



Práctica Profesional:

“Estudio de la influencia de la ciudad de Trelew sobre el Canal de riego Principal Norte del VIRCh”

Licenciatura en Protección y Saneamiento Ambiental

Año 2024

Estudiante: Guadalupe Cabrera

Profesora asesora: Dra. M. Valeria Fiorda Giordanino

Instructor: Lic. Maite Elissalde

Institución: Secretaría de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable de la provincia de Chubut.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PATAGONIA SAN JUAN BOSCO
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y CIENCIAS DE LA SALUD – Sede Trelew

INDICE

INTRODUCCIÓN.....	3
EL VIRCh.....	3
MONITOREO AMBIENTAL DE LOS CANALES DE RIEGO.....	5
SITUACIÓN DEL CANAL PRINCIPAL NORTE.....	5
OBJETIVOS.....	7
OBJETIVOS GENERALES.....	7
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	7
METODOLOGÍA.....	8
CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	8
PLAN DE MONITOREO.....	9
ANÁLISIS DE LOS DATOS.....	12
RESULTADOS.....	13
ANÁLISIS DESCRIPTIVO.....	15
ANÁLISIS MULTIVARIADO.....	27
DISCUSIÓN.....	33
PREMISAS PLANTEADAS.....	33
PARÁMETROS SELECCIONADOS.....	34
HALLAZGOS EN RELACIÓN A LA DINÁMICA TEMPORAL.....	35
HALLAZGOS EN TORNO A LA COMUNIDAD ALGAL Y NUEVOS INTERROGANTES PLANTEADOS.....	39
CONCLUSIONES.....	41
AGRADECIMIENTOS.....	41
BIBLIOGRAFÍA.....	43
ANEXO I: METODOLOGÍA.....	46
ANEXO II: TABLAS DE RESULTADOS Y GRÁFICOS COMPLETOS.....	52

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para la vida en la Tierra, y particularmente en la de los seres humanos está implicada en la satisfacción de un gran número de necesidades individuales y colectivas. De esta forma, interviene o forma parte de casi todas las actividades productivas necesarias para sostener la sociedad actual (Muñoz Camacho y Graus Ríos, 2013). Dado que las fuentes de agua varían en abundancia y calidad a lo largo del tiempo y el espacio, lo anteriormente expuesto requirió con el paso del tiempo de la modificación y el manejo de los recursos hídricos (Stewart, 2004; Jiménez Otárola, 1994). Por ejemplo, la obtención de alimento a través de la agricultura es una de las actividades que mayor consumo de agua genera a nivel mundial, representando cerca del 70% de todas las extracciones (Organización de las Naciones Unidas por la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2019). El uso de agua para irrigar cultivos no solo aplica a zonas en las que el recurso es limitante, sino que también es requerido en zonas húmedas debido a la variabilidad climática que afecta a diferentes regiones, acentuada con el correr de los años como consecuencia del cambio climático. En este contexto, la agricultura de regadío ha permitido no solo aumentar las cosechas, sino también diversificar los cultivos y las regiones en donde se producen (FAO, s.f.).

En Argentina, donde la agricultura resulta ser fundamental para la economía nacional, casi el 70% de la superficie continental se encuentra en regiones áridas y semiáridas. Es por esto que, en muchas de ellas, esta actividad solo es posible cuando los cultivos se encuentran bajo alguna modalidad de riego (Ministerio de Economía de Argentina, 2023). Este es el caso de la provincia patagónica de Chubut, que cuenta con una serie de valles irrigados distribuidos en su territorio en los que el agua es conducida y distribuida hacia diferentes sectores, permitiendo que se desarrolle y se concentre en estas zonas la mayor parte de la actividad agropecuaria intensiva de la provincia (Dirección General De Agricultura, 2019). Muchos de estos valles se nutren del Río Chubut, el cual es el único que lleva agua de forma permanente y atraviesa el territorio provincial de Este a Oeste en casi toda su extensión (Valladares, 2004). En particular, el Valle inferior del Río Chubut (VIRCh) reviste de gran importancia por su potencial productivo y es actualmente el más importante de la Patagonia Austral (Pascual *et al.*, 2020), dedicándose principalmente a la producción forrajera (destinada a ovinos, vacunos, porcinos y caprinos), frutícolas y hortícola a campo, aunque también puede encontrarse gran superficie dedicada al cultivo bajo cubierta (Bai, 2019).

EL VALLE INFERIOR DEL RÍO CHUBUT (VIRCh)

El VIRCh se ubica entre los 43° 14' y 43° 30' de Latitud Sur y entre los 65° 01' y 65° 30' de Longitud Oeste. Inicia en la represa Dique Florentino Ameghino y finaliza en la bahía Engaño, desembocando en el Océano Atlántico. La represa permite la regulación del caudal los últimos 200km del río, pero el sistema que permite la irrigación de todo el valle nace 50 km aguas abajo, en Boca Toma. Allí se encuentra el azud nivelador que se encarga de elevar el nivel del cauce para derivar parte del mismo hacia dos tomas ubicadas una en cada margen, lo que da lugar a los canales principales llamados Canal Principal Norte y Canal Principal Sur (Pascual *et al.*, 2020). La obra también cuenta con compuertas que permiten la recarga y regulación

de los mismos, de forma que su apertura se realiza a fines de agosto y el cierre a mediados de abril.

A su vez, de los canales principales nacen canales secundarios, de estos últimos surgen terciarios, y de todos los mencionados anteriormente surgen canales “comuneros”, que son utilizados por los regantes para llevar el agua a sus parcelas. El mantenimiento y operación de estos últimos queda a cargo de los usuarios de los canales, a diferencia de los demás ramales, que quedan a cargo de la Compañía de Riego. De esta forma se extiende la red de riego los últimos 100 km de valle, en los que el agua es impulsada solo por acción de la gravedad a través de lechos sin revestimiento en la mayor parte de su extensión (Díaz, 2021).

Su construcción inició a fines del siglo XIX, a cargo de contingentes galeses que se instalaron en la Patagonia a mediados del mismo siglo. Mediante la actividad agrícola-ganadera los canales estuvieron vinculados al crecimiento económico y demográfico que llevó a un aumento del tamaño de los poblados y la necesidad de modificar, ampliar y modernizar el sistema de riego con el paso del tiempo (Gortari, s.f.). De esta forma, actualmente el sistema de riego se encuentra conviviendo espacialmente en el valle con los ejidos de 28 de Julio, Dolavon, Gaiman, Trelew y Rawson (Programa de Servicios Agrícolas Provinciales [PROSAP], 2008), siendo estos atravesados por los cursos de agua y llegando a presentar gran valor histórico y cultural en algunos de estos municipios. De esta forma, la heterogeneidad espacial de los territorios que recorren (conformada por ambientes naturales, rurales y urbanos) afecta las características de las aguas y propicia la incorporación de materia de diferente naturaleza (tanto natural como artificial), dado que los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas interactúan con los cuerpos de agua y modifican su composición a partir de aportes de materia y energía (Elosegi y Sabater, 2009). Un ejemplo concreto puede encontrarse en estudios llevados a cabo por Diez *et al.* (1995) en los canales de riego principales, donde se encontró que la carga de bacterias coliformes aumentaba conforme estos alcanzaban zonas más pobladas. Lo anteriormente mencionado pone en evidencia la necesidad de considerar, al evaluar la calidad de un recurso hídrico, diversos factores que inciden en la misma como el entorno, el uso que se da al recurso, las condiciones de infraestructura, etc.

El control de la calidad del agua transportada por los canales resulta importante ya que se trata de un recurso que es utilizado, entre otras cosas, en la producción de alimentos. De esta forma, la presencia de contaminantes aumenta el riesgo para la salud de los consumidores de estos productos y los regantes que puedan entrar en contacto con ella. Si bien estas aguas están destinadas a fines agrícolas, en algunos casos las personas la utilizan con fines recreativos o particulares, lo cual resulta más evidente los días de altas temperaturas. En consecuencia, los practicantes de estas actividades desaconsejadas pueden quedar sometidos a los mismos riesgos. Sumado a esto, como se mencionó anteriormente, en Boca Toma se deriva parte del caudal del Río Chubut para el llenado de los canales de riego, pero ese caudal resulta ser mayor al necesario para abastecer a los usuarios debido a la infraestructura de riego. En algunos casos este excedente es devuelto en forma de retornos al río (Sainz-Trápaga, 2018), pudiendo incorporar a este último sustancias externas que modifiquen la calidad de sus aguas. Esto último no es un dato menor

considerando que el río constituye la única fuente de agua permanente y potable de la región, de donde actualmente se abastecen muchas de las ciudades de la comarca VIRCh-Valdés.

MONITOREO AMBIENTAL DE LOS CANALES DE RIEGO

En la provincia de Chubut, la evaluación de aspectos relacionados al uso y afectación del recurso hídrico corresponde a un trabajo conjunto que recae sobre diferentes organismos como el Instituto Provincial del Agua, y las actuales Secretaría de Salud y Secretaría de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable (SAyCDS). Esta última, a través de la Dirección de Laboratorio, realiza monitoreos de los cuerpos de agua -entre otras actividades- a fin de obtener un diagnóstico de la situación ambiental de los recursos hídricos de la provincia, llevándolos a cabo de forma rutinaria en sitios históricos y respondiendo también a las denuncias efectuadas por vecinos sobre sospechas de contaminación.

En este contexto, y en el marco de una pasantía educativa realizada por quien presenta esta práctica en la mencionada dirección, se identificaron factores a lo largo del recorrido de uno de los canales principales de riego que serían pasibles de afectarlo, puntualmente a lo largo del segmento que atraviesa el ejido de Trelew, representado en la Figura 1.

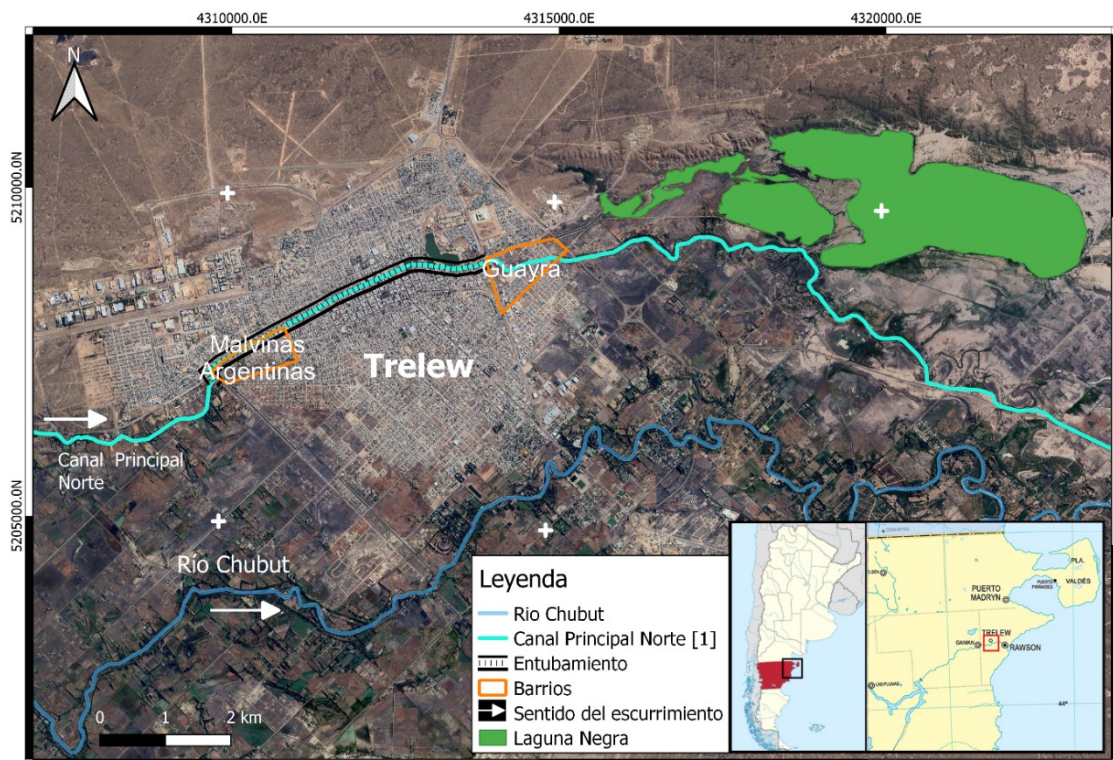


Figura 1. Mapa del recorrido del Canal Principal Norte a través de Trelew.

SITUACIÓN DEL CANAL PRINCIPAL NORTE

Como se mencionó anteriormente el transporte del agua se genera, inicialmente, a través de canales principales. Particularmente el Canal Principal Norte (CPN) se emplaza entre el Río Chubut y la barda norte del VIRCh, iniciando en Boca Toma y finalizando en Rawson. En algunos tramos circula muy próximo a la barda, permitiendo que, cuando se producen precipitaciones intensas, el agua que escurre

de la meseta descienda por los cañadones y sea descargada en el canal, aportándole gran cantidad de sedimentos durante estos eventos (PROSAP, 2008).

Tras su paso por el municipio de Gaiman, el cauce llega a la zona Oeste de Trelew donde sufre un entubamiento que inicia en la calle Oris de Roa (B° Malvinas Argentinas) y que permite su conducción de forma subterránea hasta desembocar bajo la Av. Eva Perón (el límite del B° Guayra). Allí emerge y retoma su camino en su lecho para continuar bordeando una planta procesadora de pescado (Arvi S.A.) y viviendas que forman parte de un asentamiento informal. Este no cuenta con conexión a la red cloacal según informes elaborados por la Municipalidad de Trelew (s.f.) y se encuentran ubicados a pocos metros de la margen norte del canal. Posteriormente se aleja del casco urbano hacia la ciudad de Rawson y en su trayecto llega a aproximarse a las lagunas III y IV del sistema de lagunas encadenadas como se observa en la Figura 2.

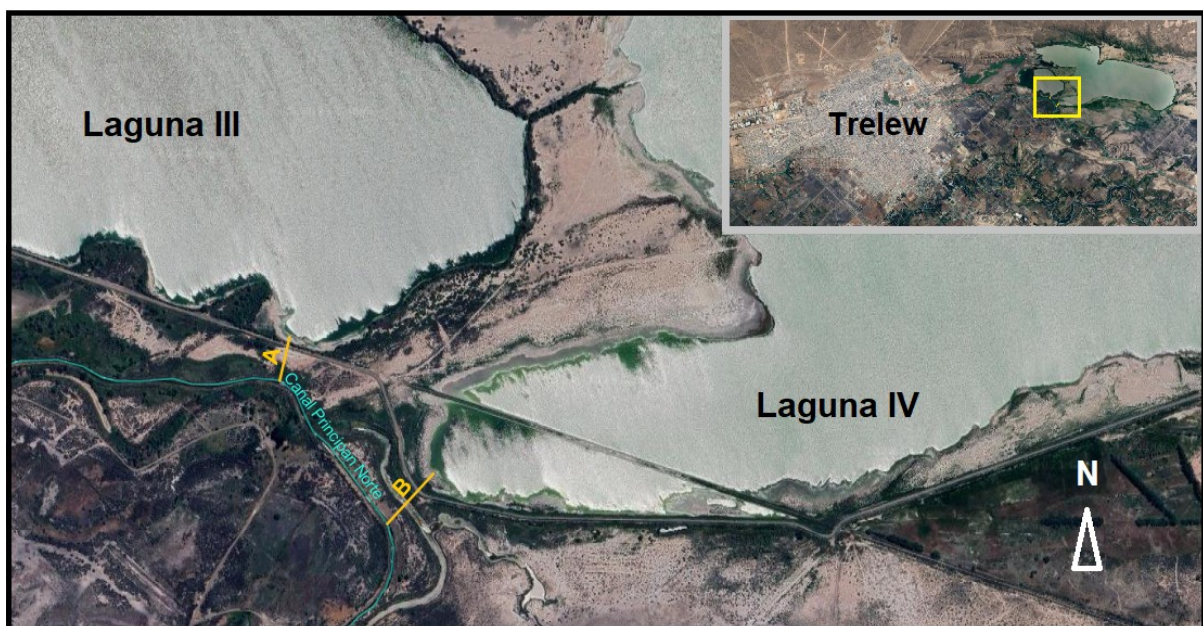


Figura 2. Mapa de la Laguna III y IV del sistema lagunar de la ciudad de Trelew, próximas al Canal Principal Norte. Los puntos más próximos del curso a las masas de agua, representados con letras A y B, se encuentran a una distancia aproximada de 90 y 135m, respectivamente.

Estas lagunas son parte de un sistema, conformado por un conjunto de depresiones naturales que dieron origen a 6 lagunas temporales, y que se vieron modificadas por la adopción de algunas de ellas como cuerpos receptores y sistema de tratamiento de los efluentes cloacales provenientes de Trelew. Particularmente la laguna III, comúnmente llamada Laguna del caño, es la que recibe los efluentes cloacales (los cuales solo reciben tratamiento primario) y pluviales que puedan encontrarse conectadas a la misma red, impartiendo el primer tratamiento a los líquidos. De estudios realizados por Serra *et al.* (2006) se pudo determinar que el agua del mencionado cuerpo léntico presenta, entre otras características, una conductividad elevada y gran carga de materia orgánica y bacteriológica, coincidente con la primera etapa de depuración. Por su parte, la laguna IV se conecta mediante un canal a la que la precede, pero tiene características diferentes, entre las cuales se encuentran la mayor conductividad, mayor presencia de algas y consecuentemente una mayor concentración de oxígeno disuelto, mayor influencia de los vientos predominantes, y menor carga bacteriológica y de materia orgánica (*ibid*).

Con la descarga constante y creciente de efluentes, sumada a los aportes naturales de escorrentía y aguas subterráneas, las lagunas tomaron carácter permanente, comenzaron a actuar como sitios de recarga de las aguas subterráneas y aumentaron su superficie. Dentro de las problemáticas ambientales vinculadas a la disposición de estos efluentes cloacales se incluyen la inundación de diferentes áreas como consecuencia del aumento de la superficie lagunar, aumento en el nivel freático, salinización de aguas superficiales y subterráneas, entre otros (*ibid*). En relación a esto, se han encontrado meandros abandonados, lagunas en medialuna (paleocauces), y canales de riego cercanos perjudicados por el avance e infiltración de sus aguas, afectando el aprovisionamiento de agua de irrigación de diferentes sectores por años. La degradación del ecosistema y el paisaje en general también ocasionó una problemática social, debido a que las tierras que no se vieron inundadas se volvieron improductivas, lo que obligó a muchos propietarios de las zonas afectadas a cesar sus actividades productivas o a abandonar las tierras (March, 2016).

Ya que cada una de las problemáticas ambientales vinculadas al recorrido del CPN sugiere un posible impacto sobre el mismo, naturalmente se genera un interrogante sobre el estado de sus aguas y su aptitud para ser empleada para riego de cultivos. Por consiguiente, estas situaciones llevaron a plantear las siguientes premisas:

- Dada la problemática asociada al sistema lagunar y en relación a su cercanía al canal de riego, las lagunas III y IV estarían influyendo sobre las características del agua transportada por el CPN.
- La presencia del asentamiento informal sin conexión al sistema cloacal municipal en las proximidades del canal impactaría sobre el mismo.
- El entubamiento afectaría las características del agua transportada por el canal.

Si bien los organismos con incumbencia ambiental de la provincia llevan a cabo monitoreos sobre los canales de riego, usualmente se realizan con otros objetivos, de forma general en diferentes sitios, y no enfocándose en la influencia puntual que una ciudad o región ejerce sobre el cuerpo de agua, como se plantea en las premisas anteriores. La presente propuesta no se sustenta solo en la información suministrada por otros autores respecto de la problemática ambiental sino también en los indicios que llevan a formular los postulados planteados y los potenciales destinos de estas aguas, así como los posibles afectados por la utilización de las mismas. Para su desarrollo se realizó un plan de monitoreo que implicó el muestreo del cuerpo de agua y el posterior análisis de las muestras para determinar cómo influían la ciudad y los factores ambientales mencionados en las características químicas y biológicas del agua, a partir del cual se realizaron análisis estadísticos que permitieran evaluar las premisas planteadas y a la vez aportar herramientas para el monitoreo futuro. De esta forma el presente trabajo busca acrecentar los conocimientos vinculados al estado del CPN y contribuye a la toma de decisiones relacionadas a la gestión ambiental, optimizando los recursos y colaborando con los usuarios de este canal.

OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES

- Evaluar los cambios de las características del agua de riego del Canal Principal Norte a lo largo del paso por la ciudad de Trelew.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Hacer una revisión y sistematización de los datos obtenidos en relación al Canal Principal Norte en cercanías a Trelew.
- Realizar el análisis estadístico de los datos obtenidos.
- Evaluar si existen diferencias en los parámetros estudiados para los puntos de muestreo seleccionados.
- Determinar cuáles son los parámetros que influyen en el CPN y deberían priorizarse en futuros monitoreos.

METODOLOGÍA

CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio queda comprendida entre los 43°14'54.4" y 43°16'22.1" S y los 65°11'42.5" y 65°23'11.5" W, donde se emplaza el CPN a la altura de la ciudad de Trelew, Noreste de la provincia argentina de Chubut. Esta región se encuentra caracterizada por un elevado déficit hídrico, que se mantiene todo el año a excepción de los meses de junio y julio. Esto se debe a la sombra pluviométrica que genera la Cordillera de los Andes, sumado a las temperaturas propias de la región y los vientos persistentes que inciden en la zona (Coronato *et al.*, 2017), los cuales se intensifican en la época estival producto del acercamiento de los centros de bajas presiones subpolares y los centros de altas presiones subtropicales (Iamb, 1972). De hecho, en estudios realizados por Colombani y Gonzalez (2023) con datos de los últimos 50 años, se encontró que para la ciudad de Trelew la humedad media anual es de 57%, con valores mínimos promedios del 46% en enero y diciembre, y máximos promedios de 69% durante el mes de junio. A su vez las precipitaciones anuales son de 186,6mm, con picos máximos durante los meses de marzo, abril y mayo. En el mismo estudio se informa que las temperaturas medias anuales son de 13,4°C, con máximos promedio de 20,7° C en enero y mínimos promedio de 5,9°C en julio, y que durante dicho mes se registraron heladas con mayor frecuencia, siendo la fecha media de la primera del año el día 20 de abril y de la última el día 19 de octubre.

Los canales de riego, al igual que parte de Trelew, se ubican en la planicie de inundación del río Chubut, entre las bardas norte y sur que flanquean al mismo. Esta unidad geomorfológica relativamente moderna se desarrolló por la erosión del cauce y la deposición de los sedimentos fluviales, aunque también pueden encontrarse sedimentos marinos debido a las transgresiones marinas sufridas. En esta región los suelos encontrados pertenecen al orden de los Molisoles, que se desarrollan en regiones de climas templados, desde húmedos a semiáridos, según la herramienta de visualización web el sistema de información desarrollado por el INTA (GeoINTA¹). Estos suelos son jóvenes, con presencia de horizontes poco desarrollados que se forman a partir de sedimento mineral y cuentan con poco contenido de materia orgánica, la cual se acumula mayoritariamente en la superficie. Presentan principalmente estructura granular, textura arcillosa y predominancia de iones calcio, lo que lleva a una moderada a alta capacidad de intercambio catiónico (CIC) y elevado porcentaje de saturación de bases. Además suelen contar con horizontes enriquecidos con carbonato de calcio (CaCO₃), lo cual resulta ser una limitante en estos suelos. Dentro de este orden, se clasifica a los suelos de la región como Acuoles, que se desarrollan en áreas anegables o bajas y están afectados por el exceso hídrico. Según Hernández *et al.* (1983) los elementos litológicos existentes en la región de estudio son de tipo acuitardos y acuicludos que cuentan con aguas

¹ <https://ide.ign.gob.ar/>

caracterizadas por su salinidades medias y altas según la zona. Si bien estas formaciones se recargan del agua procedente de precipitaciones, del Río Chubut, de los canales de riego (cuando se encuentra habilitada su recarga e incluso meses luego de su cierre) y de regadío, el alto contenido de sales otorgados por depósitos marinos en el subsuelo determina la salinidad elevada mencionada anteriormente.

PLAN DE MONITOREO

En el marco del Convenio de Pasantías no Rentadas celebrado entre el ex Ministerio de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable (actual Secretaría, SAyCDS) y la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, quien presenta este trabajo desarrolló un proyecto de capacitación en la Dirección de Laboratorio mediante una pasantía encuadrada en la Ley N°26.427. Dicha pasantía se llevó a cabo con el objetivo de participar y colaborar en la planificación de muestreos, la realización de los mismos, y el posterior tratamiento y análisis de las muestras obtenidas. En este contexto es que se planteó el estudio aquí presentado.

Inicialmente se realizaron búsquedas bibliográficas y periodísticas con el fin de obtener información que permita caracterizar el contexto socio-histórico así como económico en el que se crearon los canales y particularmente, el CPN. En base a la información recopilada se determinó qué parámetros debían ser determinados y qué sitios resultaba conveniente establecer como puntos de muestreo que permitiera confirmar si existía un impacto de los factores descriptos previamente en el canal de riego, priorizando aquellos que también fueran accesibles y seguros. Esto último se confirmó mediante una salida a campo previa a la apertura de los canales.

Con la información recabada, y buscando poner a prueba las premisas planteadas en la introducción, se diseñó un plan de monitoreo que consistió en la toma de muestras puntuales de 4 sitios diferentes. El primer sitio se ubicó a las afueras de Trelew, a 4 km aproximadamente antes de llegar al entubamiento. Se seleccionó como sitio 2 el punto de finalización del entubamiento donde el agua comenzaba a movilizarse nuevamente en su cauce, ubicado sobre la Av. Eva Perón. El sitio 3 se ubicó sobre la Ruta Nacional N° 3, luego de haber transitado el último tramo de la zona urbana de la ciudad. Finalmente, el sitio 4 se situó sobre la Ruta Provincial N°7, en este punto el canal ya realizó su aproximación a las lagunas y se aleja de la misma hacia la ciudad de Rawson. A continuación, se presenta el detalle de las coordenadas de los sitios de muestreo (Tabla 1) y la ubicación de las mismas en el mapa del valle (Figura 3).

Sitio de Muestreo	S	W
Sitio 1: antes del ingreso a Trelew	43°16'22.1"S	65°23'11.5"O
Sitio 2: salida del entubamiento	43°14'55"S	65°17'25.2"O
Sitio 3: punto ubicado sobre la ruta 3 antes de Laguna Negra, luego de pasar por el B° Guayra y una serie de descampados	43°14'54.4"S	65°16'23.5"O
Sitio 4: posterior a la aproximación del canal a la Laguna	43°16'3.8"S	65°11'42.5"O

Tabla 1. Ubicación geográfica de los puntos muestreados y su denominación



Figura 3. Mapa de Trelew con los sitios muestreados. Nota: Adaptado de [Trelew], de Google, s.f., <https://www.google.com/maps/place/Trelew,+Chubut/@-43.2632968,-65.3954508,12z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0xbe0144b6cf6769bb:0x9cbd6c76af132e0d!8m2!3d-43.2493016!4d-65.3076351!16zL20vMDM3Nm4?entry=ttu>. Todos los derechos reservados 2024 por Google. Adaptado con permiso del autor.

Inicialmente los muestreos fueron programados para ser efectuados cada dos semanas, pero esta periodicidad debió ser modificada en varias oportunidades por cuestiones logísticas. Por este motivo se especifican a continuación las fechas de muestreo (Tabla 2):

N° de muestreo	Fechas de muestreo:
1	1/09/2022
2	3/10/2022
3	17/10/2022
4	7/11/2022
5	22/11/2022
6	14/12/2022
7	9/01/2023
8	23/01/2023
9	6/02/2023
10	28/02/2023
11	20/03/2023

Tabla 2. Fechas en las que se efectuó cada muestreo

Para obtener muestras representativas de cada sitio se buscó tomar las mismas del centro del lecho, donde la velocidad del agua es mayor. Además, se tomaron los recaudos necesarios para hacer una correcta manipulación y almacenamiento de forma que no se alteren antes de realizar los análisis necesarios: procurando realizar 3 enjuagues del recipiente que contendría el agua previo a la toma; usando los envases correctos para cada parámetro a determinar, eliminando o permitiendo la formación en estos de una cámara de aire cuando fuese necesario y tratando de mantener las muestras a la temperatura correcta (American Public Health Association *et al*, 2023).

