negro y Neuquén, fue reportada como un problema desde los primeros años de operación del sistema por reducir la capacidad de conducción del canal y su embanque (Ballester, 1926). La creación de los embalses Los Barreales y Mari Menuco del complejo hidroeléctrico Cerros Colorados (1978) favoreció el crecimiento y desarrollo de la vegetación acuática por la pérdida de sedimentos transportados por el río Neuquén, fenómeno conocido como “efecto de aguas claras”. El desarrollo de vegetación acuática afecta la operación y mantenimiento del Sistema de Riego y de las Centrales Hidroeléctricas y del Canal Principal, incrementando los costos y complejizando las tareas de mantenimiento durante la temporada de riego.

A fin de profundizar el análisis del problema y delinear estrategias de manejo, se conformó un equipo de trabajo interinstitucional con personal técnico del Consorcio de Riego de Segundo Grado, la empresa Aguas Rionegrinas Sociedad del Estado (ARSE), el Departamento Provincial de Aguas de Río Negro (DPA), la Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro (AIC), el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) y la Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud (FACIAS) de la Universidad Nacional del Comahue (UNCo). Las tareas realizadas y los resultados alcanzados se presentan en este informe constituyendo una evaluación integral de la problemática mencionada.

Las actividades comenzaron en agosto del 2019 con un primer muestreo de diagnóstico a partir del cual se planificó el desarrollo de los trabajos a campo que implicaron mediciones *in situ* y colección de muestras de agua, sedimentos y material vegetal, durante tres temporadas de riego: 2019-2020, 2020-2021 y 2021-2022.

Los principales resultados obtenidos fueron la identificación de la vegetación acuática (plantas vasculares y algas) presente en los distintos sectores del Canal Principal y las condiciones de calidad de agua determinantes para su crecimiento. A partir de los resultados, se delinearón propuestas de manejo del sistema para minimizar el crecimiento de la vegetación acuática.

El abordaje de temas técnicos por parte de diferentes instituciones, constituye un enfoque valioso en el que se destaca el aporte de todos los actores a fin de hallar estrategias de gestión consensuadas a un problema concreto como el analizado en el presente estudio.

1. Canal Principal de Riego y efectos de la vegetación acuática

Departamento Provincial de Aguas de Río Negro

1.1 Canal Principal de Riego del Alto Valle

El Sistema Integral de Riego del Alto Valle constituye la infraestructura de riego más importante de la Provincia de Río Negro (Figura 1), permitiendo el riego de 58.882 ha (Fuente Propia). El desarrollo de la agricultura bajo riego del Alto Valle ha dado lugar a un complejo urbano-rural que se extiende a lo largo de 130 km y en el que se asientan más de 320.921 habitantes (INDEC, 2010).



Figura 1. Red de riego y drenaje del Sistema Integral de Riego del Alto Valle.

La superficie empadronada (parcela empadronada es la unidad catastral que poseen el derecho real de uso de agua pública con destino al riego agrícola en base al Código de Aguas de Río Negro-Ley Q 2952) con servicio de riego alcanza las 58.882 ha. La infraestructura del sistema de riego está constituida por una obra de regulación sobre el río Neuquén denominada Dique Rodolfo Ballester, un edificio de bocatoma, un canal de aducción hasta un edificio regulador y un Canal Principal de 130 km de extensión (Figura 2). En el canal principal se originan una serie de canales que abastecen a la totalidad del área comprendida dentro del sistema, que se distribuye en 561 km de canales secundarios, terciarios y cuaternarios y 1.286 km de canales comuneros.



Figura 2. Detalle del Canal Principal en diferentes tramos. Izquierda: Canal Principal en zona urbana de Allen. Derecha: salto sobre el Canal Principal.

El canal principal es del tipo telescópico, con dimensiones que van reduciendo sección de modo tal que en la progresiva del kilómetro 1 tiene 45 m de solera y en la progresiva del kilómetro 130 la solera es de 1,80 m con taludes de 1:1,5 y velocidades que varían entre 0,87 y 0,47 m/s. La conformación original es de tierra compactada y ha recibido tratamientos diversos de impermeabilización con membrana y polietileno en una longitud de 19 km y revestimiento de hormigón en una longitud de 21 km (Reverter, 2011).

1.2 Usos múltiples del Canal Principal

El Canal Principal de Riego del Alto Valle desde su materialización como estructura principal de conducción de agua de riego para el desarrollo agrícola, se ha ido transformando en una obra hidráulica multipropósito.

En la década de 1950 se construyeron 3 centrales hidroeléctricas aprovechando desniveles en el curso del canal: Ing. Julián Romero (progresiva del kilómetro 18,4), Ing. Cesar Cipolletti (progresiva del kilómetro 33) y Gral. Roca (progresiva del kilómetro 70,4).

Desde la década de 1970 se han realizado captaciones de agua para reforzar los servicios públicos de agua potable en las localidades de Cinco Saltos, Cipolletti, Fernández Oro, Allen y en dos sitios de General Roca.

En forma creciente, es utilizado recreativamente por las comunidades de las ciudades que atraviesa. Desde hace más de 20 años en la banquina sur en zona de General Roca, se asienta la sede Alto Valle de la Escuela Provincial de Náutica, que enseña natación y kayak. Si bien inicialmente hubo resistencia por parte de los Consorcios de Riego, quienes objetaban que la actividad generaría un riesgo permanente de accidentes, lo cierto es que en todos estos años no se han registrado accidentes en la Escuela de Náutica, con el beneficio de que anualmente muchas personas practican la actividad en el sector, entre los puentes de las calles San Juan y Félix Heredia de la Ciudad de General Roca.

Otras actividades recreativas son más informales e incluso en algunos casos sin autorizaciones de uso, pero existen. Tal es el caso del uso del canal en los tramos de natación de los triatlones que organizan los municipios de General Roca, Cervantes y Allen. Si bien no se

conocen accidentes por estas actividades, se entiende como adecuada y necesaria la regulación de las mismas.

Las calles de servicio, en casi toda la extensión del canal, son usadas por grupos de ciclistas sobre todo durante los fines de semana y feriados, ya que por tratarse de calles con mínimo tránsito vehicular brinda seguridad a los aficionados.

Los parques lineales desarrollados en ambas márgenes del canal en General Roca, Allen y Cinco Saltos, resultan en áreas urbanas mejoradas que incrementan la calidad de vida de quienes habitan la zona. El último aniversario de la ciudad de General Roca se celebró en el parque, a ambas márgenes del mismo y se estima que circularon unas 40.000 personas durante dos días, sin generar esto ningún inconveniente operativo al canal.

Los canales de riego son ecosistemas complejos, caracterizados por contar con biota adaptada a explotar la heterogeneidad espacio-temporal. Estos canales pueden clasificarse como corredores fluviales, espacios multifuncionales capaces de proporcionar valiosos beneficios a las personas, impactando directa e indirectamente en la calidad de vida. Los servicios ecosistémicos más importantes prestados por todo este complejo fluvial son los de regulación. Se destaca especialmente la regulación de la capacidad de autodepuración del sistema ecológico, incluyendo la regulación de la calidad del aire-agua-suelo, del ciclo hidrológico, del cambio climático y del ciclo de nutrientes y de la regulación biológica de plagas. Además, proveen otros beneficios relacionados con los ciclos de vida propios de los medios acuáticos: vivero y criadero de especies, provisión de hábitat y con la capacidad de amortiguación de inundaciones y tormentas.

1.3 El efecto de las aguas claras

Desde la puesta en servicio del complejo Cerros Colorados aguas arriba del dique Ballester sobre el río Neuquén en el año 1978, la condición de las aguas cambió afectando las tareas de mantenimiento realizadas sobre todo el Sistema Integral de riego y sobre el Canal Principal en particular. El cambio descrito se denomina efecto de las aguas claras y es identificado como el resultado de la pérdida de material sólido que normalmente transportan las corrientes de agua merced al proceso de decantación natural que se produce en los embalses artificiales conformados por el complejo Cerros Colorados que se interponen en el curso natural del río Neuquén.

La incidencia de la luz en las aguas claras de los canales, provoca una mayor proliferación de plantas vasculares y algas, que modifican el escurrimiento hidráulico y disminuyen las revanchas constructivas de las obras hidráulicas. Esto se traduce en la conducción de menores caudales y en la disminución de la eficiencia de conducción de todo el sistema por el mayor tirante y perímetro mojado. Pueden producirse rebalses y se incrementa el riesgo de rotura.

El mantenimiento invernal del Canal Principal, que consistía en la recomposición de la sección transversal del cajero mediante desembanque del material decantado resultado del agua turbia, característica natural de la cuenca, paso a complejizarse por los cortes de la vegetación acuática requeridos durante toda la temporada de riego.

El corte de la vegetación acuática es actualmente, la tarea de mantenimiento de mayor importancia y que demanda más inversión al Consorcio de Segundo Grado del Alto Valle. Se incrementó tanto en frecuencia como en intensidad, complejidad y costo.

Adicionalmente, se perdió el sellado de las paredes de los canales sin revestir que se producía con los sedimentos transportados en el agua, previa a las obras de regulación. Esto disminuyó la impermeabilización natural de todo el sistema aumentando las pérdidas hidráulicas por infiltración y disminuyendo la eficiencia de conducción. El agua infiltrada incide en el aumento del escurrimiento subsuperficial del área agrícola incrementando los caudales aportantes al sistema de drenaje, que resultó diseñado para operar en condiciones de menor descarga y en algunas áreas no resulta suficiente para evitar la degradación salina de los suelos agrícolas, afectando negativamente la productividad de los cultivos y degradando extensas zonas del Valle (Álvarez *et al.*, 1995; Mendía e Irisarri, 1994; Horne *et al.*, 1992).

Ocasionalmente y como consecuencia de la salida de servicio de la Central Hidroeléctrica Planicie Banderita, se han producido aumentos en la turbiedad del río Neuquén en las temporadas 2016-2017 y 2019-2020. Esto ha demostrado tener un efecto notable en la disminución del crecimiento y desarrollo de la vegetación acuática, reduciendo los 5/6 cortes habituales a 2 en 2019-2020. En el siguiente apartado se detallan estas contingencias.

1.4 Condiciones que generan variaciones de turbiedad del agua en el sistema de riego: apertura del vertedero en Portezuelo Grande

Cómo se mencionó precedentemente, la dinámica de la cuenca media y baja del río Neuquén se modificó significativamente a partir de la construcción de las obras de regulación y generación de energía hidroeléctrica del Complejo Cerros Colorados. Ante situaciones excepcionales derivadas de contingencias ocurridas en la Central Planicie Banderita que imposibilitaron la erogación de agua desde el embalse Mari Menuco, fue necesario derivar caudales mayores al habitual (entre 12 y 18 m³/s) por el tramo regulado Portezuelo Grande-Chañar (Punto A, Figura 3). El último evento de este tipo fue la salida de servicio de una turbina de la Central Hidroeléctrica Planicie Banderita (10/09/2019) (Punto C, Figura 4), siendo necesario erogar módulos entre 80 y 130 m³/s por el tramo regulado del río Neuquén durante setenta y seis días (desde el 11/09 al 25/11/19) para asegurar el abastecimiento para los distintos usos (Figura 3). Esta situación particular en la operación del Complejo Hidroeléctrico Cerros Colorados, modificó la calidad del agua incrementando la turbiedad del embalse compensador El Chañar (punto D, Figura 3), aguas abajo del río Neuquén y del Sistema de Riego. La disminución de transparencia coincidió con la época de crecimiento de la vegetación acuática en el sistema río Neuquén-Canal Principal de Riego, resultando en una reducción del crecimiento vegetal y en consecuencia de los cortes necesarios en el Canal.

El primer corte de vegetación acuática en el Canal se realiza habitualmente en la primera semana de noviembre, pero durante la temporada 2019-2020, los aumentos de turbiedad demoraron el inicio del primer corte de vegetación hasta el 25/11/19 en el kilómetro 89 y finalización el 12/12/19 en el kilómetro 0. El 13/01/20 el Consorcio de Segundo Grado (concesionario del Canal Principal), informó la realización de un segundo corte parcial, entre los

kilómetros 105 y 89, tramo que no se había incluido en el primer corte, y desde el kilómetro 89 al 4.2. De los cinco cortes realizados habitualmente durante las temporadas de riego, en la temporada 2019-2020 se realizaron sólo dos, extrayendo muy poco material vegetal en comparación con las temporadas anteriores.

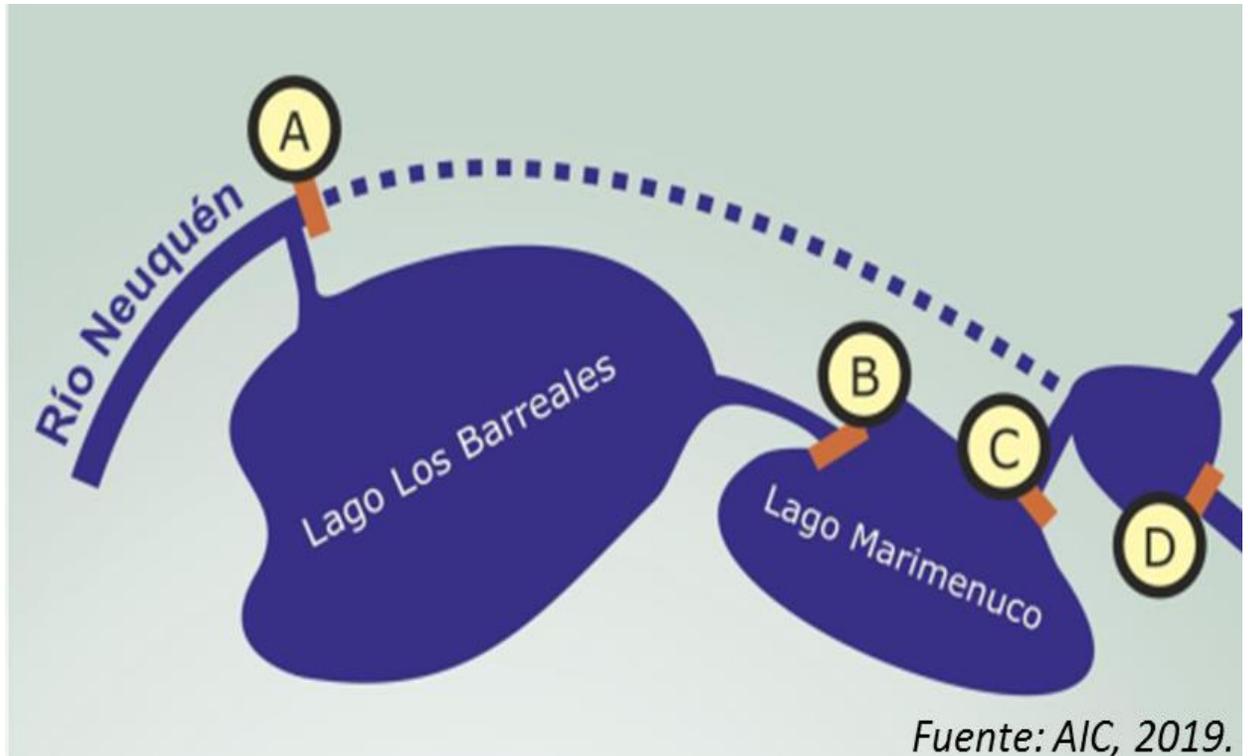


Figura 3. Esquema de operación del Complejo Hidroeléctrico Cerros Colorados. La línea punteada indica el antiguo cauce del río Neuquén, tramo regulado entre la Presa Portezuelo Grande y el embalse El Chañar. Los puntos marcados en la imagen corresponden a: Presa Portezuelo Grande (A), Presa Loma de la Lata (B), Central Planicie Banderita (C) y Presa El Chañar (D). Fuente: AIC, 2019. www.aic.gov.ar

Otro antecedente cercano en el tiempo se registró en el mes de noviembre de 2016 durante otra salida de servicio de la Central Hidroeléctrica Planicie Banderita, aunque de menor duración. En ese momento (02/11/2016) se erogó desde la presa Portezuelo Grande un caudal de $120 \text{ m}^3/\text{s}$ por el tramo regulado del río Neuquén durante quince días, registrándose también una disminución en el crecimiento de vegetación acuática en el Canal.

2. Condiciones climáticas locales y cambio climático regional.

Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro

Ing. Fernando Frassetto

2.1 Argentina en el escenario del calentamiento global

En nuestro país, de acuerdo con la *Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático*, se observó un incremento de la temperatura media anual y de las precipitaciones en casi todo el país, con excepción de los Andes patagónicos y cuyanos, donde se vieron reducidas en los últimos decenios.

En mayor parte del territorio argentino, incluyendo el norte de la Patagonia, hubo un aumento de las temperaturas medias en 0,5°C entre los años 1960 y 2010, llegando en algunas zonas a superar 1°C (Figura 4). En la zona cordillerana de la Patagonia se registró un aumento significativo de la temperatura de superficie, superior a 1°C, con el consiguiente retroceso de la mayoría de los glaciares andinos (IPCC, 2022). Cabe señalar que se registró, sobre la mayor parte del territorio argentino, una reducción en el número de días con heladas, efecto potencialmente perjudicial en la dispersión de plagas humanas y agrícolas.

Al norte de los 40° latitud sur las tendencias positivas de temperatura fueron menores y sólo perceptibles a partir de los últimos 40 años, inclusive, en el centro del país la temperatura presentó cierta disminución, principalmente en los valores correspondientes a temperaturas máximas medias en la estación estival. En contraste, allí se registró un importante aumento de la precipitación durante las décadas del '60 y '70.

En casi todo el país hubo un aumento de las precipitaciones medias anuales (Figura 4) con mayor incidencia en el noreste y en el centro del país (especialmente en el noreste y en el borde occidental de la Pampa húmeda: Litoral, Cuyo, centro y norte del territorio nacional), con una reducción de las precipitaciones en la región central y sur de los Andes centrales. A su vez se registró una importante disminución en los caudales de los ríos que se originan en la cordillera en las provincias de San Juan, Mendoza, Río Negro y Neuquén, ocasionada por la disminución de las precipitaciones nivales sobre la Cordillera de los Andes. Esto debido al desplazamiento de volúmenes de agua dependientes de precipitaciones de invierno hacia fenómenos estivales de naturaleza convectiva (tormentas precipitantes de verano) (IPCC, 2021). Esta reducción de la masa de agua dulce aumenta el riesgo de escasez de agua para los ecosistemas y la población, pudiendo comprometer las producciones agrícolas desarrolladas tanto en forma de secano en las cotas altas, como aquellas bajo riego aguas abajo de los principales cursos de agua, esto si bien es complejo valorar acciones o restricciones en el uso de los recursos naturales, ya que suelen estar involucrados otros aspectos, como la productividad de regiones tradicionalmente relegadas y el acceso de la población a mejores oportunidades económicas.

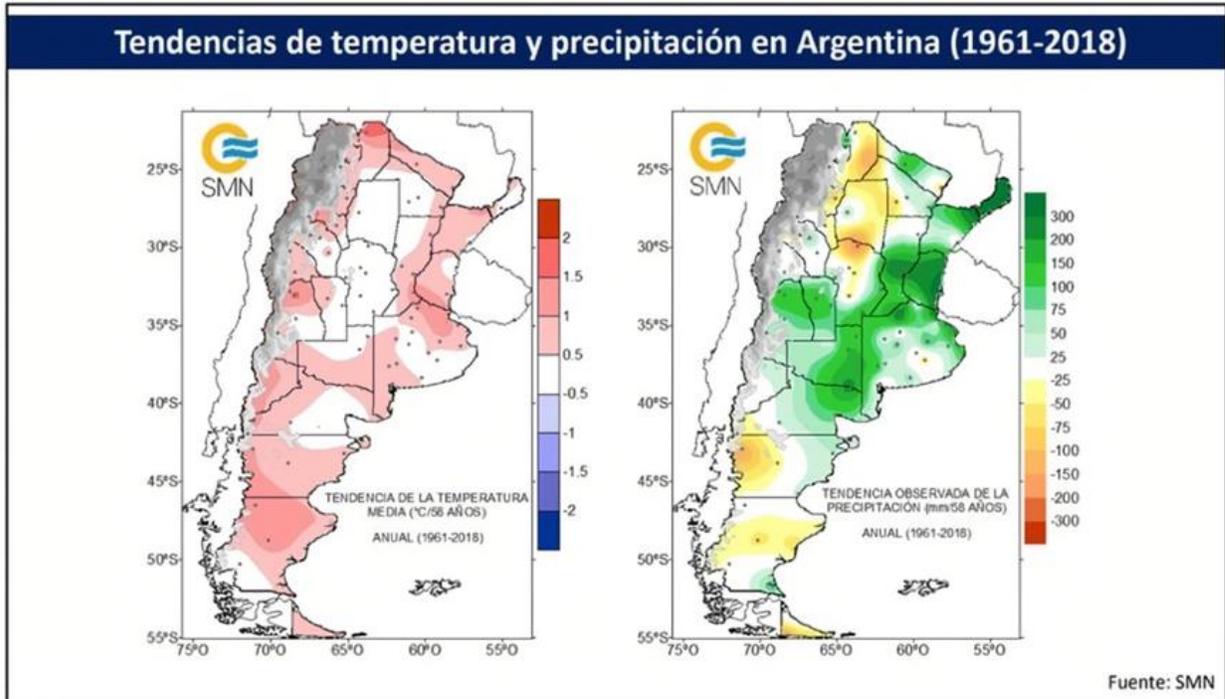


Figura 4. Tendencias de temperatura y precipitación en Argentina. Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (SMN), 2020.

La temperatura tiene su importancia en la ecuación del balance hidrológico, ya que determina en gran medida los cambios de fase: evaporación, condensación, fusión. En este sentido, el calentamiento observado en nuestra región fue menor, en términos generales, al que se calcula como promedio global. Esto, aunque pueda parecer una buena noticia, no es motivo de despreocupación, tanto porque la atmósfera y los océanos no tienen fronteras, como porque este retardo se debe principalmente a que nuestros climas se encuentran gobernados por dos grandes océanos: el Atlántico y el Pacífico, que tienen demoras en calentarse, pero, asimismo, demorarán más en enfriarse suponiendo una futura solución al calentamiento global, con lo que se prolongarían los efectos y consecuencias del mismo en comparación a otras regiones del planeta. Consecuencias que incluso ahora ya encienden alarmas (Figura 5). El retroceso de los glaciares andinos, evidente desde mediados del siglo XX, es un ejemplo de ello. Los glaciares representan el principal reservorio de agua dulce y su derretimiento afecta al abastecimiento de las cuencas que dependen de ellos, aumentando el caudal de los cursos de agua hasta que alcanzan su “pico hídrico”, para luego reducirse rápidamente. Además, este proceso retroalimenta al calentamiento atmosférico, ya que al derretirse el hielo se pierde el “espejo” que refleja gran parte de la radiación solar recibida, quedando el suelo descubierto e incrementándose la proporción de radiación absorbida por el mismo, calentándose y por ende calentando también el aire en contacto con su superficie (SMN, 2020).



Figura 5. Incremento de la temperatura anual promedio en Argentina y efectos del calentamiento. Fuente: SMN, 2020.

2.2 Proyecciones futuras en Argentina

En el futuro cercano (3 a 5 años), se estima un aumento de temperatura de 0,5 a 1 °C en casi todo el país, lo que implicaría una aceleración del calentamiento observado en los últimos 50 años. El aumento de la temperatura proyectado es mayor en el norte que en el sur, con un máximo en el noroeste del país que, con valores decrecientes, se prolonga por el oeste hasta el centro de la Patagonia (diagonal árida de la república argentina).

Con respecto a la evolución de los impactos derivados de este incremento térmico, se espera un retroceso de los caudales de los ríos de la Cuenca del Plata con un incremento de la evaporación y una consiguiente reducción del escurrimiento superficial. Esto traerá aparejado pérdidas en la generación hidroeléctrica regional, aumento de la concentración de contaminantes y dificultades en la navegación fluvial. Por la misma razón, se espera un aumento del estrés hídrico en todo el norte y parte del oeste del país lo que afectaría la producción agropecuaria y en algunas zonas incluso comprometería el suministro de agua potable.

A más largo plazo (5 a 10 años) se espera un aumento de la precipitación del orden de 2 % al 8 % en el centro y en el este de Argentina y una disminución del orden de 2 % a 12 % en la región del noroeste argentino, en todo el borde occidental del territorio nacional y en la Patagonia, excepto en el sur de Santa Cruz y en Tierra del Fuego donde no se esperan mayores cambios.

En cuanto a la temperatura se proyecta un aumento en todo el país, entre 0,7° C y 1,2° C por encima de los valores normales, siendo máximo en el noroeste argentino. Considerando el período de un año, los mínimos cambios se esperarían en el verano y los máximos en el invierno.