En cada sitio se midieron *in situ* temperatura, pH y conductividad mediante sonda multiparamétrica OAKTON PC450 y oxígeno disuelto (en porcentaje y en mg/L) mediante sonda YSI 550a, registrándose los valores en planillas de muestreo. Seguidamente se tomaron las muestras y fueron llevadas al laboratorio, donde se determinaron los parámetros especificados en la Tabla 3, mediante las técnicas allí especificadas. En el Anexo I puede encontrarse una breve descripción de cada una de las técnicas.

Parámetro	Método	Recipiente	
Temperatura (° C)	Medición in situ con sonda OAKTON PC450	-	
pH	Medición in situ con sonda OAKTON PC450	-	
Conductividad eléctrica (µS/cm)	Medición in situ con sonda OAKTON PC450	-	
Oxígeno Disuelto (mg/L)	IRAM 29009 sonda YSI 550a	-	
Oxígeno Disuelto %	IRAM 29009 sonda YSI 550a	-	
Cloruros (mg/L)	SM 4500 Cl B	Bidón de plástico De 5 L	
Dureza (CaCO ₃) (mg/L)	SM 2340 C		
Calcio (mg/L)	SM 2500-Ca B		
Magnesio (mg/L)	SM 3500-Mg B		
Sol. Susp. Totales 103°-105°C (mg/L)	SM 2540 D		
Sólidos Sedimentables (10, 60 y 120 minutos). (ml/L)	SM 2540 F		
Sólidos Totales 105°C (mg/L)	SM 2540 B		
Sólidos Fijos (mg/L)	SM 2540 E		
Sólidos Volátiles (mg/L)	SM 2540 E		
Sólidos disueltos (mg/L)	SM 2540 C		
Sodio (mg/L)	SM 3500-Na B		
Potasio (mg/L)	SM 3500-K B		
DBO ₅ (mg O ₂ /L)	SM 5210 B		Botella Winkler de 300 ml
DQO (mg O ₂ /L)	HACH 8000		Botella plástica de 200 ml
Coliformes Totales (NMP/100 ml)	Técnica del Número más Probable - SM 9221 B	Frascos esterilizados de plástico	
Coliformes Fecales (NMP/100 ml)	Técnica del Número más Probable - SM 9221 E		
Escherichia coli (NMP/100 ml)	Técnica del Número más Probable - SM 9221 F		
Enterococos Fecales (NMP/100 ml)	Técnica del Número más Probable - Rothe/Litsky		

Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos y bacteriológicos con sus respectivos métodos de determinación y recipientes utilizados para contener las muestras.

Las determinaciones de la concentración de sodio y de potasio y los parámetros bacteriológicos comenzaron a realizarse a partir del segundo muestreo debido a dificultades en la disponibilidad de reactivos.

Todos los elementos, instrumentos y reactivos necesarios para esta práctica fueron provistos por el Laboratorio Ambiental de la Secretaria de Ambiente y Control del Desarrollo Sustentable, así como los vehículos para movilizarse.

ANÁLISIS DE LOS DATOS

Los resultados de los análisis fueron ordenados y clasificados de acuerdo al punto de muestreo donde se obtuvieron y la fecha en la que se efectuó el muestreo, generando así una matriz de 1076 datos cuantitativos que se componen de 25 variables medidas por cada sitio obtenidos a lo largo de 11 muestreos, exceptuando los parámetros bacteriológicos, sodio y potasio que comenzaron a determinarse a partir del segundo muestreo. Los análisis gráficos se realizaron utilizando los softwares Excel 2013 (Microsoft Corporation, 2013), Grapher (Golden Software, Inc., 2011) y el paquete estadístico R versión 4.3.1 (R Core Team, 2023).

En R se realizaron Análisis de la Varianza (ANOVA) de una vía para comparar las medias de los parámetros en los diferentes sitios y detectar si existen diferencias significativas entre ellas. Este se complementó con un Test de Tukey, que realiza comparaciones múltiples permitiendo identificar cuáles sitios son estadísticamente similares y cuáles diferentes. Para realizar un Análisis de Varianza, los datos deben cumplir con tres supuestos: la independencia de los datos, que se distribuyan normalmente y que presenten homocedácea (misma varianza). Para comprobar los últimos dos se utilizaron los test de Shapiro-Wilk y test de Bartlett, respectivamente (Montgomery, 2004). En los casos en los que los datos no cumplieron con al menos uno de estos supuestos se recurre a pruebas no paramétricas como el test de Kruskal-Wallis y test de Dunn, semejantes a las pruebas paramétricas mencionadas (Walpone *et al.*, 2007). En todos los casos se trabajó con un nivel de significancia del 0.05. Es decir que, para cualquiera sea la prueba estadística realizada, en caso de obtener un valor p menor a 0.05, se rechaza la correspondiente hipótesis nula planteada.

Se realizó además Análisis de Componentes Principales (PCA, Principal Components Analysis), un tipo de análisis multivariado que busca simplificar la comprensión de la información recabada, describir la relación entre las variables y, en este caso, encontrar agrupamientos en base a la similitud de los datos, considerando todas las variables determinadas (Palacio *et al.*, 2020). De esta forma se evaluó si era posible formar grupos de acuerdo al sitio de muestreo y el mes en que estos fueron efectuados. Esto se logra a través de la representación de las variables de estudio mediante otras, llamadas componentes principales, que son hipotéticas y no presentan correlación entre sí.

Un resumen de los análisis realizados puede encontrarse en la Tabla 4.

Prueba	Tipo de prueba	Objetivo
Shapiro-Wilk		Comprobación de distribución normal de los residuos del set de datos
Bartlett		Comprobación

		homocedácea de los residuos del set de datos
ANOVA de una vía	PARAMÉTRICA (aplicada a datos independientes, con distribución normal y homocedácea)	Comprobación de diferencias entre grupos de tratamientos
Test de Tukey	PARAMÉTRICA (aplicada a datos independientes, con distribución normal y homocedácea)	Identificación de tratamientos diferentes
Kruskal-Wallis	NO PARAMÉTRICA (aplicada a datos que no cumplen con alguno de los supuestos requeridos por las pruebas paramétricas)	Comprobación de diferencias significativas entre grupos de tratamientos
Test de Dunn	NO PARAMÉTRICA	Identifica diferencias entre los tratamientos
PCA		Identificación de agrupación de individuos

Tabla 4. Resumen de las pruebas y análisis estadísticos realizados.

RESULTADOS

La apertura de las compuertas de Boca Toma que dio inicio al llenado de los canales en el año 2022 se realizó el día 16 de agosto, por lo que al momento de realizar el primer muestreo, el día 2 de septiembre, habían pasado 17 días de este evento. En dicho muestreo se encontró al CPN transportando bajo caudal de agua, siendo su nivel y velocidad menores de lo usual. Con el paso del tiempo estas condiciones fueron cambiando, percibiéndose además mayor limpidez, lo cual permitió apreciar el crecimiento de la biomasa vegetal en el lecho del canal. El contraste entre las condiciones en la que se encontraba el canal al inicio y sobre el final del periodo de estudio se exhibe en la Figura 4.

Sitio 1 – 1° de septiembre



Sitio 1 – 28 de Febrero



Sitio 2 – 1° de septiembre



Sitio 2 – 28 de febrero



Sitio 3 – 1° de septiembre



Sitio 3 – 28 de febrero



Sitio 4 – 1° de septiembre



Sitio 4 – 28 de febrero



Figura 4. Condiciones en las que se encontraban los diferentes sitios muestreados durante en el primer muestreo y el anteúltimo.

ANÁLISIS DESCRIPTIVO

CONDUCTIVIDAD

Las condiciones atípicas observadas en el primer muestreo no solo se vieron reflejadas en el caudal sino también en la composición del agua transportada. Para el caso de la conductividad, los valores fueron muy diferentes según el sitio considerado, siendo el valor más extremo el del sitio 3, que presentó resultados 11 veces superior que el promedio de los muestreos posteriores. Esta variación puede observarse en la Figura 5, donde además, como consecuencia de la escala utilizada para visualizar todos los datos, se vuelve dificultosa la detección a simple vista de diferencias entre sitios o de variaciones temporales. A pesar de esto, en principio se advierte que la conductividad medida en septiembre en el sitio 1 fue muy diferente a los demás.

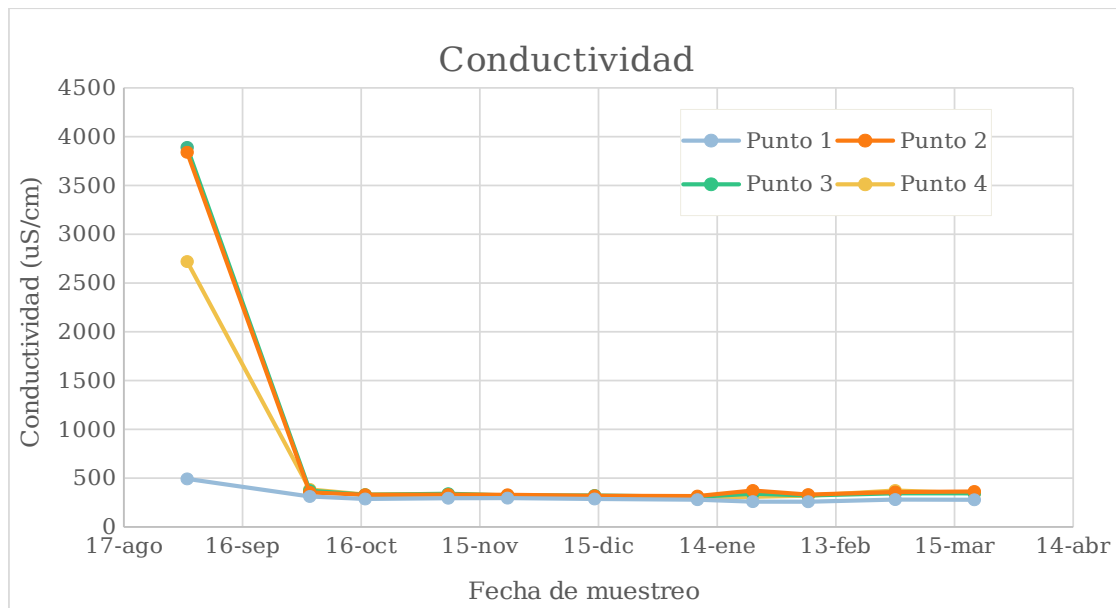


Figura 5. Conductividad medida en cada muestreo realizado.

Como se consignó en la sección metodológica, es necesario evaluar los supuestos de normalidad y homocedácea para establecer las pruebas estadísticas que pueden realizarse sobre estos datos. Esto permitió determinar que los datos obtenidos para la conductividad no presentan distribución normal ni homocedácea ($W = 0.31945$, $p\text{-value} = 5.244E-13$; Bartlett's K-squared = 42.536, $p\text{-value} = 3.088E-09$), de modo que no es posible realizar un Análisis de Varianza. Si bien podrían realizarse pruebas no paramétricas en esta situación para comparar los sitios, siempre que fue posible se recurrió a ANOVA dada su robustez. Por lo tanto, se insistió en el análisis de los supuestos excluyendo los valores obtenidos durante el primer muestreo, ya que son los que aportan mayor variabilidad (SD con los datos de septiembre = 818.3693; SD sin los datos de septiembre = 30.91079). Además, teniendo en cuenta los objetivos establecidos para esta práctica y que esos valores no reflejan la composición típica del agua de este canal, no se consideró necesaria la incorporación de estos datos en el set a analizar.

Si se realiza un corte en el eje de las abscisas se obtiene el gráfico de la Figura 6, donde se aprecia con mayor claridad que en el punto 1 siempre se registraron valores menores que en los demás sitios.

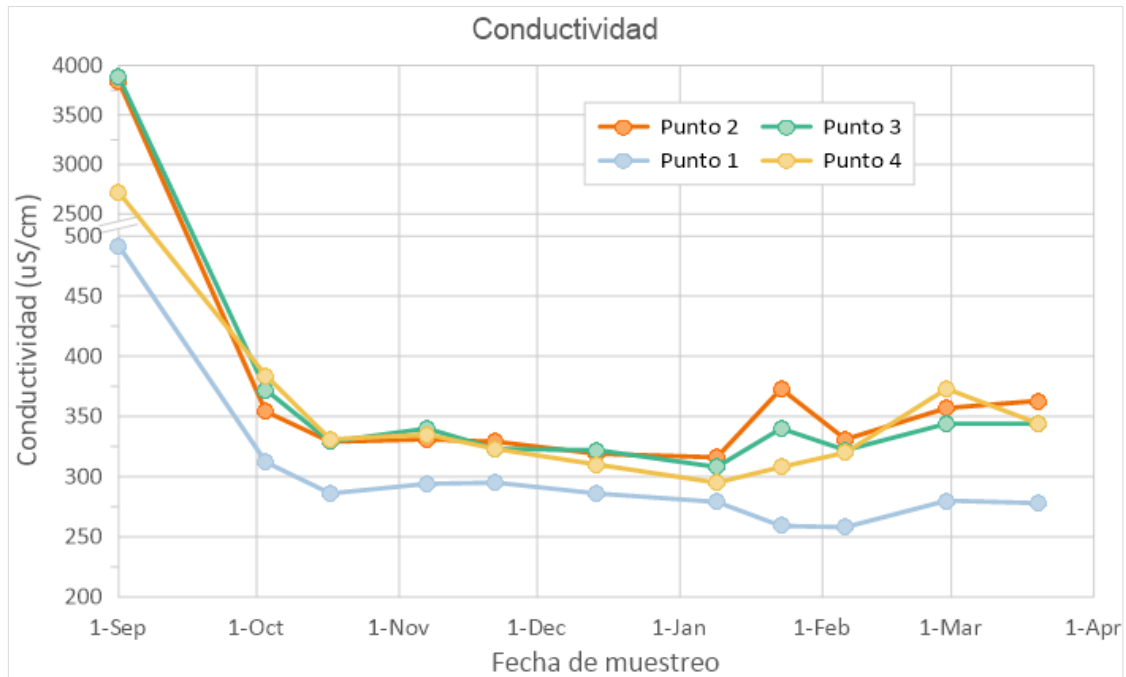


Figura 6. Conductividad medida en los cuatro sitios. Nótese el corte en el eje de las abscisas entre los valores de 500-2500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

De esta forma, quitando los datos del primer muestreo, se realizaron nuevamente las pruebas para evaluar los supuestos, pudiendo comprobar que los datos presentan distribución normal ($W = 0.97952$, $p\text{-value} = 0.6716$) y homocedácea (Bartlett's $K\text{-squared} = 3.34$, $p\text{-value} = 0.3421$). El ANOVA señala la existencia de diferencias significativas de al menos uno de los puntos de muestreo ($F = 16.098$; $p\text{-value} = 8.42\text{E-}07$) y el test de Tukey indica que el primer sitio es el que difiere de los restantes, como se muestra en la Figura 7.

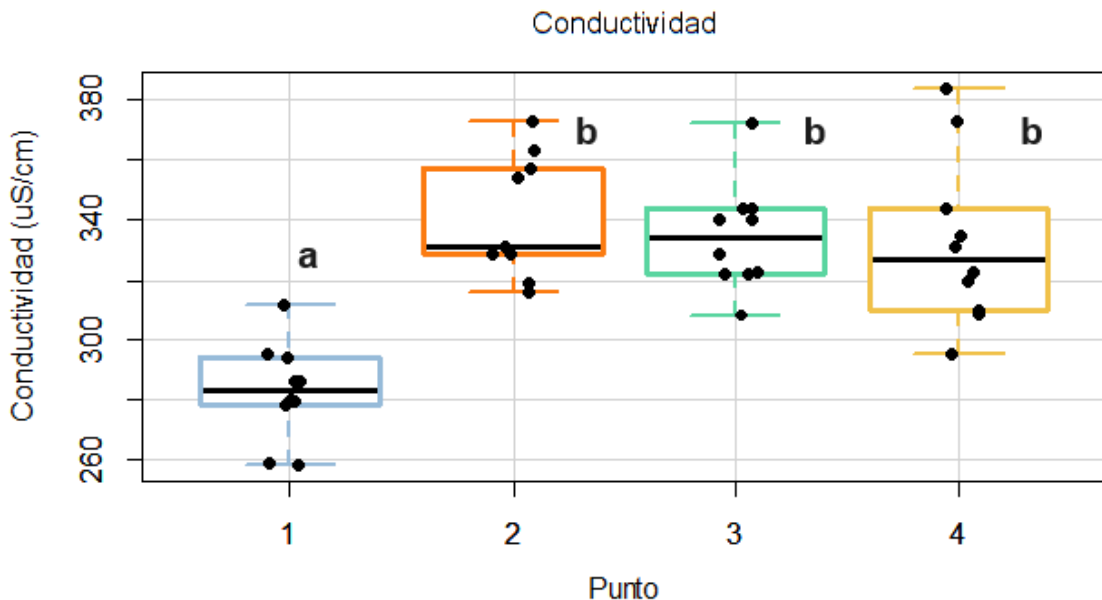


Figura 7. Boxplot de los datos de conductividad obtenidos sin considerar las mediciones del mes de septiembre.

IONES MAYORITARIOS

De manera coincidente con la conductividad, las concentraciones de iones calcio, magnesio (y por lo tanto la dureza del agua), y cloruro también fueron mucho más

elevadas en las muestras obtenidas durante primer muestreo que las obtenidas posteriormente a este. Por tal motivo y a fin de simplificar la interpretación de los datos, los parámetros mencionados fueron representados realizando cortes en el eje de las abscisas que permitieran visualizar las variaciones entre los datos. Los gráficos completos pueden encontrarse en el Anexo II, al igual que las tablas con los resultados obtenidos para todas las determinaciones realizadas.

De esta forma, se encontró con frecuencia que las muestras obtenidas en los sitios 2, 3 y 4 presentaron concentraciones mayores de los iones estudiados que las obtenidas en el sitio 1. Esto puede observarse en la Figura 8, donde se encuentran representados los resultados de las determinaciones de dureza del agua, y donde además se distingue que para el sitio 4 hubo dos ocasiones en las que se detectó una reducción de este parámetro, resultando menor a la determinada para el sitio 1.

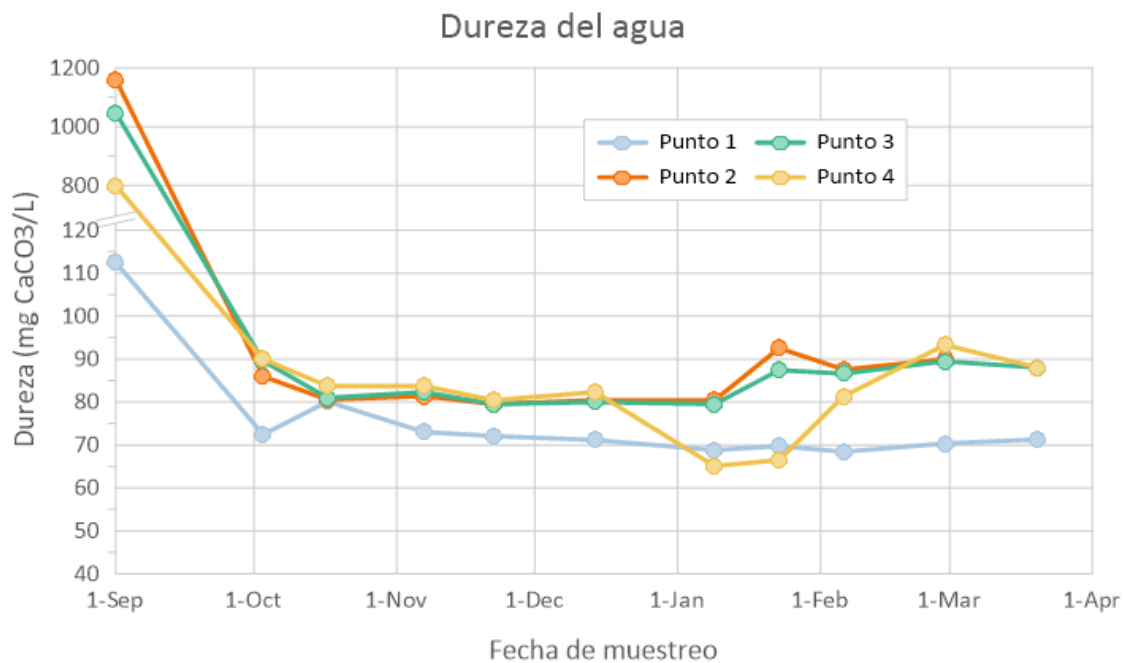


Figura 8. Resultados de las determinaciones de dureza del agua de todos sitios. Nótese el corte del eje entre los valores 120-800 mg CaCO₃/L

En este caso, al realizar las pruebas correspondientes para verificar los supuestos de normalidad y homocedácea, los resultados derivaron en que estos no se cumplen ($W=0.3147$, $p\text{-value} = 4.712E-13$; Bartlett's K-squared = 50.015, $p\text{-value} = 7.932E-11$) incluso removiendo los datos obtenidos en el mes de septiembre ($W = 0.94265$, $p\text{-value} = 0.04251$; Bartlett's K-squared = 10.941, $p\text{-value} = 0.01205$). Por esto se realizó una prueba de Kruskal-Wallis utilizando todos los resultados obtenidos a lo largo del periodo de muestreo y se comprobó la existencia de diferencias significativas entre los sitios (chi-squared = 12.216, $p\text{-value} = 0.00668$). Esta se complementó con una prueba de Dunn, la cual indicó que el sitio 1 difiere de los sitios 2 ($z=-3.05547$; $p\text{-value}= 0,0011$), 3 ($z=-2.86450$; $p\text{-value}=0,0021$) y 4 ($z=-2.54899$, $p\text{-value}=0,0054$) de forma significativa. Los agrupamientos realizados por este test y la distribución de los datos obtenidos se ilustran en la Figura 9.

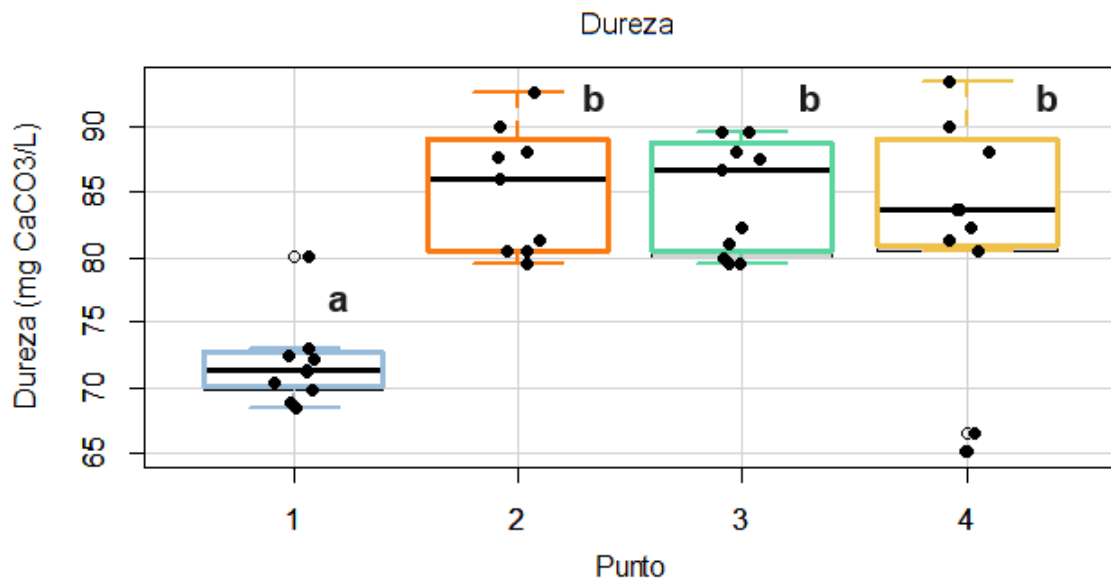


Figura 9. Boxplot con la distribución de los datos de dureza de los diferentes sitios y su agrupamiento según los resultados del test de Tukey indicado con letras. Los círculos negros representan en la escala el resultado de cada muestra y los outliers pueden observarse como círculos negros acompañados en algunos casos de un círculo blanco. Para la realización de este gráfico no se tuvieron en cuenta los datos del muestreo del día 2 de septiembre.

La dureza del agua se encuentra compuesta principalmente por la concentración de iones calcio, lo cual explica el comportamiento similar que tuvieron estas dos variables a lo largo del tiempo, tal como se presenta en la Figura 10.

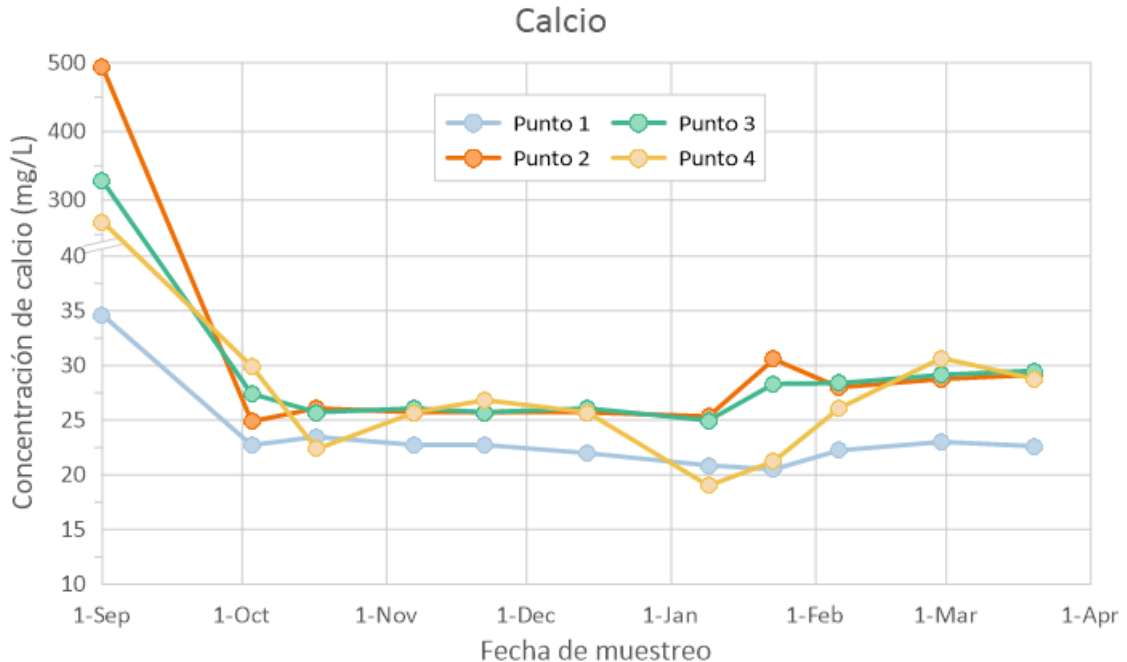


Figura 10. Resultados de las determinaciones de calcio a lo largo de los muestreos en los diferentes sitios. Nótese el corte del eje entre los 40 y 250 mg Ca²⁺/L

Dado que los datos no presentan homogeneidad de varianza incluso removiendo los datos del primer muestreo (Bartlett's K-squared = 16.473, p-value = 0.0009069), se efectuó un test de Kruskal-Wallis que indicó diferencias significativas entre los sitios (chi-squared = 12.948, p-value = 0.004751). El test de Dunn permitió determinar que

las concentraciones de calcio para el sitio 1 son diferentes respecto de las del sitio 2 ($z = -3.055475$, $p\text{-value} = 0.0011$), el 3 ($z = -2.864508$, $p\text{-value} = 0.0021$) y el 4 ($z = -2.548997$, $p\text{-value} = 0.0054$), como se muestra en la Figura 11.

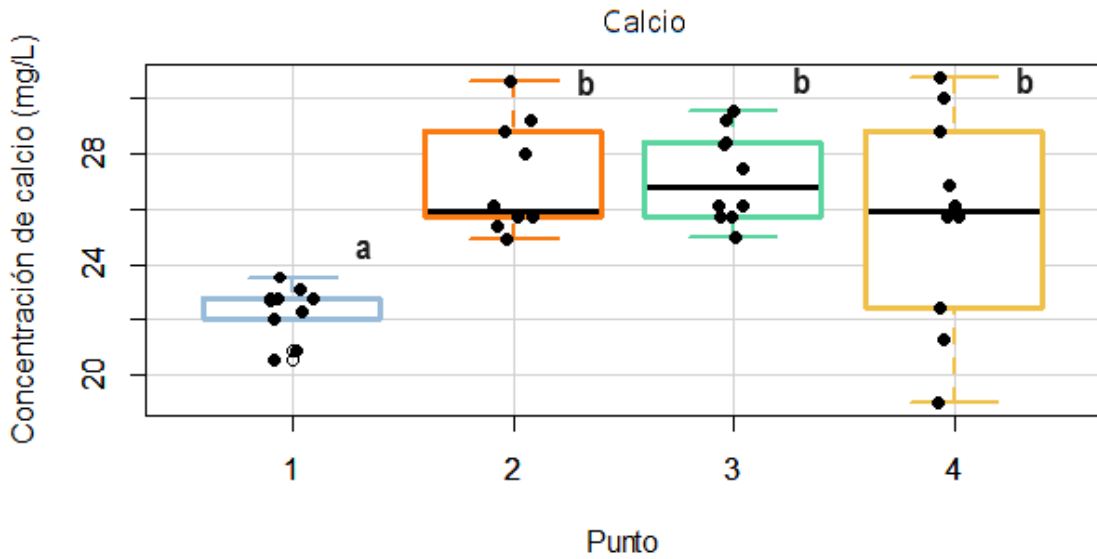


Figura 11. Boxplot con los resultados de las determinaciones de calcio para los diferentes sitios, sin considerar los del primer muestreo. Se indica el agrupamiento realizado por el test de Tukey con letras. Cada círculo negro representa un dato obtenido y los outliers pueden observarse en algunos casos como acompañados de un círculo blanco.

En cuanto a las concentraciones de cloruros, puntualmente en el sitio 1 se observa una tendencia a reducirse en el tiempo, lo cual no es tan evidente en los demás sitios. Esto puede observarse en la Figura 12.

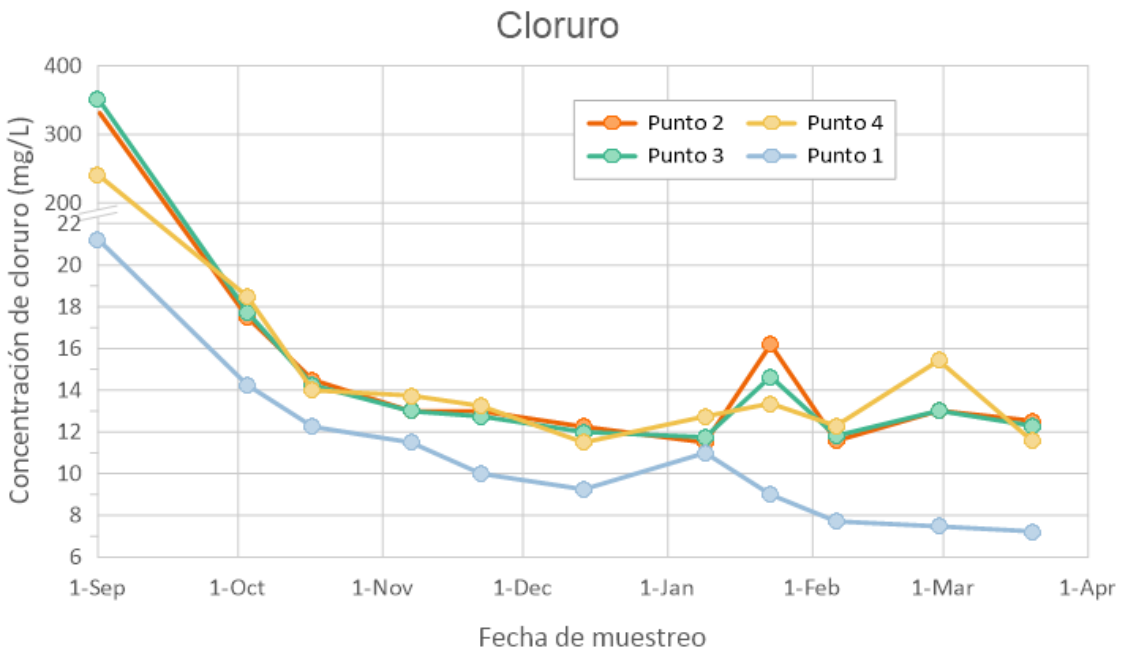


Figura 12. Resultados de la determinación de la concentración de cloruro en el agua en los cuatro sitios. Nótese el corte del eje entre los valores de 22 y 200 mg Cl/L.

Para este parámetro se cumplieron los supuestos de normalidad y homocedácea al eliminar los datos de septiembre ($W = 0.95575$, $p\text{-value} = 0.1197$; Bartlett's K-squared = 0.44655, $p\text{-value} = 0.9305$), por lo que pudo efectuarse un ANOVA y un test de Tukey, que indicaron que la diferencia es significativa ($F = 7.4334$; $p\text{-value} =$

0.0005359) y que es el punto 1 el que difiere respecto de los demás, como se muestra en la Figura 13.

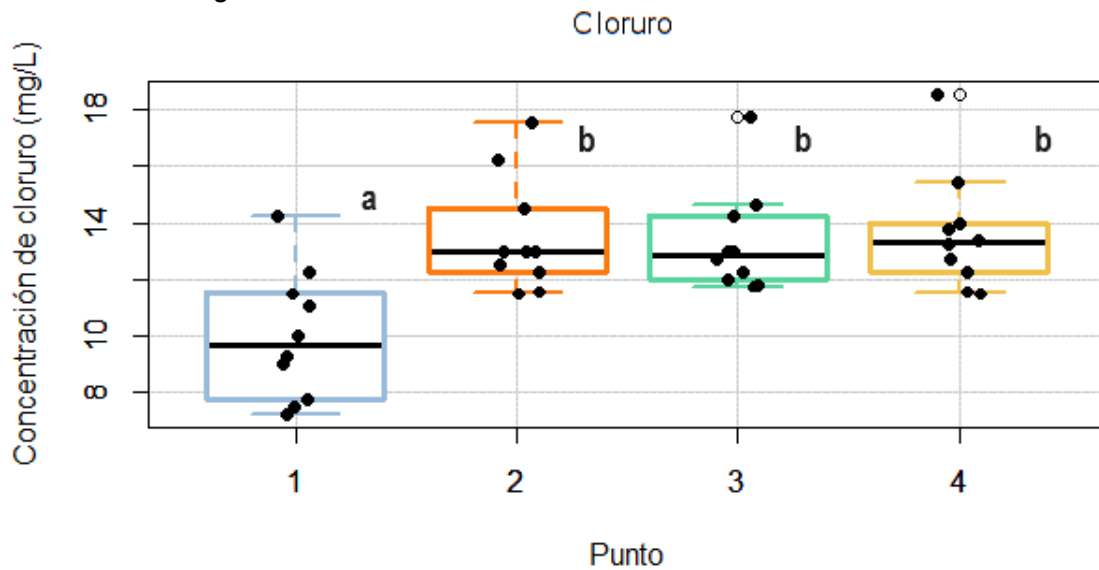


Figura 13. Boxplot de las concentraciones de cloruro determinadas para los diferentes sitios y su agrupamiento según los resultados del test de Tukey indicado con letras. Cada resultado es representado con un círculo negro y los outliers pueden observarse en algunos casos acompañados de un círculo blanco. Para la realización de este gráfico no fueron considerados los datos del primer muestreo.

A diferencia de la concentración de cloruros, la concentración de sodio no presenta una tendencia tan evidente a la disminución a lo largo del tiempo. El gráfico donde esto se evidencia puede encontrarse en el Anexo II. En esta oportunidad pudo realizarse un ANOVA que indicó que los sitios son significativamente diferentes ($F=4.3646$; $p\text{-value}=0.01013$), aunque el test de Tukey mostró desviaciones en cuanto a las similitudes de los sitios respecto de los parámetros analizados previamente. El resultado de este test se encuentra representado en la Figura 14.

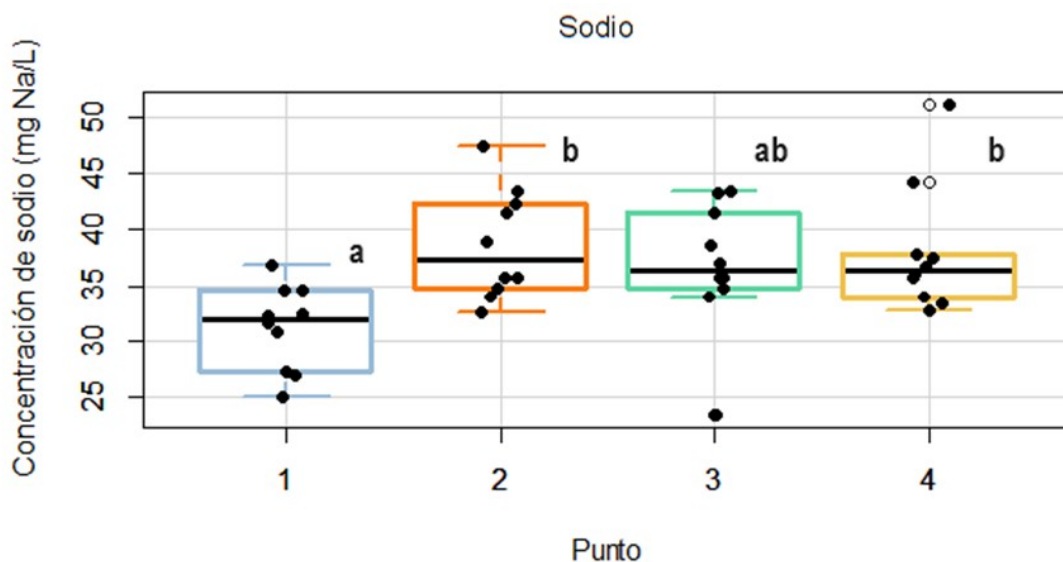


Figura 14. Boxplot con las concentraciones de sodio por sitio y el agrupamiento de acuerdo al test de Tukey representado con letras. Los círculos negros representan en la escala cada resultado obtenido y los outliers pueden observarse en algunos casos acompañados de un círculo blanco. Debido a que la determinación de este parámetro no fue realizada en el primer muestreo, no se incluyen en el gráfico datos correspondientes al mismo.

En relación a la concentración de potasio, el test de Kruskal-Wallis indica que no existen diferencias significativas entre los sitios muestreados (chi-squared = 3.2904, p-value = 0.349) y tampoco se observaron diferencias en relación a la concentración de magnesio (chi-squared = 0.64043; p-value=0.8871). En cuanto al RAS, que se obtiene a partir de las concentraciones de calcio, magnesio y sodio, los análisis estadísticos tampoco señalaron diferencias entre los sitios (F= 1.086, p-value= 0.367). Los gráficos correspondientes a estos parámetros se encuentran en el Anexo II.

SÓLIDOS

De igual forma que con los iones, los resultados de las determinaciones de los diferentes tipos de sólidos presentes en las muestras fueron mucho más elevados en aquellas obtenidas en septiembre. Particularmente, los resultados de los sólidos totales se presentan en la Figura 15. En este caso también fue necesario realizar un corte en el eje de las abscisas, pero el gráfico completo se encuentra disponible en el Anexo II.

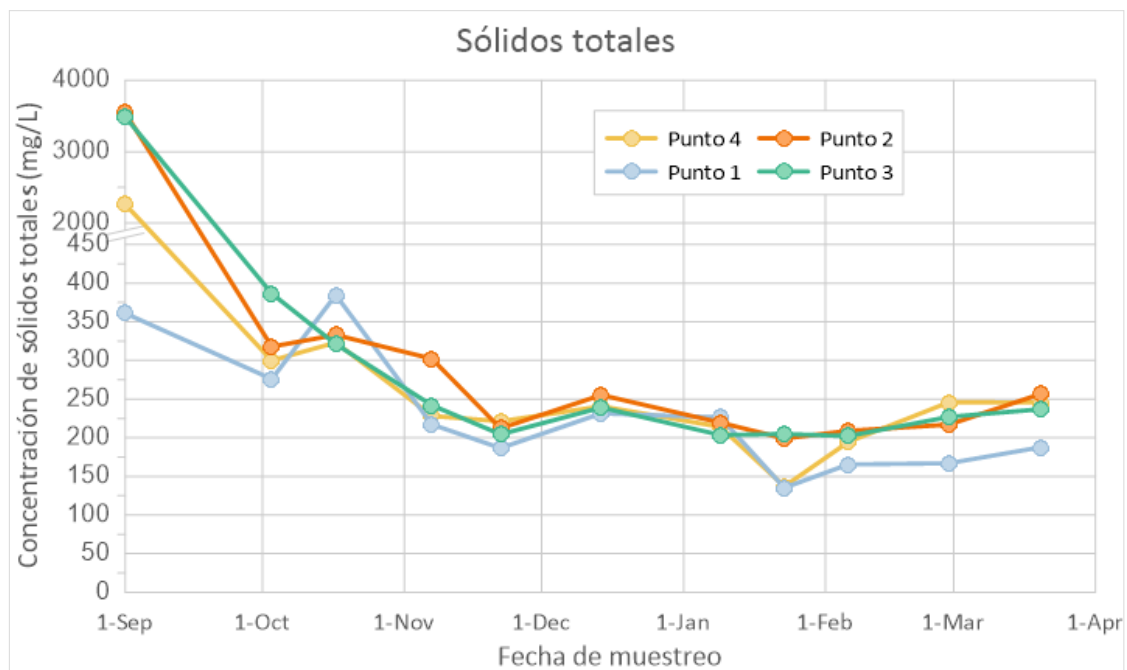


Figura 15. Resultados de la determinación de la concentración de cloruro en el agua en los cuatro sitios. Nótese el corte del eje entre los valores de 450 y 2000 mg/L.

En todos los sitios se observó una tendencia general de los sólidos totales a disminuir su concentración a lo largo del período muestreado, así como oscilaciones que pudieron deberse a las frecuentes precipitaciones que acontecieron la primavera del 2022. Tanto la concentración de sólidos totales como las de los demás sólidos determinados (sólidos totales fijos y volátiles; sólidos disueltos totales, fijos y volátiles; y suspendidos) no presentaron diferencias significativas entre los sitios tras realizarse la prueba de Kruskal-Wallis.

DETERMINACIONES DE PARÁMETROS ORGÁNICOS Y BIOLÓGICOS

La existencia de valores anómalos al inicio del muestreo pudo verse reflejada también al evaluar la DBO, pero esta vez los valores no resultaron tan extremos como en los casos anteriores, lo cual se encuentra representado en la Figura 16. Asimismo se observa que las muestras tomadas entre noviembre y mediados de enero presentaron valores más altos de DBO en el sitio 4, que posteriormente se redujo coincidiendo con los de los demás sitios.

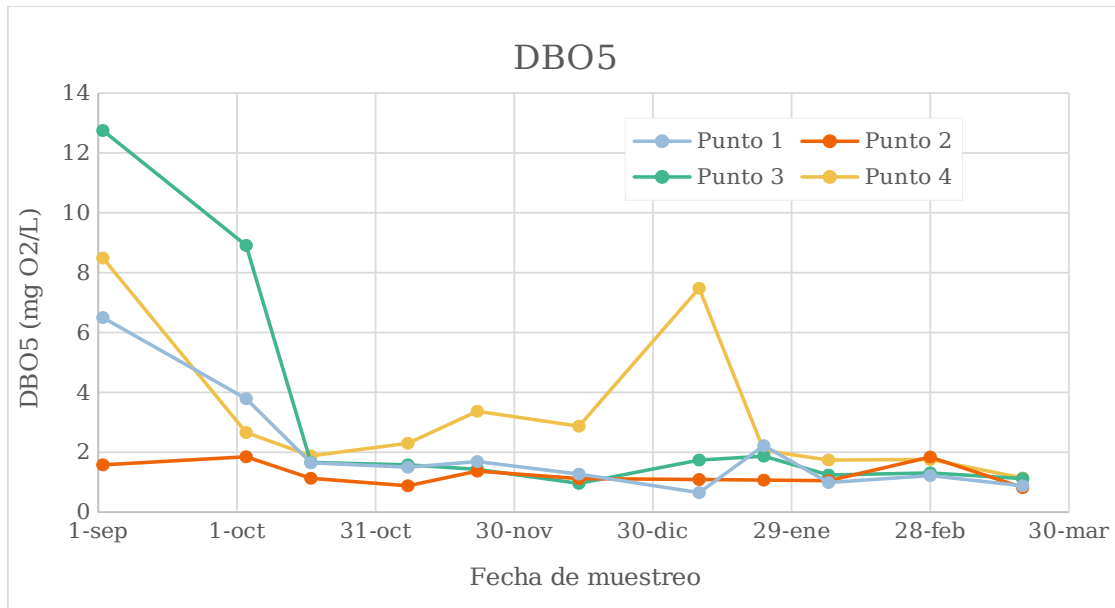


Figura 16. DBO determinada a lo largo de los muestreos.

Al realizar una prueba de Dunn, se halló que las diferencias fueron significativas entre el sitio 4 y los sitios 1 ($w = -2.332216$, $p\text{-value} = 0.0098$), 2 ($w = -3.494175$, $p\text{-value} = 0.0002$) y 3 ($w = -1.742937$, $p\text{-value} = 0.0407$), como se observa en la Figura 17.

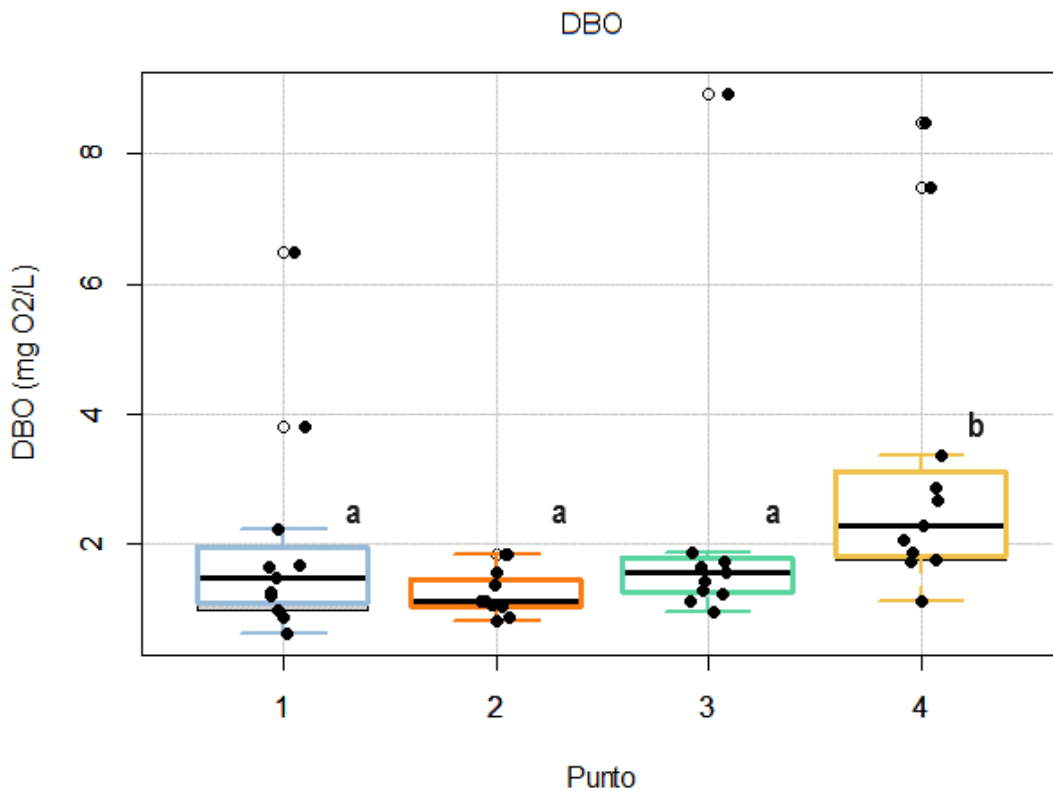


Figura 17. Boxplot realizado para las determinaciones de DBO por sitio y el agrupamiento de acuerdo a los resultados del test de Tukey, indicado con letras. Cada resultado es representado con un círculo negro, y los outliers pueden encontrarse acompañados de un círculo blanco.

Para el caso de la DQO, el test de Kruskal-Wallis indicó que las diferencias resultaron ser no significativas ($\chi^2 = 2.8077$, $p\text{-value} = 0.4222$). El gráfico correspondiente a su variación en el tiempo puede encontrarse en el Anexo II.

En lo que respecta a los parámetros bacteriológicos (que incluyen la estimación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales, enterococos y *E. coli* en 100ml) en ninguno se encontraron diferencias entre sitios, observándose variaciones entre los muestreos y aumentos en forma de pulsos. Los gráficos correspondientes a cada uno de ellos también pueden visualizarse en el Anexo II.

OXÍGENO DISUELTO Y pH

Otro parámetro medido *in situ* durante los muestreos fue el oxígeno disuelto, cuya concentración se midió tanto en mg/L como porcentaje de saturación. Los resultados de estas mediciones se encuentran en la Figura 18, donde puede identificarse que en los puntos 3 y 4 el agua presentó con mayor frecuencia sobresaturación de oxígeno (81,81% de los muestreos para ambos casos) comparado con los sitios 1 y 2 (21,27% y 18,18% de los muestreos, respectivamente), aunque siempre se registraron porcentajes de OD por encima del 85%. Particularmente el día 23 de enero en el sitio 4 el OD fue tan elevado que no pudo determinarse el porcentaje de saturación, debido a que se superó el rango de lectura del instrumento de medición.

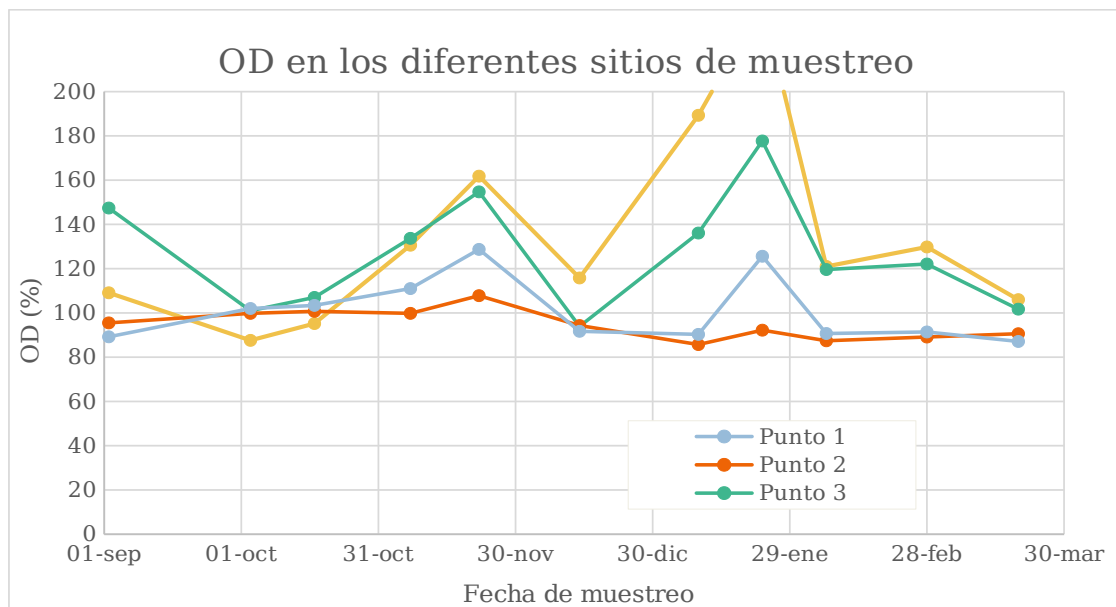


Figura 18. Resultados de las mediciones de OD en cada punto, expresado en porcentaje. Nótese el faltante del valor correspondiente al 23 de enero en el sitio 4 por superarse el rango de lectura del instrumento de medición.

Debido a este dato faltante es que se decidió utilizar el oxígeno disuelto expresado en mg/L para realizar los análisis estadísticos. Los resultados de las mediciones se encuentran representados en la Figura 19.

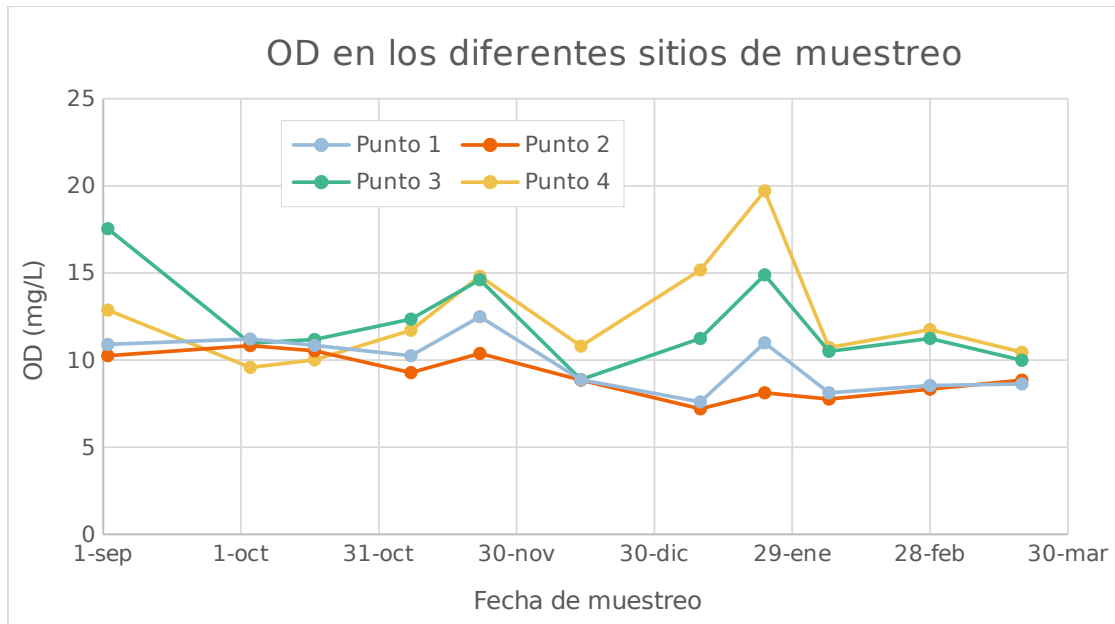


Figura 19. Resultados de las mediciones de OD en cada punto, expresado en mg/L

Se realizó un ANOVA que confirmó la existencia de diferencias significativas entre los sitios ($p\text{-value}=0.00139$) y el test de Tukey indicó diferencias entre los sitios 2 y 4, mientras que los valores obtenidos en los sitios 1 y 3 tiene similitudes con los dos anteriores. Este resultado se ilustra en el boxplot de la Figura 20.

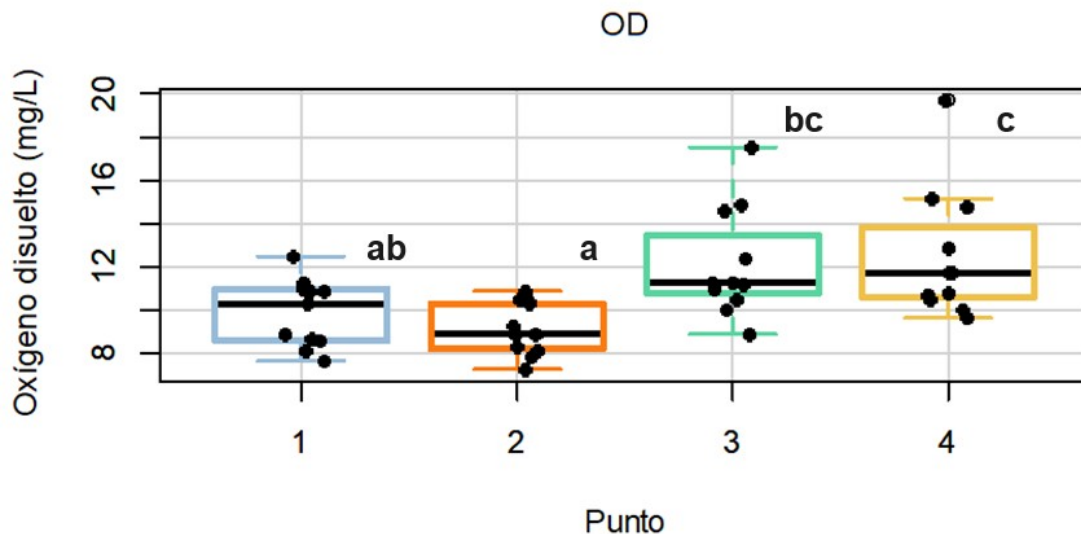


Figura 20. Boxplot de la distribución de las mediciones de OD y la agrupación realizada por el test de Tukey. Los círculos negros representan en la escala el valor de cada dato y los outliers pueden observarse en algunos acompañados de un círculo blanco.