2.3 Impactos del cambio climático proyectados en la región del Comahue

El conocimiento científico disponible actualmente permite afirmar que el clima ha variado en las últimas décadas (Fundación Torcuato Di Tella, 2006). Se espera que los efectos derivados del cambio climático afecten significativamente el comportamiento de la temperatura y las precipitaciones en la zona de recarga de determinadas cuencas nacientes en la cordillera de los Andes. En este contexto, dentro del proyecto Climagua, se realizó una modelación y prospectiva del sistema hídrico de la región Comahue, conformado por los ríos Limay, Neuquén y Negro. Se modelaron los cambios en temperatura y precipitación para el periodo 2010-2100, asociados a seis escenarios climáticos, derivados de la combinación de tres modelos de circulación general (MIROC510, GFDL-ESM2G11, CanESM212) y dos escenarios de trayectorias de concentración representativas de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) (RCP 4.5 y RCP 8.59) adoptados por el IPCC (Grupo Intergubernamental de Cambio Climático). La trayectoria teórica RCP 4.5 representa un nivel medio de emisiones de GEI ya que las emisiones alcanzan su punto máximo alrededor de 2040 y luego disminuyen, en tanto la RCP 8.5 representa una alta concentración de GEI, las emisiones continúan aumentando durante todo el siglo XXI.

Los resultados de la modelación en los distintos escenarios señalaron un incremento de la temperatura media, una reducción de las precipitaciones en la cordillera de los Andes, incluyendo una reducción de la nieve acumulada, con la consecuente modificación del régimen hidrológico de los ríos Limay, Neuquén y Negro (Losano, 2015). En las Figuras 6 a 11 se presentan las tendencias halladas para los caudales de los ríos Neuquén, Collón Cura y Limay en los seis escenarios de cambio climático proyectados, destacándose que incluso en los más benignos (RCP 4.5) se espera una paulatina reducción de los caudales derivados de las tres cuencas, con la consecuente reducción del módulo del río Negro.

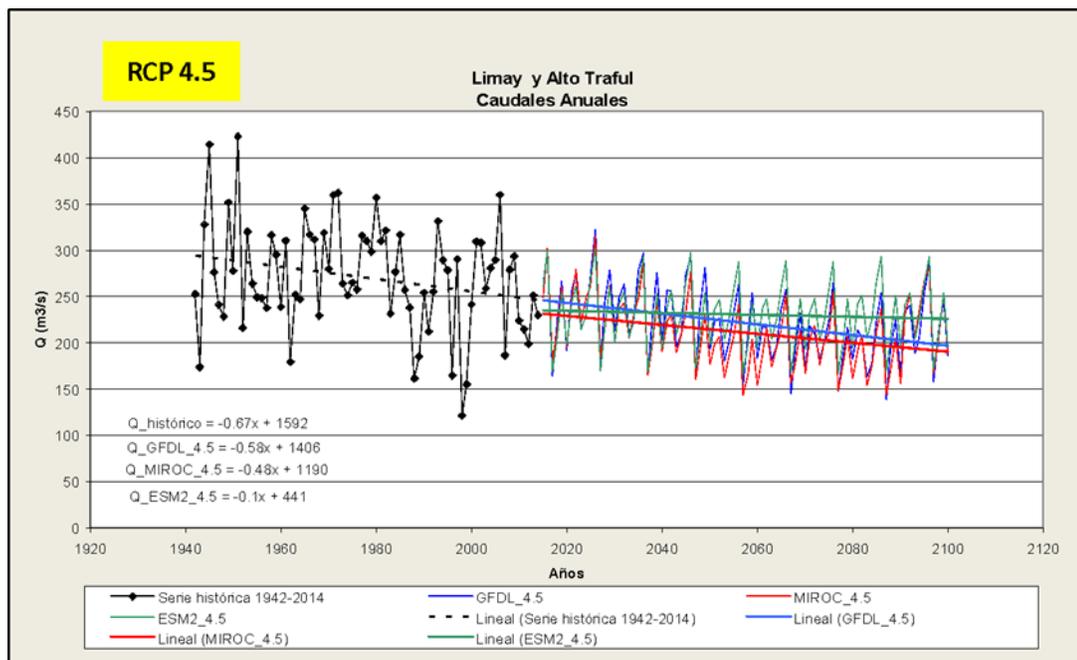


Figura 6. Caudales anuales históricos, simulados (período 2015-2100) y tendencias para los ríos Limay y Alto Traful, según modelos climáticos para emisiones RCP 4.5.

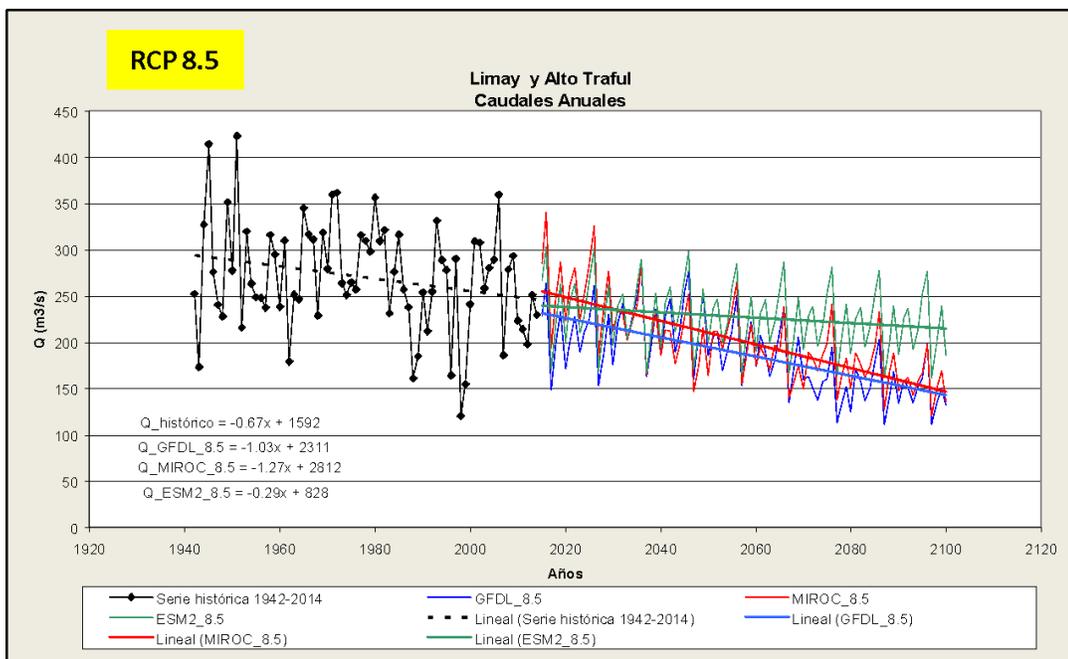


Figura 7. Caudales anuales históricos, simulados (período 2015-2100) y tendencias para los ríos Limay y Alto Traful, según los modelos climáticos para emisiones RCP 8.5.

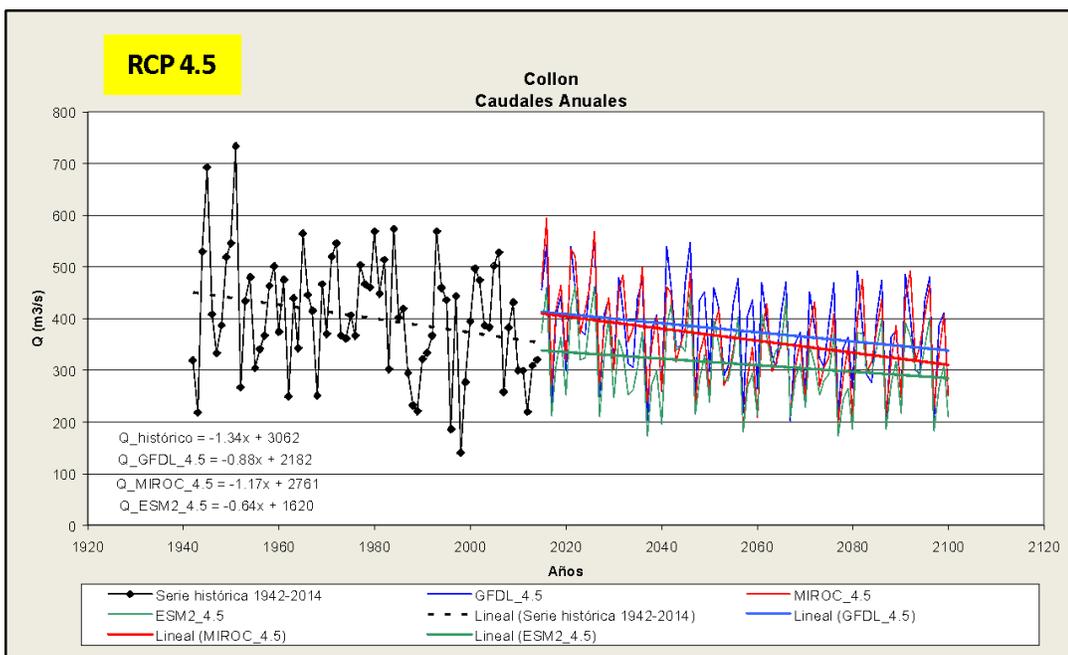


Figura 8. Caudales anuales históricos, simulados (período 2015-2100) y tendencias para el río Collón Cura, según los modelos climáticos para emisiones RCP 4.5.

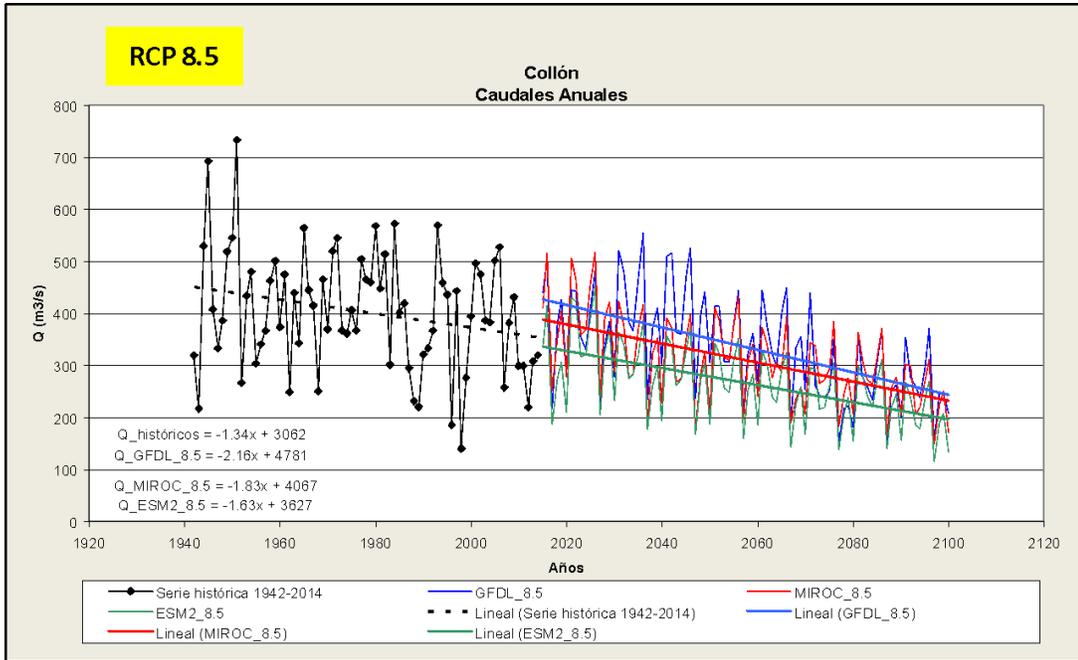


Figura 9. Caudales anuales históricos, simulados (período 2015-2100) y tendencias para el río Collón Cura, según los modelos climáticos para emisiones RCP 8.5.

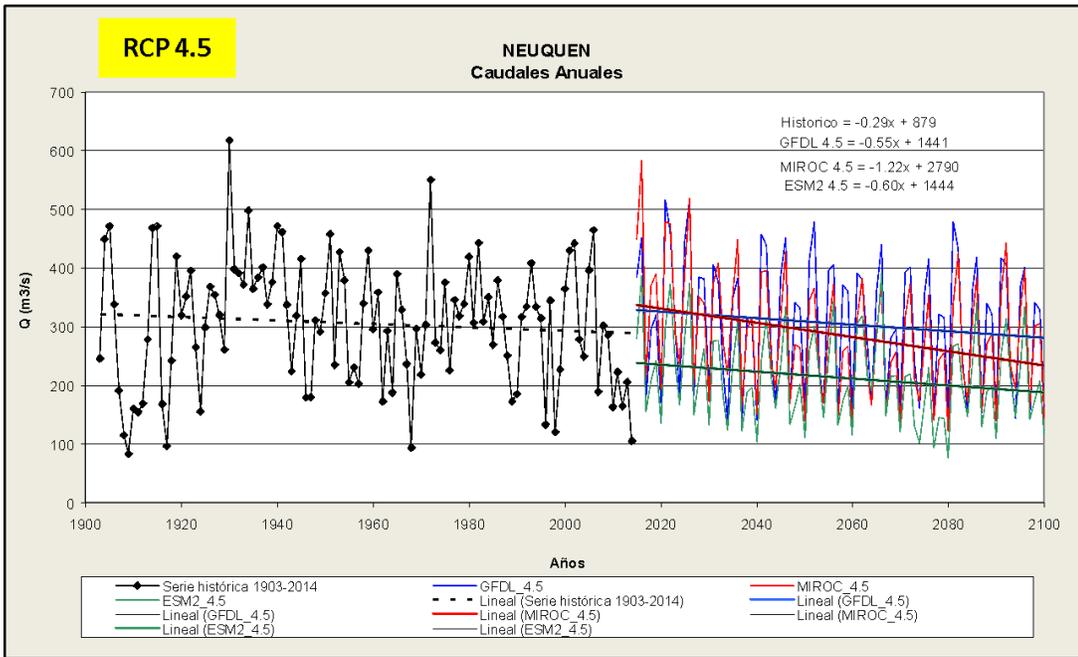


Figura 10. Caudales anuales históricos, simulados (período 2015-2100) y tendencias para el río Neuquén, según los modelos climáticos para emisiones RCP 4.5.

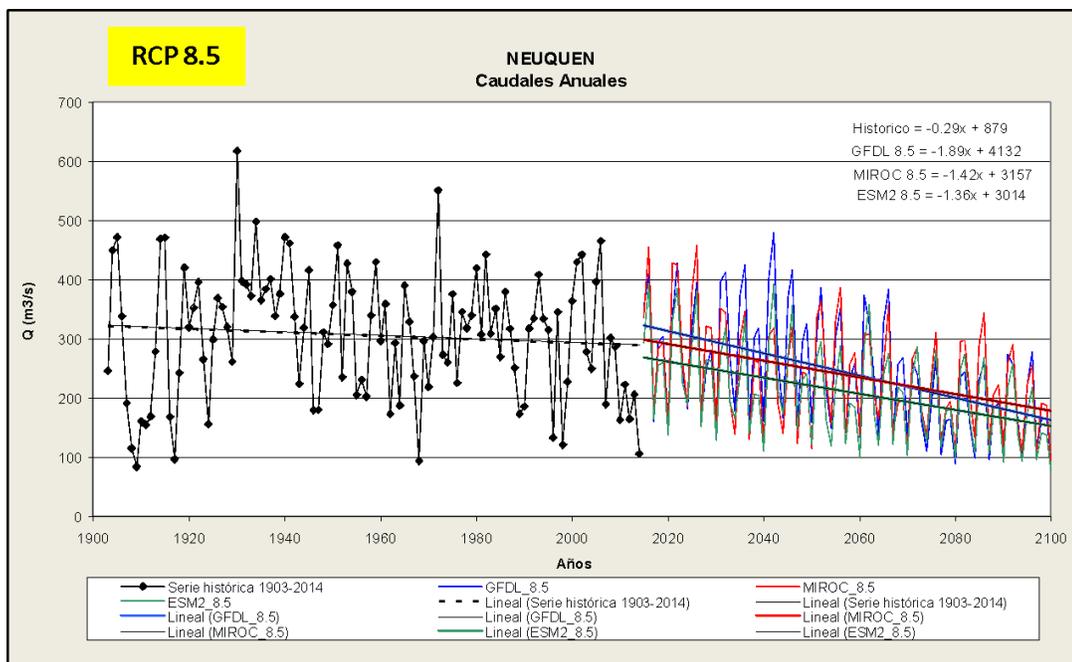


Figura 11. Caudales anuales históricos, simulados (período 2015-2100) y tendencias para el río Neuquén, según los modelos climáticos para emisiones RCP 8.5.

3. Monitoreo de la calidad del agua

*Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro
Departamento Provincial de Aguas de Río Negro*

El monitoreo de la calidad del agua comenzó en agosto de 2019 y se llevó a cabo durante tres temporadas consecutivas: 2019-2020, 2020-2021 y 2021-2022. Los muestreos consistieron en mediciones *in situ* y colección de muestras de agua. A continuación, se presentan los resultados de los muestreos de cada temporada.

3.1 Temporada 2019 - 2020 (1º Temporada)

3.1.1 Antecedentes

En julio de 2019 se efectuó en forma conjunta entre las instituciones participantes, un muestreo de diagnóstico en tres sitios del Canal Principal (Anexo 2). A partir de este se diagramó el programa de monitoreo del CPRAV implementado durante la temporada 2019-2020.

3.1.2 Metodología

Los muestreos se realizaron entre septiembre del 2019 a marzo del 2020 en seis sitios del CPRAV (Tabla 1 y Anexo 1). Se midieron *in situ* las siguientes variables físico-químicas: temperatura del agua (T° agua), pH, conductividad eléctrica (CE) y oxígeno disuelto (OD) tanto en concentración ([OD]) como en porcentaje (OD%). Se utilizó un medidor multiparamétrico Hach HQ40d. En el mismo momento se colectaron muestras para la determinación en laboratorio

de nutrientes, fósforo total (PT) (SM 4500 P-f), nitrógeno total (NT) (Grasshoff *et al.*, 1983) en los sitios 1 a 3 y nitrógeno orgánico total (NOT) (digestión con persulfato) en los sitios 4 a 6 y para el análisis bacteriológico, Coliformes Totales (SM 9221 B) y *Escherichia coli* (SM 9221 E-G) en todos los sitios.

Tabla 1. Coordenadas de localización de los sitios de monitoreo en el Canal Principal de Riego en la zona Alto Valle.

Sitio	Latitud	Longitud
S1: progresiva Km 4,5	38°44'14,6" S	68°07'26,4" O
S2: progresiva Km 18	38°49'59,6" S	68°02'31,3" O
S3: progresiva Km 33	38°54'36,9" S	67°56'30,1" O
S4: progresiva km 45,94	38°58'26,9" S	67°49'59,0" O
S5: progresiva km 70	39°01'23,5" S	67°34'12,7" O
S6: progresiva km 89	39°03'18,3" S	67°21'44,4" O

3.1.3 Resultados

3.1.3.1 Calidad de Agua 2019-2020

En las tablas 2 – 7 se presentan los valores de las mediciones *in situ* efectuadas en los seis sitios de monitoreo, así como los resultados de nutrientes y bacteriología de las muestras colectadas. Los valores obtenidos para fósforo y nitrógeno en los sitios 1 a 3, no son comparables con los restantes sitios ya que se utilizaron diferentes técnicas para su determinación.

Tabla 2. Valores de mediciones *in situ*, y resultados de nutrientes y bacteriológicos obtenidos en el sitio 1 del Canal Principal de Riego, Alto Valle.

SITIO 1: Progresiva Km 4,5											
Fecha	T. agua (°C)	pH	CE (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	(%)	Turb (NTU)	Caudal (m ³ /s)	NT (µg N/L)	PT (µg P/L)	Bacteriológico (NMP/100 mL) *	
										Coli. Totales	E. coli
02/09/19	10	8.1	245	11.5	104	3	40	-	-	-	-
26/09/19	16	7.9	225	9.4	99	24	61	217	62	25	3
15/10/19	11	7.8	202	10.1	95	23	63	163	-	15	<3
06/11/19	17	7.1	185	9.6	104	20	67	121	44	<3	<3
06/12/19	19	7.2	235	9.1	101	11	67	-	-	75	<3
07/01/20	19	7.1	238	8.7	98	7	68	-	-	3	<3
10/02/20	-	7.9	300	-	-	4	68	-	-	7	4
09/03/20	22	8.1	242	8.5	100	5	62	-	-	20	7
Promedio	16	8	234	10	100	12	62	167	53	15	4

* media geométrica

Tabla 3. Valores de mediciones in situ, y resultados de nutrientes y bacteriológicos obtenidos en el sitio 2 del Canal Principal de Riego, Alto Valle.

SITIO 2: Progresiva Km 18											
Fecha	T. agua (°C)	pH	CE (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	(%)	Turb (NTU)	Caudal (m ³ /s)	NT (µg N/L)	PT (µg P/L)	Bacteriológico (NMP/100 mL) *	
										Coli. Totales	E. coli
02/09/19	11	8.8	246	11.7	107	3	40	-	-	-	-
26/09/19	17	8.1	226	9.6	101	27	61	210	58	15	<3
15/10/19	11	7.9	203	10.5	98	20	63	162	54	10	<3
06/11/19	18	7.2	181	9.9	109	21	67	151	48	11	4
06/12/19	19	7.3	240	9.5	107	6	67	-	-	8	<3
07/01/20	20	7.2	237	9.0	102	5	68	-	-	11	<3
10/02/20	-	8.1	300	-	-	3	68	-	-	20	3
09/03/20	21	8.3	237	8.7	102	5	62	-	-	3	<3
Promedio	17	8	234	10	104	11	62	174	53	10	3

* media geométrica

Tabla 4. Valores de mediciones in situ, y resultados de nutrientes y bacteriológicos obtenidos en el sitio 3 del Canal Principal de Riego, Alto Valle.

SITIO 3: Progresiva Km 33											
Fecha	T. agua (°C)	pH	CE (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	(%)	Turb (NTU)	Caudal (m ³ /s)	NT (µg N/L)	PT (µg P/L)	Bacteriológico (NMP/100 mL) *	
										Coli. Totales	E. coli
02/09/19	10	9.0	248	11.6	104	4	40	-	-	-	-
19/09/19	11	8.5	239	10.5	98	47	-	-	-	-	-
26/09/19	17	8.6	223	9.8	103	33	61	182	75	5	<3
10/10/19	16	8.2	210	10.1	106	29	-	-	-	-	-
15/10/19	12	7.8	272	10.4	98	29	63	234	58	25	3
23/10/19	20	8.1	192	9.7	109	19	-	-	-	-	-
01/11/19	18	7.7	188	9.2	101	19	-	-	-	-	-
06/11/19	19	7.3	181	8.6	108	26	67	152	63	16	3
12/11/19	20	7.3	195	8.7	101	24	-	-	-	-	-
22/11/19	23	7.5	164	8.9	106	37	-	-	-	-	-
25/11/19	20	7.7	185	9.5	106	31	-	-	-	-	-
06/12/19	20	8.0	244	9.2	107	31	67	-	-	20	3
07/01/20	21	7.4	239	8.8	103	6	68	-	-	4	<3
10/02/20	-	8.2	300	-	-	3	68	-	-	4	<3
09/03/20	23	8.7	239	8.5	102	6	62	-	-	7	3
Promedio	18	8	221	10	104	23	62	189	65	9	3

* media geométrica

Tabla 5. Valores de mediciones in situ, y resultados de nutrientes y bacteriológicos obtenidos en el sitio 4 del Canal Principal de Riego, Alto Valle.

SITIO 4: Progresiva Km 45,9											
Fecha	T. agua (°C)	pH	CE (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	(%)	Turb (NTU)	Caudal (m ³ /s)	NOT (mg N/L)	PT (mg P/L)	Bacteriológico (NMP/100 mL) *	
										Coli. Totales	E. coli
30/08/19	11	8.5	310	12.5	115	5	40	-	-	-	-
26/09/19	16	7.9	260	11.0	113	34	61	0.019	0.016	<3	<3
06/11/19	19	8.3	183	9.6	108	24	67	-	-	4	<3
06/12/19	21	8.6	268	9.3	108	12	67	-	-	95	14
07/01/20	20	8.7	270	9.1	106	5	68	-	-	11	<3
10/02/20	22	8.6	300	9.5	111	3	68	-	-	11	3
09/03/20	21	8.9	314	9.3	107	6	62	-	-	15	<3
Promedio	19	8	272	10	110	13	62	0.019	0.016	14	6

* media geométrica

Tabla 6. Valores de mediciones in situ, y resultados de nutrientes y bacteriológicos obtenidos en el sitio 5 del Canal Principal de Riego, Alto Valle.

SITIO 5: Progresiva Km 70											
Fecha	T. agua (°C)	pH	CE (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	(%)	Turb (NTU)	Caudal (m ³ /s)	NOT (mg N/L)	PT (mg P/L)	Bacteriológico (NMP/100 mL) *	
										Coli. Totales	E. coli
30/08/19	12	8.3	300	12.3	115	6	40	-	-	-	-
26/09/19	16	8.1	260	10.8	112	32	61	0.031	< 0,01	10	<3
06/11/19	18	8.1	190	9.9	108	24	67	-	-	4	3
06/12/19	20	8.3	277	9.4	107	9	67	-	-	39	3
07/01/20	19	8.3	280	9.4	106	6	68	-	-	4	<3
10/02/20	22	8.3	290	9.0	105	6	68	-	-	4	3
09/03/20	21	8.8	263	9.2	105	5	62	-	-	11	<3
Promedio	18	8	266	10	108	13	62	0.031	< 0,01	8	3

* media geométrica

Tabla 7. Valores de mediciones in situ, y resultados de nutrientes y bacteriológicos obtenidos en el sitio 6 del Canal Principal de Riego, Alto Valle.