Como se mencionó anteriormente, durante todos los muestreos también fue determinado *in situ* el pH del agua, cuyos resultados se encuentran representados en la Figura 21. En este caso se encontró que los valores más altos fueron registrados en el sitio 4, pero no se observaron diferencias significativas entre los sitios ($F=1.783$, $p\text{-value}=0.166$) al realizar el ANOVA.

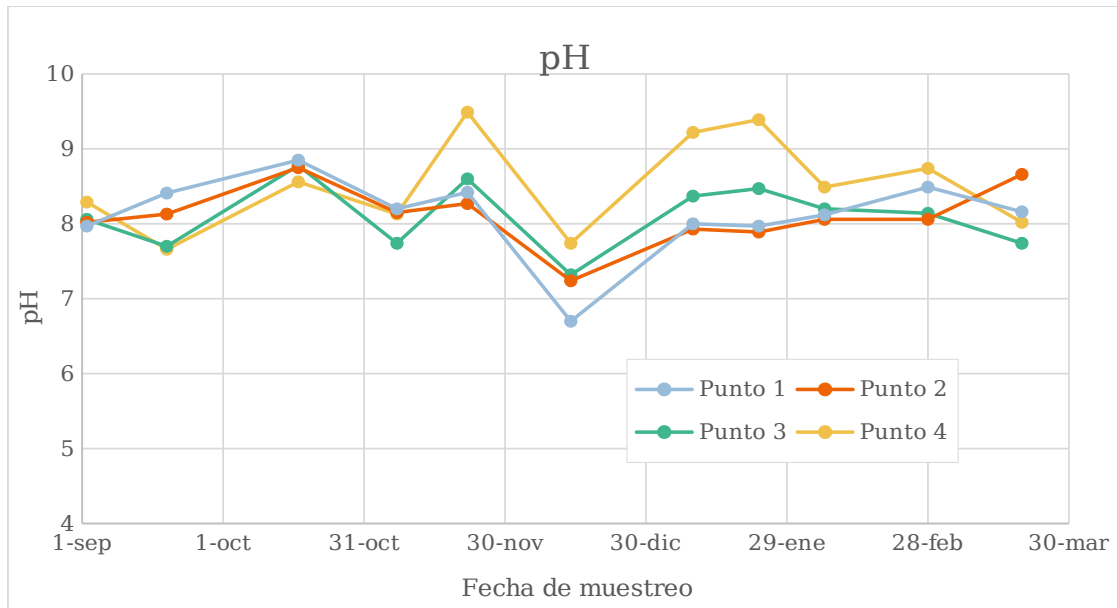
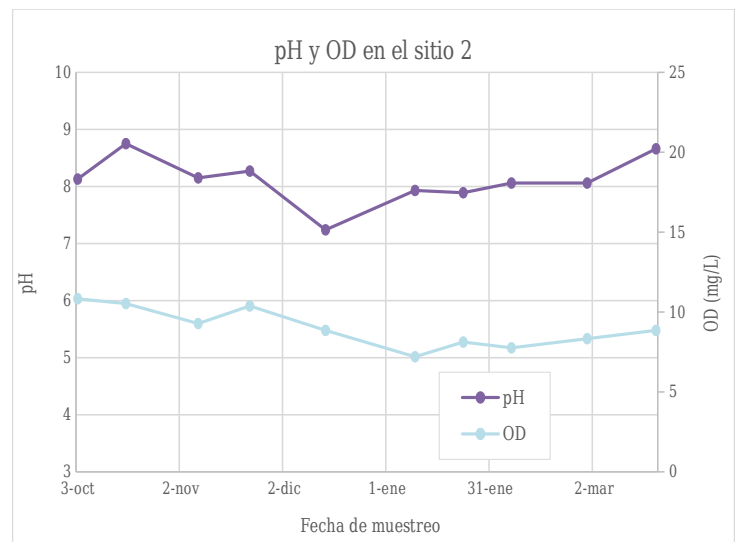
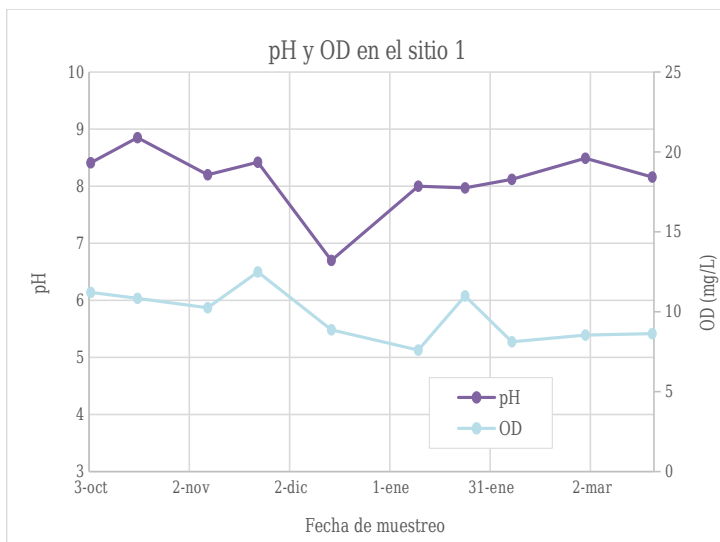


Figura 21. Resultados de las mediciones de pH.

Los dos parámetros presentados anteriormente — pH y OD— mostraron comportamientos similares a lo largo del tiempo, pero el grado de correlación varía mucho según el sitio considerado. De esta forma, se encontró que en el sitio 4 la relación entre ambos es mucho más intensa que ($R^2 = 0.8$) que en los sitios 1 y 2 (R^2 de 0.35 y 0.41 respectivamente). Esta situación se encuentra graficada en la Figura 22.



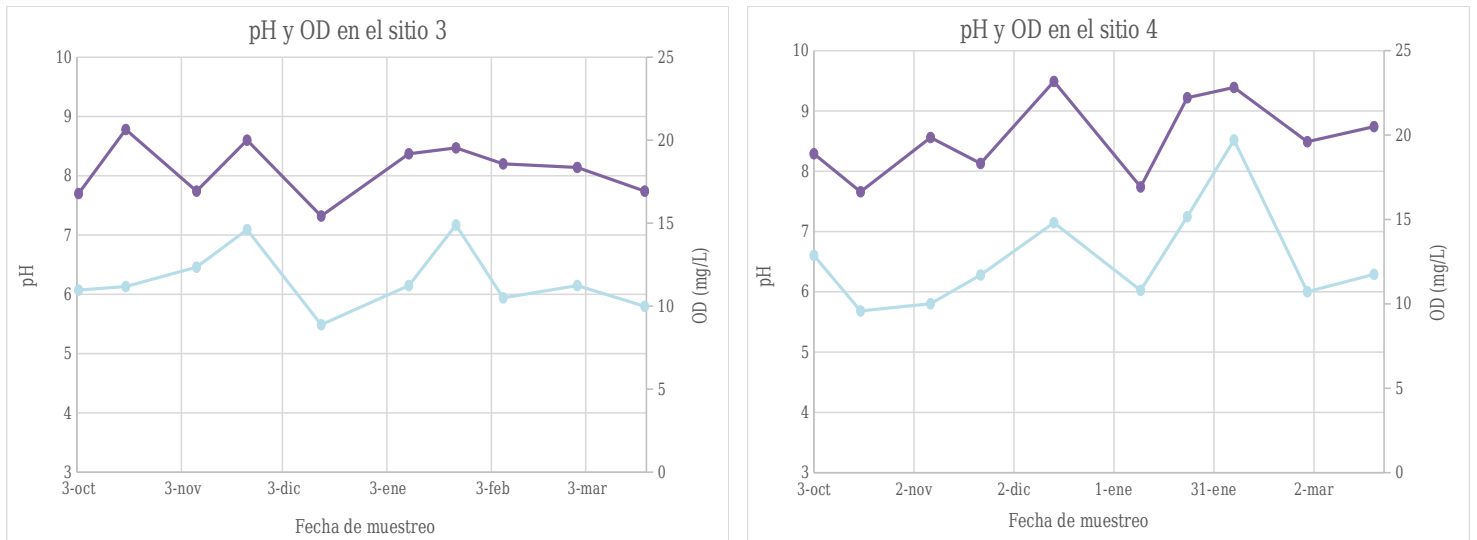


Figura 22. Relación entre el pH y el OD en los distintos sitios. R2 global=0,63, R2 en el sitio1= 0,35, R2 en el sitio2= 0,41, R2 en el sitio 3=0,61, R2 en el sitio 4=0,8.

ANÁLISIS MULTIVARIADO

Como se expuso anteriormente, además de observarse diferencias entre los sitios de muestreo, también se encontraron variaciones a lo largo del periodo de estudio del canal. Por este motivo, con el fin de analizar si es posible agrupar las muestras de acuerdo a similitudes, considerando el lugar y el mes en el que se obtuvieron, se realizó un análisis de Componentes Principales teniendo en cuenta todas las variables determinadas y los valores obtenidos para cada una de ellas.

Uno de los gráficos evaluados en este tipo de análisis es el de individuos, el cual puede observarse en la Figura 23, donde cada punto representa una muestra y sus diferentes colores representan el mes en el que cada una de ellas fue tomada. A su vez los individuos se distribuyeron en un espacio de ordenación conformado por los componentes principales 1 y 2, explicando en su conjunto el 45,715% de la variabilidad de los datos. Pudo observarse que casi todos los datos de octubre se agruparon en un mismo sector (a la derecha del gráfico) mientras que los demás se ubicaron en la región central e izquierda.

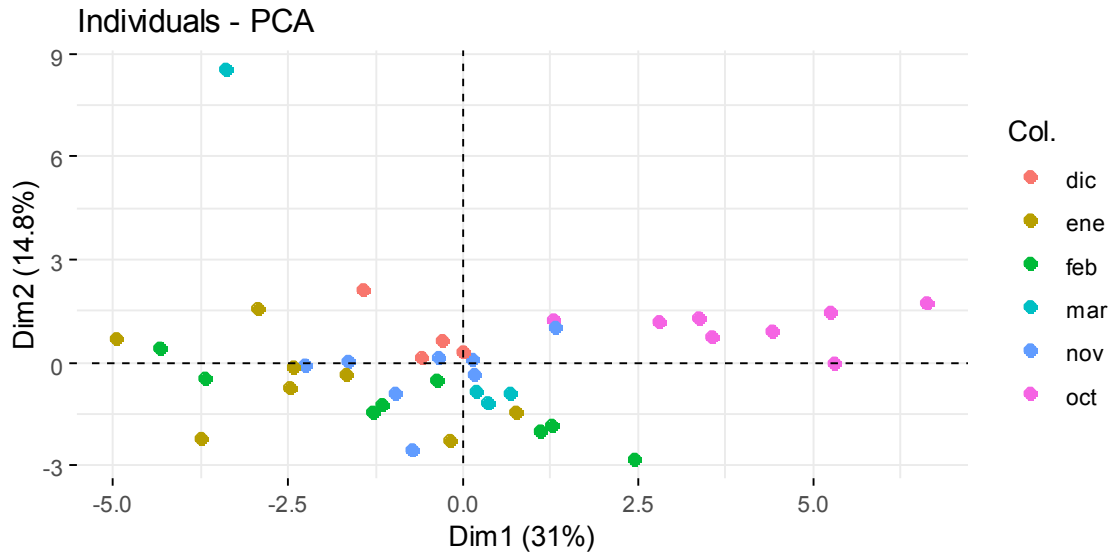


Figura 23. Gráfico de individuos con los componentes principales 1 y 2. Cada color representa el mes en el que fue tomada cada muestra, independientemente del sitio donde se obtuvieron.

El gráfico de individuos de la Figura 24 se encuentra conformado por el primer y el tercer componente principal. En él se agruparon de forma más definida las muestras obtenidas en el mes de octubre (contribuyendo en mayor medida al componente 3 que el 2). También puede distinguirse, en esta y en la anterior Figura, que los datos tomados en diciembre se encuentran próximos entre sí, por lo que presentan similitudes. A pesar de esto, se encontraron formando parte de una nube de individuos conformados por los demás meses, sin poder armar en ninguno de los casos agrupaciones definidas.

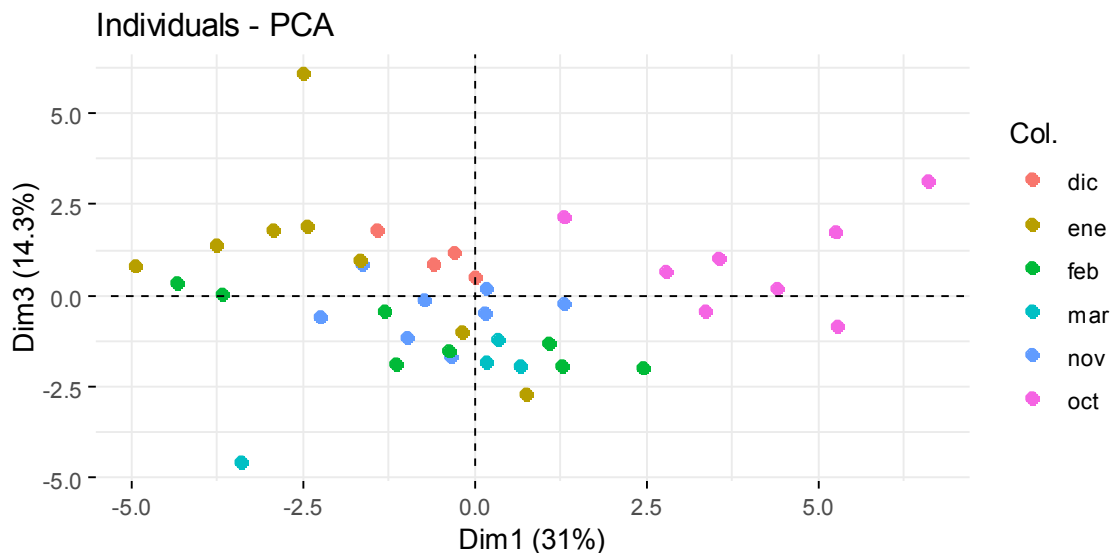


Figura 24. Gráfico de individuos con los componentes principales 1 y 3. Cada color representa el mes en el que fue tomada cada muestra, independientemente del sitio donde se obtuvieron.

Cabe resaltar que con estos tres componentes solo llegó a explicarse el 57,368% de la variabilidad de los datos. Si se quisiera explicar al menos el 70% sería necesario analizar los primeros cinco componentes principales, como lo indica la salida representada en la Figura 25. Debido a que de esta forma el presente informe se

extendería innecesariamente, se optó por evaluar solamente la información aportada por los primeros tres componentes.

Eigenvalues						
	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5	Dim.6
Variance	7.119	3.396	3.291	2.558	1.484	1.093
% of var.	30.950	14.765	14.309	11.123	6.452	4.750
Cumulative % of var.	30.950	45.715	60.024	71.147	77.599	82.349

Figura 25. Fragmento de la salida del PCA. Como se observa en la fila "Cumulative % of var.", los primeros cinco componentes principales contribuyen a explicar el 75,072% de la variabilidad.

Las 15 variables que más contribuyeron a la formación de las dimensiones 1 y 2 son las que se encuentran representadas en el gráfico de variables de la Figura 26 en forma de vectores. Por un lado, puede observarse que la concentración de sodio, cloruro, la dureza y la conductividad presentaron correlación positiva relativamente alta dado que se encuentran representadas próximas entre sí (el ángulo entre los vectores es cercano a 0°). Lo mismo ocurre entre las variables referidas a las concentraciones de sólidos, sólidos totales, disueltos totales, totales fijos y de potasio. A su vez, ambos grupos de variables se relacionan positivamente dado que son relativamente cercanos. La concentración de sólidos disueltos suspendidos y los disueltos totales se relacionaron de forma inversa con la temperatura, ya que los vectores se disponen de forma opuesta (separados por un ángulo cercano a 180°). Además, el grupo de variables conformado por los coliformes fecales, totales, y *E. coli* (estos últimos lógicamente correlacionados positivamente) se encuentran formando un ángulo cercano a los 90° con la temperatura y algunos de las concentraciones de sólidos, lo cual indica que la correlación entre ellos es muy baja. Este tipo de gráficos tiene la función de facilitar la comprensión de la información, pero para verificar la correlación que existe entre las variables se debe corroborar los valores de correlación de Pearson, los cuales se puede encontrar en el gráfico de correlación del Anexo II

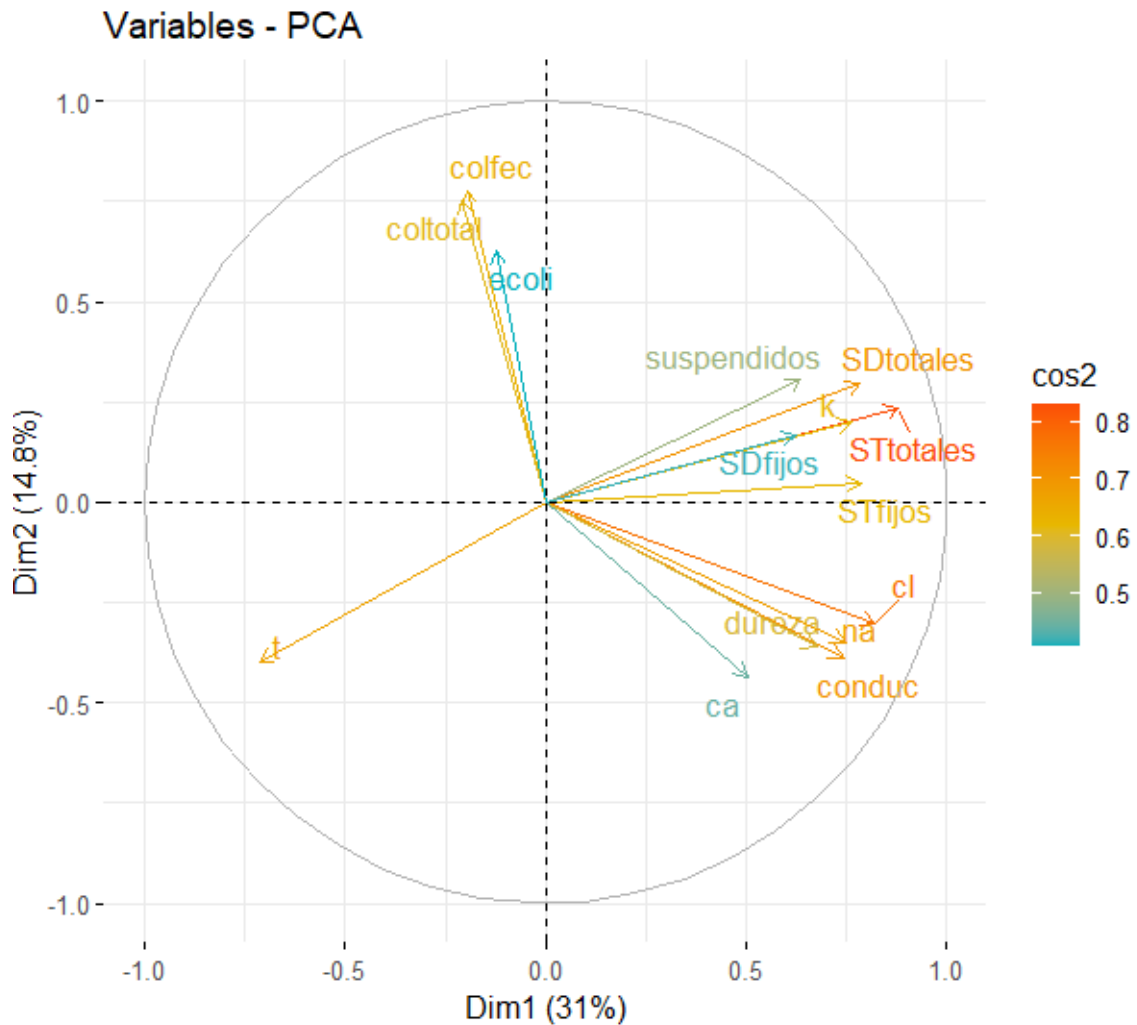


Figura 26. Gráfico de variables de los componentes principales 1 y 2. Los vectores representados señalan el sentido en el que las variables crecen, de forma que en el sentido opuesto decrecen. El color de la variable refiere a su correspondiente \cos^2 , valor determinado a partir de del ángulo que se forma entre el componente y la variable. La proximidad del vector al círculo de correlación (de radio 1) también es un indicador de la calidad de representación. Referencia: coliformes fecales: colfec; coliformes totales: coltotal; E. coli: ecoli; sólidos disueltos fijos: SDfijos; sólidos disueltos totales: SDtotales; sólidos totales: STtotales; sólidos suspendidos: suspendidos; sólidos totales fijos: STfijos; potasio: k; dureza: dureza; conductividad: conduc; sodio: na; calcio: ca; cloruro: cl; temperatura: t.

Por otro lado, el color de los vectores indica la calidad de representación, es decir qué tan bien se encuentra representada una variable particular en los componentes principales. De esta forma las variables concentración de sólidos totales (0.77) y de cloruros (0.67) presentaron mayor calidad de representación (\cos^2 elevado). Por su parte, las variables como calcio, sólidos disueltos fijos y sólidos suspendidos (bajo \cos^2) no se vieron bien representadas en el plano. Las restantes variables presentaron valores intermedios de \cos^2 .

De la misma forma se analizó el componente principal 3 en conjunto con el 1 en el gráfico de variables de la Figura 27, obteniendo una buena calidad de representación por parte de la dureza (antes con bajo \cos^2), el calcio, los sólidos suspendidos y los sólidos totales; y baja calidad en el caso del magnesio y el RAS. En mayor o menor medida todas las variables estuvieron correlacionadas positivamente en relación a la

dimensión 1 excepto por la temperatura, cuyo vector se encuentra en sentido opuesto.

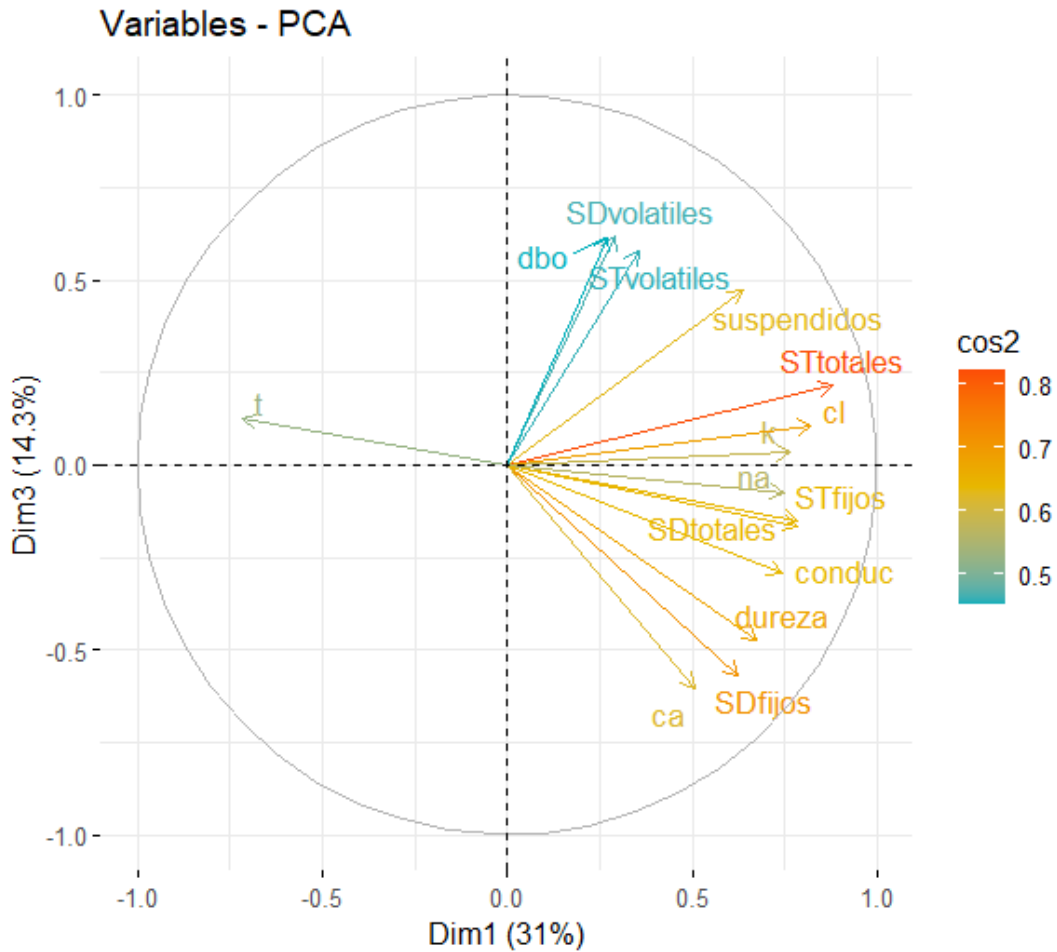


Figura 27. Gráfico de variables de los componentes principales 1 y 3. El color de la variable refiere a su correspondiente \cos^2 . Referencia: dureza: dureza; calcio: ca; conductividad: conduc; dureza: dureza; potasio: k; sodio: na; sólidos disueltos fijos: SDfijos; sólidos disueltos totales: SDtotales; sólidos disueltos volátiles: SDvolatiles; sólidos disueltos volátiles: STvolatiles; sólidos suspendidos: suspendidos; sólidos totales fijos: STfijos; sólidos totales volátiles: STtotales; temperatura: t.

Al superponer el gráfico de individuos y de variables correspondientes a la dimensión 1 y 2 (Figura 23 y 26) se obtiene el biplot de la Figura 28. Como se mencionó anteriormente, los vectores indican el sentido en el que los valores de las variables que representan crecen en magnitud, de forma que los puntos que se encuentran cercanos a los extremos de los vectores se asocian con valores elevados de ese parámetro. Es decir que los muestreos de octubre se asociaron a mayores concentraciones de sólidos y iones, mientras que los de enero y febrero se asociaron a valores más bajos, dado que se encuentran de forma opuesta esos vectores. En el centro de la distribución se encuentran los valores intermedios que representan las muestras obtenidas en noviembre, diciembre y marzo.

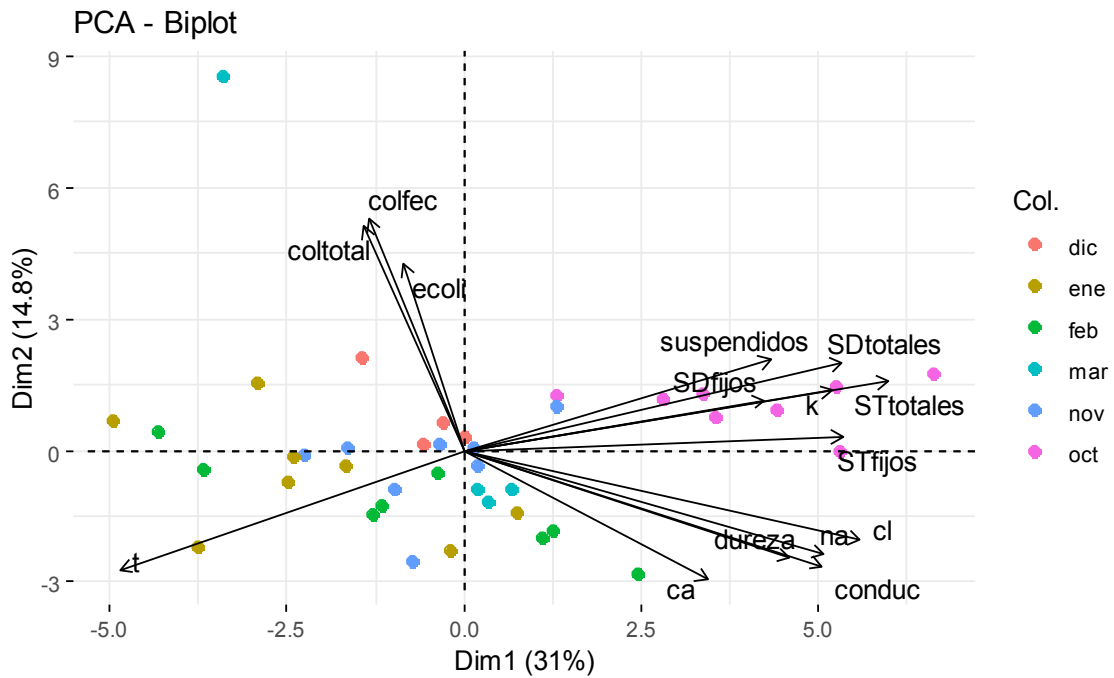


Figura 28. Biplot con el primer y segundo componente principal. Referencia: coliformes fecales: colfec; coliformes totales: coltotal; E. coli: ecol; sólidos disueltos fijos: SDfijos; sólidos disueltos totales: SDtotales; sólidos totales: STtotales; sólidos suspendidos: suspendidos; sólidos totales fijos: STfijos; potasio: k; dureza: dureza; conductividad: conduc; sodio: na; oxígeno disuelto (mg/L): Odmg; oxígeno disuelto (%): Odp; temperatura: t.

El biplot de la Figura 29 incluye el primer componente en conjunto con el tercero, como resultado de la superposición del gráfico de variables de la Figuras 24 y el de individuos de la Figura 27. Las muestras obtenidas en octubre se asociaron a valores altos de concentración de sólidos totales, suspendidos, y de cloruros, ya que los individuos correspondientes a este mes se encuentran más cerca del extremo de esos vectores. Se consideran especialmente las tres variables mencionadas dado que son las que cuentan con mejor calidad de representación (\cos^2) en este plano.

En oposición, en el extremo contrario del vector se encuentran algunos de los individuos correspondientes a muestras tomadas en el mes de enero y febrero, asociándose a valores bajos para los mismos parámetros pero sin formar agrupaciones definidas. Por su parte, las muestras de noviembre y marzo, así como las demás muestras tomadas en enero y febrero se encuentran en el centro de la distribución y no se asocian a características puntuales ya que su distribución es relativamente amplia.

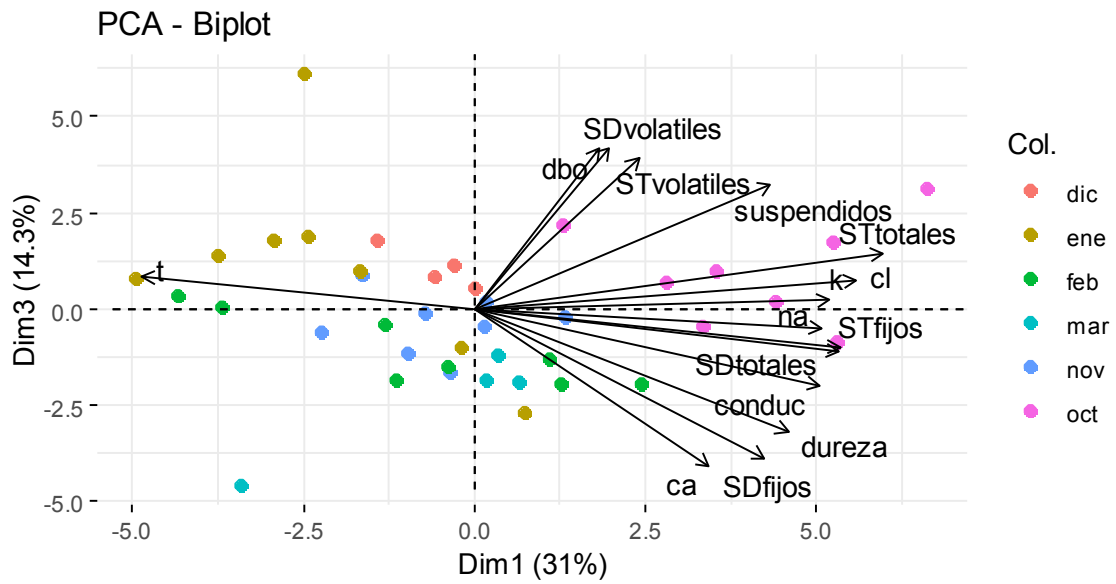


Figura 29. Biplot de los componentes principales 1 y 3. Referencia: calcio: ca; dureza: dureza; conductividad: conduc; sólidos disueltos fijos: SDfijos; sólidos totales fijos: STfijos; sólidos disueltos totales: SDtotales; sólidos totales: STtotales; sólidos suspendidos: suspendidos; potasio: k; sodio: na; RAS: ras; magnesio: mg; sólidos disueltos volátiles: SDvolatiles; sólidos totales volátiles: STvolatiles; temperatura: t.

Así como se analizaron los datos diferenciando las unidades de acuerdo al mes en que se obtuvieron las muestras, se evaluó la relación entre las variables y los individuos diferenciando a estos últimos por sitio de muestreo. De esta forma se obtuvo el biplot de la Figura 30, donde no se distinguen agrupaciones evidentes, aunque pudo observarse que las muestras del punto 1 se ubicaron principalmente del lado izquierdo del gráfico, región que se asocia a la baja concentración de iones y sólidos disueltos.

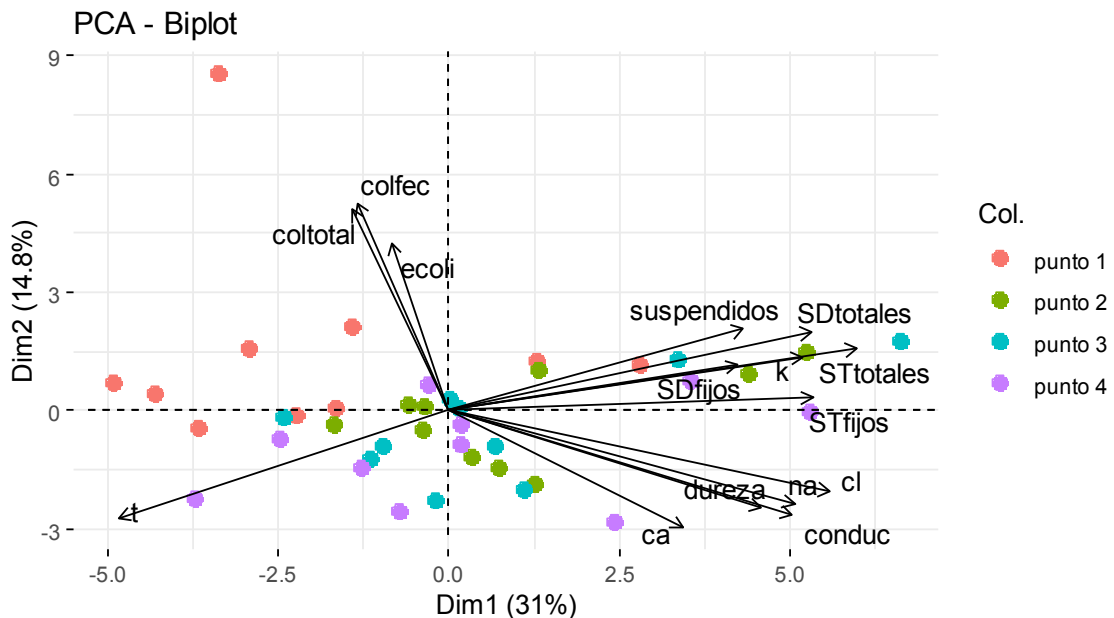


Figura 30. Gráfico de individuos de los componentes principales 1 y 2, donde los colores indican el sitio de muestreo.

El componente principal 3 tampoco mostró agrupamiento ni patrones particulares, por lo que su gráfico no incorporó en el informe, pero puede encontrarse en el Anexo II.

Todo el análisis planteado y desarrollado anteriormente se realizó sin considerar la información recabada en septiembre, dado que como ya se demostró anteriormente, varios resultados arrojaron valores muy elevados, aportando gran variabilidad al set de datos. Esto llevó a la obtención de gráficos como el de la Figura 31, con una fuerte expresión de los mismos y una fuerte correlación entre algunas de las variables, principalmente las vinculadas a las determinaciones fisicoquímicas. Puede distinguirse que los datos de septiembre se ubican a la derecha del gráfico y seguidos a ellos, cerca del centro del gráfico, los datos de octubre. Los restantes meses se encuentran conformando una nube de individuos sin definición de grupos.

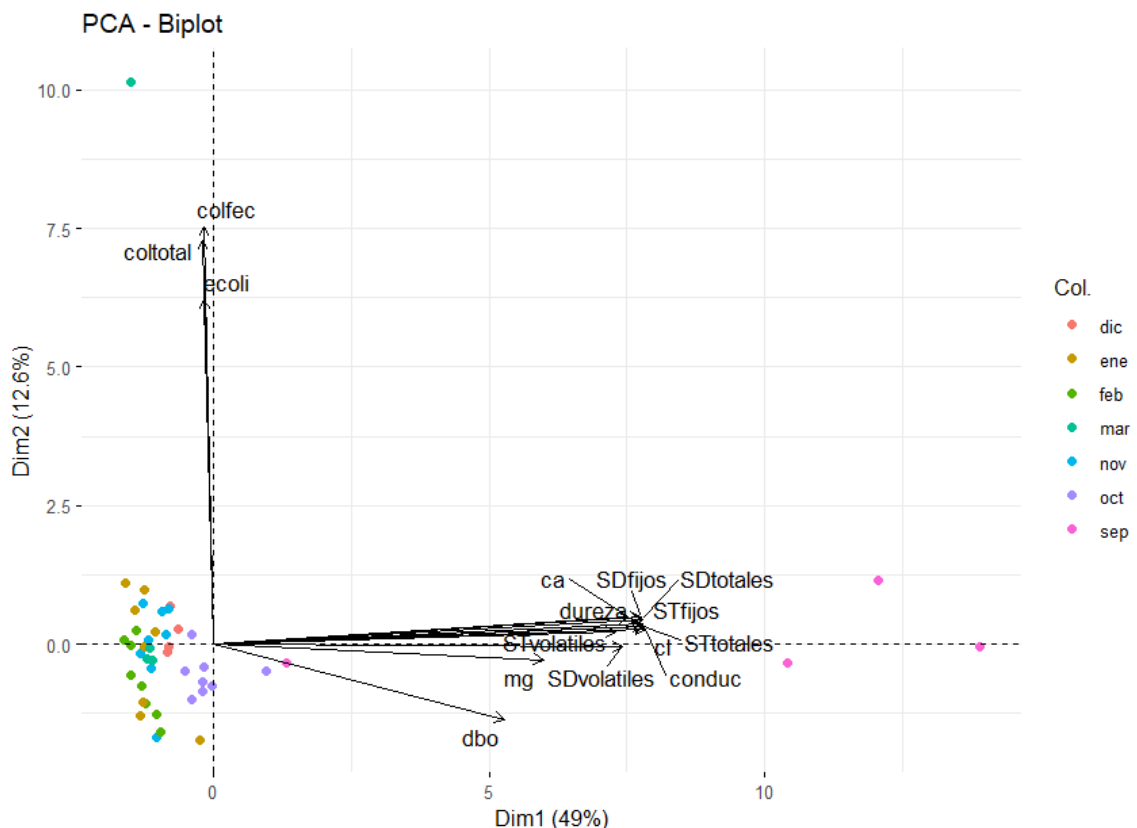


Figura 31. Biplot obtenido al utilizar la matriz de datos completa

DISCUSIÓN

PREMISAS PLANTEADAS

Como se señaló previamente, el presente trabajo buscó evaluar el efecto en las características del agua por parte de diferentes factores ambientales que se encuentran asociados al paso del CPN por la ciudad de Trelew, a fin de poner a prueba una serie de premisas planteadas en la introducción.

Retomando este planteo, los efectos causados por las lagunas III y IV se verían reflejados en el sitio 4 como un aumento en la DBO y la carga bacteriológica, representada por las concentraciones de coliformes fecales y Enterococos, respecto del sitio 3. Además se observaría un aumento en la concentración sodio, calcio y

cloruros según Serra *et al.* (2006), los cuales a su vez llevarían consecuentemente a un aumento en la conductividad, la dureza del agua y la concentración de sólidos disueltos. Si bien se percibió un incremento y diferenciación del sitio 4 en cuanto a su DBO, probablemente se deba a la presencia de material vegetal en descomposición en la columna de agua que fue captada en forma de materia orgánica particulada (no detectable a simple vista) dentro de las botellas Winkler al tomar la muestra, dado que no fue acompañado por un aumento de los demás parámetros mencionados. En consecuencia, podría decirse que este punto no sufriría, hasta el momento, impactos por parte del sistema lagunar.

Respecto a la premisa planteada sobre la influencia por parte del asentamiento informal, donde podrían realizarse aportes de efluentes cloacales, al igual que en el caso anterior se evidenciarían los impactos a través de un aumento en la DBO, la concentración de coliformes fecales, *E. coli*, Enterococos, cloruros y sólidos disueltos respecto del sitio 2. Si bien la composición de las aguas residuales domésticas puede ser muy variable, los mencionados anteriormente son los principales constituyentes de este tipo de efluentes (Metcalf y Eddy, 1995). Los aumentos mencionados no fueron detectados, por lo que no se da por probada la influencia del asentamiento informal sobre las características del agua del canal durante el periodo estudiado.

Por su parte, en el sitio 2, en caso de existir afectación por parte del entubamiento se debería probablemente a filtraciones en la estructura, siendo percibidas como aumentos en las concentraciones de sodio, calcio y cloruros en relación al sitio 1, que a su vez se manifestarían como un aumento en la conductividad y en la concentración de sólidos. Esto se debe a que, de acuerdo a lo expresado en secciones anteriores, debajo de Trelew existen aguas subterráneas con gran cantidad de sales disueltas (Hernández *et al.*, 1983). En este sitio sí fue posible evidenciar y comprobar mediante análisis estadísticos la existencia de estos impactos, indicando que a partir del sitio 2 existe, entre otras alteraciones, un aumento en la conductividad que se mantiene hasta el último sitio, fortaleciendo la hipótesis de un efecto del entubamiento.

Asimismo, en todos los sitios se detectaron grandes oscilaciones en la carga bacteriológica, observándose en forma de pulsos que podrían vincularse a contaminación fecal producto de vuelcos eventuales o proveniente de fuentes difusas, por ejemplo por cercanías de animales de granja al canal, previo a los puntos de muestreo.

PARÁMETROS SELECCIONADOS

De acuerdo a lo presentado en los resultados descriptivos y lo posteriormente comprobado con el análisis multivariado, la conductividad, el OD y algunas determinaciones de iones mayoritarios (es decir, la dureza, concentración de calcio, sodio, cloruros) fueron las que permitieron encontrar diferencias entre los sitios y evidenciaron importantes variaciones a lo largo del periodo de riego. Si bien la concentración de algunos iones y la conductividad se encontraron correlacionados positivamente, la determinación de ambos parámetros es importante y no sería conveniente reemplazar uno con el otro. Las determinaciones de iones mayoritarios podrían ayudar a identificar aportes de diferente naturaleza, y, dado que el agua será utilizada con fines de irrigación de cultivos, contar con estos parámetros permite conocer la calidad de la misma. Además, no todos los iones contribuyen a los resultados de la conductividad en la misma medida. Por su parte, la conductividad es

un parámetro fácil de determinar (debido a la posibilidad de medición *in situ* por medio de una sonda), que brinda una idea preliminar del estado del recurso y permite agilizar el análisis posterior de los iones mencionados.

Algunos de los componentes de los sólidos determinados también se encuentran correlacionadas positivamente con estos parámetros, pero a diferencia de estos, los primeros no permitieron detectar diferencias entre los sitios a lo largo de los muestreos. Es por esto que, a fin de hacer más eficiente los análisis y optimizar los recursos de cara a un monitoreo, se recomienda simplemente prescindir de su determinación salvo cuando exista una demanda específica que así lo requiera.

Las determinaciones de pH, la DQO, coliformes totales, fecales, *E. coli* y Enterococos no evidenciaron diferencias entre puntos de muestreo, en tanto que la DBO5 presentó diferencias entre sitios, pero como ya se señaló, no se encontrarían vinculadas a los factores estudiados. No obstante, los parámetros bacteriológicos y la DBO5 también ayudarían a monitorear los impactos ocasionados por algunos de los factores ambientales, que, aunque no detectados en la presente práctica, sí son determinantes de la calidad del recurso, por lo que su determinación también resulta de utilidad en este tipo de controles. Además, los parámetros bacteriológicos no se encontraron correlacionados con los demás parámetros por lo que no es posible hacer una estimación o reemplazarlos por otros. En cuanto al pH, es un parámetro importante a determinar en el campo ya que, al igual que la conductividad, resulta ser práctica su determinación y también se constituye en un indicador inmediato del estado del cuerpo de agua. Respecto a la DQO, si podría prescindirse de su determinación en muestreos de rutina en este curso de agua en particular, puesto que no arroja resultados concluyentes y que la determinación resulta ser costosa de realizar.

HALLAZGOS EN RELACIÓN A LA DINÁMICA TEMPORAL

Los análisis permitieron no solo demostrar la alteración de la composición del agua en ciertos segmentos del canal estudiado, sino que también evidenciaron la variación a lo largo del tiempo de las características del agua. Esto se vio reflejado en la concentración de iones y, por lo tanto, en la concentración de sólidos disueltos y totales (puntualmente para ambos casos la fracción fija), y la conductividad. De esta forma, los resultados de dichos parámetros fueron más elevados en el mes de septiembre, seguidos por los de octubre, y este último seguido por los restantes meses, los cuales presentaron valores relativamente similares entre sí.

En relación a los resultados del muestreo llevado a cabo en el mes de septiembre, varios de los parámetros presentaron resultados mayores en los sitios 2, 3 y 4 comparados con los del sitio 1 en la misma fecha.

La concentración de iones en el sitio 1 durante el inicio del periodo de estudio puede deberse a una serie de procesos que llevan a la concentración de sales en el lecho del canal. Cuando las compuertas de Bocatoma se cierran, el agua permanece en los canales con muy poca circulación, lo cual favorece la solubilización de las sales del lecho. En caso de no ser extraída o utilizada, eventualmente el agua se infiltra en el suelo y se evapora, generando en este último caso la concentración de los compuestos en el lecho del canal. Además, los canales pueden recibir minerales y materia orgánica procedente del agua de escorrentía que llega al lecho y de aguas subterráneas cuando el curso se encuentra con bajo nivel. Al permitir nuevamente el llenado de los canales se solubilizan y arrastran todos estos compuestos presentes

en el lecho, diluyéndose con el paso del tiempo. Además, se sabe que los canales tienen carácter influente sobre las aguas subterráneas (Hernández, 1983), por lo que parte de las sales podrían perderse al realizar aportes sobre ellas.

En el caso de los sitios 2, 3 y 4, además de lo descrito anteriormente, el aumento diferenciado de la concentración de sales puede deberse al bajo caudal transportado por el canal sumado a la existencia de filtraciones en el entubamiento y el aumento en el nivel freático de las aguas subterráneas debido a la recarga por las precipitaciones invernales (que a su vez propician mayores aportes). Posteriormente, tras reducir su nivel freático y con el llenado del canal, el agua infiltrada resultaría menor en proporción dando como resultado una mayor dilución de estas aguas y permitiendo mantener la conductividad dentro de los rangos óptimos.

Dado que el primer y el segundo muestreo fueron realizados con un mes de diferencia no se sabe exactamente en qué momento se alcanzaron los valores de conductividad habituales, por lo que sería conveniente seguir analizando estos eventos a fin de determinar si la ocurrencia se da anualmente tras la apertura de las compuertas y, si es así, cuánto tiempo o bajo qué condiciones persiste esta situación. Esto es de gran importancia dado que los regantes aguas abajo del entubamiento cuentan con agua destinada a irrigación que, al inicio del periodo de riego, no sería recomendable utilizar en cualquier tipo de cultivo.

La necesidad de restringir el riego durante las primeras etapas de lavado de los canales puede sustentarse también por comparación con otros estudios y/o normas. Muchas de las normas de calidad de agua para agricultura utilizan la concentración de sodio y RAS para determinar si el recurso es apto o no para su utilización en riego, pero como se mencionó anteriormente estos no fueron determinados en el muestreo del 2 de septiembre. Un ejemplo es el de las Normas Riverside, método ampliamente difundido, propuesto por Richard (1954), que utilizan el RAS y la conductividad para determinar su aptitud a partir de un monograma, el cual se representa en la Figura 32. Con este método no es posible asegurar con precisión cómo puede ser clasificada el agua que circulaba por los canales durante el primer muestreo, pero puede estimarse a través de la conductividad que las aguas de los sitios 2, 3 y 4 no podían ser utilizadas o bien podrían solo si se tuviesen las precauciones necesarias ya que pertenecen a la categoría C4. Esta categoría engloba aguas que, dada la elevada salinidad, solo debería ser usada en suelos muy permeables y con buen drenaje, siendo necesario lavar las sales mediante el empleo de grandes volúmenes de agua, a la vez que solo se deberían destinar a cultivos muy tolerantes.

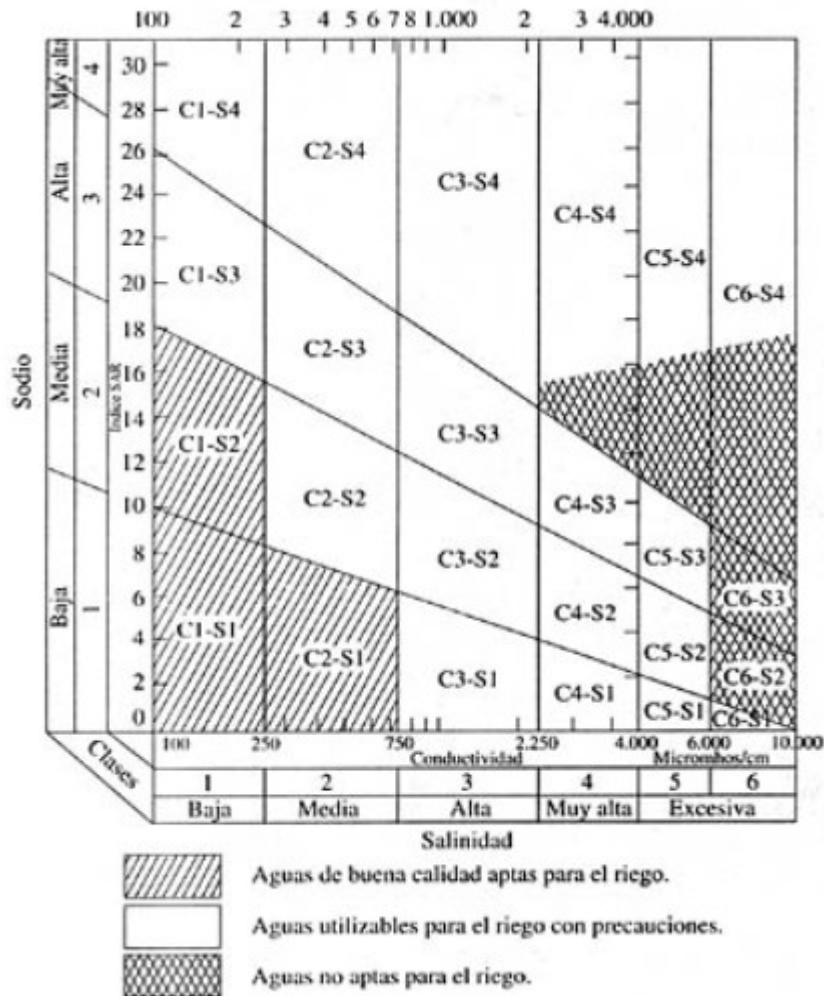


Figura 32. Nomograma propuesto por el Laboratorio de Salinidad de Riverside. Obtenido de: Blasco y de la Rubia (1973)

Por otra parte, si se consideraran los resultados de los muestreos siguientes de los sitios 2, 3 y 4 se obtendría siempre un agua de clase C2-S1, las cuales presentan una salinidad media y bajo contenido de sodio, por lo que son resistidas por casi todos los cultivos y pueden emplearse en casi cualquier tipo de suelo, dando como resultado un agua de buena calidad. De la misma forma se clasifica al agua obtenida en el sitio 1, pero a diferencia de los sitios anteriores, se mantiene en esta categoría a lo largo de todo el periodo de riego (*ibid*).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura también propuso guías de calidad de aguas para irrigación de cultivos, elaboradas por Ayers y Westcot (1989), representada en la Tabla 5.

Al igual que en la guía anterior, los valores obtenidos en todos los muestreos efectuados en el sitio 1 y en los muestreos de los sitios 2, 3 y 4 posteriores a septiembre, se corresponden con aguas sin restricción de uso. Por el contrario, al comparar los resultados obtenidos en dicho mes para los sitios 2, 3 y 4 con los valores de la tabla se encontró que, de acuerdo a la conductividad, los puntos 2 y 3 presentaron una conductividad que podría generar impactos graves (3890 y 3840 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente) y el punto 4 (2720 $\mu\text{S}/\text{cm}$), moderados. En el primer caso, el riesgo de salinización es alto, por lo que pueden experimentarse problemas en el suelo, el cultivo o su rendimiento al usar este tipo de aguas y debe realizarse un

manejo especial del cultivo y de la gestión del recurso hídrico para hacer frente a la mala calidad del mismo. En el caso de las aguas que generan moderados impactos, deben seleccionarse cultivos de acuerdo a su tolerancia y buscar alternativas de manejo más adecuadas si lo que se busca es maximizar el rendimiento. Por otro lado, si se considera la concentración de sólidos disueltos los tres sitios presentarían un nivel de restricción severa (sitio 2: 3505,05 mg/L; sitio 3: 3415,30 mg/L, sitio 4: 2226,80 mg/L) y si se considera la concentración de cloruros (sitio 2: 334,90 mg/L= 9,44meq/L; sitio 3: 352,39= 9,94meq/L; sitio 4: 241,17= 6.8meq/L), la tabla permite clasificarlos en la categoría correspondiente a un grado de restricción leve a moderado.

Potential Irrigation Problem		Units	Degree of Restriction on Use		
			None	Slight to Moderate	Severe
Salinity (affects crop water availability) ²					
	EC _w	dS/m	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
	(or)				
	TDS	mg/l	< 450	450 – 2000	> 2000
Infiltration (affects infiltration rate of water into the soil. Evaluate using EC _w and SAR together) ³					
SAR	= 0 – 3		> 0.7	0.7 – 0.2	< 0.2
	and EC _w =				
	= 3 – 6		> 1.2	1.2 – 0.3	< 0.3
	= 6 – 12		> 1.9	1.9 – 0.5	< 0.5
	= 12 – 20		> 2.9	2.9 – 1.3	< 1.3
	= 20 – 40		> 5.0	5.0 – 2.9	< 2.9
Specific Ion Toxicity (affects sensitive crops)					
	Sodium (Na) ⁴				
	surface irrigation	SAR	< 3	3 – 9	> 9
	sprinkler irrigation	me/l	< 3	> 3	
	Chloride (Cl) ⁴				
	surface irrigation	me/l	< 4	4 – 10	> 10
	sprinkler irrigation	me/l	< 3	> 3	
	Boron (B) ⁵	mg/l	< 0.7	0.7 – 3.0	> 3.0
	Trace Elements (see Table 21)				
Miscellaneous Effects (affects susceptible crops)					
	Nitrogen (NO₃ - N) ⁶	mg/l	< 5	5 – 30	> 30
	Bicarbonate (HCO₃)				
	(overhead sprinkling only)	me/l	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
	pH		Normal Range 6.5 – 8.4		

Tabla 5. Guía para la interpretación de los resultados de la calidad del agua. Obtenido de: Ayers y Westcot (1989)

En relación a su implicancia, de acuerdo a los resultados obtenidos al principio del periodo de riego en los sitios 2, 3 y 4, el uso de esta agua podría ocasionar diversos efectos en los cultivos, como por ejemplo acumulación de sales en la zona de la raíz, que dificulta la extracción de agua y consecuentemente ralentiza el crecimiento de las plantas, aunque esto también puede depender de la tolerancia y la etapa de crecimiento de la planta. Además, algunos iones como el cloruro, sodio y boro tienen capacidad de acumularse en la superficie de las hojas cuando el agua es evaporada

en los estomas, lo que podría causar daños en los tejidos de algunas especies (United States Department of Agriculture, 1997).