SITIO 6: Progresiva Km 89											
Fecha	T. agua (°C)	pH	CE (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	(%)	Turb (NTU)	Caudal (m ³ /s)	NOT (mg N/L)	PT (mg P/L)	Bacteriológico (NMP/100 mL) *	
										Coli. Totales	E. coli
30/08/19	12	8.3	300	12.3	116	7	40	-	-	-	-
26/09/19	16	7.9	270	10.4	107	35	61	0.041	0.04	18000	<3
06/11/19	18	8.1	190	9.4	103	16	67	-	-	4	3
06/12/19	21	8.2	274	8.9	102	22	67	-	-	93	<3
07/01/20	20	8.8	280	9.3	103	7	68	-	-	4	<3
10/02/20	22	8.6	300	8.7	102	5	68	-	-	4	3
09/03/20	21	8.8	262	8.8	102	7	62	-	-	11	<3
Promedio	19	8	268	10	105	14	62	0.041	0.040	31	3

* media geométrica

Los resultados de las variables medidas *in situ* (pH, CE y oxígeno disuelto) fueron estables en las progresivas del CPRAV durante el período de muestreo, resultando análogas a los registros medidos en el sitio Dique Ballester. El punto Dique Ballester es un sitio de monitoreo de la red básica de AIC que se puede tomar como referencia de la calidad del agua ingresante al CPRAV. En el Anexo 3 se presentan los registros históricos de las variables analizadas, mientras que los valores promedio se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores promedio de las variables analizadas en el sitio de referencia Dique Ballester, sitio de referencia de la calidad del agua del Canal Principal de Riego, Alto Valle.

SITIO DE REFERENCIA: DIQUE BALLESTER							
PERÍODO 2001-2020	pH	CE (µS/cm)	Ox. disuelto (mg/L)	Turb (NTU)	NT (µg N/L)	PT (µg P/L)	E. coli * (NMP/100 mL)
PROMEDIO	8,2	249	10	3,3	107	18	20

* media geométrica

Las determinaciones de nutrientes se efectuaron en dos laboratorios diferentes y el análisis de nitrógeno fue realizado bajo metodologías distintas. En las muestras colectadas en los tres primeros sitios se analizó NT y en los sitios restantes NOT. Al resultar determinaciones diferentes el análisis comparativo de nutrientes totales se realizó para los sitios 1, 2 y 3. En este sentido, las concentraciones de nutrientes promedio medidas en el CPR resultaron mayores (NT = 177 µg/L y

PT = 57 µg/L) comparadas con los valores de referencia (Tabla 8), mostrando una tendencia de incremento, en el sentido de avance de las progresivas, desde el sitio 1 al 3.

Los registros de turbiedad resultaron altos durante la mayor parte del muestreo, debido a la contingencia ocurrida en Planicie Banderita que obligó a derivar un caudal mayor al habitual por el tramo Portezuelo Grande – Chañar, elevando la turbiedad del río Neuquén y consecuentemente del Canal Principal de Riego del Alto Valle.

A fin de analizar la dinámica de las variables analizadas, se presentan en la Figura 12 los valores registrados en el sitio 3 (progresiva Km 33). Se puede observar que los elevados valores de turbiedad registrados durante los primeros meses del estudio (vinculados a la contingencia en Planicie banderita), en el mes de enero retornaron a los registros medidos antes de la contingencia (agosto 2019), resultandos similares a los medidos habitualmente en el sitio Dique Ballester.

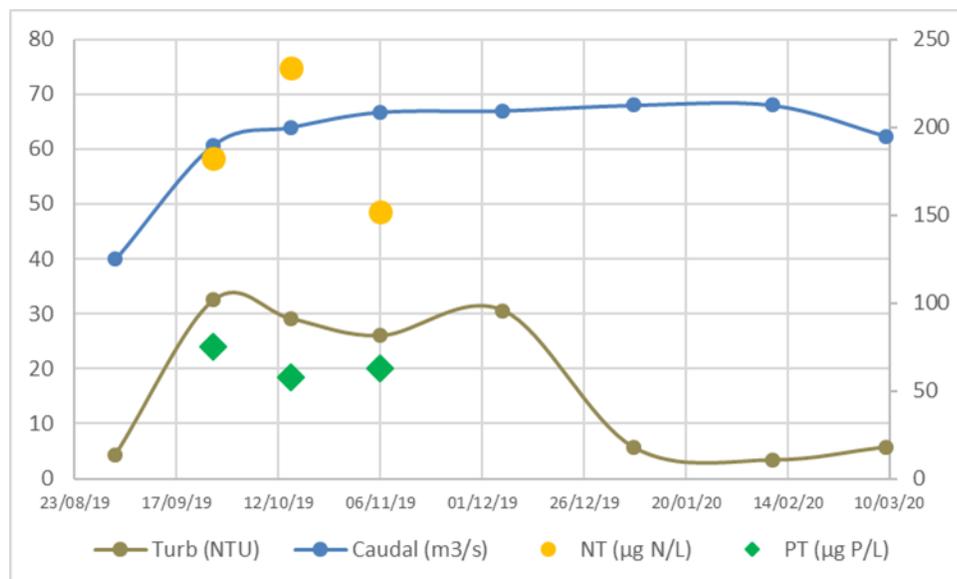


Figura 12. Registros de turbiedad, caudal (eje principal) y nutrientes (NT y PT) medidos en el sitio 3 del CPR.

3.1.3.2 Análisis de los Resultados

A fin de simplificar el análisis del conjunto de variables medidas en las progresivas del CPRAV, se aplicó un análisis de componentes principales (ACP) en dos instancias. En la primera, se analizaron las variables: temperatura del agua (T° agua), pH, CE, OD, caudal (Q) y turbiedad, registradas en los seis sitios muestreados. En la segunda, se analizaron las mismas variables incluyendo los nutrientes, registrados en los sitios 1 a 3.

Sitios 1 a 6

Se realizó un ACP con los registros medidos durante siete muestreos en los sitios 1 a 6 del CPR, correspondientes a las variables: T° , pH, CE, OD, Q y turbiedad, presentado en el diagrama de ordenamiento de la Figura 13. Los dos primeros componentes del diagrama explican el 77 % de la variabilidad de los datos de calidad de agua, mostrando la relación entre las variables y la distribución de las progresivas en función de los gradientes ambientales.

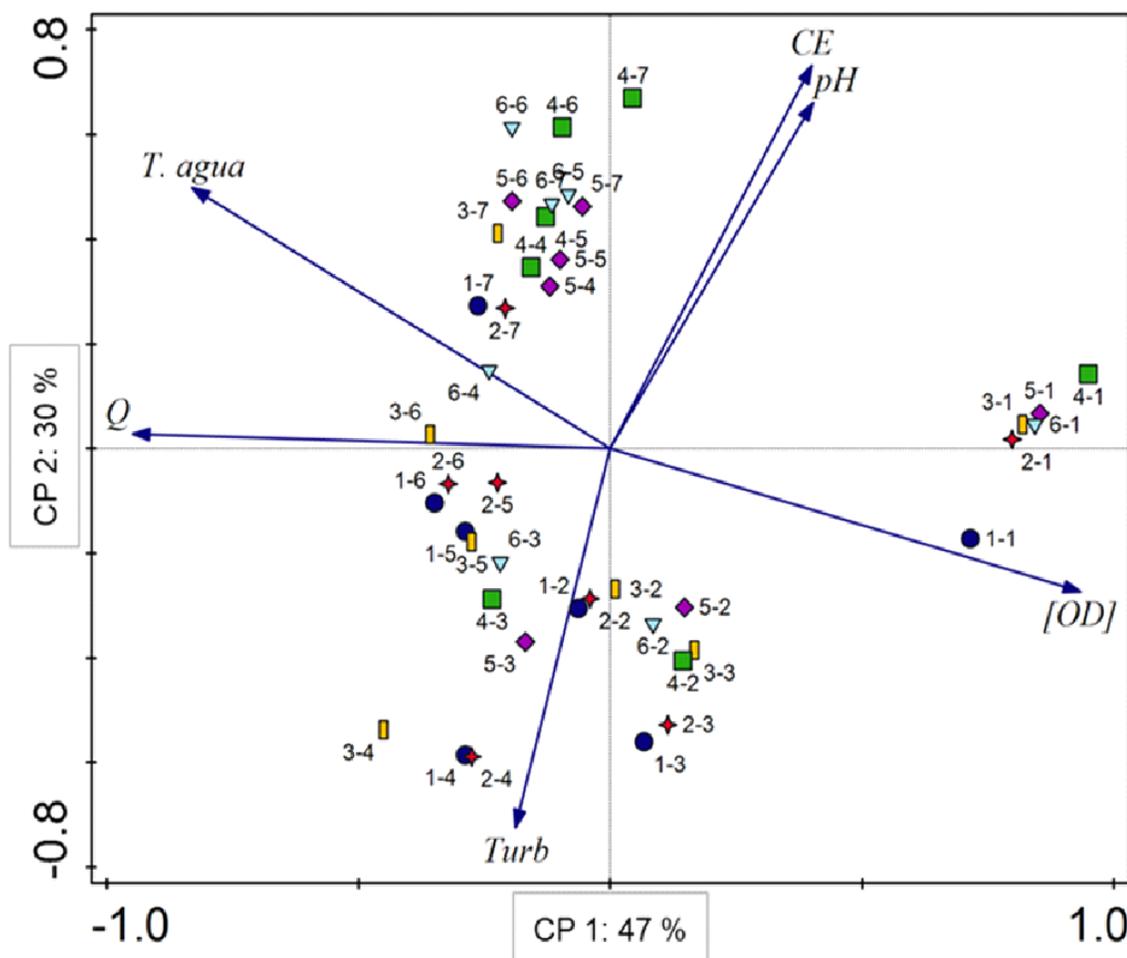


Figura 13. Ordenamiento de los sitios de acuerdo al ACP, basado en las variables analizadas en los seis sitios del CPRAV durante el período septiembre 2019 – marzo 2020. El primer número indica el sitio (1 a 6), y el segundo, indica el muestreo (1 a 7). de turbiedad, caudal (eje principal) y nutrientes (NT y PT) medidos en el sitio 3 del CPR.

El primer eje (CP1) captura el 47 % de la variación de los datos, e indica un primer gradiente formado por la variación en los valores de Q, T° agua y [OD], mayores valores de las dos primeras variables se corresponden con las menores [OD]. En tanto que, el segundo eje (CP2) explica el 30 % de la variación de los datos y evidencia un segundo gradiente regido por los valores de pH, CE y turbiedad, mayores valores de turbiedad se corresponden con menores valores de CE y pH. En la Fig. 2 se puede ver que, a excepción del primer muestreo, los sitios se ordenan principalmente en función del gradiente marcado por el CP2, y una leve variación en función del gradiente del CP1. Los sitios localizados en las tres primeras progresivas (1, 2 y 3), mostraron estar más influenciados por los mayores valores de turbiedad, y con el avance en las progresivas (sitios 4, 5 y 6) adquirieron relevancia los mayores valores de pH y CE. El primer muestreo se diferenció claramente de los seis muestreos restantes, con las menores temperaturas, menor caudal y las mayores concentraciones de OD, con una insignificante influencia de las variables del CP2.

Sitios 1 a 3

Se realizó un ACP con los registros correspondientes a los sitios de las tres primeras progresivas del CPR, seleccionando los muestreos en los cuales se analizaron nutrientes además de las variables de campo (T° , pH, CE, OD, Q y turbiedad). En la Figura 14 se presenta el diagrama de ordenamiento de las variables que explica el 83 % de la variabilidad de los datos, y la correspondiente distribución de los tres sitios analizados. El primer eje (CP1) captura el 57 % de la variación de los datos, e indica un primer gradiente formado por la variación en los valores de Q, y en sentido opuesto por los valores de pH, CE, turbiedad y las concentraciones de nutrientes (NT y PT). En tanto que, el segundo eje (CP2) explica el 26 % de la variación de los datos y evidencia un segundo gradiente regido por los valores de T° agua y en sentido opuesto las concentraciones de OD.

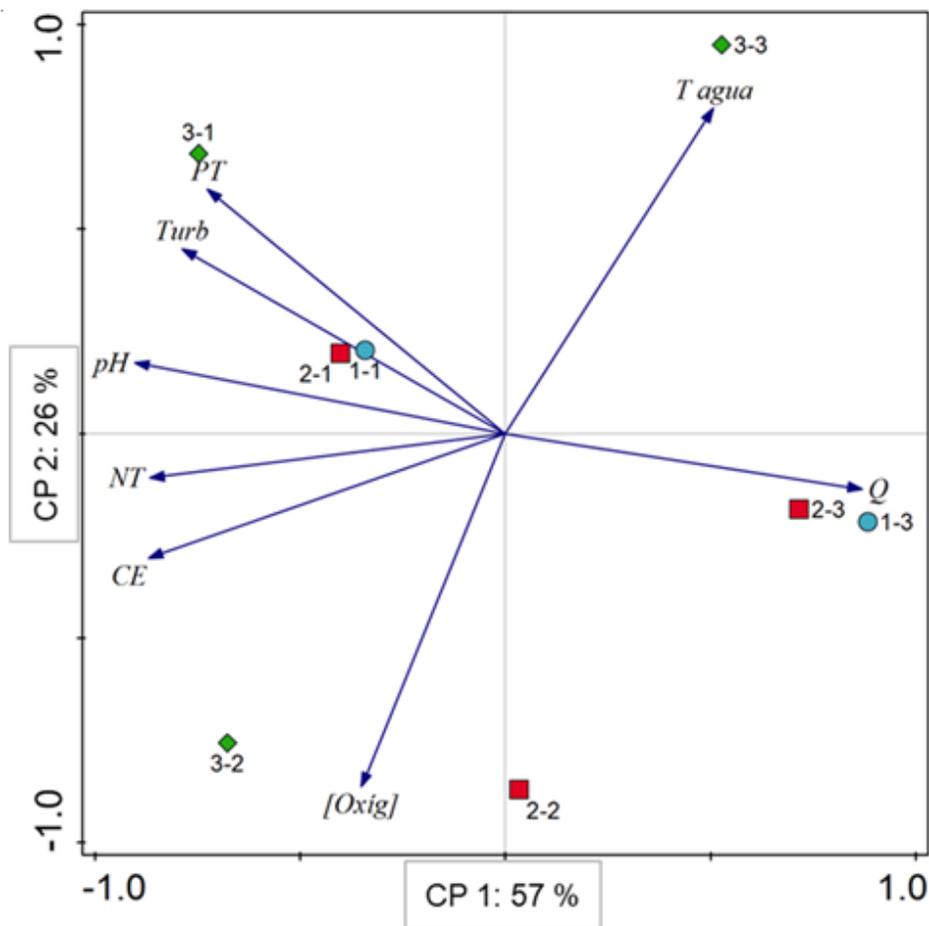


Figura 14. Ordenamiento de los sitios de acuerdo al ACP, basado en las variables analizadas en los tres primeros sitios del CPRAV durante el período septiembre 2019 – marzo 2020. El primer número indica el sitio (1 a 3), y el segundo, indica el muestreo (1 a 3). de los sitios de acuerdo al ACP, basado en las variables analizadas en los seis sitios del CPRAV durante el período septiembre 2019 – marzo 2020. El primer número indica el sitio (1 a 6), y el segundo, indica el muestreo (1 a 7). de turbiedad, caudal (eje principal) y nutrientes (NT y PT) medidos en el sitio 3 del CPR.

En este diagrama los sitios evaluados se ordenan más claramente en función del momento del muestreo y no tanto por la ubicación de los sitios. Esto evidencia que, al menos en las tres primeras progresivas, las condiciones del CPRAV fueron muy similares a lo largo de su recorrido, variando simultáneamente en función de las variables dominantes en cada momento. En el muestreo indicado como 1 en la Figura 14, realizado el 26/09/19, predominaron las condiciones de mayores concentraciones de nutrientes (especialmente PT), turbiedad, pH y CE, y el menor valor de Q. En el muestreo indicado como 2 en la Figura 14 (15/10/19) predominaron las mayores concentraciones de OD y menores temperaturas del agua. Mientras que en el muestreo 3 (06/11/19) prevaleció la condición de mayores caudales, menores concentraciones de nutrientes y turbiedad en las dos primeras progresivas (Km 4,5 y Km 18), mientras que en el sitio 3 (progresiva Km 33) con un ordenamiento diferente, predominaron la mayor temperatura y menor concentración de OD.

El análisis exploratorio de los datos (ACP) evidenció que todas las variables analizadas tienen gran influencia en la conformación de los componentes principales. El caudal, la turbiedad y la CE fueron las variables más relevantes en el ordenamiento de los sitios en cada momento de muestreo. Si bien se detectaron ciertas diferencias en las condiciones de calidad de agua a lo largo de las progresivas del CPR, la variabilidad estuvo más asociada al momento de muestreo que a la ubicación de los sitios. Estos resultados están en relación directa con la situación atípica monitoreada, marcada por la variación de turbiedad observada en el agua ingresante al CPR desde el río Neuquén debido a la contingencia ocurrida en Planicie Banderita.

3.1.4 Conclusiones de la temporada

Las variables de calidad de agua medidas en el CPR en la zona Alto Valle, resultaron semejantes a los valores registrados en el sitio de referencia Dique Ballester, a excepción de los nutrientes.

Las concentraciones totales de nitrógeno y fósforo medidas en el CPR resultaron mayores, especialmente el fósforo casi triplicó el valor promedio registrado en el sitio de referencia. Las variables medidas in situ (pH, CE, T° y OD) si bien presentaron variaciones, fueron estables a lo largo de las progresivas analizadas durante el período de muestreo.

Las variaciones registradas en los parámetros de calidad de agua a lo largo de las progresivas del CPR en la zona Alto Valle, estuvieron asociadas en mayor medida al momento de muestreo (variación estacional), y en menor grado con la ubicación de los sitios de muestreo dentro del Canal.

Se destacan los altos valores (atípicos) de turbiedad registrados en esta temporada (2019-2020) originados por la extraordinaria situación ocurrida en la Central Planicie Banderita.

A partir de los resultados obtenidos en esta primera temporada, se sugiere disminuir el número de sitios de muestreo en el CPR y espaciar la frecuencia de monitoreo.

3.2 Temporada 2020 – 2021 (2ª Temporada)

3.2.1 Antecedentes

Los resultados obtenidos durante la temporada de riego 2019-2020, no evidenciaron una relación directa entre la composición y abundancia de especies hallada en distintos sitios de muestreo del Canal y las variables de calidad de agua evaluadas. Sin embargo, esa temporada resultó atípica en cuanto a los registros de turbiedad medidos, tanto en el Canal Principal de Riego como en el río Neuquén, provocados por la derivación de un caudal de agua mayor al habitual por el tramo Portezuelo Grande – Chañar, debido a una contingencia ocurrida en la Central Planicie Banderita. Por ello, se planteó la necesidad de continuar el monitoreo en tres sitios del CPRAV, con una frecuencia mensual.

3.2.2 Metodología

En el plan de monitoreo de la temporada 2020-2021 se incorporaron las recomendaciones surgidas en la temporada previa de reducir el número de sitios monitoreados, incorporar la determinación de fracciones disueltas de nitrógeno y fósforo y prescindir del análisis bacteriológico (*E. coli*).

Los monitoreos se ejecutaron desde septiembre del 2020 hasta abril del 2021 en tres sitios del Canal Principal: S1 (38°44'14.6"S-68°7'26.4"O), S2 (38°58'26.8"S- 67°49'58.8"O) y S3 (39°2'39.7"S- 67°26'25.8"O) (mapa en Anexo 1). Para las mediciones *in situ* de temperatura del agua (T°) y conductividad eléctrica (CE), se empleó un medidor portátil Oakton Waterproof ECTestr 11. Se colectaron muestras para la determinación en laboratorio de: pH, oxígeno disuelto (OD), turbiedad, fósforo total (PT) y reactivo soluble (PRS), nitrógeno total (NT) y sus fracciones: nitratos (NO₃), nitritos (NO₂) y amonio (NH₄), que no habían sido analizadas en la primera temporada. Las muestras fueron analizadas en el laboratorio ENSI en la provincia del Neuquén, con las metodologías detalladas en la Tabla 9.

Tabla 9. Metodología empleada en los análisis de calidad de agua del Canal Principal de Riego en Alto Valle promedio de las variables analizadas en el sitio de referencia Dique Ballester, sitio de referencia de la calidad del agua del Canal Principal de Riego, Alto Valle.

Variable	Método	Norma
pH	Potenciometría	SM 4500-H+, ASTM D1293
Turbiedad	Nefelometría	SM 2130 B, ASTM D1889
Oxígeno Disuelto	Amperométrico	SM 421F, ASTM D888
Nitrógeno Total	Espectrofotometría UV-Vis	SM 4500-Norg D/ 4500-NO ₃ E/ 4500-NO ₂ B
Nitratos	Espectrofotometría UV-Vis	SM 4500'-NO ₃ B
Nitritos	Espectrofotometría UV-Vis	SM 4500'-NO ₂ B
Amonio	Electrodo Selectivo	SM 4500-NH ₃ D
Fósforo Total	Espectrofotometría UV-Vis	SM 4500-P B5/4500-P E
Fósforo Reactivo Soluble	Espectrofotometría UV-Vis	SM 4500-P B1/4500-P E

3.2.3 Resultados

3.2.3.1 Calidad de Agua 2020-2021

En las Tablas 10 – 12 se presentan los resultados puntuales obtenidos para las distintas variables registradas en las siete fechas de monitoreo efectuadas en la temporada, en los tres sitios de muestreo (sitio 1=S1, sitio 2=S2 y sitios 3=S3). Asimismo, se presentan los valores promedios de cada variable, y en aquellos casos donde el laboratorio reportó valores inferiores al límite de cuantificación (LC), se adoptó sustituir para el cálculo el "<LC" por el valor "LC", suponiendo una máxima concentración posible esperada para dicha variable. Esto significa que cuando el resultado informado por el laboratorio es, por ejemplo, para amonio, $\text{NH}_4 < 78 \mu\text{g/L}$ (menor a $78 \mu\text{g/L}$), para el cálculo del promedio se utilizó un valor de $78 \mu\text{g/L}$ (LC).

Los registros de pH, CE y OD presentaron algunas variaciones durante el período de muestreo, aunque resultaron ser muy estables en las progresivas del CPRAV. En cambio, la turbiedad presentó mayor variación a lo largo de las progresivas en el período analizado (Figura 15), con valores mínimos en el muestreo de noviembre (entre 1,6 y 2,8 NTU), y máximos en abril (entre 10,0 y 11,3 NTU) hacia el final del período. Los valores promedios obtenidos para las variables mencionadas anteriormente, se compararon con los valores medios registrados en el período 2020-2021 en el "Dique Ballester" (Tabla 13), sitio de referencia de la calidad del agua ingresante al CPR. Se observó que los valores de pH levemente alcalinos (entre 7,9 a 8,3) del CPRAV resultaron análogos al registrado en el sitio de referencia (8,0). En tanto los valores promedios de CE (S1=277 $\mu\text{S/cm}$, S2=281 $\mu\text{S/cm}$ y S3=280 $\mu\text{S/cm}$) y turbiedad (S1=7,0 NTU, S2=5,9 y S3=6,5 NTU) registrados en el Canal de Riego, resultaron superiores a los registrados en el sitio de referencia (213 $\mu\text{S/cm}$ y 5,5 NTU, respectivamente). En cuanto a los tenores de OD del Canal (S1=7,6 mg/L, S2=7,7 mg/L y S3=7,8 mg/L) resultaron levemente inferiores a la concentración promedio del Sitio Dique Ballester (8,7 mg/L).

Tabla 10. Valores de mediciones in situ y resultados de nutrientes disueltos y totales obtenidos en el sitio 1 en la Progresiva km 4,5 del Canal Principal de Riego, Alto Valle.

Progresiva Km 4,5 (38°44'14.45"S-68° 7'26.00"O)												
Fecha	T. agua (°C)	pH	CE (µS/cm)	OD (mg/L)	Turb (NTU)	Caudal (m ³ /s)	NO3 (µg N/L)	NO2 (µg N/L)	NH4 (µg N/L)	NT (µg N/L)	PRS (µg P/L)	PT (µg P/L)
24/09/20	14,1	8,1	280	9,6	3,2	50	117	<7,6	<39	138	<20	<20
22/10/20	17,0	7,9	286	6,5	3,5	60	138	<7,6	<39	170	<20	<20
24/11/20	24,3	7,2	260	7,8	1,6	65	55	<7,3	78	146	<6,5	<19,2
22/12/20	22,3	7,7	270	8,0	10,0	68	115	9,9	<78	145	4,1	42,9
26/01/21	22,2	8,4	290	6,1	9,5	68	76	<7,3	<78	172	<1,4	<19,2
25/02/21	21,9	7,9	270	6,8	9,6	65	249	11,4	<78	351	<1,0	<6,5
09/04/21	20,1	7,9	280	8,4	11,3	40	196	12,1	<78	239	6,4	22,7
Promedio	20,3	7,9	277	7,6	7,0	59	135,1	9,0	66,9	194,4	8,5	21,5

Tabla 11. Valores de mediciones in situ y resultados de nutrientes disueltos y totales obtenidos en el sitio 2 en la Progresiva km 45 del Canal Principal de Riego, Alto Valle.

Progresiva Km 45 (38°58'26.76"S-67°49'58.77"O)												
Fecha	T. agua (°C)	pH	CE (µS/cm)	OD (mg/L)	Turb (NTU)	Caudal (m ³ /s)	NO3 (µg N/L)	NO2 (µg N/L)	NH4 (µg N/L)	NT (µg N/L)	PRS (µg P/L)	PT (µg P/L)
24/09/20	13,6	8,5	285	9,9	5,8	50	131	<7,6	<39	157	<20	25
22/10/20	14,8	7,8	289	6,6	6,4	60	205	<7,6	<39	261	<20	62
24/11/20	19,0	7,9	280	7,9	1,7	65	57	<7,3	78	161	<6,5	20
22/12/20	22,0	8,8	270	7,7	4,3	68	136	<7,3	<78	313	<1,4	<19,2
26/01/21	22,1	8,9	280	6,8	5,1	68	89	<7,3	<78	151	<1,4	<19,2
25/02/21	21,4	8,0	280	6,9	7,4	65	287	9	<78	354	<1,0	<6,5
09/04/21	19,7	7,9	280	8,4	10,5	40	190	11,2	<78	230	6,5	26,9
Promedio	18,9	8,3	281	7,7	5,9	59	156,4	8,2	66,9	232,4	8,1	25,5

Tabla 12. Valores de mediciones in situ y resultados de nutrientes disueltos y totales obtenidos en el sitio 3 en la Progresiva km 82 del Canal Principal de Riego, Alto Valle.

Progresiva Km 82 (39° 2'39.67"S-67°26'25.78"O)												
Fecha	T. agua (°C)	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	OD (mg/L)	Turb (NTU)	Caudal (m^3/s)	NO3 ($\mu\text{g N/L}$)	NO2 ($\mu\text{g N/L}$)	NH4 ($\mu\text{g N/L}$)	NT ($\mu\text{g N/L}$)	PRS ($\mu\text{g P/L}$)	PT ($\mu\text{g P/L}$)
24/09/20	12,6	8,2	297	10,0	10,0	50	140	<7,6	<39	192	<20	39
22/10/20	12,3	7,8	274	7,4	5,2	60	180	<7,6	<39	186	<20	31
24/11/20	19,6	7,7	280	7,9	2,8	65	70	<7,3	93	154	<6,5	<19,2
22/12/20	20,6	8,7	280	7,1	4,1	68	127	<7,3	<78	227	4,5	20,7
26/01/21	23,8	8,7	270	7,5	3,9	68	91	<7,3	<78	106	6	<19,2
25/02/21	21,2	7,9	280	6,9	9,4	65	343	7,4	<78	416	6	28,7
09/04/21	18,6	8,0	280	8,1	10,0	40	158	11,5	<78	198	4,3	21
Promedio	18,4	8,1	280	7,8	6,5	59	158,4	8,0	69,0	211,3	9,6	25,5

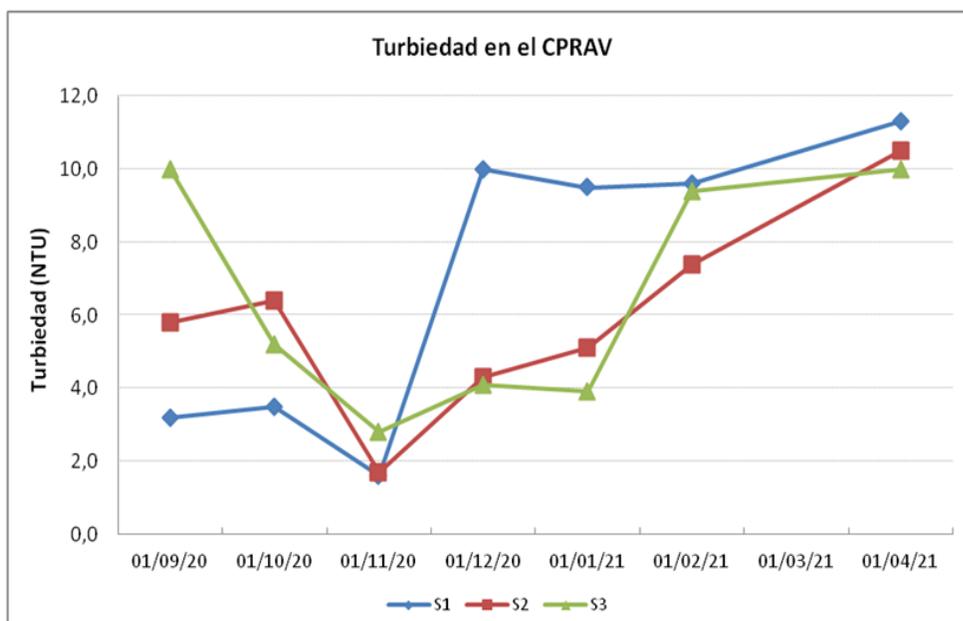


Figura 15. Registros de turbiedad en los tres sitios monitoreados del CPRAV durante el período septiembre de 2020 a abril de 2021.

Tabla 13. Valores promedio de las variables analizadas en el sitio de referencia Dique Ballester, sitio de referencia de la calidad del agua ingresante al Canal Principal de Riego Alto Valle.

SITIO DE REFERENCIA: DIQUE BALLESTER							
PERÍODO 2020-2021	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	Ox. disuelto (mg/L)	(%)	Turb (NTU)	NT ($\mu\text{g N/L}$)	PT ($\mu\text{g P/L}$)
PROMEDIO	8,0	213	8,7	99,5	5,5	129,0	26,4

En relación con los nutrientes totales, el NT presentó una dinámica muy similar en los tres sitios monitoreados (Figura 16) durante el período monitoreado. La menor concentración promedio se registró en el S1 (194,4 $\mu\text{gN/L}$), la mayor en el S2 (232,4 $\mu\text{gN/L}$) y un valor intermedio en el S3 (211,3 $\mu\text{gN/L}$). En tanto en los tres sitios la máxima concentración se registró en el muestreo efectuado a fines de febrero (S1=351 $\mu\text{gN/L}$, S2=354 $\mu\text{gN/L}$ y S3=416 $\mu\text{gN/L}$).

Comparativamente, las concentraciones promedio registradas en el Canal Riego para la temporada 2020-2021, resultaron superiores a la concentración promedio registrada en el sitio de referencia (129,0 $\mu\text{gN/L}$).

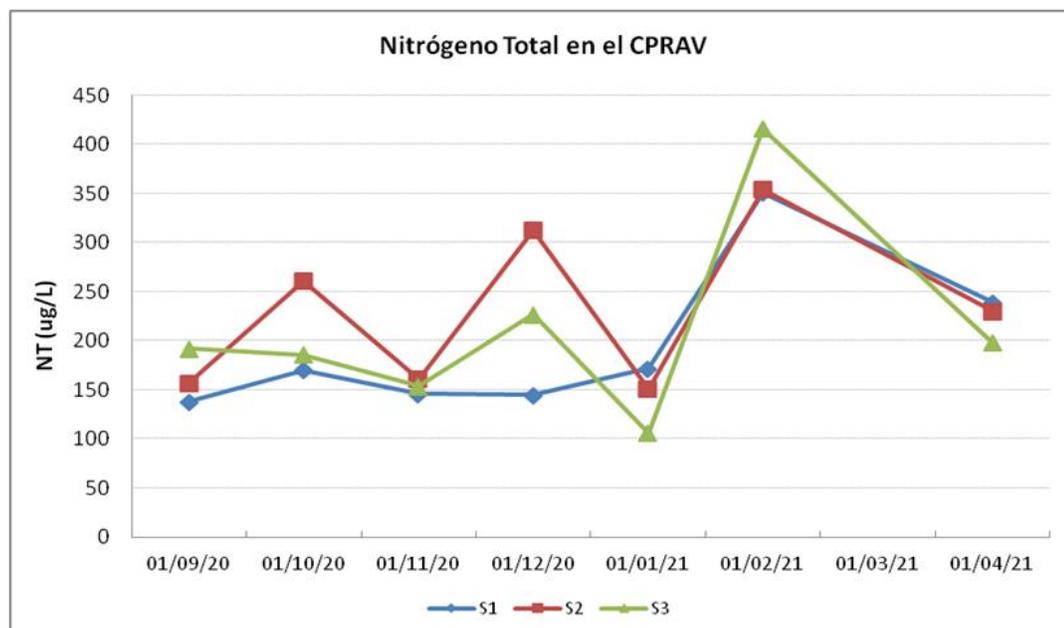


Figura 16. Concentraciones de nitrógeno total registradas en los tres sitios monitoreados del CPRAV durante el período septiembre de 2020 a abril de 2021.

En cuanto a las fracciones de nitrógeno, en los tres sitios la mayor proporción estuvo representada por los nitratos (S1~61%, S2~66% y S3~70%) en segundo lugar, por amonio (S1~34%, S2~30% y S3~27%) y finalmente los nitritos en muy baja proporción (S1~5%, S2~4% y S3~3%). Sólo en una oportunidad, en el muestreo de noviembre, se registró una proporción diferente, resultando ser mayor el porcentaje de amonio (~55%) seguido por los nitratos (~40%) y finalmente los nitritos (~5%). En la Figura 17 se presentan las fracciones de nitrógeno promedio considerando todas las muestras colectadas en los tres sitios durante el período analizado.

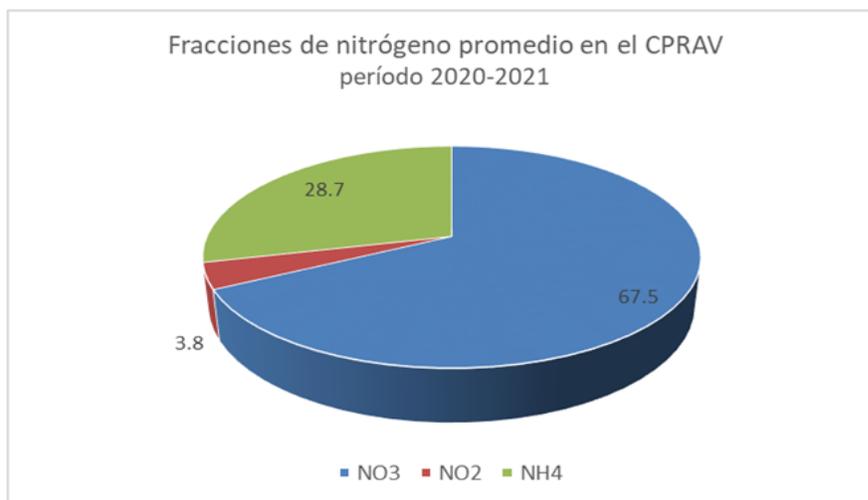


Figura 17. Fracciones de nitrógeno promedios de las muestras colectadas en los tres sitios del CPRAV durante el período 2020-2021.

El PT mostró una dinámica heterogénea a lo largo del período muestreado en los tres sitios (Figura 18), aunque la concentración promedio en cada uno resultó similar. La menor concentración promedio se registró en el S1 (21,5 $\mu\text{gP/L}$) y resultó ser igual en los S2 y S3 (25,5 $\mu\text{gP/L}$). Comparativamente, esas concentraciones de PT para la temporada 2020-2021, resultaron levemente menores al promedio registrado en el sitio de referencia Dique Ballester (26,4 $\mu\text{gP/L}$). En cuanto a la concentración promedio de la fracción biodisponible de fósforo (PRS), en los tres sitios presentó una magnitud similar S1=8,5 $\mu\text{gP/L}$, S2=8,1 $\mu\text{gP/L}$ y S3=9,6 $\mu\text{gP/L}$.

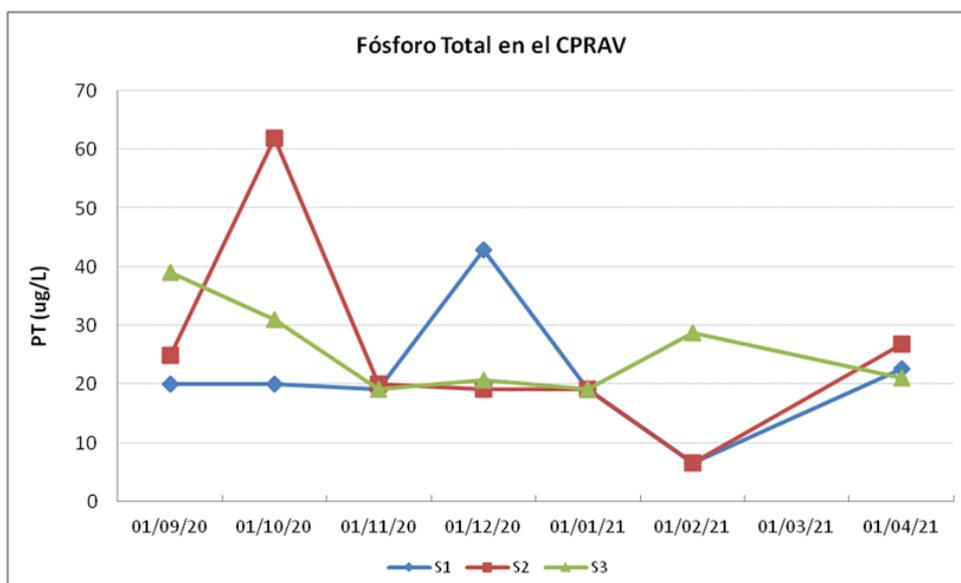


Figura 18. Concentraciones de fósforo total registradas en los tres sitios monitoreados del CPRAV durante el período septiembre de 2020 a abril de 2021.

3.2.3.2 Análisis de los Resultados

A fin de simplificar el análisis del conjunto de variables medidas en las progresivas del CPRAV, se aplicó un análisis de componentes principales (ACP), incluyendo las distintas variables registradas en los tres sitios, durante los seis muestreos.

En la Figura 19 se presenta el ordenamiento resultante del ACP, mostrando la relación entre las variables monitoreadas y la distribución de las progresivas del CPRAV en función de los gradientes ambientales. Los dos primeros componentes del diagrama en forma conjunta explican el 57 % de la variabilidad de los datos de calidad de agua.

El componente principal 1 (CP1) captura el 33 % de la variación de los datos, marcando un primer gradiente formado por las variables T° del agua, concentración de NH₄, PRS, PT, OD y conductividad eléctrica. Las dos primeras variables (T° y NH₄) evidenciaron una relación inversa con las restantes (PRS, PT, OD y CE), a medida que aumentan los valores de las dos primeras disminuyen las concentraciones de las restantes, y viceversa.

El segundo componente (CP2) explica el 24 % de la variación de los datos y evidencia un segundo gradiente regido principalmente por la turbiedad, el nitrógeno total y sus restantes fracciones analizadas (nitritos y nitratos), y el pH como variable de menor importancia.

Finalmente, el caudal del CPRAV aportó por igual a la conformación de ambos gradientes, asociando los mayores valores de caudal, con mayores temperaturas y concentraciones de amonio, y menores valores de turbiedad y concentración de las demás fracciones de nitrógeno.

En relación al ordenamiento de los sitios (S1, S2 y S3) en función a los gradientes ambientales descriptos, se observó una clara distribución vinculada a los momentos o fechas de muestreo (destacados en la Figura 19 con colores: septiembre en rojo, octubre en celeste, noviembre en naranja, diciembre en rosa, enero en verde, febrero en violeta y abril en amarillo). Ello indica, más allá de leves diferencias puntuales, una dinámica homogénea de las variables de calidad de agua a lo largo de progresivas del CPRAV. Prevalciendo en septiembre y octubre condiciones vinculadas al CP1, mayor oxigenación, mayor concentración de fósforo (total y fracción disuelta) y conductividad, menores temperaturas y concentraciones de amonio. Mientras que en los restantes meses de muestreo rigieron principalmente condiciones asociadas al gradiente marcado por el CP2. En noviembre, diciembre y enero, prevalecieron los mayores caudales, menores valores de turbiedad y concentraciones de nitrógeno (nitratos, nitritos y total). En tanto en febrero prevalecieron mayores temperaturas y concentraciones de nitrógeno (en las distintas fracciones), y en abril hacia el final del período de riego, se mantuvieron las condiciones mencionadas anteriormente, aunque con mayor influencia de la turbiedad (máximos valores registrados).

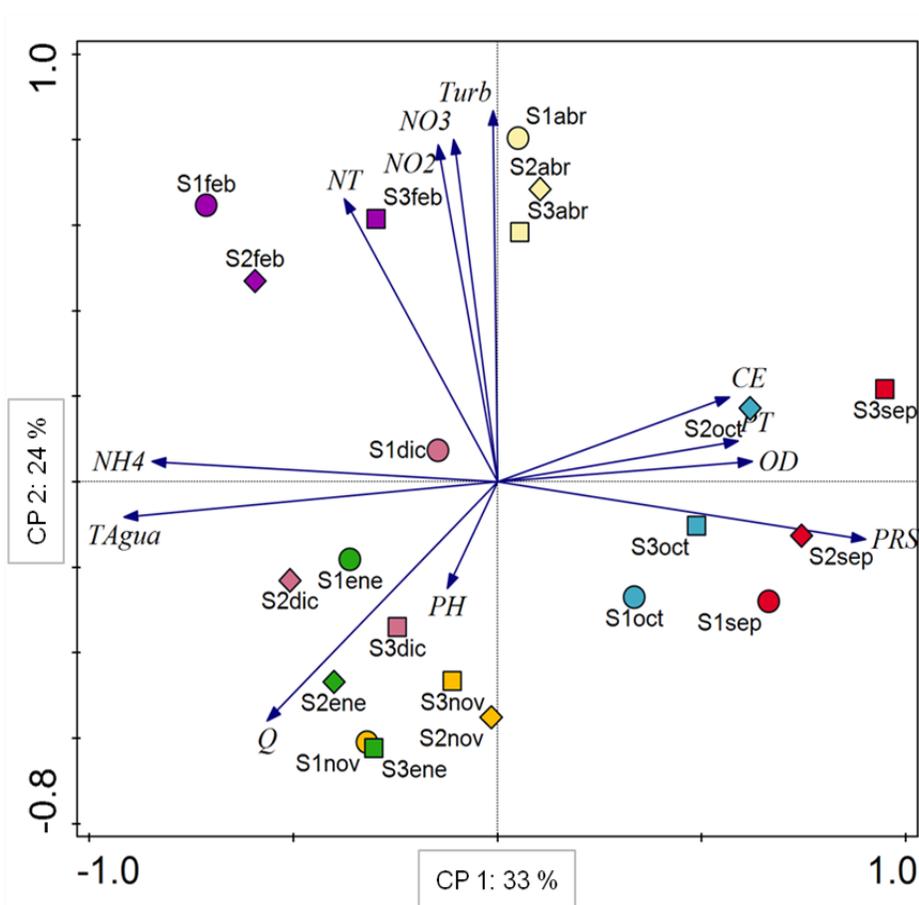


Figura 19. Ordenamiento de los sitios de acuerdo al ACP, basado en las variables analizadas en los tres sitios del CPRAV durante el período septiembre 2020 – abril 2021. Referencias: S1 (círculo), S2 (cuadrado) y S3 (rombo) indican los tres sitios muestreados de las progresivas; las letras y color indican los meses en que se efectuó el muestreo.

En resumen, el análisis exploratorio de los datos (ACP) evidenció que la mayoría de las variables analizadas tienen gran influencia en la conformación de los componentes principales, resultando menos relevantes en el ordenamiento el pH, la CE, el OD y el PT. En este sentido, si bien se detectaron ciertas diferencias en la calidad de agua a lo largo de las progresivas del CPR, la variabilidad estuvo asociada principalmente al momento de muestreo, evidenciando una cierta estacionalidad en las condiciones de calidad.

3.2.4 Comparación de resultados de las temporadas 2019-2020 y 2020-2021

Los resultados de calidad del agua obtenidos en las dos temporadas evaluadas, evidencian que las variables pH, CE y OD, resultaron estables a lo largo de las progresivas del CPRAV, registrándose ciertas variaciones estacionales particularmente en los valores de turbiedad y de nutrientes. En la Tabla 14 se presentan los valores promedio de los resultados obtenidos para cada variable en ambas temporadas.

Tabla 14. Valores promedio de variables de calidad del agua analizadas en los sitios monitoreados del CPRAV, en la primera (2019-2020) y segunda (2020-2021) temporada.

Promedios	pH	CE ($\mu\text{S/cm}$)	OD (mg/L)	Turb (NTU)	Caudal (m^3/s)	NT ($\mu\text{g N/L}$)	PT ($\mu\text{g P/L}$)
1ª temporada	8,2	257	9,8	13	62	181	57
2ª temporada	8,1	279	7,7	6	59	213	29

Comparativamente, el pH se mantuvo estable de una temporada a otra, la CE registró un valor levemente superior en la 2ª temporada, en tanto se observó un descenso en las variables OD y turbiedad (Figura 20). Como se mencionó en el informe de la temporada 2019-2020, los elevados valores de turbiedad registrados estuvieron asociados a la contingencia ocurrida en Planicie Banderita, retornando a valores típicos en el mes de enero de 2020. En la segunda temporada, la turbiedad mostró ciertas variaciones con valores similares a la temporada anterior para el mes de enero, cerrando el período con valores levemente mayores.

En cuanto a los nutrientes se observó un incremento en la concentración de NT, en la 2ª temporada, resultando a la inversa para el PT, disminuyendo a la mitad de su concentración.

Al comparar los resultados obtenidos en el CPRAV en ambas temporadas con los registros del Dique Ballester, se observa que el pH, el OD y la turbiedad resultaron análogos a los valores registrados en el sitio de referencia. En tanto, se registraron mayores valores de CE y concentración de nutrientes en el CPRAV en ambas temporadas, comparando con el sitio de referencia sobre el río Neuquén.

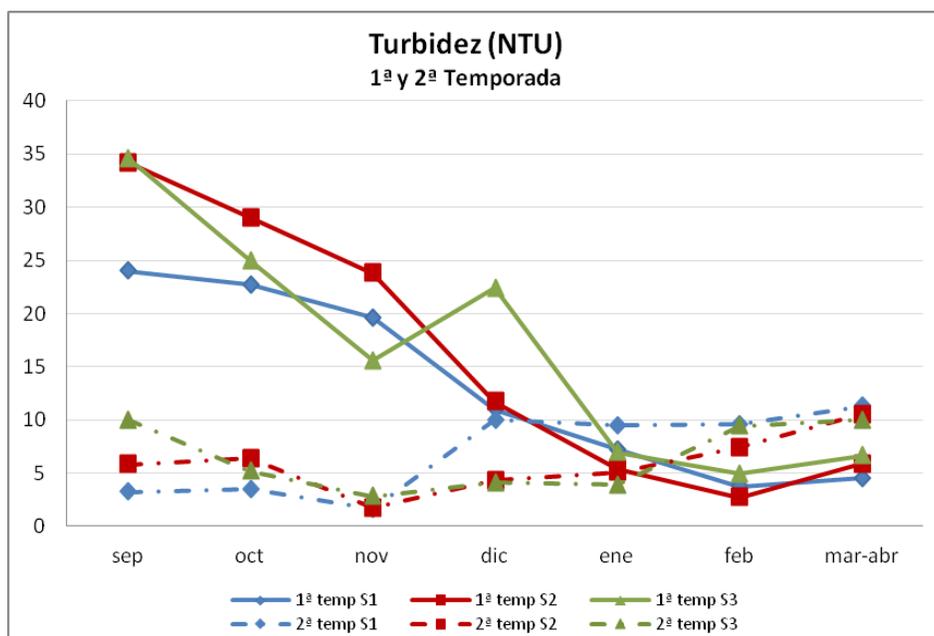


Figura 20. Turbiedad registrada en tres sitios comparables del CPRAV en la primera y segunda temporada.

3.2.5 Conclusiones y recomendaciones

Las variables físico-químicas de calidad de agua medidas en el CPR en la zona Alto Valle resultaron análogas a las registradas en el sitio de referencia Dique Ballester, aunque se registró una mayor concentración de nutrientes, principalmente de nitrógeno.

Las variaciones registradas en la calidad de agua del CPRAV, estuvieron asociadas principalmente al momento de muestreo, evidenciando una dinámica estacional homogénea a lo largo de las progresivas del Canal.

Finalmente, el análisis exploratorio de los datos mostró que las variables analizadas en ambas temporadas, son relevantes para explicar, en alto porcentaje, la variabilidad de los datos de calidad de agua.

3.3 Temporada 2021 – 2022 (3ª Temporada)

3.3.1 Antecedentes

Los resultados de muestreo obtenidos en las temporadas de riego previas evidenciaron un menor crecimiento de vegetación acuática asociado a una mayor turbiedad del sistema (temporada 2019-2020). No se encontró una relación directa entre la composición y abundancia de especies halladas en los distintos sitios del Canal y los parámetros físicoquímicos y de contenido de nutrientes evaluados. Al resultar dos temporadas muy diferentes entre sí, se planteó la necesidad de continuar el monitoreo en el CPRAV.