Cabe destacar además que los valores de conductividad obtenidos en el primer muestreo son similares a los encontrados, por ejemplo, en algunos sectores de la laguna III del sistema lagunar y en algunos efluentes industriales de acuerdo a datos provistos por la SAyCDS del año 2016.

HALLAZGOS EN TORNO A LA COMUNIDAD ALGAL Y NUEVOS INTERROGANTES PLANTEADOS

A raíz de los análisis realizados pudieron ponerse a prueba las premisas que fueron planteadas al inicio de esta práctica. Sin embargo, naturalmente surgieron nuevas interrogantes, especialmente en relación a la comunidad de algas que se encontró presente en los canales en densidades diferentes según el sitio de estudio. Como se observó en la Figura 4, los sitios 3 y 4 presentan una mayor densidad de algas en el lecho del canal, y particularmente este último contó con la presencia de microalgas creciendo en la superficie de macroalgas y el lecho del canal, lo cual podría explicar los valores de OD más altos registrados en estos sitios.

Parte de esos resultados se explican al considerar las condiciones climáticas al momento de realizar el muestreo. De esta forma, pudo observarse que durante el muestreo N° 6 (14 de diciembre) se registró una caída de la concentración de oxígeno disuelto en todos los puntos, probablemente debido a que el mismo se llevó a cabo con tiempo nublado y lloviznas ocasionales. Por el contrario, durante el muestreo N°7 y N°8 (9 y el 23 de enero, respectivamente) se registraron los valores más altos de OD, que pueden deberse a que dicho parámetro fue medido en momentos del día con alta irradiancia y elevadas temperaturas. A excepción de estos dos, que se llevaron a cabo entre el mediodía y la tarde, todos los muestreos fueron efectuados en horarios de la mañana. Estos hechos señalan que las aguas están sometidas a una gran variabilidad diaria, como consecuencia del metabolismo fotosintético de las comunidades de algas, y estacional en función del grado de colonización alcanzado por las comunidades algales sobre el lecho del canal.

Además de las condiciones meteorológicas existen otros factores, como la presencia o ausencia de sombra en los sitios previos a los de muestreo, que propician el crecimiento diferenciado de las algas a lo largo del canal. Se advirtió la ausencia de árboles de gran estatura aguas arriba de los puntos de muestreo 3 y 4, donde la radiación solar incide directamente sobre el canal por varios cientos de metros. En el caso del sitio 2, la oscuridad generada por el entubamiento impide la producción de oxígeno por parte de micro y macroorganismos fotosintetizadores, por lo que las incorporaciones de este gas se restringen a la disolución del oxígeno atmosférico debido a la turbulencia del agua durante el recorrido. En cuanto al sitio 1 se encontró mayor presencia de árboles que reducían la llegada de la radiación solar al suelo y al canal.

Por otro lado, el desarrollo superior de algas observado en los sitios 3 y 4 podría deberse a una concentración de nutrientes más elevada, lo que a su vez podría estar indicando aportes de estos compuestos al canal que no se vinculan a grandes cargas bacteriológicas, como es el caso de los efluentes cloacales. Por motivos operativos no fue posible realizar la determinación de fósforo y nitrógeno, que son dos de los principales nutrientes que requieren las macro y microalgas (Environmental Protection Agency [EPA], 2021), quedando como interrogantes si efectivamente

estos aportes existen, y si es así, si son generados durante su paso por la ciudad de Trelew o provienen de localidades previas, o bien si son otros los factores que impiden tal desarrollo en los sitios previos.

Si bien las algas brindan valiosos servicios ecosistémicos (como la incorporación de oxígeno a los cuerpos de agua que a su vez permite una rápida depuración de las mismas ante eventuales aportes de materia orgánica), la Compañía de Riego realiza en algunos sectores la limpieza de estos organismos debido a que dificultan la circulación correcta de agua (FAO, 2020). En caso de ser el aporte de nutrientes el causante del gran desarrollo de algas observado, la toma de medidas tendientes disminuir su incorporación podría a su vez reducir la frecuencia con la que este tipo de mantenimientos es necesario.

Cabe señalar que, dado que son un importante componente de este tipo de cuerpos, podría resultar de utilidad a futuro el estudio de estas comunidades en mayor profundidad (tanto de macro como microalgas) en vistas de emplearlas como bioindicadores que permitan detectar alteraciones en el agua y evaluar su calidad.

Otro aspecto destacable es que durante los muestreos del mes de enero se registraron una serie de eventos anómalos (en relación a muestreos anteriores y posteriores) que involucraron valores elevados de pH y OD junto con la caída en las concentraciones de calcio en el sitio 4. Una posible explicación a esto sería que el aumento del pH, generado a su vez por las altas tasas fotosintéticas y consecuente remoción del dióxido de carbono del agua, termina ocasionando la precipitación de este ion en forma de carbonato. A su vez las grandes variaciones de pH podrían deberse a un consumo de los iones bicarbonato por parte de las algas y protozoos, reduciendo así la capacidad amortiguadora de las aguas (Boyd, 2015). Por otro lado el calcio podría jugar un papel muy importante en la capacidad amortiguadora del agua del canal, debido a que interviene en el equilibrio de precipitación de iones carbonato y de acuerdo a su concentración, el pH tendría una capacidad mayor o menormente restringida de modificar su valor (*ibid*). Para corroborar y entender este proceso deberían hacerse análisis de la alcalinidad del agua en diferentes momentos del día y épocas del periodo de riego, la cual tampoco pudo ser realizada en esta oportunidad.

De esta forma, las comunidades algales podrían tener gran influencia sobre las características del agua transportada pudiendo alterarla significativamente, especialmente en sitios donde su presencia es mayor, generando oscilaciones diarias más amplias y una relación más marcada entre el OD y las variables vinculadas ella. Este es un importante indicador de la salud de un cuerpo de agua y, si bien no es considerado a la hora de determinar la calidad del agua de irrigación, a fin de contrastar estos valores y tomar noción de lo que representa se puede recurrir al Decreto 1540/16 (conocido localmente como Decreto de Vuelcos), donde se indica que el oxígeno disuelto no debe ser menor a los 5,5mg/L para la preservación de la vida acuática de cuerpos de agua dulce. La concentración de oxígeno en el canal de irrigación fue siempre superior a los 7,2mg/L, cumpliendo perfectamente con el nivel estipulado. De hecho, en algunas oportunidades pudieron encontrarse larvas de insectos similares a las de efemerópteros en el punto 3 y peces de pequeño tamaño en el punto 2, lo que indicaría que las condiciones no son solo propicias para el desarrollo de la vida vegetal, sino también para animales de diferentes especies.

CONCLUSIONES

A partir de esta práctica se encontró que las características del agua de riego transportada por el Canal Principal Norte sufren modificaciones a medida que avanza por la ciudad de Trelew. Por un lado, y en el marco de los objetivos y premisas planteadas, no se encontraron indicios de la existencia de contaminación o influencia en el agua por parte de las lagunas de estabilización, ni tampoco por parte del asentamiento situado en el barrio Guayra. Sin embargo, sí se encontró un aumento en la concentración de sales tras el paso del agua a través del entubamiento. Esto podría deberse a la existencia de fisuras en dicho conducto que permiten el ingreso del agua subterránea ubicada debajo de Trelew, afectando así la composición del recurso aguas abajo de este punto.

Por otra parte, también se halló que en aquellos sitios posteriores al entubamiento, particularmente durante el mes de septiembre, el agua presentó una concentración de iones muy superior a la que se determinó durante los meses siguientes, de forma que no hubiese sido apta para su uso en cualquier tipo de cultivo. Este aumento también podría estar relacionado al caudal de agua transportado, a las fallas de la infraestructura mencionada y la altura de la capa freática en ese momento. Si bien las concentraciones de los iones determinados disminuyeron con el tiempo, es recomendable intensificar los muestreos durante el primer mes posterior a la apertura de los canales a fin de evaluar en qué momento el agua adopta sus valores típicos, los cuales permiten que sea utilizada sin restricciones y no genere daños en los cultivos.

De todos los parámetros analizados, la dureza, concentración de calcio, sodio, cloruros, DBO5, coliformes totales, coliformes fecales, *E. coli* y enterococos son los que mayor variación presentan en el tiempo y en espacio, permitiendo detectar variaciones en la composición de manera rápida a la vez que permiten evaluar la seguridad del recurso para el uso en cultivos (preservando asimismo la de los regantes) y llevar un control de los posibles impactos de los factores encontrados a lo largo del paso del canal por la ciudad de Trelew.

Al realizar los muestreos en el CPN durante la temporada 2022-2023, se encontró que el mismo presentaba características que señalaban que no se hallaba fuertemente impactado y los organismos encontrados, si bien no documentados, pueden ser indicativos de su capacidad de depuración. Sin embargo, los factores ambientales señalados y descriptos ampliamente ponen de manifiesto la necesidad de que se efectúe un monitoreo constante del mismo para detectar rápidamente cualquier situación que pudiera alterar la situación actual.

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar en primer lugar mi más profundo agradecimiento a mi asesora, Dra. M. Valeria Fiorda por su ayuda y acompañamiento a lo largo de esta Práctica. Agradezco también a mi instructora, Lic. Maite Elissalde, por recibirme en el Laboratorio Ambiental, permitirme realizar allí esta Práctica profesional y siempre prestar su ayuda con la mejor predisposición. Los amplios conocimientos transmitidos y los aportes que ellas realizaron fueron sumamente enriquecedores para el presente trabajo, y, en lo personal, aprecio inmensamente la calidez y paciencia que las caracteriza.

También quiero mencionar al Lic. Esteban Pérez Parry, a quien debo agradecerle por estar siempre dispuesto a colaborar con el desarrollo de esta práctica.

A todos ellos, mis más sinceros agradecimientos.

BIBLIOGRAFÍA

Acosta García, J.C. y Salvadori Verón, J.A. (2017). Evaluación de la calidad de agua para riego mediante el empleo de criterios actualizados [Trabajo final de graduación para obtener el título de Ingeniero Agrónomo]. Universidad Nacional de La Pampa.

American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. (2023). Estándar Methods for the Examination of Water and Wastewater. (24th ed). APHA Press.

Ayers, R.S. y Westcot, D.W. (1989). Water quality for agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Bai, M. I. y Jones, M. I. (2019). Producción de hortalizas en el valle inferior del Río Chubut, avances en horticultura. pp 38 (97): 48 – 61. Asociación Argentina de Horticultura.

Blasco y de la Rubia. (1973). Laboratorio de suelos IRYDA, Normas de Riverside para evaluar la calidad de las aguas de riego. U.S. Soil Salinity Laboratory.

Boyd, C. E. (2015). pH, Carbon Dioxide, and Alkalinity. Water Quality: An Introduction, 153–178. .

Colombani, E. N. y González, J. H. (6 y 7 de octubre de 2023). Climatología de Trelew 1971-2021 [poster]. Jornadas de ciencia y técnica. Investigaciones del VIRCH 2023. Trelew, Chubut, Argentina.

Coronato, A., Coronato, F., Mazzoni, E. y Vázquez, M. (2017). Patagonia: una síntesis de su geografía física. (1ª ed.). Río Gallegos: Universidad Nacional de la Patagonia Austral.

Díaz L.D, Raguileo D. A., Hernández M. y Salvadores F.J. (2021). Caracterización del sistema de riego del Valle Inferior del Río Chubut: análisis desde las representaciones y opiniones de quienes riegan. Ediciones INTA, Centro Regional Patagonia Sur.

Diez, E., Taibo, P., Torres, M. y Campazzo, J. (1995). Estudios de parámetros sanitarios del agua en río y canales del valle inferior del Río Chubut. Siprosalud.

Dirección General de Agricultura de Chubut. (2019). Situación Cadena Hortícola y Frutícola Provincial.

Elosegi, A. y Sabater, S. (Eds.). (2009). Conceptos y técnicas en ecología fluvial. Fundación BBVA.

Environmental Protection Agency [EPA]. (2021). Factsheet on water quality parameters. Nutrients.

FAO. (2020). Análisis espacial del balance energético derivado de biomasa – Metodología WISDOM - Provincia del Chubut. Colección Documentos Técnicos No 12. Buenos Aires.

FAO. (s.f.). AGUA y POBLACIÓN ¿Derecho de Quién?

Golden Software, Inc. (2011). Grapher (8.8.957) [Software PC].

Gortari, J. M. (s.f.). Estudio integral de El Valle Inferior del Río Chubut. Fundación Patagonia tercer milenio.

- Hernández, M. A., Ruiz de Galarreta, V. A. y Fidalgo, F. (1983). Diagnósis geohídrica aplicada en el valle inferior del río Chubut. Ciencia del suelo-volumen 1-Nº2
- Iamb, H. (1972). Climate, present, past and future. Vol. 1. Methuen, Londres.
- Jiménez Otárola, F. (1994). El ciclo hidrológico y el hombre: hacia un uso sostenible del agua.
- March, M. A. (2016). Transformaciones y problemáticas socioambientales del periurbano oriental trelewense [Tesis de doctorado]. Universidad Nacional del Sur.
- Metcalf y Eddy, inc. (1995). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Vol. I. (3ra ed.). McGraw-Hill
- Microsoft Corporation. (2013). Microsoft Excel (15.0.4420.1017). <https://office.microsoft.com/excel>
- Ministerio de economía de Argentina. (Noviembre de 2023). Estrategia Pública de Riego en Argentina Factores Críticos y Escenarios Futuros
- Montgomery, D. C. (2004). Diseño y análisis de experimentos. (2da ed.). Editorial Limusia S.A.
- Municipalidad de Trelew. (s.f.). Informe ciudad de Trelew. Informe 2019-2021.
- Muñoz Camacho, E. y Grau Ríos, M. (2013). Ingeniería Química. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura [FAO]. 22 de marzo de 2019. Escasez de agua: Uno de los mayores retos de nuestro tiempo.
- Palacio, F. X. Apodaca, M. J. y Crisci, J.V. (2020). Análisis multivariado para datos biológicos: teoría y su aplicación utilizando el lenguaje R. (1a ed.). Fundación de Historia Natural Félix de Azara.
- Pascual, M. A., Olivier, T., Brandizi, L., Rimoldi, P., Malnero, H. A. y Kaless, G. (2020). Cuenca del Río Chubut. Análisis de Factibilidad para Fondo de Agua. Mayo 2020. Alianza Latinoamericana de Fondos de Agua. 197pp.
- Programa de Servicios Agrícolas Provinciales [PROSAP]. (2008). Modernización del Sistema de Riego y Drenaje del Valle Inferior del Río Chubut. Provincia de Chubut. Volumen I. PROSAP.
- R Core Team (2023). R: A Language and Environment for Statistical Computing [Software PC].
- Richards, L. A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and álcali soils. USDA Agricultural Handbook.
- Sainz-Trápaga, J. M. (2018). GESTIÓN HÍDRICA EN EL VALLE I NFERIOR DEL RÍO CHUBUT. Riesgo de Inundación y Disponibilidad Hídrica a partir de los Aportes de la Cuenca Superior y Media del Río Chubut y la Operación del Embalse Ameghino. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, Facultad de Ingeniería.
- Serra, J.; Ares, J.; Chachero, M.; Feller, J.; Gonzáles Gallastegui, A.; Malnero, H.; March, M.; Pagnoni, G.; Regnando, M.; Scalise, A.; Sainz Trápaga, J.; Stampone, J.; Testino, A.; Villafañe, M. y Wahler, J. (2006). Plan de manejo y Gestión Integral del

Sistema de Tratamiento de Efluentes de la ciudad de Trelew. Facultad de Ingeniería. UNPSJB.

Stewart, B.A. y Howell, T. (Eds). (2004). The Encyclopedia of Water Science. Markel Dekker Inc. New York, NY, USA.

United States Department of Agriculture. (1997). National Engineering Handbook. Irrigation Guide.

Valladares, A. (2004). Cuenca del río Chubut. Cuenca N° 65.

Walpone, R. E., Myers, R. H. y Ye, K. (2007). Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias (8va ed.). Pearson educación.

Otras páginas web consultadas

https://alimentosargentinos.magyp.gob.ar/bpa/Experiencias_en_Provincias/Diagnostico_General_CHUBUT_BPA_FRUTIHORTICOLAS.pdf

<https://chubutpatagonia.gob.ar/destino/dolavon/>

<https://ambiente.chubut.gov.ar/que-hacemos/>

<https://ide.ign.gob.ar/>

ANEXO I: METODOLOGÍA

Dureza (método: SM 2340 C)

La técnica utilizada se refiere a la dureza como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio principalmente. Para su determinación se toman alícuotas de 100 ml de cada muestra, se adiciona 1ml de buffer de amonio (en la forma de cloruro de amonio e hidróxido de amonio) y una punta de espátula de indicador Negro de Eriocromo T e inmediatamente se titula con etilendiaminotetraacético (EDTA) 0,01M. La titulación finaliza cuando se produce el viraje del indicador a azul y ya no se observa tonalidad rojiza. Se repite el proceso con la misma muestra hasta obtener una diferencia entre dos alícuotas menores al 1%, o en su defecto, menor a 0,1ml. Se expresa en mg CaCO₃/L.

$$\text{Dureza (EDTA) en mg CaCO}_3/\text{L} = \frac{A * B * 1000}{\text{mL de muestra}}$$

Donde

A= mL de titulante

B= mg CaCO₃ equivalentes a 1ml de EDTA

Calcio (método: SM 2500-Ca D)

Se toman alícuotas de 100 ml de cada muestra, se adiciona 1 ml de NaOH y se incorpora una punta de espátula del indicador Murexida a dichas alícuotas para seguidamente titular inmediatamente con EDTA, finalizando tras el viraje del indicador de rosado a lila. Se repitió el proceso con la misma muestra hasta obtener una diferencia entre dos alícuotas menores al 1%, o en su defecto, menor a 0,1 ml. El título de la muestra puede expresarse tanto en mg CaCO₃/L como mg Ca/L mediante las fórmulas:

$$\frac{\text{mg Ca}}{\text{L}} = \frac{A * B * 400.8}{\text{mL de muestra}}$$

$$\frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} = \frac{A * B * 1000}{\text{mL de muestra}}$$

Donde:

A= mL de titulante utilizado por muestra

B=mg CaCO₃ equivalentes a 1ml de EDTA en el indicador en punto de equivalencia

Magnesio (método: SM 3500-Mg E)

Dado que la dureza se compone principalmente de calcio y magnesio, este último se obtuvo calculando la diferencia entre la dureza obtenida y la concentración de calcio.

$$\frac{\text{mg Mg}}{\text{L}} = \left[\text{dureza} \left(\frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} \right) - \text{calcio} \left(\frac{\text{mg CaCO}_3}{\text{L}} \right) \right] * 0,243$$

Cloruros (método: SM 4500 Cl B)

Este parámetro puede ser utilizado como indicador de descarga de efluentes cloacales debido a que pasa por el sistema digestivo sin ser absorbido. Para su determinación se toman alícuotas de 100 mL de cada muestra, se adiciona 1ml de indicador dicromato de potasio (K₂CrO₄) a la alícuota y se titula con nitrato de plata (AgNO₃) 0.0141M hasta el viraje del indicador. Se repite el proceso con la misma muestra hasta obtener una diferencia entre dos alícuotas menores al 1%, o en su defecto, menor a 0,1 ml. Posteriormente se titulan 100mL de solución blanco (agua destilada) de la misma forma y teniendo en cuenta las mismas consideraciones que

para las muestras con el fin de corregir el error del indicador. La concentración de cloruros se expresa en mg/L con la fórmula:

$$mgCl - \frac{\mu}{L} = \frac{(A - B) * N * 35450}{mL \text{ de muestra}} \mu$$

Donde:

A= mL de titulante utilizado

B=mL de titulante utilizado en el blanco

N=normalidad del AgNO₃

Sodio (método: SM 3500-Na D)

Para esta determinación se realizan una curva de calibración, que consiste en patrones de 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80 y 100 ppm de cloruro de sodio (NaCl), y se toman alícuotas de las muestras de 50 ml aproximadamente en vasos de plástico. Se utiliza un fotómetro de llama (en este caso Metrolab 315), que inicialmente se calibra con los patrones de 0 y 100 ppm y luego se nebulizan las muestras para corroborar si es necesario realizar diluciones de las mismas. Se continúa con las lecturas de los patrones de la misma forma que las muestras. Los valores obtenidos de cada solución se registran y, utilizando el software Excel, se realizaron las rectas de regresión que mejor ajustan y describen la variación de los datos en cada ocasión, lo que permite estimar la concentración de sodio de cada muestra expresados en ppm o mg/L.

Potasio (método: SM 3500-K D)

Se trasvasan alícuotas de 50 ml aproximadamente a vasos de plástico y se realiza una curva de calibración que consiste en patrones de 1, 2, 3, 4 y 5 ppm de cloruro de potasio (KCl). Para esta determinación se utiliza fotómetro de llama (en este caso Metrolab 315), que inicialmente fue calibrado con los patrones de 0 y 5 ppm, luego se nebulizan las muestras para corroborar si es necesario realizar diluciones de las mismas, y se continúa con la lectura de los patrones. Los valores obtenidos de cada solución se registran y, utilizando el software Excel, se realizaron las rectas de regresión que mejor ajustaron y describieron la variación de los datos en cada ocasión, lo que permitió estimar la concentración de potasio de cada muestra expresados en ppm o mg/L.

DBO5 (método: SM 5210 B)

La determinación de la demanda biológica de oxígeno (DBO) es una técnica que permite medir de forma indirecta la cantidad de materia orgánica que puede ser degradada por los microorganismos. Para esto las muestras son incubadas por cinco días, lo que permite determinar puntualmente la materia orgánica carbonácea. Las muestras se conservan en incubadora hasta que alcanzaran los 20°C y posteriormente se mide el oxígeno disuelto inicial (ODi) con sonda de oxígeno disuelto. Posteriormente se mantienen las muestras a incubadora por 5 días en oscuridad total. Transcurrido el tiempo se mide el oxígeno disuelto final (ODf) y se calcula la DBO5 como la diferencia entre las dos mediciones:

$$DBO5(mg O2/L) \mu ODi - ODf$$

DQO (método: HACH 8000)

La demanda química de oxígeno es una medida indirecta de la cantidad de la materia orgánica que puede ser oxidada químicamente, es decir que se incluye tanto materia biodegradable como no biodegradable. Esta determinación se realiza a

través del método de digestión por reactor establecido por HACH, que consiste en la utilización de viales que contienen en su interior todos los reactivos necesarios para llevar a cabo el procedimiento. A estos viales se les adicionan 2mL de muestra y seguidamente se los coloca en el digestor precalentado durante 2hs a 120°C. Finalizada la digestión se dejan enfriar y al llegar a temperatura ambiente se introducen los viales (elaborados en vidrio óptico) en el fotómetro HACH DR2700 y se lee en el programa correspondiente (rango bajo). El valor obteniendo se encuentra expresado en mg de O₂/L.

Sólidos sedimentables (método: SM 2540 F):

Es el material sólido que se encuentra en la muestra que tiene capacidad de sedimentar por su propio peso en diferentes periodos de tiempo:

- A 10 minutos

Se colocan alícuotas de 1L de muestra en conos de Imhoff y se dejan en reposo durante 10 minutos. Se registra el volumen de sólidos encontrado en el fondo del cono.

- A los 60 minutos

Las muestras de agua en los conos de Imhoff de la determinación anterior se dejan sedimentar otros 35 minutos. Trascurrido este tiempo se desprendieron suavemente de las paredes de los conos las partículas que pudieran tener depositadas encima con una varilla de vidrio. Posteriormente se deja reposar otros 15 minutos y se realiza la lectura y registro del volumen sedimentado.

- A los 120 minutos

Las muestras de agua en los conos de la determinación anterior se dejan sedimentar otros 60 minutos y se vuelve a registrar el volumen de sólido depositado en el fondo del mismo.

En todos los casos se expresa en mg de sólido por L de muestra

Sólidos totales (método: SM 2540 B):

Se refiere a todo el material que queda tras ser evaporada el agua de la muestra, incluyendo sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y sólidos disueltos. Para esta determinación se utilizan cápsulas cerámicas, que deben haber sido incineradas en una mufla a 550°C durante 1 hora a fin de retirar material orgánico que pueda retener en su superficie y posteriormente deben haber sido pesada en balanza analítica. Se toman alícuotas de 100 ml de muestra que se trasvasan a las cápsulas calcinadas y pesadas. La probeta con la que se toma la alícuota se enjuaga tres veces con agua destilada. Las cápsulas con la muestra se llevan a estufa a 103°C ± 2°C durante 24 hs y luego se dejan enfriar en desecador otras 24hs. Cada una se vuelve a pesar y se calcula la cantidad de sólidos totales de la siguiente manera:

$$\frac{\text{mg de sólidos totales}}{L} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{ml de muestra}}$$

Donde:

A= el peso final de la cápsula con residuo seco (mg)

B= el peso inicial de la cápsula (mg)

En todos los casos las cápsulas fueron manipuladas con pinzas metálicas y no entraron en contacto con ninguna superficie que no fuera la de la estufa, el desecador o la balanza.

- **Sólidos totales fijos (método: SM 2540 E):** representa la porción de sólidos que queda en la cápsula tras calcinarse la alícuota a 550°C. Brinda una idea de la cantidad de materia inorgánica presente en la muestra pero no es una medida equivalente ya que algunos compuestos inorgánicos también pueden perderse durante el proceso. Para este caso, las cápsulas con los sólidos totales pesadas se llevan a la mufla, donde se incineraron a 550°C ± 50°, por 1 hora. Trascurrido el tiempo se dejan enfriar en un desecador y se vuelven a pesar. Los sólidos totales fijos se calculan con la fórmula:

$$\frac{\text{mg de sólidos totales fijos}}{L} = \frac{(A) * 1000}{\text{ml de muestra}}$$

Donde

A=peso final de la cápsula después de ser calcinada la muestra

- **Sólidos totales volátiles (método: SM 2540 E):** representa la fracción de sólidos que se volatilizó en el proceso de calcinado. Brinda una idea de la cantidad de materia orgánica presente en la muestra, aunque no son equivalentes ya que parte de la materia orgánica se pierde tras la evaporación a 103°C ± 2°C y también se descompone parte de la materia inorgánica. Dado que los sólidos volátiles se pierden con el proceso de calcinación en la mufla, se calcula la concentración de sólidos totales volátiles con la fórmula:

$$\frac{\text{mg de sólidos totales volatiles}}{L} = \frac{(B-C) * 1000}{\text{mL de muestra}}$$

Donde

B= peso final de la cápsula antes de ser calcinada la muestra

C= peso final de la cápsula después de ser calcinada la muestra

Sólidos disueltos totales (método: SM 2540 C):

Es la porción de sólidos que pasa a través de filtros con tamaño de poro igual a 2µm o inferior. Para su determinación se toman alícuotas de 100ml de las muestras, se descargan en filtros colocados en porta filtros, y se recibe en un kitasato. Los filtros utilizados fueron Whatman GF/C de 55 mm de diámetro o en su defecto filtros de fibra de vidrio Whatman GF/F de 55 mm de diámetro. La probeta utilizada para tomar la alícuota se enjuaga tres veces con alícuotas de 10 ml, descargándolas en el filtro. Posteriormente el contenido del kitasato se trasvasa a una cápsula cerámica de 250 ml (previamente calcinada y pesada) y se realizan otros tres enjuagues del mismo. Las cápsulas con las muestras se llevaron a estufa a 103°C ± 2°C durante 24hs. Posteriormente se dejan enfriar en un desecador otras 24hs y finalmente se pesan. El contenido de sólidos disueltos totales presentes en la muestra se calcula con la siguiente fórmula:

$$\frac{\text{mg de sólidos disueltos totales}}{L} = \frac{(A-B) * 1000}{\text{mL de muestra}}$$

Donde:

A= el peso final de la cápsula con residuo seco (mg)

B= el peso inicial de la cápsula (mg)

- **Sólidos disueltos fijos (método: SM 2540 E):** Ídem sólidos totales fijos
- **Sólidos disueltos volátiles (método: SM 2540 E):** Ídem sólidos totales volátiles.