3.3.2 Metodología

En esta tercera temporada se efectuaron dos muestreos en tres sitios del Canal (Tabla 15 y mapa en Anexo 1). El primer muestreo se realizó el 5 de noviembre de 2021 en los siguientes sitios: km 4.5 (S1: 38°44'14,6"S - 68°07'26,4"O), km 45 (S2: 38°58'57,9"S - 67°47'43,2"O), km 99 (S3: 39° 4'0.0"S - 67°16'9.0"O) y km 105 (S4: 39° 5'4.1"S - 67°11'18.3"O). El segundo muestreo se realizó el 20 de abril de 2022 en las siguientes progresivas: km 4.5, km 45, km 64 (S3: 39° 1'0.1"S - 67°38'12.1"O) y km 89 (S4: 39° 3'18.30"S - 67°21'44.40"O).

Para las mediciones *in situ* se usaron medidores portátiles: Oakton Waterproof EC1 (conductividad eléctrica, CE) y pH1 (pH), HACH HQ30d flexi (oxígeno disuelto, OD) y turbidímetro HACH 2100P (turbiedad) y se colectaron muestras para la determinación en laboratorio de nutrientes totales (fósforo total (PT), nitrógeno total (NT)) y fracciones disueltas (fósforo reactivo soluble (PRS), nitratos (NO₃), nitritos (NO₂) y amonio (NH₄)). Las muestras fueron analizadas en el laboratorio CIATI de la ciudad de Neuquén, con las metodologías detalladas en la Tabla 15.

Tabla 18. Valores promedio de las variables de calidad de agua analizadas en el sitio Dique Ballester, sitio de referencia de la calidad del agua ingresante al Canal Principal de Riego Alto Valle.

SITIO DE REFERENCIA: DIQUE BALLESTER								
PERÍODO	T. agua	pH	CE	Ox. disuelto		Turb *	NT	PT
2021-2022	(°C)		(µS/cm)	(mg/L)	(%)	(NTU)	(µg N/L)	(µg P/L)
PROMEDIO	18,7	7,8	252	9,1	100,1	3,9	157,0	28,3

* se registró un valor de 39,8 NTU (03/03/2022), no tenido en cuenta para el cálculo del promedio.

3.3.4 Comparación entre los resultados de las tres temporadas

En la tabla 19 se presentan los valores promedio de los resultados obtenidos para cada variable en las tres temporadas monitoreadas. Los resultados de calidad del agua obtenidos evidencian que las variables pH, CE y OD, resultaron estables a lo largo de las progresivas del CPRAV, registrándose ciertas variaciones estacionales particularmente en los valores de turbiedad y de nutrientes.

Tabla 19. Valores promedio de variables de calidad del agua analizadas en los sitios monitoreados del CPRAV, en la primera (2019-2020), segunda (2020-2021) y tercera (2021-2022) temporada.

Promedios	pH	CE	OD	Turb	NT	PT
		(µS/cm)	(mg/L)	(NTU)	(µg N/L)	(µg P/L)
1ª temporada	8,2	257	9,8	13	181	57
2ª temporada	8,1	279	7,7	6	213	29
3ª temporada	8,6	264	11,8	8	<500	39

Comparativamente, el pH resultó alcalino en las tres temporadas, siendo levemente superior en la 3ª, la CE tuvo leves variaciones resultando estable durante las tres temporadas, mientras que el OD resultó mayor en la 3ª temporada evidenciando una mayor oxigenación del agua. En cuanto a la turbiedad, los máximos valores puntuales se registraron durante la 1ª temporada resultando en el mayor valor promedio de los tres períodos analizados, situación que estuvo asociada a la contingencia de Planicie Banderita (10/09/2019). En cuanto a los nutrientes, la concentración de NT resultó inferior a 500 µg/L (límite de cuantificación) en la 3ª temporada, mientras que el PT resultó levemente mayor en la última temporada en comparación con la 2ª, aunque inferior a la registrada durante la 1ª temporada.

Finalmente, al comparar los resultados obtenidos en el CPRAV durante las tres temporadas monitoreadas, con los registros del Dique Ballester, se observa que el pH, el OD y la turbiedad resultaron análogos a los valores registrados en el sitio de referencia para las correspondientes temporadas. En tanto, se registraron mayores valores de CE y concentración de nutrientes en el CPRAV durante las tres temporadas, en comparación con el sitio de referencia sobre el río Neuquén.

3.3.5 Conclusiones de la temporada y recomendaciones

Las variables físico-químicas de calidad de agua medidas en el CPR en la zona Alto Valle, resultaron análogas a las registradas en el río Neuquén, sitio de referencia Dique Ballester, aunque se destaca una mayor CE y concentración de nutrientes en el CPRAV.

Las variaciones registradas en las variables de calidad de agua del CPRAV, estuvieron asociadas principalmente al momento de muestreo, evidenciando una dinámica estacional homogénea a lo largo de las progresivas del Canal.

3.4 Conclusiones y recomendaciones de calidad del agua

Durante las tres temporadas de riego evaluadas, la calidad del agua registrada en el CPRAV presentó condiciones análogas a las registradas en el río Neuquén en el sitio de referencia aguas abajo del **Dique Ballester**, aunque se destaca una mayor concentración de sales (expresado por la conductividad eléctrica) y de nutrientes totales (fósforo y nitrógeno) en el Canal de Riego.

Las variaciones registradas en los parámetros fisicoquímicos de calidad de agua del Canal, estuvieron asociadas principalmente al momento de muestreo, evidenciando una dinámica estacional homogénea a lo largo de las progresivas del Canal.

4. Sedimentos

*Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud - Universidad Nacional del Comahue
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*

4.1 Introducción

Una de las estrategias de historias de vida de las plantas que crecen en ambientes estacionalmente inundados, es la producción de semillas capaces de sobrevivir enterradas en los sedimentos, y mantenerse en ellos por algún tiempo hasta que las condiciones ambientales permitan su germinación. La acumulación progresiva de estas semillas forma depósitos o bancos de semillas que conservan los genotipos de la vegetación establecida, así como los pasados y aquellos dispersados desde otros lugares (Zepeda-Gómez *et al.*, 2015). Diversos estudios sugieren que las semillas de los bancos de los sedimentos pueden sobrevivir largos períodos de sequía, retener la diversidad de especies por más de 10 años sin mojarse, y no se terminan en un solo evento de inundación. Esta última característica le confiere un nivel de resiliencia a la comunidad de especies vegetales en esta situación inestable (Cross *et al.*, 2015).

4.2 Análisis visual

En los diversos muestreos realizados, se observaron bancos de sedimento en los márgenes del canal en la temporada sin agua (Figura 21), concentrándose mayormente en sectores donde habitualmente la corriente tiene menor velocidad. En estos bancos de sedimentos se encuentran restos de plantas vasculares del género *Stuckenia*, que se secan en su porción expuesta en superficie, pero aún se mantienen verdes en la parte enterrada. Por ello, estos son lugares potenciales de rebrote de las plantas una vez reiniciada la temporada de riego.

Los bancos de sedimentos no son homogéneos en cuanto a su textura y a las especies vegetales que en ellos dominan. En los bancos con características arcillo-limosas se observa la presencia de plantas vasculares del género *Stuckenia* en contraposición, la abundancia de *Myriophyllum quitense* es mayor en los arenosos (Figura 21).



Figura 21. Bancos de sedimentos en el Canal Principal en época de no riego (sin agua).

4.3 Análisis de parámetros químicos

En la temporada 2021-2022 se colectaron sedimentos en distintos puntos a lo largo del Canal Principal de Riego, zona Alto Valle, los cuales fueron analizados en el laboratorio LASAF. Los resultados se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Resultados obtenidos en muestras de sedimentos colectadas en varios sitios del Canal Principal de Riego, en la temporada 2021-2022.

Nombre del sitio	2021			2022					
	C. Cordero	Allen	Cervantes	C. Cordero	Allen sin revestir	Allen fondo no banco	Escuela 43 banco	Tres puentes banco	Tres puentes no banco
NT Kjeldahl	0.020	0.010	0.080	0.018	0.018	0.013	0.014	0.014	0.062
P extractable (mg/kg) Olsen	3.54	1.49	2.07	5.06	5.00	4.95	6.36	3.70	4.42
K+ (mg/kg)	140.4	74.1	315.9	160.8	134.3	131.7	110.5	142.3	139.6
pH (pasta saturada)	7.82	7.85	7.41	7.63	7.65	7.66	7.92	7.74	7.61
COT (%)	0.06	0.04	0.42	0.11	0.10	0.16	0.05	0.07	0.12
CE (mS)	0.16	0.12	0.25	1.46	2.58	0.98	0.44	0.90	0.97
MO (%)	0.10	0.07	0.73	0.19	0.17	0.28	0.08	0.13	0.20

NT: nitrógeno total; P: fósforo; K: potasio; COT: carbono orgánico total; CE: conductividad eléctrica y MO: materia orgánica

El porcentaje de materia orgánica obtenido en los distintos sitios con valores entre 0.07 % (sitio Allen, año 2021) y 0.73 % (sitio Cervantes, año 2021), permiten caracterizar al sedimento como pobre en materia orgánica (Castellanos et al. 2000). Al respecto, se ha encontrado que los suelos que tienen de 1,5% a 2% se consideran mineral-orgánicos, los de más de 2% orgánicos y de 0,8 % a 2,0 % es baja la cantidad de materia orgánica. Un parámetro muy relacionado con la materia orgánica es el nitrógeno, los resultados indican que se trata de un sedimento poco provisto de dicho nutriente ya que todas las muestras se encuentran por debajo de 0,08 %.

En tanto los valores de fósforo extractable en los sedimentos son altos de acuerdo al criterio de Malstrom (citado por Richardson et al., 1978), ya que el nivel de fósforo en los sedimentos está por arriba de la cantidad necesaria para sostener la producción vegetal. Estos valores elevados permiten suponer que la presencia de las hidrófitas facilita que los sólidos suspendidos ricos en fósforo se depositen en el sedimento, mitigando la entrada de fósforo al sistema. Por otra parte, las comunidades de hidrófitas tienen la capacidad de absorber el fósforo de la columna de agua y una vez concluido el ciclo vital del órgano (hojas) o del organismo vegetal, aportarán materia orgánica a los sedimentos anaeróbicos, tal condición físico-química del

sedimento facilitará la acumulación temporal del fósforo ya que la mineralización de la materia orgánica en un medio anaerobio es muy lenta.

4.4 Conclusión

La presencia de vegetación acuática y la dominancia de alguna especie sobre otras se ve determinado por la textura del banco de sedimentos. Es así que en texturas más finas se observan enraizadas sumergidas, mientras que en texturas más gruesas domina *Myriophyllum quitense*.

5. Relevamiento de vegetación acuática

*Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud - Universidad Nacional del Comahue
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*

5.1 Introducción

La mayoría de los revestimientos con los que cuenta el canal principal son de hormigón, y se desarrollan en coincidencia de su traza con las urbanizaciones a lo largo del valle. La mayor penetración de los rayos solares en canales naturales poco profundos y en canales artificiales debido al efecto de aguas claras, provoca una mayor proliferación de malezas acuáticas. Esto perjudica el normal escurrimiento de las aguas, obligando a tener que colocar mayores volúmenes de agua a los necesarios para poder cumplir con todas las necesidades de riego. Circunstancia que demanda un incremento tanto en la frecuencia como en la intensidad y costo de las tareas de mantenimiento.

El objetivo del presente capítulo fue identificar las especies de plantas vasculares y algas presentes en el Canal Principal de Riego, a fin de conocer sus aspectos biológicos y ecológicos para evaluar estrategias para su manejo.

5.2 Temporada 2019 - 2020

5.2.1 Diseño del relevamiento

En junio 2019 (invierno) y diciembre 2019 (verano) se realizaron recorridos del canal principal identificando puntos de interés para el muestreo. En enero y febrero de 2020 se evaluaron diferentes estrategias de muestreo debido a las características del Canal, profundidad, ancho, velocidad del flujo. Se intentó utilizar una draga para la toma de muestras, pero no se tuvo éxito por la fuerte corriente del agua. Se empleó una cámara sumergida a fin de identificar las especies vegetales, pero no se logró captar imágenes adecuadas por la elevada turbiedad del agua durante esta temporada. Finalmente, se utilizó un implemento fabricado en INTA IPAF teniendo en cuenta otros dispositivos similares utilizados para muestrear macrófitas enraizadas en lagos y lagunas (Weyl & Coetzee, 2013). En este caso se construyó una especie de ancla de hierro con el peso necesario para alcanzar el fondo del Canal, sujetada con una cuerda para efectuar los lanzamientos desde la orilla o los puentes en las diferentes zonas de muestreo (Figura 22).

En el mes de marzo se seleccionaron dieciocho puntos a lo largo del Canal en sectores con y sin revestimiento (Tabla 21 y Figura 23). En cada punto de muestreo se arrojó el dispositivo al agua tres veces, y se recolectó todo el material que quedaba atrapado en el mismo en bolsas rotuladas. En los sitios donde había un puente, las muestras se colectaron en el centro del Canal y cerca de los bordes. En todas las fechas de muestreo se colectaron muestras de material vegetal en los bordes y en la orilla del canal.

El material vegetal recolectado fue herborizado en el laboratorio para su conservación e identificación por parte de los especialistas.



Figura 22. A. Dispositivo, B. recolección en zonas revestidas, C. recolección en zonas sin revestir.

Tabla 21. Coordenadas de los puntos de muestreo. Los puntos 4, 5, 9 y 13 corresponden a sectores con revestimiento.

Punto	Latitud	Longitud	Punto	Latitud	Longitud
1	38°44'20.13" S	68°07'19.49" O	10	39°01'03.22 S	67°40'11.87" O
2	38°45'08.68" S	68°05'28.69" O	11	39°04'55.28" S	67°11'20.89" O
3	38°46'39.20" S	68°06'26.04" O	12	39°04'34.88 S	67°11'33.26" O
4	38°49'02.40" S	68°03'36.70" O	13	39°04'19.35" S	67°14'19.50" O
5	38°50'11.51" S	68°02'10.94" O	14	39°04'01.38" S	67°16'02.63" O
6	38°53'05.49" S	67°57'47.21" O	15	39°03'42.27" S	67°18'35.04" O
7	38°54'12.20" S	67°56'31.80" O	16	39°03'03.03" S	67°23'12.99" O
8	38°57'52.10" S	67°50'58.20" O	17	39°01'15.41" S	67°35'19.10" O
9	38°58'35.20 S	67°49'21.00" O	18	39°00'59.88" S	67°36'44.75" O

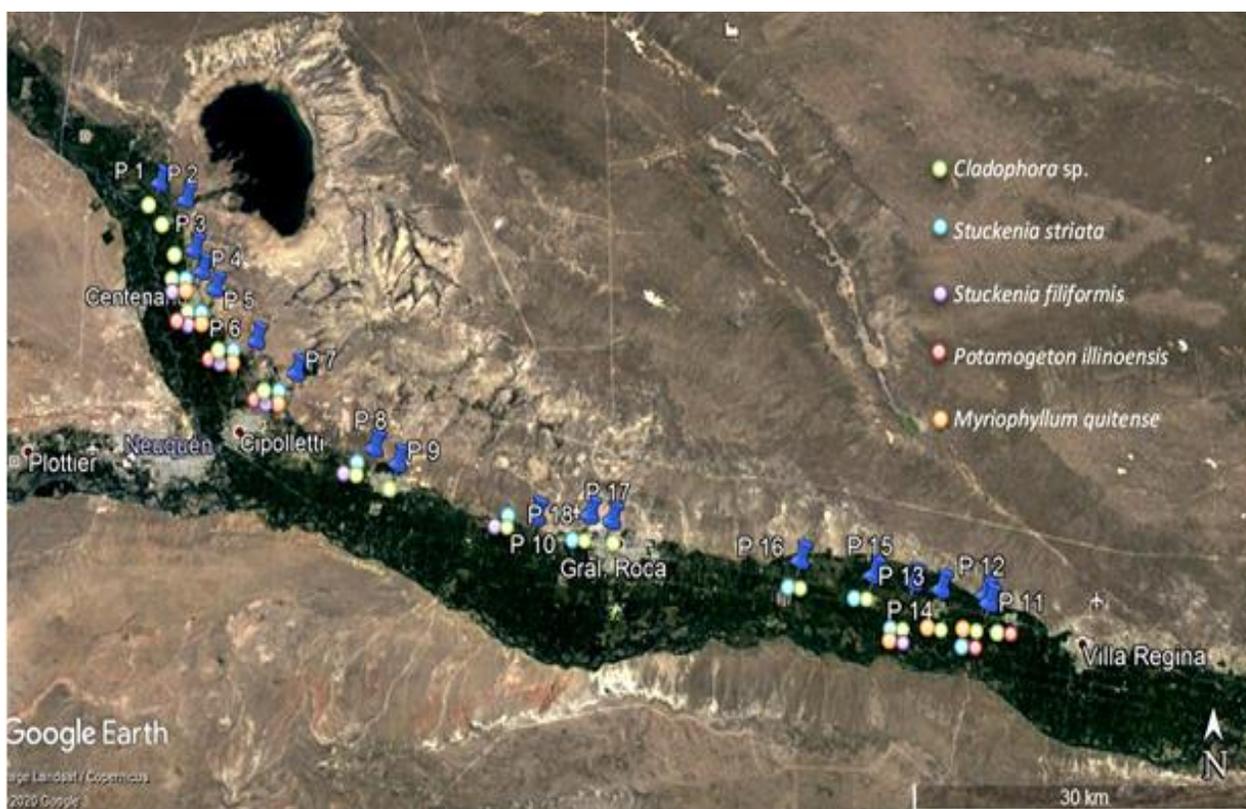


Figura 23. Localización de los puntos de muestreo en el mapa y especies relevadas.

5.2.2 Resultados

En el material recolectado se encontraron cinco especies de plantas vasculares (*Stuckenia striata*, *S. pectinata*, *S. filiformis*, *Potamogeton illinoensis*, *Myriophyllum quitense*) y una especie de alga filamentosa (*Cladophora* sp.). *S. pectinata* fue observada durante los recorridos del Canal realizados para definir los puntos de muestreo, pero no fue encontrada cuando se extrajo material para su determinación, por ello se menciona su presencia. Las especies dulceacuícolas de *Cladophora* son especialmente variables en la morfología, lo que dificulta su identificación a nivel de especie y es por ello que aquí se presenta a nivel de género. En el Anexo 4 se presentan las fichas realizadas para cada especie.

5.2.3 Observaciones del muestreo

En el muestreo realizado predominó *Cladophora* sp., con presencia en casi todos los puntos relevados, tanto en sitios con y sin revestimiento, siendo más importante en el primero (Figura 23). También se encontró sobre las ramas de las plantas vasculares. La segunda especie en importancia fue *Stuckenia striata*. En sectores con mayor corriente se halló el complejo formado por *Stuckenia striata* y *S. filiformis*. Mientras que *Potamogeton illinoensis* se localizó en los sectores con menor corriente. La determinación de algunos ejemplares puede complejizarse, ya que se ha observado en otros lugares que *Stuckenia pectinata* y *S. filiformis* pueden hibridarse. En este caso, los

híbridos son estériles y se propagan por reproducción asexual (Du & Wang, 2016). En la mayoría de los casos, *Myriophyllum quitense* se encontró en bajas proporciones, excepto en el punto 14, en la localidad de Ing. Huergo, donde el canal no presentaba revestimiento y se observaba un sustrato fangoso.

5.3 Temporada 2020 - 2021

5.3.1 Diseño del relevamiento

En enero y marzo (verano) y abril (otoño) 2021 se realizaron los muestreos de esta temporada. La metodología de muestreo fue la misma que en la temporada anterior, utilizando el implemento fabricado en INTA IPAF.

A partir de los resultados obtenidos en la temporada previa, se redujo a tres la cantidad de sitios muestreados a lo largo del Canal, correspondiendo a los puntos 1, 9 y 11 (Tabla 21). En cada sitio de muestreo se arrojó al agua el dispositivo tres veces, y se recolectó todo el material que quedaba atrapado en el mismo en bolsas rotuladas. Se repitió el criterio de coleccionar muestras desde los puentes, en el centro y próximo a los bordes del Canal. En laboratorio el material recolectado fue herborizado para su conservación e identificación por parte de los especialistas, y también se analizó el contenido de carbono (C), de nitrógeno (N) y estableció la relación C/N.

5.3.2 Resultados

Se observaron las mismas cinco especies de plantas vasculares que se determinaron en la primera temporada de muestreo (*Stuckenia striata*, *S. pectinata*, *S. filliformis*, *Potamogeton illinoensis*, *Myriophyllum quitense*) y la especie de alga filamentosa (*Cladophora* sp.). Sin embargo, la cantidad de material extraído fue significativamente menor comparada con la temporada 2019-2020, y las extracciones correspondieron principalmente a *Cladophora* sp.

El análisis final de una muestra del alga *Cladophora* sp. y de otra muestra compuesta por cuatro géneros de plantas vasculares (excepto *Myriophyllum quitense*) se presentan en la Tabla 22.

Tabla 22. Contenido de carbono, nitrógeno y relación C/N de las macrófitas del Canal Principal de Riego.

Muestra	% C	% N	C/N
Alga <i>Cladophora</i>	35,2	2,3	15,4
Plantas vasculares	38,5	1,9	20,7

5.3.3 Observaciones del muestreo

Durante la recorrida del canal sin agua se observó que las plantas vasculares analizadas se encuentran en sitios similares de acumulación de sedimentos, como las curvas, y lugares de menor

velocidad del agua, en tanto que *Myriophyllum quitense* se ubica en áreas donde el fondo del Canal posee textura arenosa con gran cantidad de cantos rodados. Así mismo, *Cladophora* de hábito epilítico se desarrolla sobre las piedras del fondo, las obras de arte y paredes revestidas con cemento en los primeros 15 a 20 cm de la superficie del agua o sobre otras plantas con estructuras más fuertes tanto acuáticas sumergidas como plantas de la orilla.

Por otro lado, los valores de la relación C/N de la Tabla 22 indican que los residuos vegetales producto de la limpieza del canal, podrían ser una fuente adecuada de C para la elaboración de compost en mezclas con guano de gallina ponedora o cama de pollo parrillero abundantes en la región.

5.4 Temporada 2021 - 2022

5.4.1 Diseño del relevamiento

En agosto (invierno) y noviembre (primavera) 2021, y marzo (verano) y agosto (invierno) 2022 se realizaron los muestreos de esta temporada. La metodología de muestreo fue la misma que las temporadas anteriores, empleándose el instrumento fabricado en INTA IPAF.

Se mantuvieron los tres sitios de muestreo de la temporada previa. En cada punto de muestreo se arrojó al agua el dispositivo tres veces, y se recolectó todo el material que quedaba atrapado en el mismo en bolsas rotuladas. Cuando se encontraba un puente en el sitio, las muestras se tomaban del centro y próximo a los bordes. En laboratorio el material recolectado fue herborizado para su conservación y confirmación por especialistas.

5.4.2 Resultados

Se observaron las mismas cinco especies de plantas vasculares determinadas en las temporadas de muestreo previas (*Stuckenia striata*, *S. pectinata*, *S. filliformis*, *Potamogeton illinoensis*, *Myriophyllum quitense*), destacando el tamaño de los bancos de *Myriophyllum quitense* en todos los sitios relevados. En las recorridas se observó abundante cantidad de enraizadas sumergidas verdes y también en estado de reposo. También se comprobó la presencia de *Cladophora* sp., cubriendo (tapizando) el fondo del Canal y en los bordes revestidos.

5.4.3 Observaciones del muestreo

Durante los recorridos con bajo tirante de agua, se observan bancos de sedimento en sectores donde la corriente disminuye su velocidad. En los mismos se encuentran restos de plantas acuáticas del género *Stuckenia*, secos en la superficie expuesta y verdes en la parte cubierta, por ende, constituyen potenciales lugares de rebrote de las plantas en los momentos que incrementa el caudal de agua. También se observaron bancos de *Myriophyllum quitense* asociada a *Cladophora* sp. Esta especie al momento se había encontrado en bajas proporciones en relación a *Potamogeton* y *Stuckenia*, puede ser una especie que ocupe su nicho si no están las mismas.

Durante los recorridos invernales, cuando el canal no se encuentra operativo, se observan bancos de sedimento en sectores donde la corriente disminuye su velocidad. Estos bancos, de texturas variables en profundidad, poseen restos de plantas acuáticas del género *Stuckenia*, secos en la superficie expuesta y verdes en la parte cubierta, por ende, constituyen potenciales lugares para el rebrote de estas especies la siguiente temporada de riego. También, existen sectores del canal anegados con gran cantidad de cantos rodados y presencia de arena gruesa en la parte superior donde prosperan plantas de *Myriophyllum quitense* de mediano a gran porte (más de 50 cm de largo) asociada a *Cladophora* sp.

Esta situación se repite a lo largo del canal lo que sugiere que los nichos ocupados por *Potamogeton* y *Stuckenia*, no serían aptos para el desarrollo de *Myriophyllum* en concordancia con los muestreos estivales cuando rara vez aparecen trozos de esta última en los sectores de baja velocidad dominados por las dos primeras.

5.5 Estrategias de manejo y consideraciones en función de los resultados preliminares

El manejo de la vegetación acuática demanda la integración de diferentes métodos: físicos, mecánicos, biológicos entre otros, juntamente con medidas preventivas y estudios básicos de biología y ecología de las plantas (Elmore, 1996). Las medidas de control de la vegetación acuática se pueden sintetizar según las siguientes categorías (Figura 24).