Sólidos suspendidos (método: SM 2540 D):

Incluye todo material presente en la muestra que queda retenido en el filtro durante el proceso de filtrado. Los filtros utilizados en las determinaciones de sólidos disueltos totales previamente deben haber sido secados en estufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ por 24 hs, enfriado en desecador otras 24 hs y pesado en balanza analítica. Una vez filtradas las muestras que serán destinadas a la determinación de sólidos disueltos totales y realizados los enjuagues de la probeta, el filtro se seca en estufa durante 24hs, luego se enfría en desecador otras 24hs y se pese. Se obtiene la cantidad de sólidos suspendidos a través de la fórmula

$$\frac{\text{mg sólidos suspendidos}}{L} = \frac{(A - B) * 1000}{\text{ml de muestra}}$$

Donde:

A: peso del filtro tras el filtrado y secado (mg)

B: peso del filtro inicial (mg)

RAS (WATER QUALITY CRITERIA EPA 1973)

Relación de Absorción de Sodio se calcula a partir de las concentraciones obtenidas por los métodos ya descriptos y transformadas a meq/l mediante el uso del peso equivalente:

$$RAS = \frac{[Na]}{\sqrt{\frac{[Ca] + [Mg]}{2}}}$$

Donde

[Na]: concentración de sodio, expresadas en meq/L

[Ca]: concentración de calcio, expresadas en meq/L

[Mg]: concentración de magnesio, expresadas en meq/L

Coliformes totales (NMP/100 ML) (método: SM 9221 B)

Son bacterias gram-negativas con capacidad para fermentar lactosa que pueden ser utilizadas como indicadores de posibles condiciones sanitarias inadecuadas en el ambiente, aunque muchas de las especies dentro de este grupo pueden encontrarse en la naturaleza. En este caso, la técnica utilizada es la de fermentación de tubos múltiples que consiste en la siembra de la muestra en tubos con el medio Lauril lactosa, realizando diluciones 1/10, 1/100 y 1/1000. Cada dilución se realiza por triplicado, de forma que al finalizar se obtienen 9 tubos inoculados con tres concentraciones diferentes. Durante el proceso se utilizan elementos esterilizados y se debe trabajar siempre dentro de la zona de asepsia que se genera en cercanías al mechero Bunsen. Los tubos de ensayo se llevan a 35°C durante 48hs en estufa y se considera positiva la prueba cuando se observa la presencia de gas en la campana de Durham y el desarrollo de turbidez. El resultado final se determina a través de tablas mediante el número de tubos positivos para cada dilución.

Coliformes fecales (NMP/100 mL) (método: SM 9221 E)

Los coliformes fecales son un subgrupo dentro de los coliformes totales que incluye bacterias presentes en el intestino de animales de sangre caliente, fermentan lactosa y tienen la particularidad de ser termotolerantes. Aquellos tubos en los que se observan resultados positivos para la prueba presuntiva de Coliformes totales se repican para realizar la prueba de Coliformes fecales. Este proceso se realiza transfiriendo alícuotas de los tubos seleccionados a otros con medio de cultivo EC MUG mediante ansa calibrada con aros de 3mm de diámetro, siempre trabajando en la zona de asepsia creada por el mechero. A continuación se llevan a un baño de inmersión en el que permanecen por 24hs a 44,5°C. Se identifican como positivo para coliformes fecales aquellos tubos que presentan gas en la campana de Durham y la estimación de la densidad bacteriana se realiza a partir de la comparación del número de tubos positivos para cada dilución con valores de tablas.

***Escherichia coli* (método: SM 9221 F)**

Una de las especies incluidas en el grupo de coliformes fecales es la *E. coli*, indicadora de contaminación fecal reciente dado que no sobrevive grandes periodos de tiempo en el ambiente. Si bien muchas cepas son inocuas, algunas son capaces de producir toxinas y generar enfermedades graves². La determinación de presencia y estimación de la densidad se realiza a partir de los tubos positivos en los que se determinaron coliformes fecales, sobre los cuales se incide luz ultravioleta y aquellos que presentan fluorescencia son considerados positivos. Al igual que en los casos anteriores, se contabilizan los tubos positivos para esta técnica y se comparan los valores obtenidos con los de tablas que permiten la estimación.

Enterococos fecales (NMP/100 ML) (método: Rothe/Litsky)

Los Enterococos son un grupo de bacterias Gram-positivas que pueden encontrarse en el intestino de animales de sangre caliente. Además presentan un rango de tolerancia ambiental mayor que otras bacterias intestinales, por lo que puede ser usado como indicador de contaminación fecal pasada. Para esta prueba es utilizada la técnica de fermentación de tubos múltiples. Al igual que con la prueba de coliformes totales se realizan diluciones 1/10, 1/100 y 1/1000 sembrando las muestras por triplicado, pero se utilizan tubos con medio Azida dextrosa. De esta forma se obtienen nueve tubos inoculados con tres concentraciones diferentes. Durante todo el procedimiento de siembra se trabajó con material esterilizado y dentro de la zona de asepsia que se genera en cercanías al mechero. Posteriormente se incuban los tubos a 35-36°C durante 48hs y se considera positiva la prueba cuando se observa turbidez en el medio.

La prueba confirmativa para este grupo se realiza con medio Azida Etil Violeta (EVA). Se repican aquellos tubos que dieron positivo para la prueba presuntiva utilizando ansa calibrada con aros de 3mm y se llevan a estufa a 36°C por 24hs. La presencia de turbidez y la formación de precipitado blanco o violáceo en el fondo del tubo confirman la presencia de Enterococos fecales en la muestra. La estimación de la densidad bacteriana se realiza a partir de la comparación del número de tubos positivos para cada dilución con tablas.

² <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/e-coli>

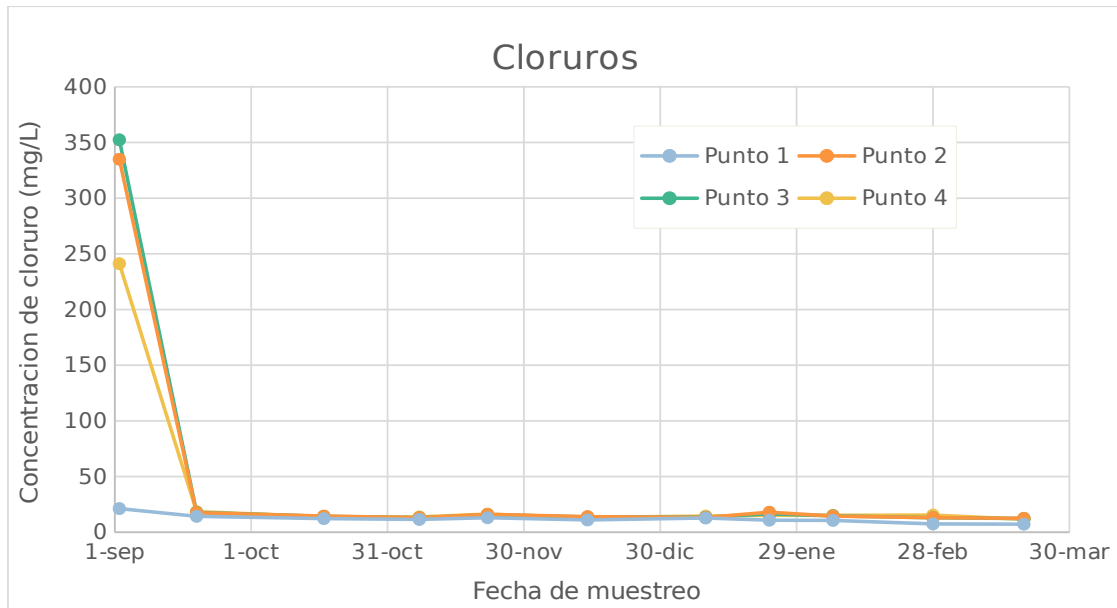
ANEXO II: TABLAS DE RESULTADOS Y GRÁFICOS COMPLETOS

Calcio (mg Ca/L)

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	34,62	494,18	328,25	268,73
3-oct	22,73	24,89	27,41	29,94
17-oct	23,48	26,09	25,71	22,36
7-nov	22,74	25,72	26,09	25,72
22-nov	22,74	25,72	25,71	26,84
14-dic	21,99	25,72	26,09	25,72
9-ene	20,87	25,35	24,97	19,01
23-ene	20,50	30,57	28,32	21,25
6-feb	22,25	28,00	28,38	26,08
28-feb	23,01	28,77	29,15	30,69
20-mar	22,63	29,15	29,53	28,77

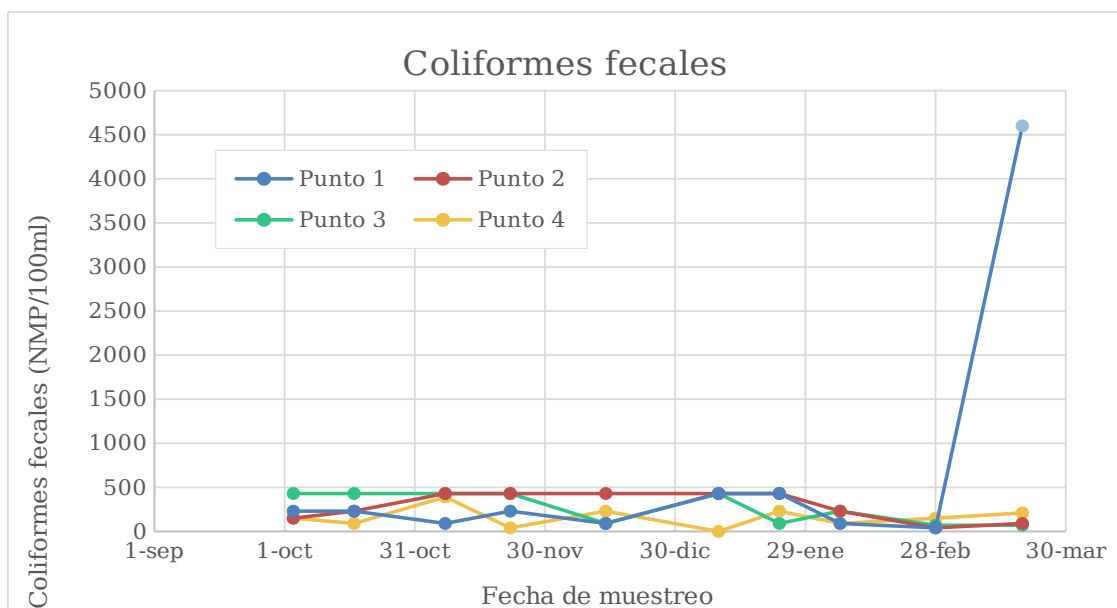
Cloruro (mg Cl/L)

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	21,24	334,90	352,39	241,17
3-oct	14,25	17,49	17,74	18,49
17-oct	12,25	14,50	14,25	14,00
7-nov	11,50	13,00	13,00	13,75
22-nov	13,00	16,00	15,75	16,24
14-dic	11,00	14,00	13,75	13,25
9-ene	12,75	13,25	13,50	14,50
23-ene	10,79	17,99	16,45	15,16
6-feb	10,61	14,46	14,70	15,19
28-feb	7,47	13,02	13,02	15,43
20-mar	7,23	12,54	12,29	11,57



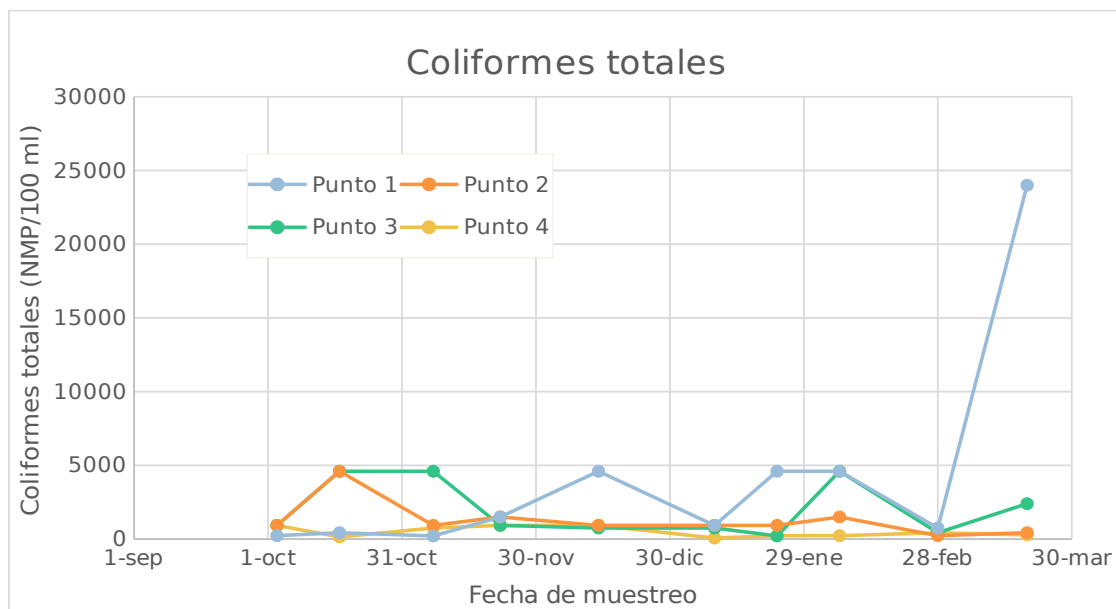
Coliformes fecales (NMP/100ml)

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
3-oct	230	150	430	150
17-oct	230	230	430	90
7-nov	90	430	430	390
22-nov	230	430	430	40
14-dic	90	430	90	230
9-ene	430	430	430	0
23-ene	430	430	90	230
6-feb	90	230	230	90
28-feb	40	40	70	150
20-mar	4600	90	70	210



Coliformes totales (NMP/100ml)

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	-	-	-	-
3-oct	230	930	930	930
17-oct	430	4600	4600	150
7-nov	210	930	4600	750
22-nov	1500	1500	930	930
14-dic	4600	930	750	930
9-ene	930	930	750	70
23-ene	4600	930	210	230
6-feb	4600	1500	4600	230
28-feb	750	230	430	430
20-mar	240000	430	2400	280



Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

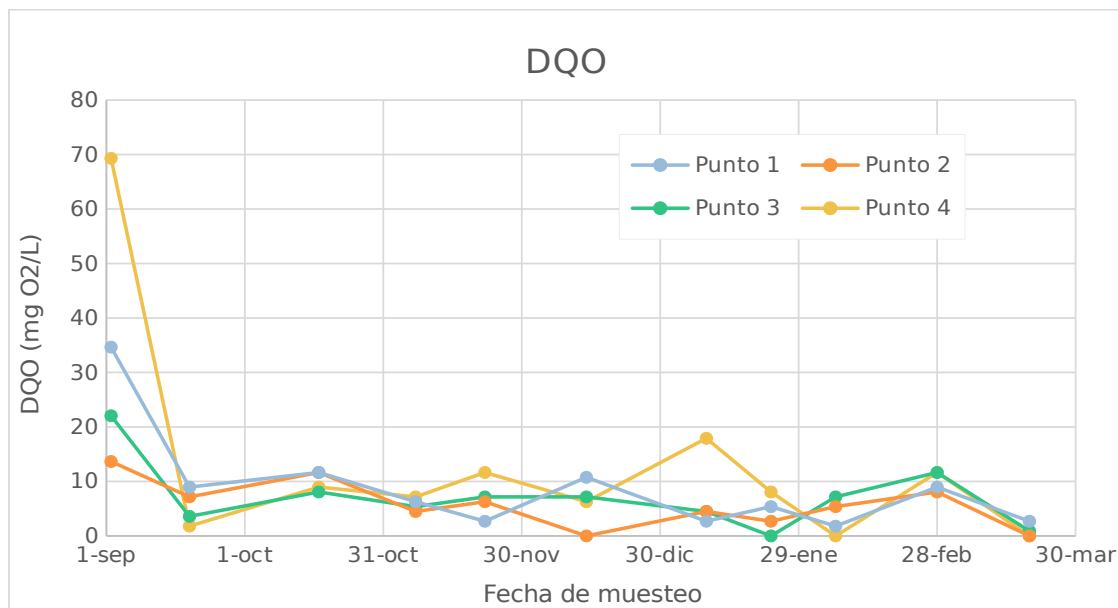
Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	492	3840	3890	2720
3-oct	312	354	372	384
17-oct	286	329	329	331
7-nov	294	331	340	335
22-nov	295	329	323	323
14-dic	286	319	322	310
9-ene	279	316	308	295
23-ene	259	373	340	308
6-feb	258	331	322	320
28-feb	280	357	344	373
20-mar	278	363	344	344

DBO ($\text{mg O}_2/\text{L}$)

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	6,5	1,58	12,75	8,49
3-oct	3,79	1,85	8,91	2,66
17-oct	1,65	1,13	1,66	1,88
7-nov	1,5	0,88	1,58	2,3
22-nov	1,69	1,37	1,43	3,37
14-dic	1,27	1,12	0,96	2,87
9-ene	0,65	1,09	1,74	7,48
23-ene	2,22	1,07	1,87	2,06
6-feb	0,99	1,05	1,24	1,74
28-feb	1,22	1,84	1,31	1,76
20-mar	0,88	0,82	1,12	1,14

DQO (mgO₂/L)

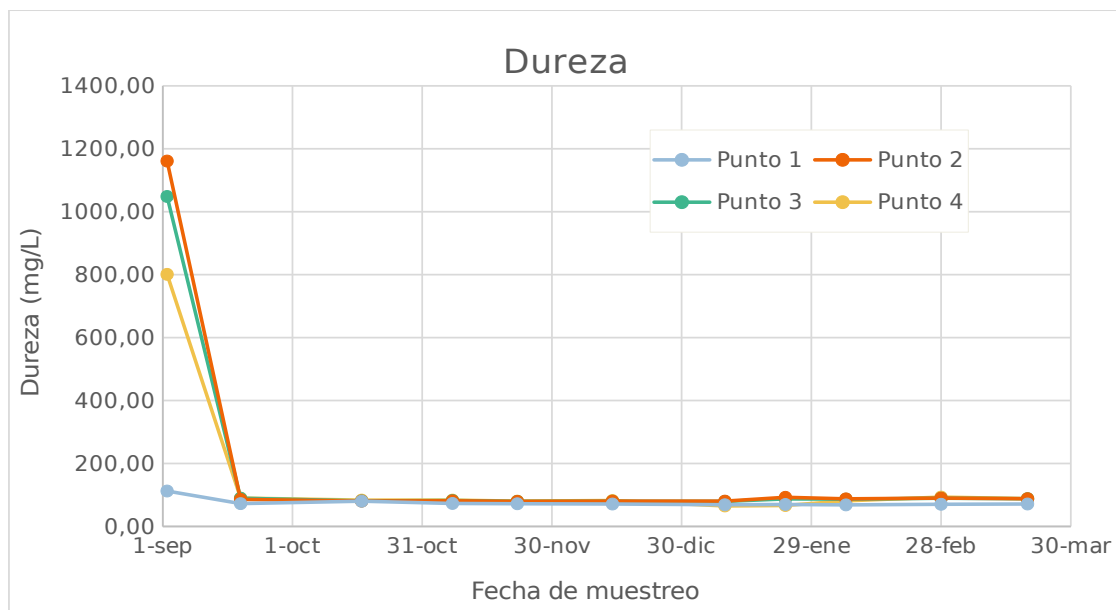
Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	34,65	13,65	22,05	69,30
3-oct	8,96	7,16	3,58	1,79
17-oct	11,64	11,64	8,06	8,96
7-nov	6,27	4,48	5,37	7,16
22-nov	2,69	6,27	7,16	11,64
14-dic	10,75	0,00	7,16	6,27
9-ene	2,69	4,48	4,48	17,91
23-ene	5,37	2,69	0,00	8,06
6-feb	1,79	5,37	7,16	0,00
28-feb	8,96	8,06	11,64	11,64
20-mar	2,69	0,00	0,90	0,00



Dureza (mg CaCO₃/L)

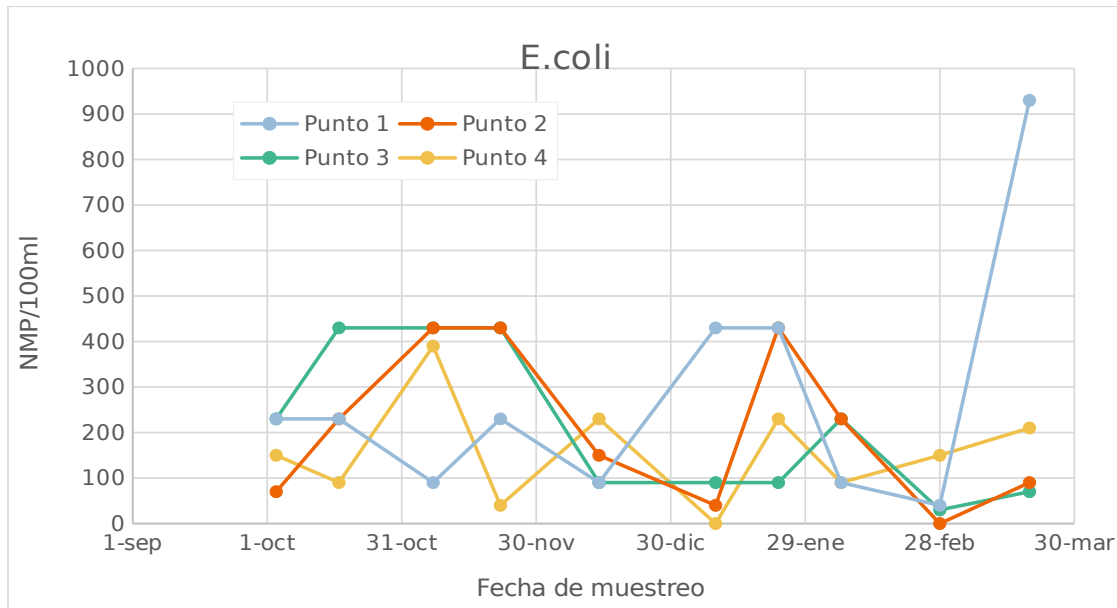
Fecha de	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
----------	---------	---------	---------	---------

muestreo				
2-sep	112,50	1161,00	1048,50	801,00
3-oct	72,45	85,95	89,55	90,00
17-oct	80,10	80,55	81,00	83,70
7-nov	73,01	81,38	82,31	83,70
22-nov	72,08	79,52	79,52	80,45
14-dic	71,15	80,45	79,98	82,31
9-ene	68,82	80,45	79,52	65,10
23-ene	69,75	92,54	87,42	66,50
6-feb	68,43	87,57	86,61	81,35
28-feb	70,34	89,96	89,48	93,31
20-mar	71,30	88,04	88,04	88,04



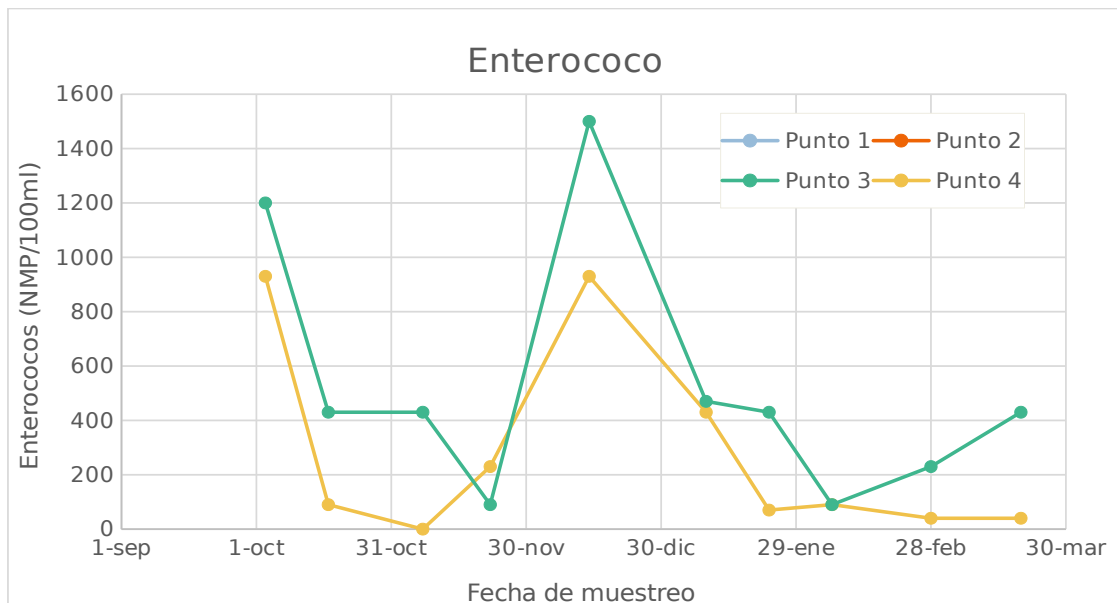
E.coli (NMP/100ml)

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	-	-	-	-
3-oct	230	70	230	150
17-oct	230	230	430	90
7-nov	90	430	430	390
22-nov	230	430	430	40
14-dic	90	150	90	230
9-ene	430	40	90	<30
23-ene	430	430	90	230
6-feb	90	230	230	90
28-feb	40	0	30	150
20-mar	930	90	70	210



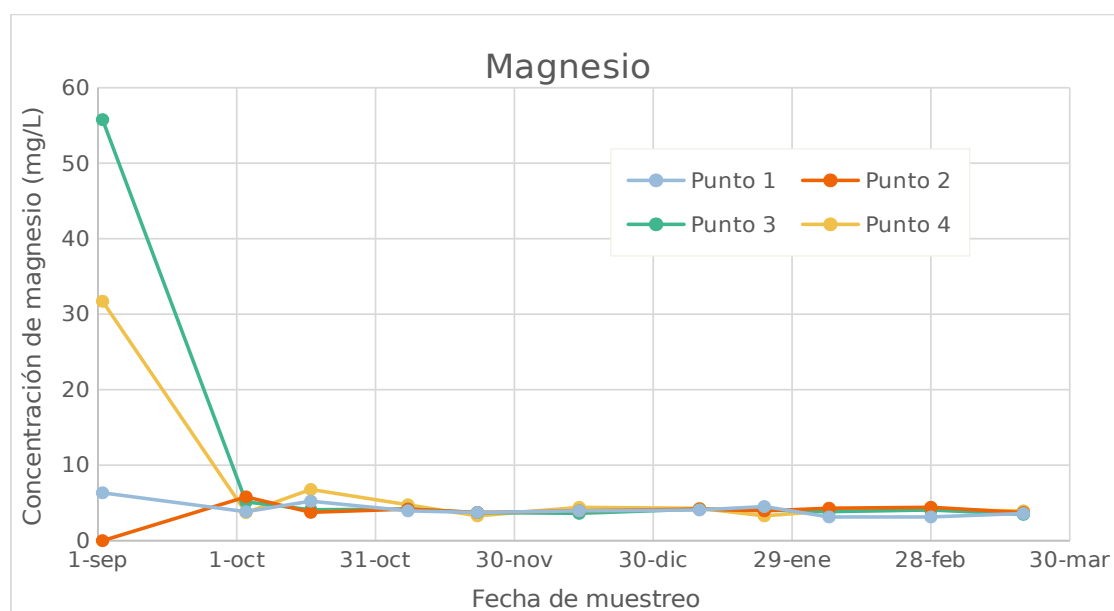
Enterococos fecales (NMP/100ml)

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	-	-	-	-
3-oct	930	2400	1200	930
17-oct	230	750	430	90
7-nov	430	430	430	0
22-nov	230	930	90	230
14-dic	2400	230	1500	930
9-ene	280	230	470	430
23-ene	430	230	430	70
6-feb	230	430	90	90
28-feb	230	430	230	40
20-mar	1500	930	430	40