Manipulación del Medio Ambiente	Control Físico	Control Químico	Control Biológico
<ul style="list-style-type: none"> • Medidas destinadas a lograr la alteración del hábitat de modo de lograr condiciones adversas para el crecimiento de las plantas. • Por ejemplo, aumento del sombreado al cuerpo de agua lo que puede producir la disminución o anulación del crecimiento vegetal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación del control manual y mecánico para la remoción de la vegetación. • Tiene la ventaja de que su aplicación es independiente de factores ambientales y épocas del año. • La remoción de las plantas está asociada en ocasiones a la extracción del sedimento del canal, lo cual se traduce en una movilización de nutrientes y desbalance del banco de semillas y propágulos. • Este es el método actualmente utilizado en la región, donde se utiliza una cadena pesada de colgada entre dos tractores, uno en cada banco. Luego, la cadena se arrastra río arriba, eliminando el crecimiento de malezas a medida que avanza. • La desventaja de estos métodos es su lentitud, el alto costo y la necesidad de una actuación repetitiva durante los períodos de mayor crecimiento de las plantas (Svachka 1997). 	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de la biomasa mediante el uso de productos químicos. • Generalmente no es aconsejable el uso de productos químicos en o cerca de los cuerpos acuáticos, ya que esto puede provocar riesgos al ambiente y a la salud humana. Esto es importante, en particular, en áreas densamente pobladas. • Por otra parte dada la especificidad de los productos hay que pensar en una serie de productos que actúen sobre las diferentes poblaciones de malezas (algas y plantas). 	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de organismos vivos, tales como insectos, peces y hongos patógenos, para el manejo de la vegetación sumergida. • El uso del pez <i>Cyprinus carpio</i> fue estudiado como una alternativa para el control de vegetación sumergida en canales de drenaje de la zona de CORFO. Su uso en canales de riego requiere de un mecanismo que permita la recuperación de los peces cuando se produce el corte invernal del agua, como así también en casos puntuales controlar el excesivo crecimiento de la especie.

Figura 24. Categorías de las estrategias de control de la vegetación acuática.

En el sistema estudiado se hallaron plantas vasculares y algas interactuando, hecho que constituye una complejidad para su manejo. Las especies acuáticas pueden estabilizar el estado de aguas claras en virtud de diferentes efectos generados por ellas mismas. Estos mecanismos de retroalimentación positivos comprenden: la reducción en la suspensión de los sedimentos del fondo; la provisión de refugio para el zooplancton herbívoro y otros organismos filtradores (moluscos) que colaboran en la disminución de la biomasa planctónica; la supresión del

crecimiento algal a través de la liberación de metabolitos con efectos alelopáticos; y la reducción en la disponibilidad de nutrientes.

En la planificación de una estrategia para el manejo de la vegetación acuática se considera relevante: el aporte de material vegetal desde la cuenca, la regeneración del material vegetal entre una temporada y la siguiente y los factores que inciden en el crecimiento de las especies.

En relación al **aporte de material vegetal desde la cuenca**, se consideró que los fragmentos de vegetación acuática derivados de la cuenca, aportan al repoblamiento de especies dentro del Canal. A fin de analizar esta situación, se propone a principios de la temporada efectuar un muestreo aguas arriba del Canal, y en caso de confirmarse esta situación, se plantea diseñar algún tipo de barrera física al inicio de la traza del Canal, para evitar o minimizar el ingreso de material.

En relación a la **regeneración del material vegetal**, en áreas sometidas a secado periódico, el rol del régimen de agua tiene un papel preponderante en la dispersión y germinación de propágulos, como así también en el modelado de los patrones de distribución vegetal (Galinato y Van der Valk, 1986). En el caso de la vegetación acuática se consideran dos estrategias: banco semillas y banco de estructuras vegetativas para la reproducción asexual (por ejemplo, rizomas, tubérculos, entre otros).

- Banco de semillas

En nuestro relevamiento se observaron estructuras reproductivas durante el mes de marzo. En el caso de las plantas vasculares como *Potamogeton* y *Stuckenia*, la bibliografía cita que no es la estrategia preponderante. Los bancos de semillas solo hacen una contribución limitada a la supervivencia a corto plazo de las poblaciones porque se ha demostrado que la germinación es pobre. Por lo general, las plantas derivadas de los aquenios son poco comunes y la reproducción sexual puede funcionar como una estrategia de supervivencia a largo plazo, como el restablecimiento de una población después de una desecación prolongada o cambios drásticos en la salinidad (van Wijk, 1988; Kantrud, 1990).

- Banco de estructuras vegetativas para la reproducción asexual

El momento en que se realizan las operaciones para el control de las malezas (uso de cadenas) es crucial para la reducción de la formación de propágulos vegetativos de las principales especies presentes: rizomas en el caso de *Potamogeton illinoensis* y *Stuckenia filiformis*, y tubérculos en el caso de *Stuckenia pectinata* y *S. striata* (Yeo, 1965; Hellquist et al., 2012).

Potamogeton illinoensis presenta dos tipos diferentes de rizomas: a) rizomas I, que se producen desde las etapas iniciales en el ciclo anual y mueren en el invierno siguiente, los cuales son estructuras de colonización, y b) rizomas II, que aparecen al principio del verano como un alargamiento de los extremos del rizoma I, probablemente por acumulación de reservas de carbohidratos, son más blancas y más grandes que el tipo previo y desarrollan una más corta debajo del suelo pasando el invierno. Solo los rizomas II sobreviven la temporada seca e inician la siguiente temporada (Dall'Armellina et al., 1996).

Para las especies rizomáticas, la defoliación regular de las plantas puede ser un medio efectivo para el agotamiento de las reservas de carbohidratos en las estructuras subterráneas. De acuerdo a Dall Armellina (1996), aunque el método de control (uso de cadenas) favorecido en el área IDEVI disminuye la biomasa subterránea, probablemente produce una destrucción insuficiente del follaje sumergido, durante el tiempo suficiente, para producir efectos significativos en las reservas de carbohidratos en los rizomas. De hecho, el método probablemente favorece la propagación de especies como *P. illinoensis*, al dividir las plantas y permitir que los rizomas y fragmentos de tallo viables se muevan canal abajo.

En otros estudios se ha observado que cuando los canales de riego permanecen secos en el invierno, la combinación de estratificación con frío y desecación en el sedimento, resulta en un aumento del brote de los tubérculos, principal órgano de persistencia invernal de *S. pectinata* (Van Wijk, 1989). El crecimiento inicial y la supervivencia de las plantas dependen del tamaño inicial de los tubérculos como así también del tipo de sedimento (Spencer y Ksander, 1995).

Por otro lado, Bentivegna y otros (2019) observaron en el Valle Inferior del Río Colorado que temperaturas de congelamiento dañaron el tejido de los tubérculos de *S. pectinata*, e incluso mataron a los tubérculos. Los tubérculos grandes son capaces de generar las plantas más grandes y emergen desde hasta 25 cm de profundidad, sin embargo, en los sitios más profundos generan plantas más pequeñas que los tubérculos superficiales. Para reducir el número de plantas futuras o para dar como resultado un tamaño más pequeño de plantas, los tubérculos deben exponerse a temperaturas de congelación o incorporarse más profundamente en el suelo. En condiciones de luz insuficiente, las nuevas plantas pueden permanecer como tubérculos aproximadamente por catorce días (van Vierssen et al., 1994). *Myriophyllum quitense* tiene una reproducción principalmente vegetativa por medio de estolones o rizomas, además puede multiplicarse a través de yemas y autofragmentación (Smith et al., 2002).

La reproducción en *Cladophora* puede ser **vegetativa** mediante *fragmentación*: los filamentos se rompen en pequeños filamentos, cada fragmento puede dar lugar a una nueva planta; *tubérculos*: las células de los rizoides moribundos se llenan con reservas (almidón) dando lugar a los tubérculos, que en condiciones favorables germinan y producen nuevos filamentos; *akinetes*: células de reposo, con una pared característicamente gruesa y una reserva de nutrientes en su interior (almidón). Estas células permanecen inactivas hasta que las condiciones mejoran, cuando pueden desarrollarse y formar nuevos filamentos. Asimismo, la reproducción puede ser **asexual** mediante zoosporas, que generalmente se desarrollan en las células terminales de las ramas más finas. Una vez formadas se liberan en el agua, nadando mediante flagelos, que luego se establecen en las rocas u otros sustratos y dan nuevos filamentos. Y también presenta reproducción **sexual**, isógama, en la cual los isogametos se forman de la misma manera que se forman las zoosporas. Aquí las células madre pueden llamarse gametangia en lugar de zoosporangia. Después de su liberación se unen y se forma el cigoto. Pronto los flagelos se retraen y se secreta una pared alrededor del cigoto. Este cigoto germina inmediatamente y no tiene período de latencia.

Finalmente, en relación a los **factores que inciden en el crecimiento de vegetación acuática**, hay diversos factores abióticos que tienen influencia sobre su crecimiento, pudiéndose citar: la cantidad y calidad de luz que penetra en la columna de agua, la temperatura, la

concentración de nutrientes disueltos, la disponibilidad de carbono inorgánico, el pH, la conductividad, la composición granulométrica y química del sustrato, la velocidad de la corriente, y las fluctuaciones en el nivel del agua, entre otros (Verhoeven *et al.*, 1982).

A continuación (Tabla 23) se sintetiza información de diferentes fuentes bibliográficas en relación a factores que afectan al crecimiento de las especies encontradas durante los monitoreos, así como su posible uso y/o aprovechamiento.

Tabla 23. Factores que afectan al crecimiento, uso y aprovechamiento de las diferentes especies halladas en el relevamiento.

Especie	Nutrientes/Metales pesados	Luz	Salinidad	pH	Alcalinidad	Usos
<i>S. striata</i>	P++ (CR=12-27 mg/m ² día) N+++ (CR=410 mg/m ² día)	Tolerancia elevada a la turbiedad	Tolerancia intermedia			
<i>S. pectinata</i>	P+ (CR=6,5 mg/m ² día) N++ (CR=72 mg/m ² día) Acumulación de Zn, Pb, Cu. Capacidad de desarrollar sus raíces en sedimentos con bajos niveles de oxígeno.	Tolerancia intermedia a la turbiedad	Tolerante	Tolerante	Tolerante	Suprime las floraciones de fitoplancton al tomar P del agua (Stewart y Davies, 1986). Bioindicador de contaminación por metales pesados en agua (Whitton <i>et al.</i> , 1981). Control de la erosión (Kantrud, 1990). Compost (Wersal y Madsen, 2012).
<i>S. filiformis</i>	N+ Acumulación de Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn.	Tolerancia moderadamente buena a la poca disponibilidad de luz (Vermaat y Hootsmans, 1994).				
<i>P. illinoensis</i>	Tolerante a aguas con pocos nutrientes.	Tolerancia a niveles intermedios de turbiedad (Van den Berg <i>et al.</i> , 1999 y Van den Berg <i>et al.</i> , 2003).	Tolerancia a niveles intermedios de salinidad (Scheffer, 1998).			
<i>M. quitense</i>	P++ (CR=12 mg/m ² día)	Medianamente tolerante a la turbiedad.				Fitoestabilizador de metales pesados.
<i>Cladophora sp.</i>	P+++ , N++. Favorecida por el aumento de N (Dodds y Guidder, 1992). Acumulación de As.	Favorecida por niveles elevados de luminosidad (Dodds y Guidder, 1992).				Asociada con la contaminación por fosfatos. Se ha estudiado sus propiedades como aislante térmico y aplicada al diseño de objetos (*).

P: fósforo, N: nitrógeno, + (bajo), ++ (medio), +++ (alto), CR: capacidad de remoción, Zn: Zinc, Pb: plomo, Cu: cobre, Co: cobalto, Fe: hierro, Mn: manganeso, Ni: níquel, As: arsénico. (*) Disponible en <https://es.scribd.com/document/355987067>

En relación con el aprovechamiento de las especies observadas en el presente estudio se están evaluando en diferentes lugares para la producción de biogás. En otros trabajos se han propuesto como alimento para ganado (Wersal y Madsen, 2012), sin embargo, tienen un contenido muy bajo de materia seca entre 15 y 20%. En un estudio realizado en vegetación acuática del lago Pellegrini, las mismas presentaron valores muy bajos de proteína (2%) inferior al valor recomendado (8%) siendo necesario suplementar con otros productos, igualmente se menciona como posible uso.

6. Propuestas de manejo del sistema para minimizar el crecimiento de vegetación acuática

Aguas Rionegrinas S.E.

Autoridad Interjurisdiccional de las Cuencas de los ríos Limay, Neuquén y Negro

Departamento Provincial de Aguas de Río Negro

Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud - Universidad Nacional del Comahue

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

6.1 Calidad del agua y vegetación acuática

Distintos trabajos han demostrado que son dos los principales factores que regulan el crecimiento de la vegetación acuática: nutrientes y luz (Acosta y Agüero, 2006). En relación a los nutrientes, los que más regulan el crecimiento de la vegetación acuática son el carbono, el nitrógeno y el fósforo. De los tres, el fósforo es considerado el que más influye, una pequeña adición de fósforo al agua resulta en un incremento considerable en la biomasa. De acuerdo a lo observado en este trabajo, el contenido de nutrientes no es limitante para el crecimiento y desarrollo de la vegetación acuática, incluso, un incremento de nutrientes en el Canal favorecería un mayor desarrollo de biomasa.

Respecto a la luz, en ambientes acuáticos la profundidad del agua y penetración de la luz determinan el crecimiento de la vegetación acuática. Barko *et al.* (1986) señalan que la vegetación acuática no crece en aguas turbias o en aguas muy profundas donde la luz no puede llegar. Sin embargo, algunas especies pueden crecer a una baja intensidad de luz, que puede ser hasta del 1 % respecto a la que incide sobre la superficie. La penetración de luz se ve afectada por el contenido de sólidos en suspensión que incrementan la turbiedad. Los resultados del presente trabajo evidenciaron que la turbiedad del agua del Canal Principal, es la variable de calidad que más influye en la abundancia de la vegetación acuática, en relación con las demás variables medidas.

La distribución de las diferentes especies de plantas vasculares y algas filamentosas se vincula no solo a las condiciones de luminosidad, sino también a las características del sustrato y la velocidad de la corriente de agua. El sistema radicular de las plantas vasculares requiere de un sustrato estable: la arena, el limo, la arcilla y la materia orgánica son los mejores medios para el enraizamiento de la vegetación acuática. En sustratos con mucha arena, la vegetación puede desprenderse con facilidad por la acción de la corriente. Otros sustratos de rocas y gravas no favorecen el enraizamiento de las plantas por la limitada fertilidad en el sedimento y limitan la presencia de material vegetal de propagación. Esto coincide con lo observado en el canal principal de riego, aunque no se encontró correlación entre la velocidad del agua y la proliferación de vegetación acuática. En los tramos del canal que se encuentran revestidos con hormigón, se detectó la presencia de *Cladophora sp.*

A partir de los relevamientos de vegetación acuática, se pudo establecer la composición de las especies presentes. En este sentido se destaca que el alga filamentosa *Cladophora sp.* se

comportó como una especie oportunista, ya que, ante las condiciones de mayor turbiedad registradas en el presente trabajo, su distribución abarcó zonas donde en condiciones normales prevalecen las plantas vasculares. Esto puede deberse a una mayor tolerancia a condiciones de menor luminosidad que las plantas vasculares, y una mayor tasa de crecimiento aún en estas condiciones. Se deberán realizar más estudios para evaluar si en ausencia de plantas vasculares esta especie ocupará ese nicho ocasionando nuevos problemas para su manejo en el sistema de riego.

6.2 Propuesta de manejo de la vegetación acuática

Durante todo el invierno se observó presencia de agua en el canal donde permanecen las plantas vasculares y las algas (Figura 26). También se encuentran restos de vegetación acuática en las obras de arte y partes mecánicas de las usinas (Figuras 27 y 28). Estos restos son parte del inóculo para la regeneración de material vegetal en el verano. En las zonas de acumulación de sedimentos, estos deberían removerse para evitar el enraizamiento de las plantas vasculares y algas filamentosas.

En las Centrales Hidroeléctricas, el material vegetal cortado tapona las rejas, alcanzando incluso los sistemas de enfriamiento. Sólo en la Central Ing. Julián Romero se realiza el retiro del material vegetal, y se transporta hasta el basural municipal. En las otras dos centrales el material vegetal es descargado nuevamente al Canal generando la incorporación de propágulos aguas abajo. Ésta última práctica debe evitarse, al igual que su acopio en la banquina del cauce, recomendando el retiro y traslado de todo el material cortado (residuos vegetales) provenientes del control mecánico, a un sector alejado del cauce a fin de evitar que el viento los arrastre nuevamente al canal, iniciando un nuevo ciclo de la planta y del alga.

Se recomienda realizar el traslado de los residuos vegetales al sitio de disposición final, una vez concluida la temporada, con el objetivo de reducir su volumen por pérdida de humedad, y así minimizar los costos de traslado. Estos residuos pueden ser depositados en un relleno sanitario o compostados, debiendo cumplir con la normativa establecida por cada municipio.

El compostaje es un sistema de tratamiento regulado a nivel nacional por la Res. Conjunta 01/2019 del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria y la Secretaría de Control y Monitoreo Ambiental (SENASA y SCyMA, 2019). Reduce el volumen inicial de residuos considerablemente y el producto es una enmienda orgánica llamada compost. Experiencias locales indican que las macrófitas podrían mezclarse con cama de pollos parrilleros o guano de gallina ponedora para ser aprovechadas por los municipios en los espacios verdes y la agricultura urbana (Barrionuevo *et al.* 2020; Barrionuevo *et al.*, 2017). La caracterización física y química de los residuos es necesaria para establecer los posibles usos y aprovechamientos (Barrionuevo *et al.*, 2021).



Figura 25. Fotografías del recorrido del canal en los meses de invierno.



Figura 26. Sistema de extracción mecánica en la Central Hidroeléctrica Ing. Cesar Cipolletti. Izquierda: acumulación de material vegetal en el sistema limpia rejas. Derecha: Sistema de extracción mecánica limpio.



Figura 27. Acumulación de vegetación acuática en el sistema de limpia rejas de la Central Hidroeléctrica Ing. Cesar Cipolletti.

6.3 Propuestas de operación para el control de la vegetación

Tal como se manifestara en diversas oportunidades en el presente documento, el efecto de la penetración de la luz en el agua representa uno de los factores dominantes para el desarrollo de la vegetación acuática en el CPR. Se ha podido demostrar que ante un escenario de disminución de la disponibilidad de luz durante un determinado período de tiempo y coincidente con el inicio del ciclo productivo de las malezas, su desarrollo se ve sensiblemente disminuido. Los registros obtenidos durante la temporada 2019-2020, corroboran dicha afirmación.

En consecuencia, si se lograra intervenir sobre la turbiedad del agua ingresante al sistema de riego en un momento acotado y específico, la disminución en el crecimiento de la vegetación acuática en el Sistema Integral de Riego del Alto Valle sería factible.

Una alternativa que debería evaluarse en el contexto de una gestión integral del recurso hídrico acordada entre las Jurisdicciones y dependiendo del tipo de año hidrológico que se presente, sería incrementar la turbiedad del agua del río Neuquén mediante pulsos periódicos de derrames excepcionales desde la presa de Portezuelo Grande.

Conceptualmente y de manera preliminar, la operación propuesta debería ejecutarse idealmente durante la primera semana del mes de octubre, es decir 30 días antes de la fecha histórica del primer corte de vegetación acuática en el Canal Principal. Este momento coincide con el crecimiento explosivo de la vegetación por aumento de temperatura del agua e incremento de la extensión del fotoperiodo (horas de luz solar). Se estima que el tiempo de duración de cada pulso de turbiedad debería ser de por lo menos cinco días, debiendo evaluarse el caudal pasante a incrementar por Portezuelo Grande, en función de los entrantes al sistema y la carga de sólidos suspendidos registrada. Si esta maniobra pudiera ser repetida en las primeras semanas de noviembre y diciembre, se considera que podría lograrse un control efectivo más efectivo de la vegetación, disminuyendo la cantidad de cortes requeridos por temporada.

Como fuera dicho, obviamente que para poder efectivizar la maniobra propuesta debe existir un caudal ingresante al sistema suficiente como para disponer de ese volumen de agua desde la presa Portezuelo Grande. Los últimos años hidrológicos han generado derrames anuales mínimos, registrándose temporadas con marcado déficit hídrico en la cuenca del río Neuquén. Esta situación y las perspectivas a futuro, obliga a realizar cálculos detallados para evaluar la factibilidad de ejecutar los pulsos de agua turbia propuestos y su influencia en el sistema hidroenergético (Complejo Cerros Colorados). En caso de no poder efectuarse todos los pulsos requeridos, se recomienda priorizar al menos la ejecución de un único pulso en octubre, el cual tendría un efecto regulador sobre el crecimiento de la vegetación acuática.

Por otro lado, los pulsos de turbiedad afectan la potabilización de agua en cinco de las seis localidades del Alto Valle que se abastecen del Canal Principal, ya que únicamente los filtros rápidos de la ciudad de General Roca cuentan con un decantador para operar con aguas turbias. Esta situación condiciona los pulsos de turbiedad requeridos, salvo que se realicen las obras necesarias para operar de forma adecuada. El Canal no opera como decantador por lo que en cada filtro rápido se debería contemplar la construcción de obras conexas de baja inversión, por tratarse de estructuras prefabricadas. Hasta el momento, los pulsos generados por la derivación ocasional desde Portezuelo Grande no causaron turbiedad excesiva en el Canal, pero fueron suficientes para complicar la operatividad de esas instalaciones. En este sentido, las obras de decantación sugeridas serían de gran utilidad, no solo para afrontar los pulsos de turbiedad mensuales propuestos, sino también ante los aumentos de turbiedad provocados por precipitaciones.

El incremento en la frecuencia de cortes de vegetación acuática como estrategia para reducir su crecimiento, tal como se realizó durante la temporada 2021-2022 en que se efectuaron diez cortes, evidenció ser contraproducente provocando la regeneración de la vegetación con un crecimiento mayor. En este sentido, las tareas de corte deberían dividirse en dos tramos, uno desde el kilómetro 105 hasta el kilómetro 72 y el otro desde el kilómetro 66 hasta el kilómetro 0 (entre los kilómetros 66 y 72 el Canal está revestido en hormigón), y de ser necesario puede agregarse un corte en el momento de máximo crecimiento vegetativo.

Cabe agregar que la realización de los pulsos de agua turbia, además tendrían la ventaja de mantener la capacidad de conducción del tramo del cauce original del río Neuquén, y limitar la ocupación típica del cauce en condiciones de bajo caudal.

Se descarta la aplicación de productos químicos en el Canal para el control de crecimiento de la vegetación acuática, debido a la existencia de captaciones de agua para consumo humano y por el impacto negativo en el ecosistema acuático. Se sugiere iniciar una línea de investigación en relación al control biológico con especies autóctonas.

La estrategia de gestión del control de la vegetación acuática que se defina ejecutar, debe mantenerse como en la actualidad fortaleciendo los acuerdos interjurisdiccionales e incrementando el trabajo conjunto y la comunicación entre todos los actores responsables de los servicios involucrados en el manejo y abastecimiento de agua para los distintos usos.

Las propuestas técnicas aquí expuestas deberían complementarse con actividades de educación ambiental para sensibilizar sobre el cuidado y protección del recurso hídrico y la

preservación del canal principal como patrimonio histórico y cultural, involucrando de ser posible a los municipios (como responsables de la gestión de los residuos sólidos urbanos) y otras áreas de Gobierno competentes en la materia.

7. Bibliografía

ACOSTA, L.; AGÜERO, R. (2006). Malezas acuáticas como componentes del ecosistema. *Agronomía Mesoamericana* 17(2): 213-219.

ALVAREZ, A.O.; GALEAZZI, J.O.; STANGAFERRO, S.; BARTUSCH, A.; POLLA, G. 1995. Organización, procesamiento y evaluación de la información sobre niveles del agua freática en el Alto Valle de Río Negro. Informe técnico, convenio FCA-DPA-ITAC. 93 p.

APHA, AWWA, WEF (1995). *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 19 ed.

BALLESTER, RODOLFO (1926). Velocidades y coeficientes de aspereza más convenientes para el cálculo de los canales de riego en el río Negro. Dirección General de Irrigación.

BAYLAC, M.; FERNÁNDEZ, N.; LANDRISCINI, G.; LARREGUY, A. (CFI, 2000). Efectos de las aguas claras en el sistema de riego del Alto Valle.

BARRIONUEVO, M.E.; COPES, W. J.; FLORES, L. B., DUSSI, M.C., CORREA, M.J.; DAGA, G.A. (2017). Caracterización de restos vegetales acuáticos para su uso en agricultura. En: Libro de Resúmenes del III Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental. Santa Fe, del 31 de julio al 3 de agosto 2017. ISBN: 978-987-46096-2-5

BARRIONUEVO, M. E.; FLORES, L. B.; DUSSI, M. C. 2020. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS DE MACRÓFITAS ACUÁTICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE COMPOST. *Revista AIDIS De Ingeniería Y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo Y práctica*, 13(3), 1022–1031.

BARRIONUEVO, M.E.; GITTINS, C; BERNARDIS, A. NAVARRO, C. (2021). Caracterización de los restos vegetales de la limpieza del Canal Principal de Riego del Alto Valle de Río Negro y Neuquén. III Simposio de Residuos Agropecuarios y Agroindustriales de NOA y Cuyo. Santiago del Estero, 2021.

BENTIVEGNA, D.J.; TUCAT, G.; FERNÁNDEZ, O.A. (2019). Growth of *Stuckenia pectinata* under greenhouse and irrigation canal conditions in the lower valley of the Colorado River (Argentina). *Rev. FCA UNCUYO*, 51(2): 201-216.

BEZIC, C.; DALL´ARMELLINA, A.; GAJARDO O. (1996). Studies on vegetative production of *Potamogeton illinoensis* Morong in southern Argentina. *Hydrobiologica* 3140: 7-10

CFI (2000). Efecto de las aguas claras en el Sistema de Riego del Alto Valle. Informe Final, Tomos I y II. Autores: Landriscini, G.; Fernández, N.; Larreguy, A. y Baylac. M.

CROSS, A. T., TURNER, S. R., RENTON, M., BASKIN, J. M., DIXON, K. W., & MERRITT, D. J. (2015). Seed dormancy and persistent sediment seed banks of ephemeral freshwater rock pools in the Australian monsoon tropics. *Annals of Botany*, 115(5), 847-859.

DALL ARMELLINA A.; BEZIC C. R.; GAJARDO, O. A. (1996). Propagation and Mechanical Control of *Potamogeton illinoensis* Morong in Irrigation Canals in Argentina. *J. Aquat. Plant Manage.* 34: 12-16. *J. Aquat. Plant Manage.* 34: 12-16

DIRECCIÓN DE ESTADÍSTICAS Y CENSO DE LA PROVINCIA DE RÍO NEGRO; Cuadro P02. Localidades del Dpto General Roca, Río Negro. Población total por sexo. Variación intercensal absoluta y relativa. Años 2001-2010. <https://estadisticaycensos.rionegro.gov.ar/pages/casosparticulares/downloadFileWithName.php?idDocumento=5746>

DOODS W.K & GUDDER D.A. (1992). The ecology of *Cladophora*. J. Phycol. 28: 415-427.

DU Z. Y. y WANG Q. F. (2016). Allopatric divergence of *Stuckenia filiformis* (Potamogetonaceae) on the Qinghai-Tibet plateau and its comparative phylogeography with *S. pectinate* in China. Scientific Reports 6:20883 DOI:10.1038/srep20883

FUNDACIÓN TORCUATO DI TELLA. (2006). Vulnerabilidad de la Patagonia y Sur de La Pampa y de Buenos Aires al cambio climático, Argentina: Actividades habilitantes para la Segunda Comunicación Nacional sobre cambio climático. Buenos Aires, 368 páginas.

GALINATO, M.I.; VAN DER VALK, A. G. (1986). Seed germination traits of annuals and emergent recruited during drawdowns in the Delta marsh, Manitoba, Can. Aquat. Bot. 26: 89-102.

GRASSHOFF, M., K. EHRHARDT & K. KREMLING. (1983). Methods of seawater analysis. Grasshoff, M; Ehrhardt, K. and Kremling, K. (Ed.), 419 pp.

HARGUINTEGUY C.A.; SCHREIBER R.; PIGNATA M.L. (2012). *Myriophyllum aquaticum* as a biomonitor of water heavy metal input related to agricultural activities in the Xanaes river (Córdoba, Argentina). Ecological Indicators 27: 8-16

HELLQUIST C.B.; THORNE R.F.; HAYNES R.R. (2012). *Stuckenia striata*, in Jepson Flora Project (eds.) Jepson eFlora, /eflora/eflora_display.php?tid=80316

HORNE, F.J.; ALVAREZ, O.; GALEAZZI, J.O.; POLLA, G.; STANGAFERRO, S. 1992. Análisis y elaboración de datos freaticométricos e hidroquímicos del Alto Valle de Río Negro. Informe técnico, convenio FCA-AyEE-ITAC; 47 p.

INDEC. 2010. Cuadro P2-D. Provincia de Río Negro, Departamento General Roca. Población total por sexo e índice de masculinidad, según edad en años simples y grupos quinquenales de edad. Año 2010. <https://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-CensoProvincia-3-999-62-042-2010>.

KANTRUD, H. A. (1990). Sago Pondweed (*Potamogeton pectinatus* L.): A Literature Review. United States Department of the Interior Fish and Wildlife Service. Resource Publication. Washington DC. USA. 89 p. Madsen and Adams.

LOSANO F., P. CELLO, M. MARIZZA, L. FORNI, C. YOUNG, G. NADAL, O. GIRARDIN, L. BUCCIARELLI, R. VALLEJOS, & S. GODOY. (2015). Modelo de gestión para la evaluación del estrés hídrico en la región del Comahue. VIII Congreso Argentino de Presas y Aprovechamientos Hidroeléctricos, Santa Fe, Argentina.

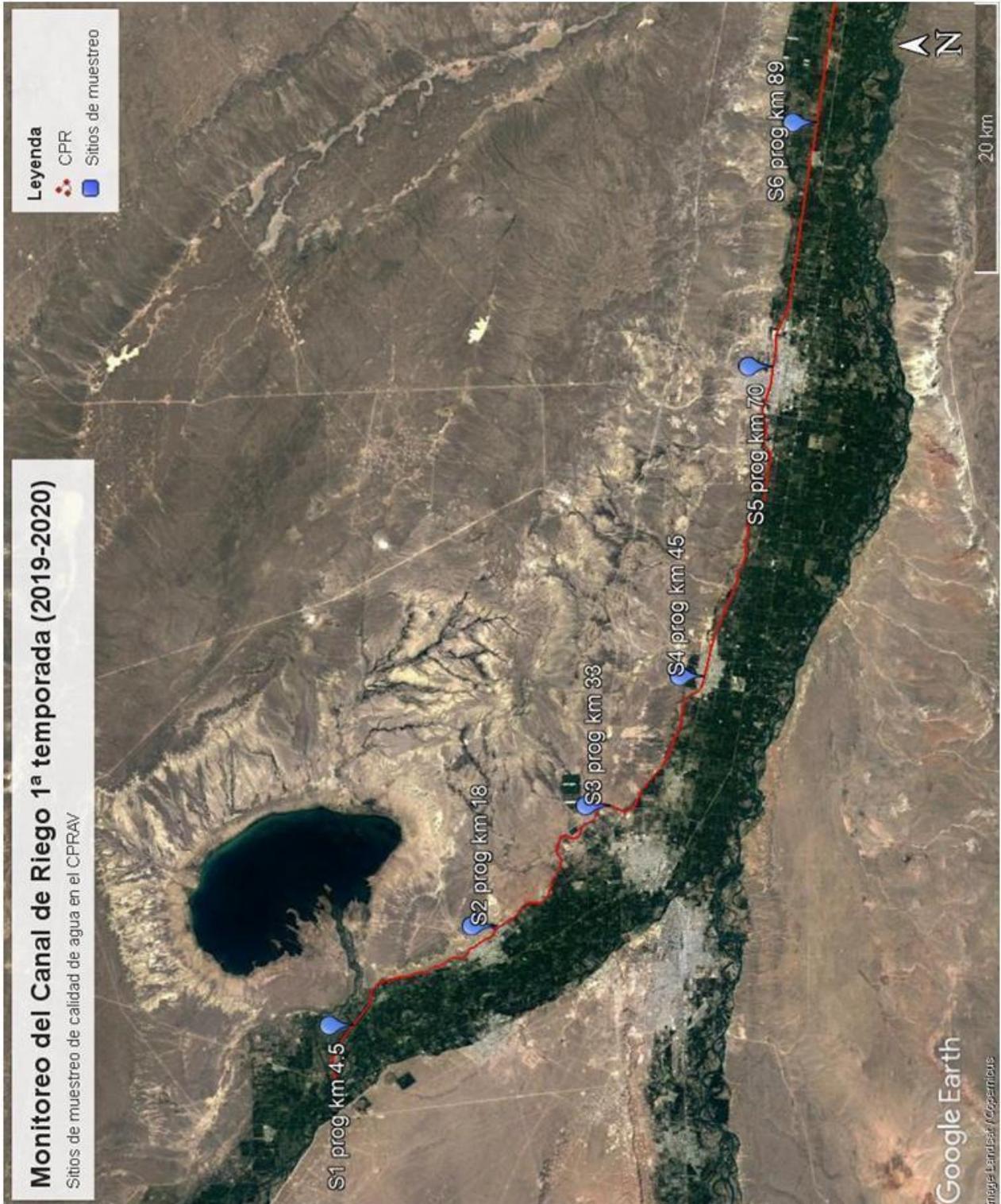
MENDÍA, J.M.; IRISARRI, J. 1995. Las condiciones físicas del suelo asociadas al drenaje en el manejo del monte frutal. En: Curso internacional de Suelo, Riego y Nutrición. Estación Experimental. General Roca, Río Negro, Argentina, p. 4-1 a 4-40.

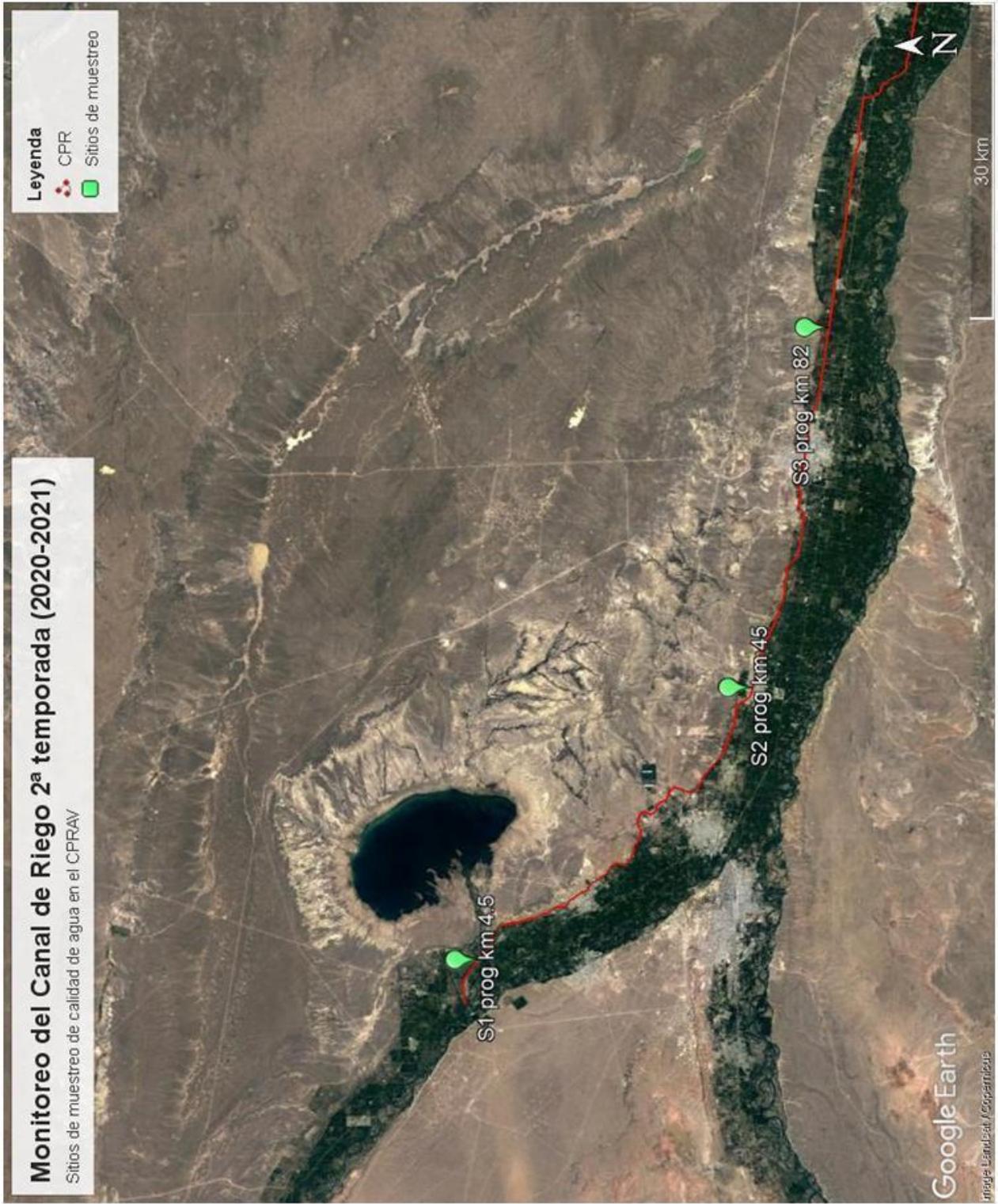
MURPHY, K.J. (1995) Aquatic weeds. Encyclopedia of Env. Biology, 1, pp. 71-80.

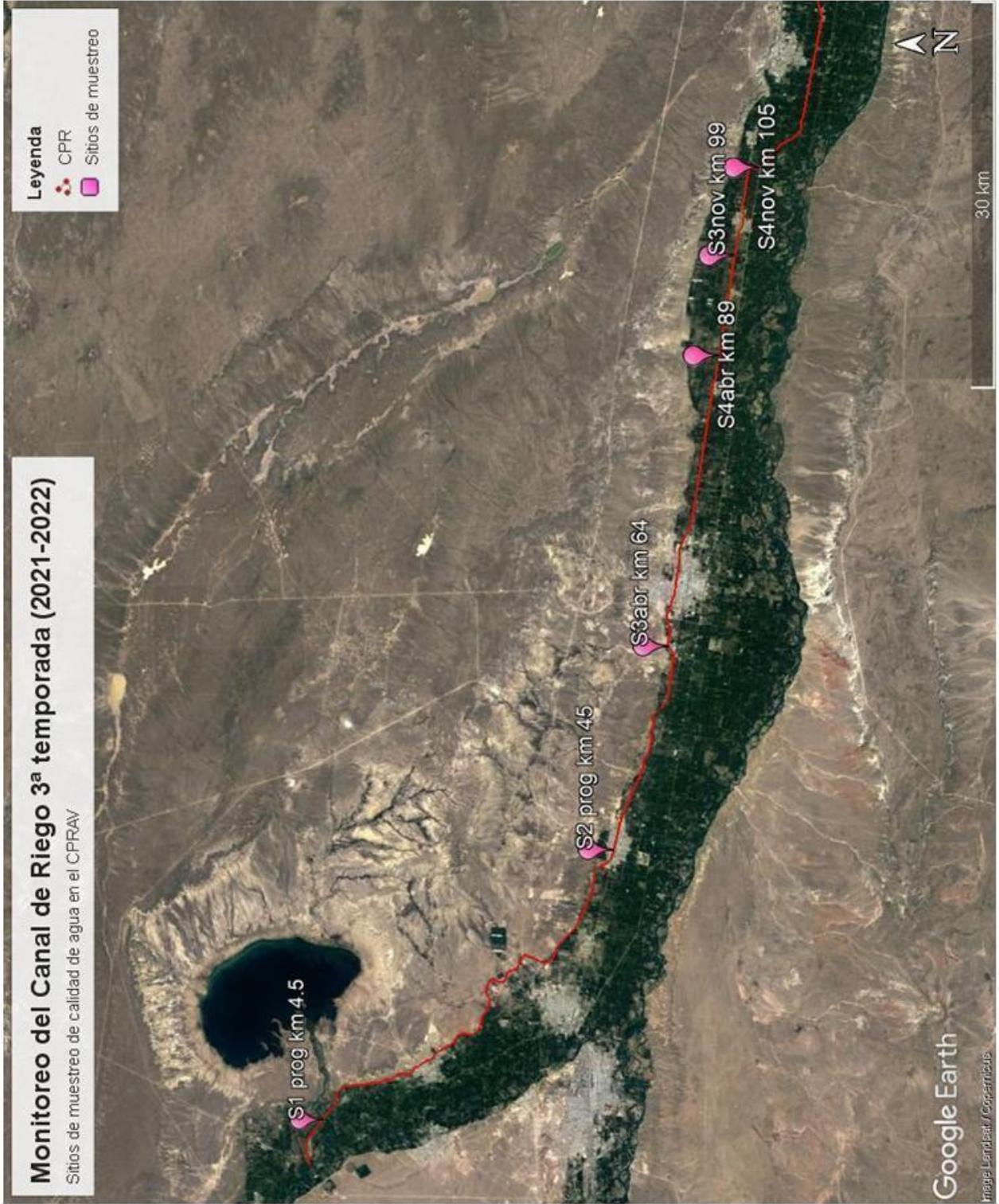
- REVERTER, M. 2011. Canal Principal Sistema de Riego Alto Valle, situación actual y propuesta de mejoramiento. Departamento Provincial de Aguas, Provincia de Río Negro. P 2-6.
- RICHARDSON, C. J.; TILTON, D. L.; KADLEC, J. A.; CHAMIE, J. P.; WENTZ, W. A. (1978). Nutrient Dynamics of Northern Wetland Ecosystem. En: R. E. Good, D. F. Whigham, and R. L. Simpson (Eds.), *Freshwater Wetlands, ecological processes and management potential*. (pp. 217–241). New York: Academic Press, Inc.
- SABBATINI, M.R., MURPHY K.J. AND IRIGOYEN J.H. (1998). Vegetation–environment relationships in irrigation channel systems of southern Argentina. *Aquatic Botany* 60, 119–133.
- SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD Y CALIDAD AGROALIMENTARIA Y LA SECRETARIA DE CONTROL Y MONITOREO AMBIENTAL (SENASA y SCyMA). (2019). Resolución Conjunta 01/2019. Marco normativo para la producción, registro y aplicación de compost. Publicada en el Boletín Nacional del 10 de enero de 2019. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-1-2019-318692> .
- SPENSER, D. F.; KSANDER, G. G. (1995) Influence of propagule size, soil fertility, and photoperiod on growth and propagule production by three species of submersed macrophytes. *Wetlands*. 15: 134-140.
- VAN WIJK, R. (1988). Ecological studies on *Potamogeton pectinatus* L. I General characteristics, biomass production and life cycles under field conditions. *Aquatic Botany*. 31: 211-258.
- VAN WIJK, R. J. (1989). Ecological studies on *Potamogeton pectinatus* L. III. Reproductive strategies and germination ecology. *Aquatic Bot* 33:271–299 Verhoeven et al. (1982)
- VERMAAT, J.E.; HOOTSMANS, M.J.M. (1994). Growth of *Potamogeton pectinatus* L. in a temperature–light gradient. In: van Vierssen, W., Hootsmans, M.J.M. Vermaat, J.E., Eds. *Lake Veluwe, a Macrophyte-dominated System under Eutrophication Stress*. *Geobotany* 21. Kluwer Academic Press, pp. 40–61.
- WERSAL, R. M.; MADSEN, J. D. (2012). *Aquatic plants their uses and risks. A review of the global status of aquatic plants*. Rome, Italy: FAO.
- WEYL P. S. R.; COETZEE, J. A. (2013). An integrated remote sampling approach for aquatic invertebrates associated with submerged macrophytes. *African journal of aquatic science*, 38(3), 337-340.
- YEO, R. R. (1965). Life History of Sago Pondweed. *Weeds* 13: 314-321.
- ZEPEDA-GOMEZ, C.; LOT, A.; ANTONIO-NEMIGA, X.; MANJARREZ, J. (2015). Evaluación del banco de semillas y su importancia en la rehabilitación de la vegetación de humedales del centro México. *Bot. sci* [online]. 2015, vol.93, n.4 [citado 2023-03-01], pp.695-707. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-42982015000400002&lng=es&nrm=iso ISSN 2007-4476. <https://doi.org/10.17129/botsci.245>

8. Anexos

8.1 Anexo I: Mapas de ubicación de sitios muestreados en las tres temporadas.







8.2 Anexo II: Informe de recorrido del día 12/07/19.

El día 12/07/2019 se realizó una recorrida de diagnóstico al Canal Principal de Riego en la zona del Alto Valle (CPRAV) con personal de la Delegación y Subdelegación de DPA, del INTA y de la AIC. Se realizaron mediciones *in situ* de variables básicas y colectaron muestras de agua, algas y material vegetal, para hacer una primera identificación de los grupos algales presentes y sustrato de crecimiento en el CPRAV.

8.2.1 Sitios muestreados

En la Tabla 1 se presenta la localización de los sitios donde se colectaron muestras de algas y sedimentos. En el anexo se presentan las imágenes satelitales de localización.

Tabla 24. Ubicación de los sitios muestreados.

Sitio	Latitud	Longitud
S1 "El 15"	38°44'14,6"	68°07'26,4"
S3 "Derivación Central Cipolletti"	38°54'34,2"	67°56'28,4"
S4 "Allen"	38°58'54,8"	67°47'50,2"

8.2.2 Mediciones *in situ*

En la Tabla 25 se presentan los resultados obtenidos de las variables fisicoquímicas medidas *in situ*, en los sitios de recolección de muestras.

Tabla 25. Mediciones *in situ* realizadas en los sitios de muestreo.

Variable	S1	S3	S4
T aire (°C)	2,5	9,5	
T agua (°C)	2,9	7,7	9,2
pH	8,6	8,8	8,8
CE (μS/cm)	319	703	3468
OD (μg/L)	7,0	12,5	17,6
OD (%)	56,2	107,4	154,4

Los valores registrados en el muestreo de diagnóstico (Tabla 24), en general se encuentran dentro de un rango esperado, destacándose sólo el alto valor de CE registrado en el sitio 4 (3468 μS/cm), evidenciando un ingreso de agua salada al Canal. Técnicos del DPA indagaron sobre esta situación, encontrando que se trató de una situación puntual, no permanente, originada por un descalce de talud que levantó el tirante del Canal, generando el ingreso de agua salada al mismo.

8.2.3 Análisis microscópico

En la Tabla 26 se presentan las observaciones de campo realizadas durante la recorrida de julio de 2019, y los resultados obtenidos a partir del análisis microscópico de las muestras biológicas colectadas durante la misma.

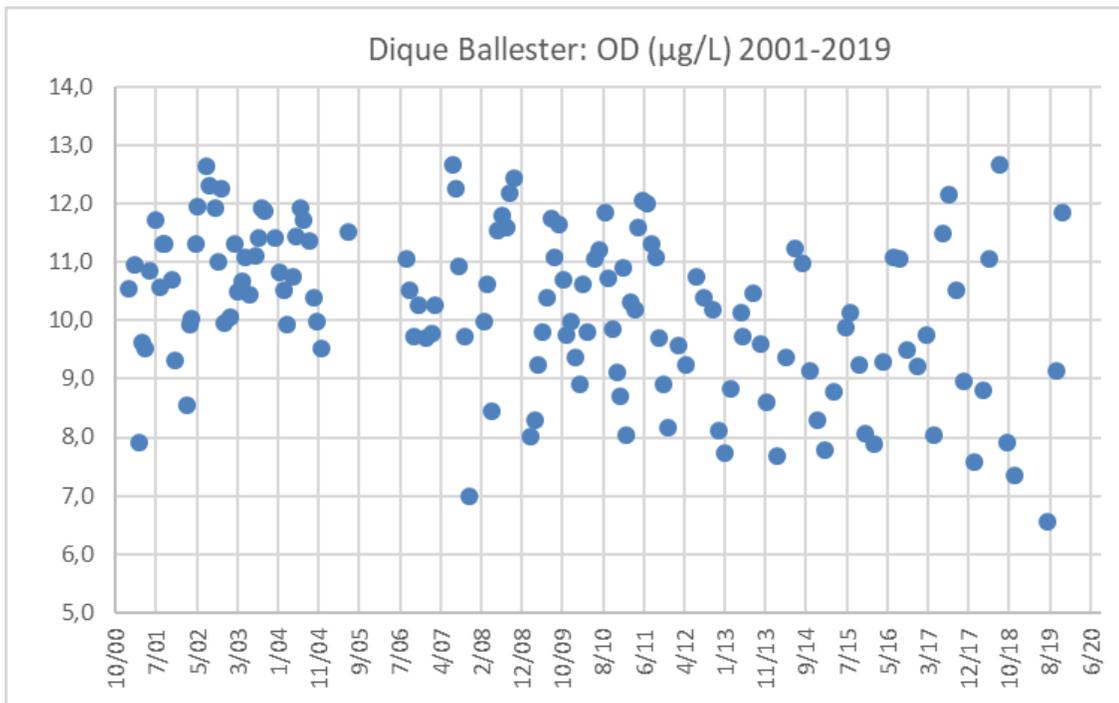
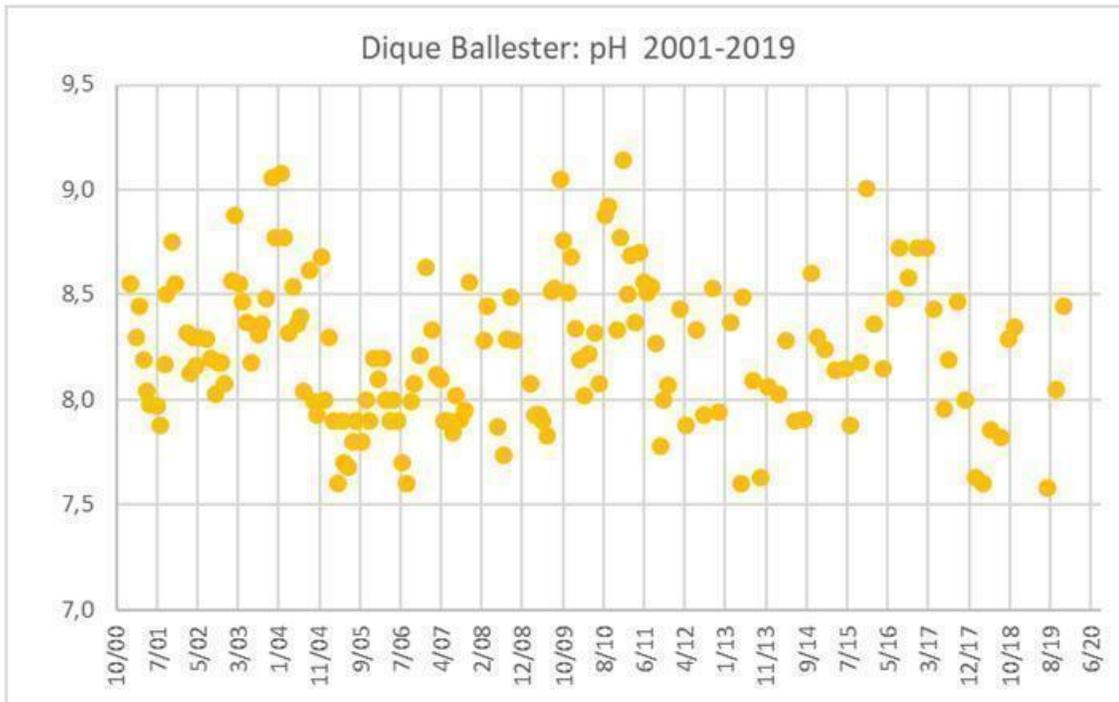
Tabla 26. Observaciones a campo y resultados del análisis microscópico realizados sobre muestras colectadas en julio 2019.

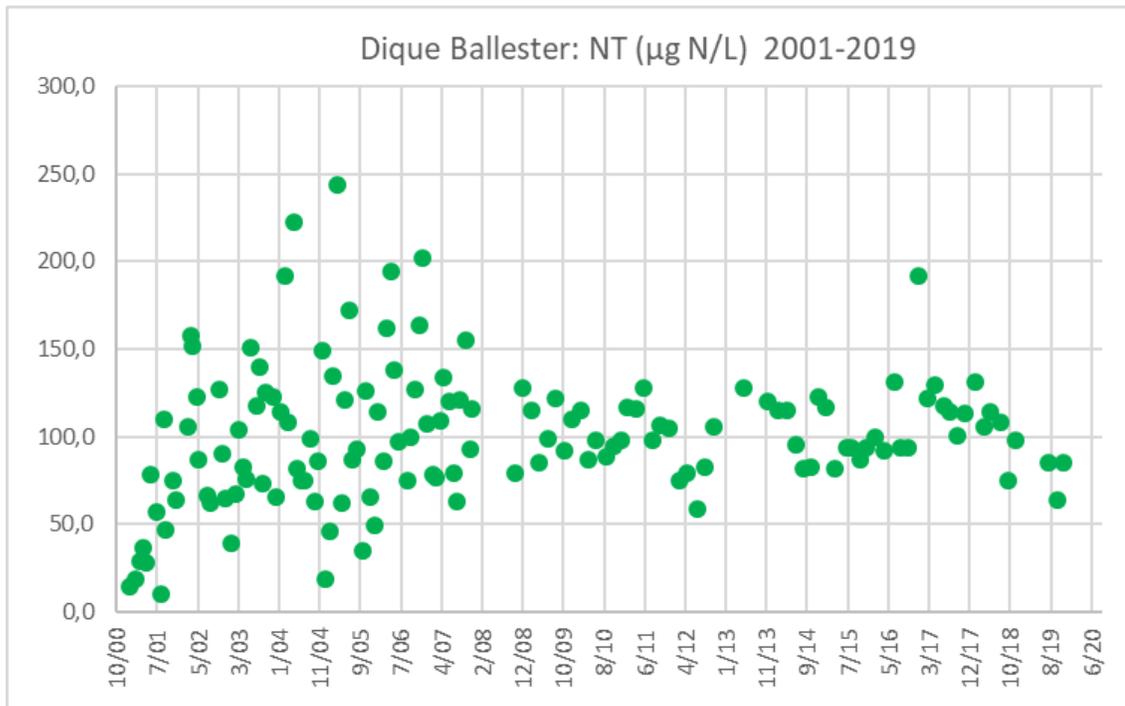
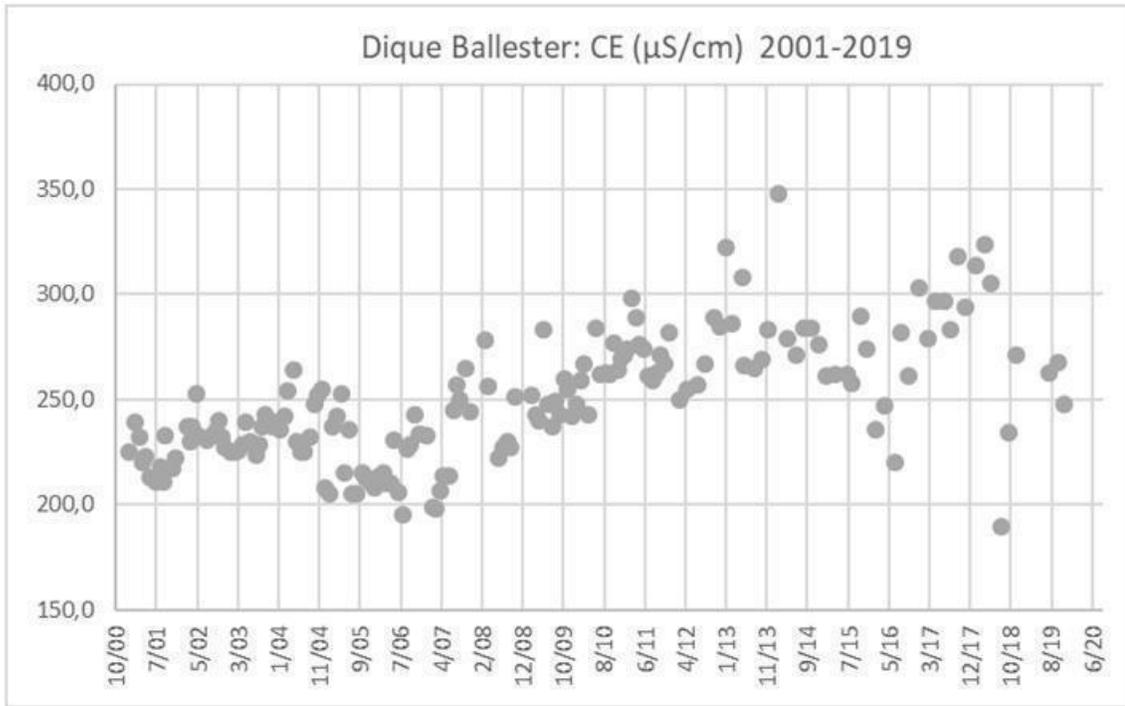
Variable	Sitio 1	Sitio 3	Sitio 4
<i>Sustrato presente</i>	Suelo natural fino	Suelo natural fino	Revestido hormigón
<i>Macrófitas presentes*</i>	Lama	Lama/baba de sapo	Lama/baba de sapo
<i>Grupo algal dominante</i>	Planta vascular (a determinar) como sustrato para el crecimiento de clorofitas y diatomeas	Clorofitas (<i>Cladosphora sp.</i>) y Diatomeas (<i>Cymbella sp.</i>)	Diatomeas (<i>Cymbella sp.</i>) y Cianofitas (<i>Nostoc sp.</i>)

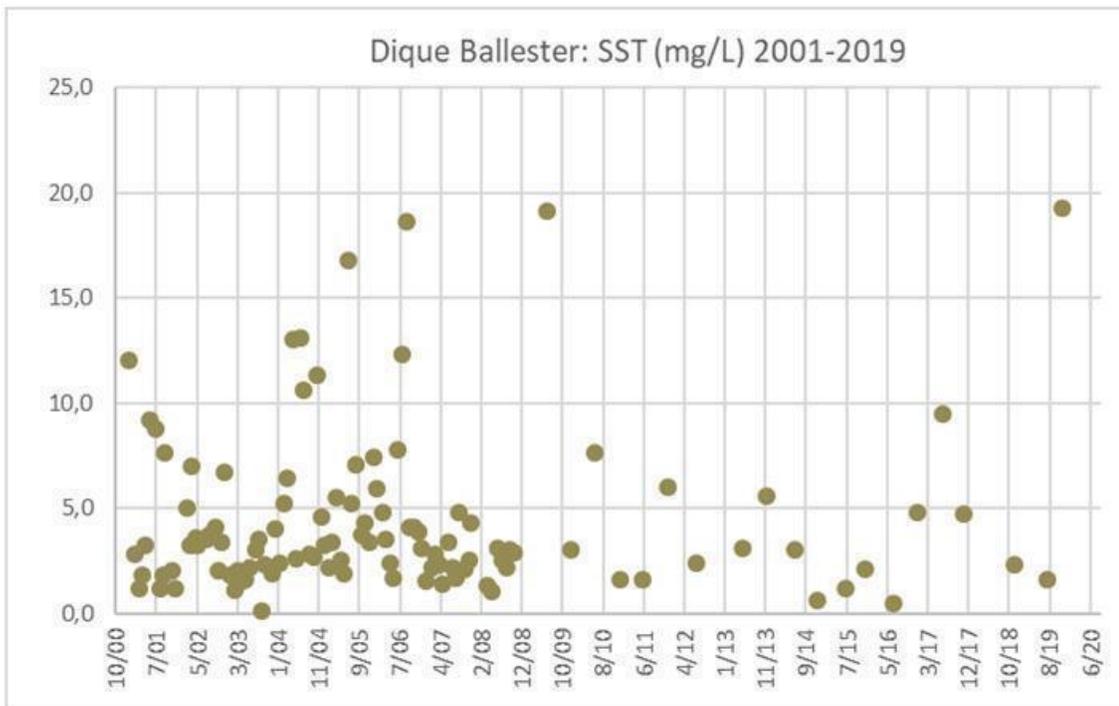
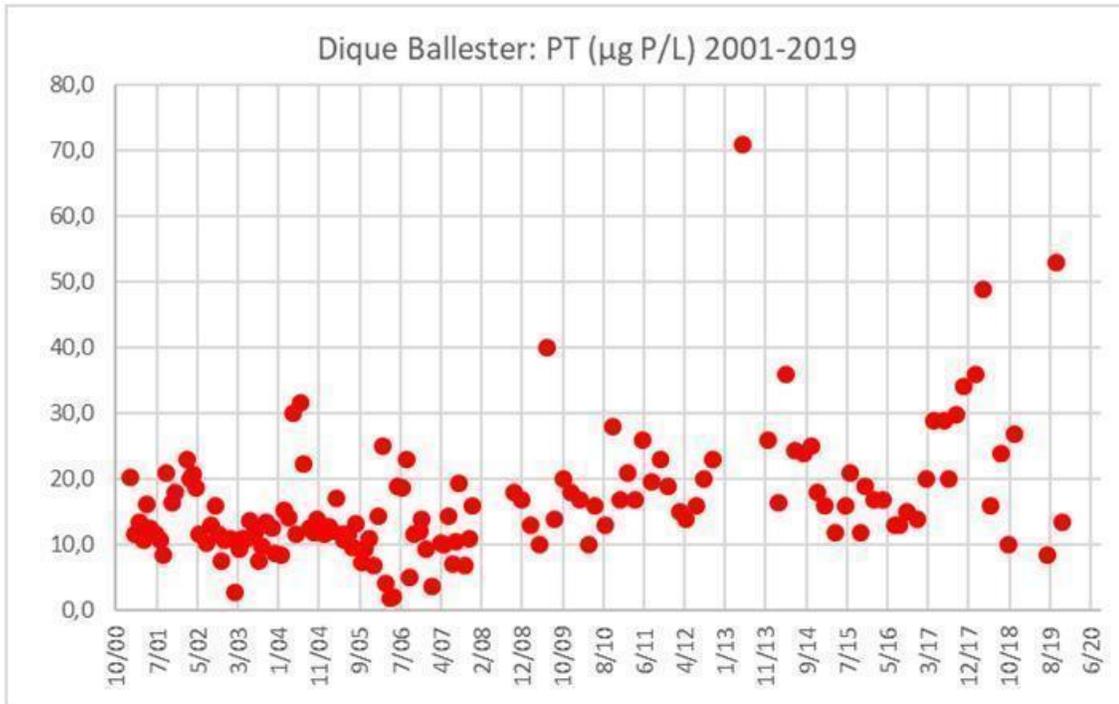
* Los resultados corresponden a la observación general (no taxativa) de la vegetación presente.

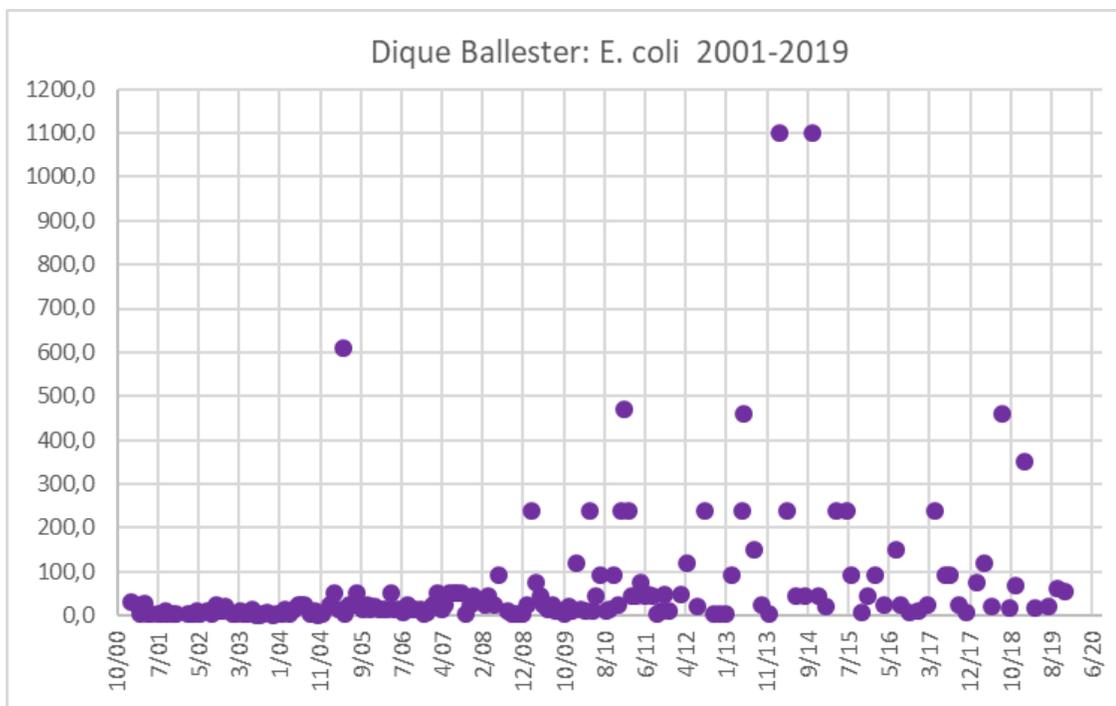
8.3 Anexo III: Registros históricos en Dique Ballester y análisis de tendencia de las variables.

A continuación, se presentan los gráficos de los registros históricos (2001 – 2019) en el sitio de referencia de la AIC, localizado sobre el río Neuquén, aguas abajo del Dique Ballester.









En la Tabla 27 se presentan los resultados obtenidos al aplicar el coeficiente de Spearman, con el fin de evaluar si las variables registradas presentan una tendencia en el tiempo, en el período 2001 – 2019.

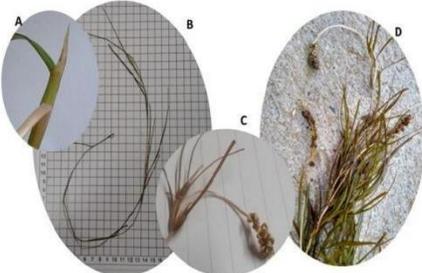
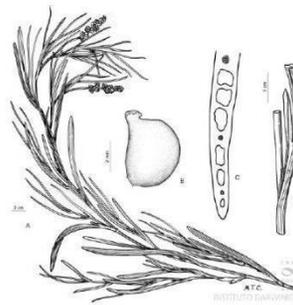
Tabla 27. Resultados del análisis de tendencia (coeficiente de Spearman) calculado para las variables medidas en el Dique Ballester.

Variable	Coef. Spearman	p-valor	N	Tendencia
pH	-0,04	0,59	166	
CE	0,69	0,00	168	Alta
OD	-0,36	0,00	146	Baja (inversa)
PT	0,40	0,00	143	Baja
NT	0,20	0,02	143	Mínima
SST	-0,03	0,75	111	
E. coli	0,50	0,00	170	Moderado

Todas las variables analizadas, excepto pH y SST, presentaron una tendencia significativa ($p < 0,05$), en distintos grados para el período 2001-2019 (resaltadas en rojo en la Tabla 27). La CE fue la variable que presentó la mayor tendencia de incremento en el tiempo, seguida por la variable E. coli (moderada), en tanto los nutrientes mostraron una tendencia entre baja (PT) y mínima (NT). Finalmente, el OD fue la única variable que evidenció una tendencia de disminución, aunque resultó baja.

8.4 Anexo IV: Fichas de las especies registradas en los muestreos



<p>Monocotiledónea Orden: Alismatidae Familia: Potamogetonaceae Género: Stuckenia Especie: striata Habito: Hierba acuática, enraizada sumergida Perenne Status Nativa Referencias: Río Negro y Neuquén</p>	<p style="text-align: center;"><i>Stuckenia striata</i></p>  <p>A y B detalle de la parte vegetativa; C y D parte reproductiva de la planta Fuente: Elaboración propia en base a muestreo 2020</p>	 <p><i>Stuckenia striata</i>_NB Fuente: Instituto Darwinion</p>
--	--	--

Relevamiento de plantas y algas en el canal principal de riego. Río Negro.
Barrionuevo, M.E.; Bernardis, A.; Gittins, C.G.; Navarro, C.



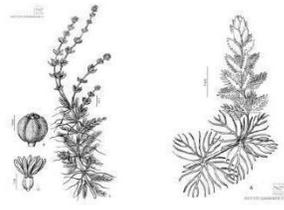
<p>Monocotiledónea Orden: Alismatidae Familia: Potamogetonaceae Género: Stuckenia Especie: pectinata Habito: Hierba acuática, enraizada y sumergida Perenne Status: Nativa Río Negro y Neuquén</p>	<p style="text-align: center;"><i>Stuckenia pectinata</i></p>  <p>Detalle de la parte vegetativa de la planta Fuente: Elaboración propia en base a muestreo 2020</p>	 <p>Fuente: Instituto Darwinion</p>
--	---	--

Relevamiento de plantas y algas en el canal principal de riego. Río Negro.
Barrionuevo, M.E.; Bernardis, A.; Gittins, C.G.; Navarro, C.



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



<i>Myriophyllum quitense</i>		
<p>Dicotiledónea Orden: Saxifragales Familia: Haloragaceae Género: Myriophyllum Especie: quitense Habito: Hierba acuática, enraizada sumergida Perenne Status: Nativa Neuquén Río Negro</p>	 <p>Detalle de la parte vegetativa Fuente: Elaboración propia en base a muestreo 2020</p>	 <p>Fuente: Instituto Darwinion</p>

Relevamiento de plantas y algas en el canal principal de riego. Río Negro.
Barrioueyo, M.E.; Bernardis, A.; Gittins, C.G.; Navarro, C.



Instituto Nacional de
Tecnología Agropecuaria



<i>Cladophora glomerata</i>		
<p>División Chlorophyta Orden: Ulothrichales Género: Cladophora Especie: glomerata Algas verdes filamentosas Habito: Epilítica Se observa sobre piedras, paredes revestidas, ramas y sobre plantas acuáticas. Río Negro Neuquén</p>	 <p>Extracción con gancho del fondo del canal sin revestir y de piedras en la orilla. Fuente: Elaboración propia en base a muestreo 2020</p>	 <p>A algas filamentosas sobre pared de canal, B y C imagen al microscopio óptico (400x) de <i>Cladophora sp.</i> Se observa ramificación, pared celular lamelada y plasto reticulado.</p>

Relevamiento de plantas y algas en el canal principal de riego. Río Negro.
Barrioueyo, M.E.; Bernardis, A.; Gittins, C.G.; Navarro, C.

8.5 Anexo V: Sistematización del encuentro/taller interinstitucional.

8.5.1 Asistentes

Aguas Rionegrinas S.E.

Enrique Kamerbeek -

Marcos Montelpare - Jefe de Central Julián Romero

Emilio Sanabria - Jefe de Central Ing. Cesar Cipolletti

AIC

Ayelén Othaz

Héctor Labollita

Mariana Storti

Departamento Provincial de Aguas

María de la Paz Merino Tosoni

Cesar Storti

Pablo Degele

Facultad de Ciencias del Ambiente y la Salud - Universidad Nacional del Comahue

Adela Bernardis

INTA

Lucia Mañueco

Myrian Barrionuevo

Ayelen Montenegro

PROAS-RED INGENIERÍA

Arturo Grimsditch

El día 5 de octubre de 2022 se realizó en la Subdelegación Regional Alto Valle del DPA un encuentro/ taller con personal encargado de la operación y mantenimiento del Canal Principal y de las Centrales Hidroeléctricas ubicadas sobre el cauce, personal de la empresa consultora a cargo del estudio del Plan director de riego y el equipo técnico a cargo de la evaluación del comportamiento de la vegetación acuática en el Canal Principal.

El objetivo fue evaluar el desarrollo del trabajo, conocer los problemas con los que los operadores se enfrentan diariamente en sus tareas cotidianas, respecto de la incidencia de las malezas acuáticas

y acordar propuestas que satisfagan las necesidades y requerimientos de operadores y usuarios del Canal Principal.

Se expuso sobre el trabajo que se estaba realizando y se debatió sobre las alternativas de control de la vegetación acuática, teniendo en cuenta los diversos usos que tiene el Canal Principal, como son riego, generación eléctrica, abastecimiento de agua cruda para consumo humano y recreativo. Se analizaron los antecedentes sobre control químico de malezas y sus efectos sobre el agua y la fauna acuática, así como el control biológico y la proliferación de especies exóticas. Se comentó sobre el efecto de los residuos sólidos urbanos y se propuso intervenir en cuestiones de gestión de los mismos y en actividades de educación ambiental junto a todos los actores de la sociedad que tengan prevalencia en el sector. Se destacó el valor ambiental y cultural que tiene el Canal Principal en la región, como espacio que aporta biodiversidad y como infraestructura hídrica que permitió el desarrollo productivo de la provincia.

8.5.2 Resultados del debate y análisis conjunto

*La propuesta de sueltas de agua turbia desde la presa Portezuelo es de gran importancia para el control de la vegetación acuática, dados los antecedentes y los resultados del análisis de las tres temporadas de riego, debiendo tenerse en cuenta varios factores para poder concretarlas. Entre ellos, caudal disponible, necesidad de generación eléctrica, afectación a tomas de agua cruda y desarrollo de la vegetación acuática.

*El corte mecánico que se realiza de la vegetación acuática debe restringirse a las condiciones de su desarrollo y estar en concordancia con los tramos más afectados, debiendo analizarse la reprogramación de la tarea.

*La gestión de los residuos vegetales luego del corte mecánico es un punto que debe ser tenido en cuenta para evitar el reingreso al canal de propágulos que permitan su proliferación. Una vez retirados del interior y luego de su deshidratación se deberían retirar de banquetas y zonas aledañas, para lo cual se requiere de maquinaria y sitios de disposición final, ya sea para su descomposición o como materia prima para la elaboración de compost.

* El control de la vegetación acuática no solo permite mejoras en la operación y abastecimiento de agua para riego, sino que también favorece la operación de las Centrales Hidroeléctricas, ya que se evitan obturaciones en las rejas y en los sistemas de enfriamiento.

* La aplicación de productos químicos se descarta como medio de control de malezas por la presencia de tomas de agua para consumo humano y por la posible afectación a la fauna.

* La comunicación entre los actores que intervienen en todo el sistema debe mantenerse y fortalecerse para poder realizar una adecuada operación integral y satisfacer los requerimientos en forma conjunta.

* Concretar actividades de educación ambiental en toda la extensión del cauce, que involucre a organismos municipales, provinciales y nacionales, promoviendo la sensibilización respecto del cuidado del agua y destacando la importancia que tiene para la producción regional y como patrimonio histórico.

8.5.3 Consideraciones finales

El encuentro resultó una instancia importante para el equipo de trabajo, donde la puesta en común permitió afianzar los conceptos analizados durante el desarrollo de la investigación y conocer los aspectos críticos de la operación y mantenimiento, tanto en el Canal como en las Centrales Hidroeléctricas.

El debate interdisciplinario e interinstitucional permite tener una mirada más amplia de la situación y analizar distintas perspectivas, pudiendo concluir en alternativas de control que permitan hacer un manejo integral del sistema.