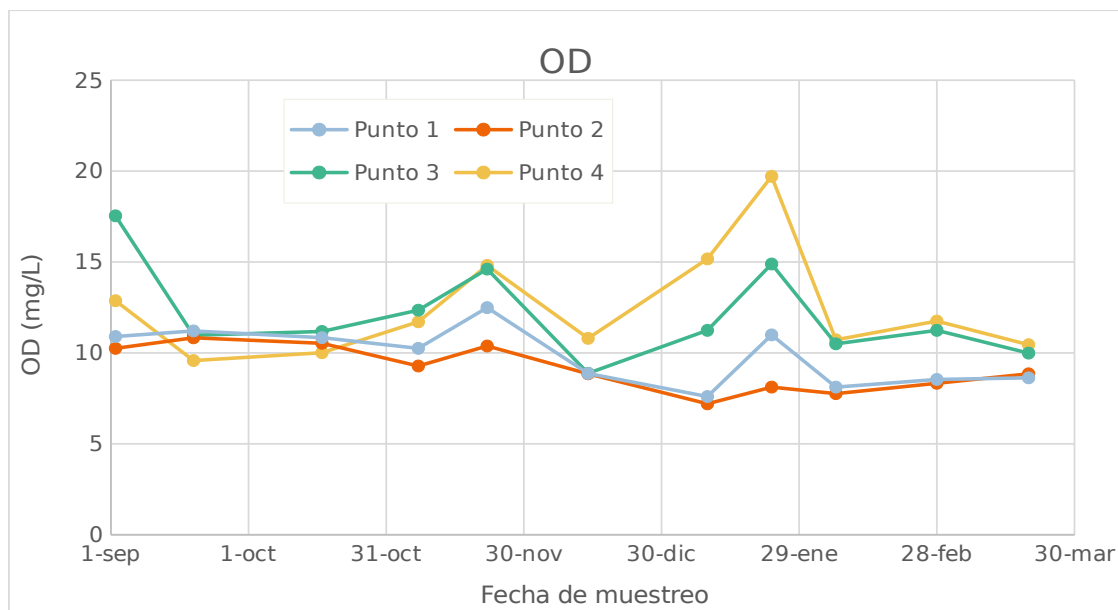
Magnesio (mg Mg/L)

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	6,34	0	55,77	31,71
3-oct	3,83	5,80	5,14	3,72
17-oct	5,23	3,75	4,09	6,78
7-nov	3,95	4,18	4,18	4,75
22-nov	3,73	3,73	3,73	3,28
14-dic	3,95	3,95	3,62	4,41
9-ene	4,07	4,18	4,18	4,29
23-ene	4,52	3,95	4,07	3,28
6-feb	3,14	4,30	3,84	3,95
28-feb	3,14	4,42	4,07	4,07
20-mar	3,60	3,72	3,49	3,95



Oxígeno disuelto (mg O₂/L)

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	10.9	10.25	17.54	12.87
3-oct	11.21	10.83	10.97	9.58
17-oct	10.84	10.53	11.18	10.01
7-nov	10.25	9.28	12.35	11.71
22-nov	12.49	10.38	14.61	14.81
14-dic	8.87	8.85	8.88	10.8
9-ene	7.6	7.2	11.24	15.17
23-ene	10.99	8.12	14.89	19.71
6-feb	8.12	7.76	10.5	10.72
28-feb	8.54	8.33	11.24	11.75
20-mar	8.63	8.85	9.99	10.45



Oxígeno disuelto (%)

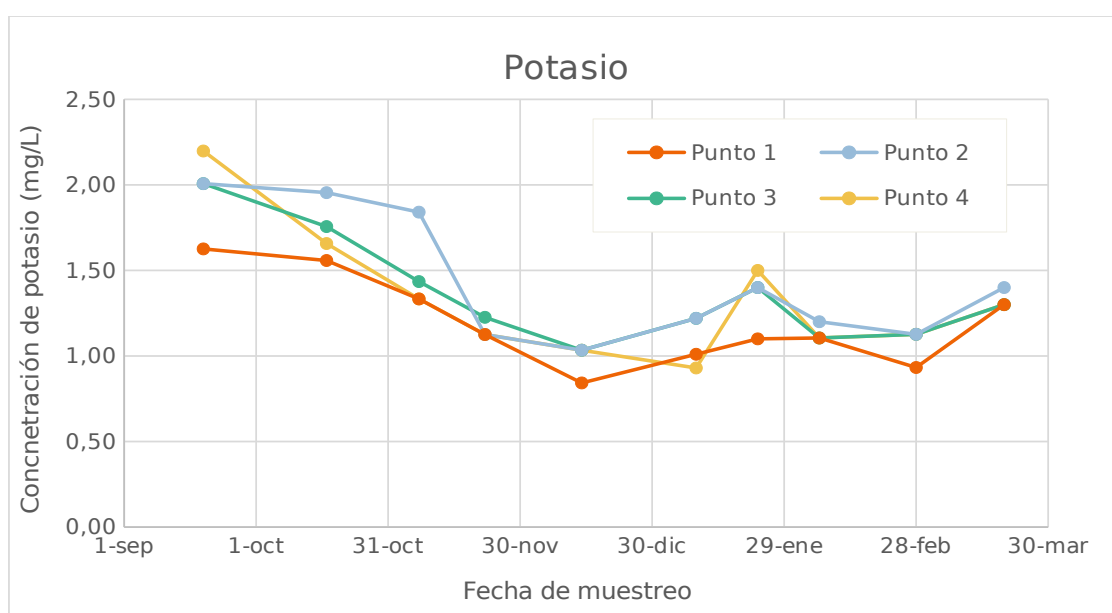
Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	89.2	95.5	147.4	109.1
3-oct	102	99.8	101	87.6
17-oct	103.4	100.7	107	95.2
7-nov	111	99.8	133.7	130.6
22-nov	128.7	107.8	154.7	161.8
14-dic	91.7	94.3	93.9	115.8
9-ene	90.3	85.7	136.1	189.3
23-ene	125.6	92.2	177.7	250
6-feb	90.7	87.4	119.6	121
28-feb	91.4	89.1	122.1	129.8
20-mar	87.1	90.6	101.7	106

pH

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	7,97	8,02	8,06	8,29
3-oct	8,41	8,13	7,7	7,66
17-oct	8,85	8,75	8,78	8,56
7-nov	8,2	8,15	7,74	8,13
22-nov	8,42	8,27	8,6	9,49
14-dic	6,7	7,24	7,32	7,74
9-ene	8	7,93	8,37	9,22
23-ene	7,97	7,89	8,47	9,39
6-feb	8,12	8,06	8,2	8,49
28-feb	8,49	8,06	8,14	8,74
20-mar	8,16	8,66	7,74	8,02

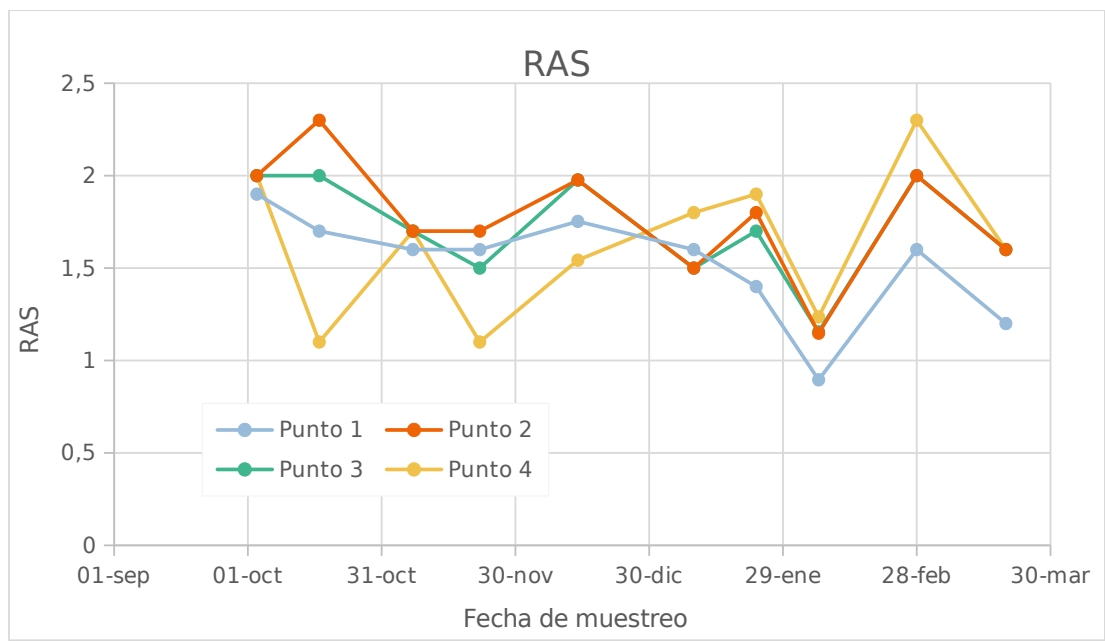
Potasio (mg K/L)

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	-	-	-	-
3-oct	1,63	2,01	2,01	2,20
17-oct	1,56	1,95	1,76	1,66
7-nov	1,33	1,84	1,43	1,33
22-nov	1,13	1,13	1,23	1,13
14-dic	0,84	1,03	1,03	1,03
9-ene	1,01	1,22	1,22	0,93
23-ene	1,10	1,40	1,40	
6-feb	1,11	1,20	1,11	1,11
28-feb	0,93	1,13	1,13	1,13
20-mar	1,30	1,40	1,30	1,30



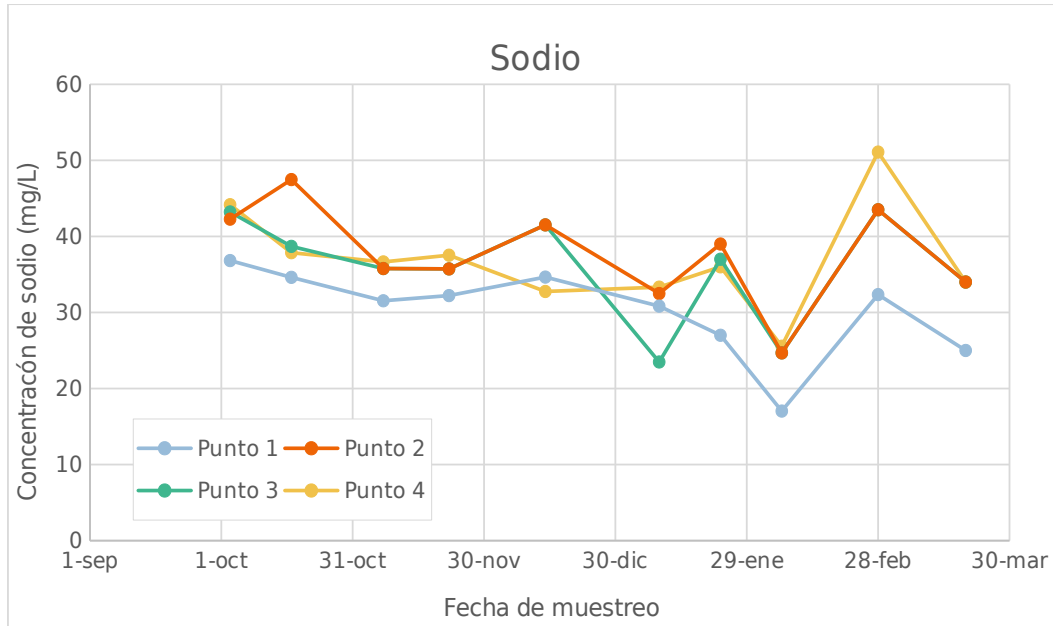
RAS

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	1,70	7,20	8,10	5,10
3-oct	1,90	2,00	2,00	2,00
17-oct	1,70	2,30	2,00	1,10
7-nov	1,60	1,70	1,70	1,70
22-nov	1,60	1,70	1,50	1,10
14-dic	1,75	1,98	1,98	1,54
9-ene	1,60	1,50	1,50	1,80
23-ene	1,40	1,80	1,70	1,90
6-feb	0,90	1,15	1,15	1,24
28-feb	1,60	2,00	2,00	2,30
20-mar	1,20	1,60	1,60	1,60



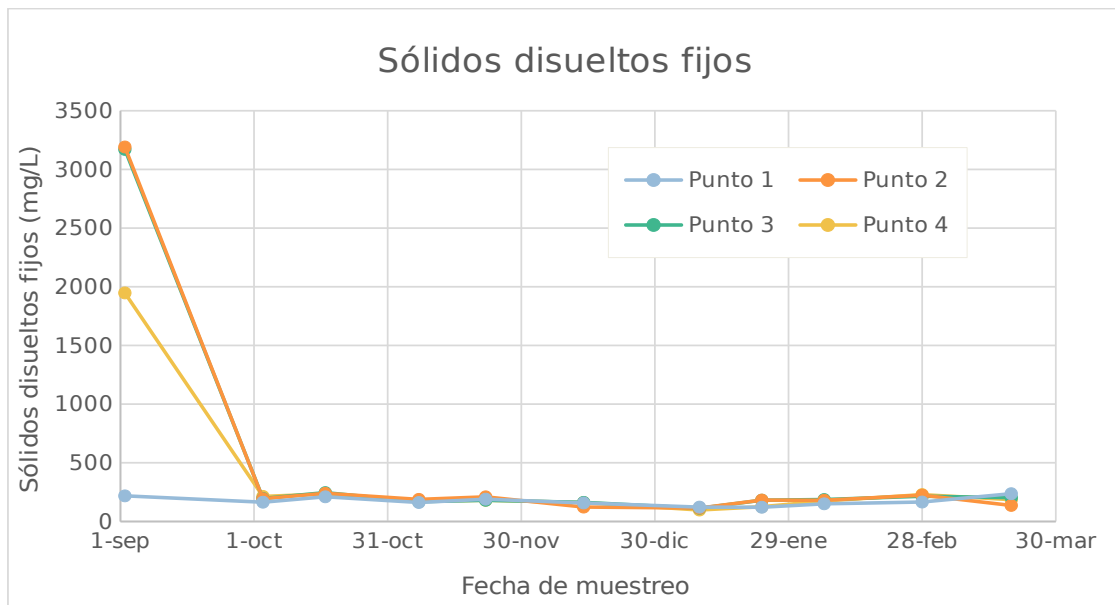
Sodio (mg Na/L)

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	-	-	-	-
3-oct	36,82	42,27	43,21	44,17
17-oct	34,62	47,47	38,69	37,86
7-nov	31,54	35,77	35,77	36,65
22-nov	32,22	35,72	35,72	37,53
14-dic	34,65	41,51	41,51	32,76
9-ene	30,83	32,49	23,49	33,33
23-ene	27,00	39,00	37,00	36,00
6-feb	27,35	34,8	34,8	35,7
28-feb	32,35	43,50	43,50	51,09
20-mar	25,00	34,00	34,00	34,00



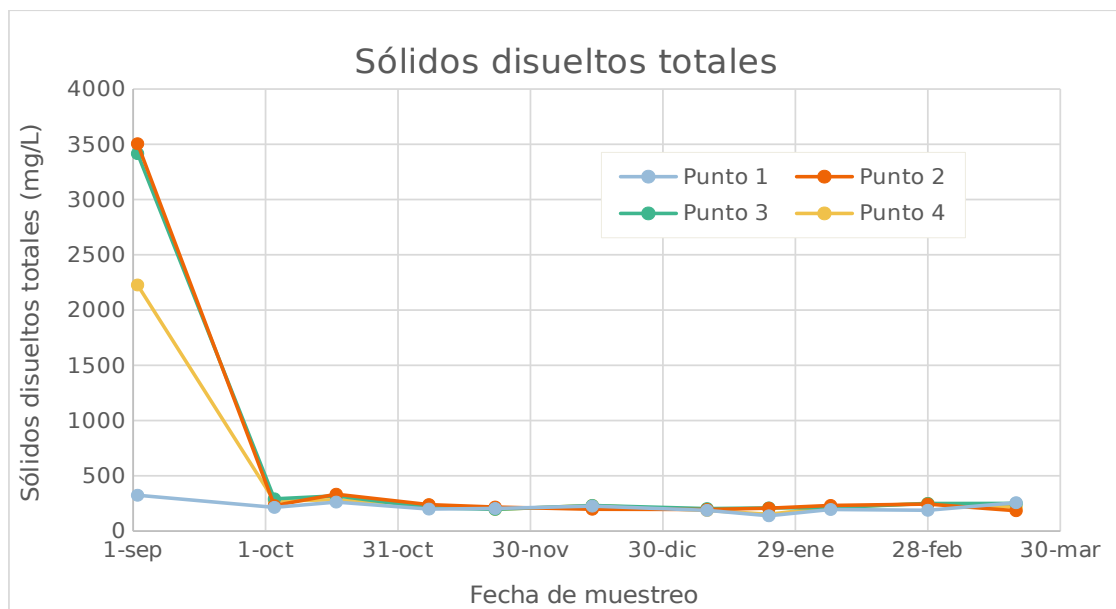
Sólidos disueltos fijos (mg/L)

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	218,18	3190,91	3170,41	1947,42
3-oct	164,28	193,68	195,87	213,40
17-oct	210,20	240	245,83	234,69
7-nov	161,70	188,30	168,54	171,11
22-nov	190,11	209,78	180,85	180,90
14-dic	158	122,62	162,65	161,44
9-ene	122,47	114,44	112,34	97,5
23-ene	121,35	182,56	181,52	125,61
6-feb	150,59	180,85	186,81	174,16
28-feb	165,59	224,17	215,05	229,03
20-mar	236,66	136,84	203,19	185,56



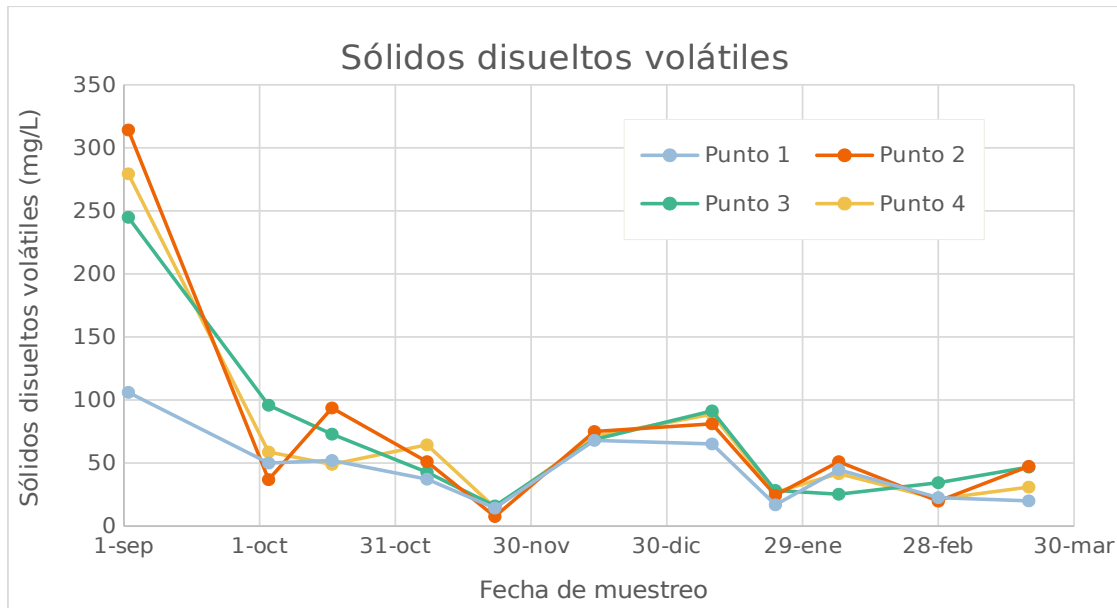
Sólidos disueltos totales (mg/L)

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	324,24	3505,05	3415,30	2226,80
3-oct	214,28	230,52	291,75	272,16
17-oct	262,24	333,68	318,75	283,67
7-nov	198,93	239,36	211,23	235,55
22-nov	204,39	217,39	196,81	195,50
14-dic	226	197,62	231,321	232,53
9-ene	187,65	195,55	203,70	186,25
23-ene	138,20	206,97	209,78	152,42
6-feb	195,29	231,91	212,09	215,73
28-feb	188,17	243,95	249,46	250,53
20-mar	256,66	184,21	250	216,49



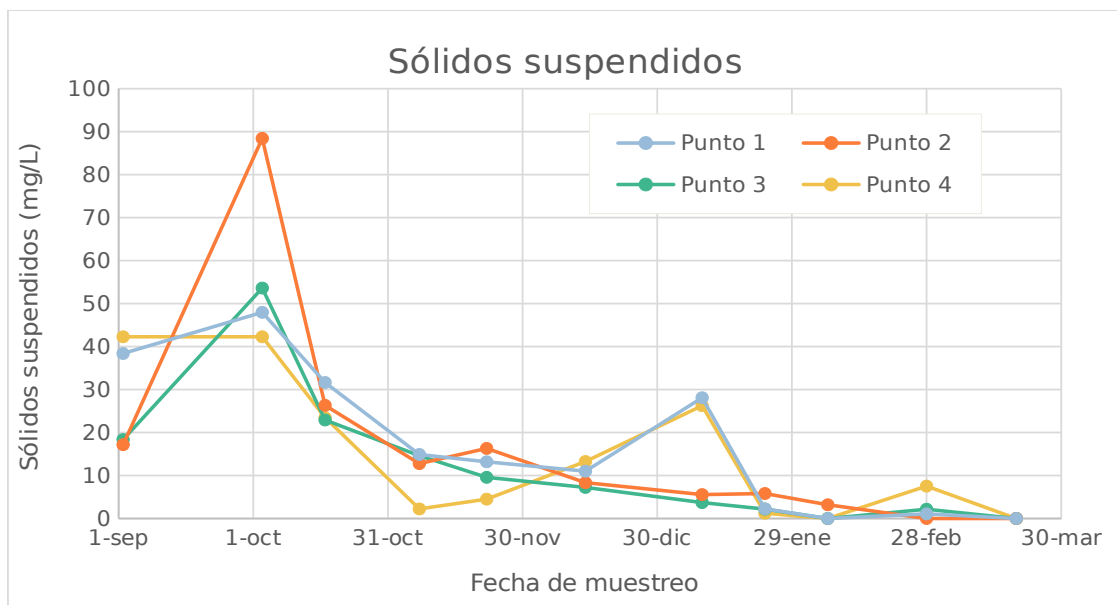
Sólidos disueltos volátiles (mg/L)

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	106,06	314,14	244,89	279,38
3-oct	50	36,84	95,88	58,76
17-oct	52,04	93,68	72,92	48,98
7-nov	37,23	51,064	42,69	64,44
22-nov	14,28	7,61	15,96	14,61
14-dic	68	75	68,67	71,08
9-ene	65,17	81,11	91,36	88,75
23-ene	16,85	24,42	28,26	26,83
6-feb	44,70	51,06	25,27	41,57
28-feb	22,58	19,78	34,41	21,50
20-mar	20	47,37	46,80	30,92



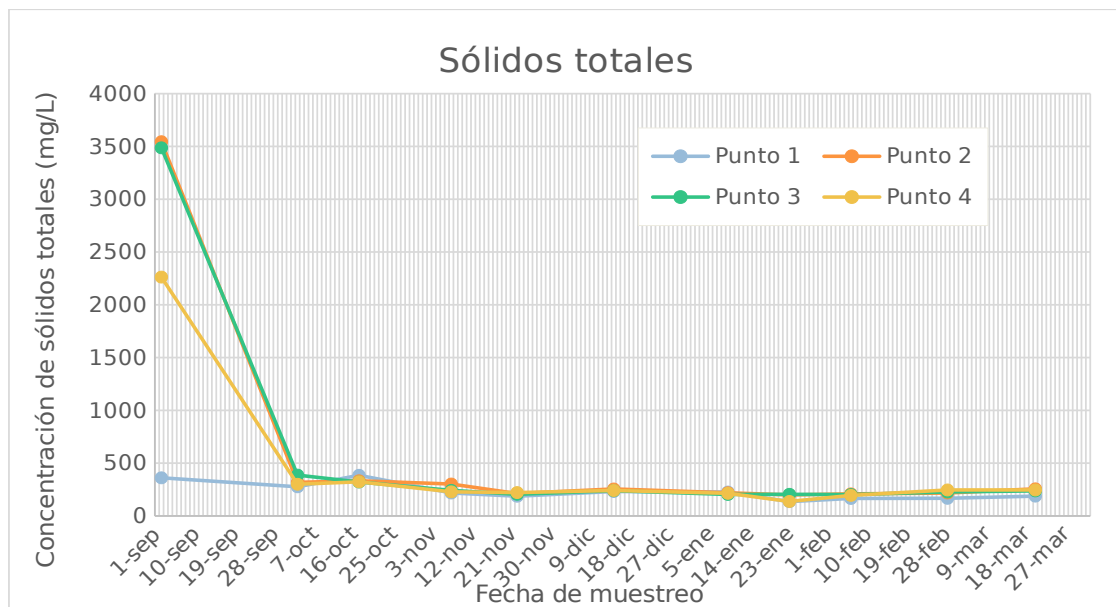
Sólidos suspendidos (mg/L)

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	38,38	17,17	18,37	42,26
3-oct	47,96	88,42	53,61	42,26
17-oct	31,63	26,31	22,92	23,46
7-nov	14,89	12,76	14,60	2,22
22-nov	13,19	16,30	9,57	4,49
14-dic	11	8,33	7,23	13,25
9-ene	28,09	5,55	3,70	26,25
23-ene	2,247	5,81	2,17	1,21
6-feb	0	3,19	0	0
28-feb	1,07	0	2,15	7,52
20-mar	0	0	0	0



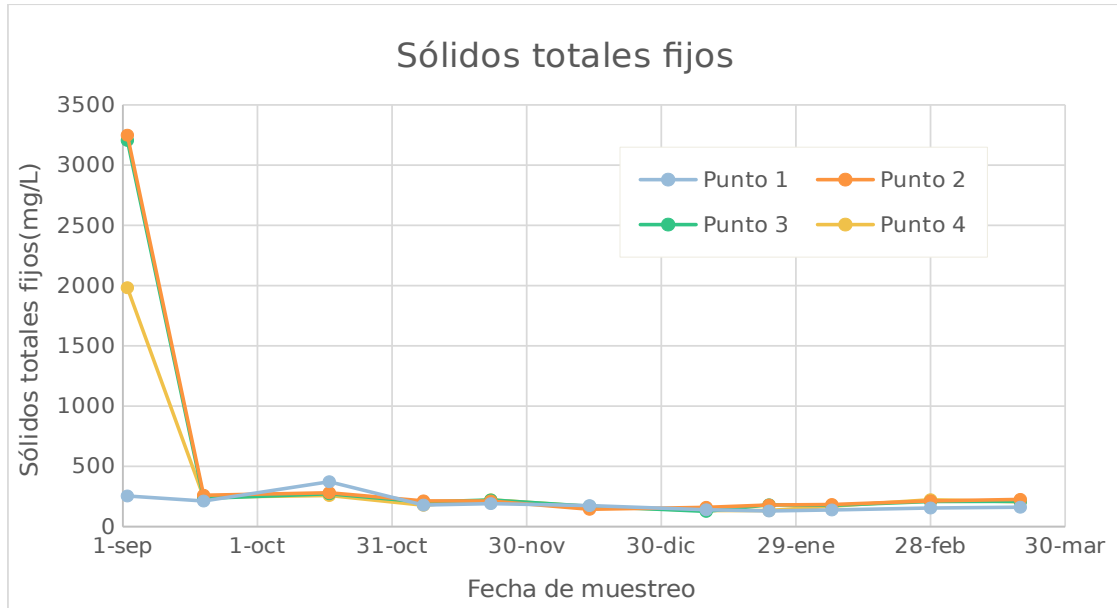
Sólidos totales (mg/L)

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	361	3544,44	3486,73	2262,24
3-oct	276	317,89	386,60	300
17-oct	384,69	333	321,05	323,16
7-nov	217,20	302,20	241,97	228,26
22-nov	186,59	212,09	204,39	221,28
14-dic	231,46	255,29	239,08	240,70
9-ene	226,37	219,56	203,57	214,12
23-ene	135,29	198,97	204,82	137,04
6-feb	165,51	208,99	202,22	194,50
28-feb	167,02	217,02	227,06	246
20-mar	187,62	256,66	236,84	245,74



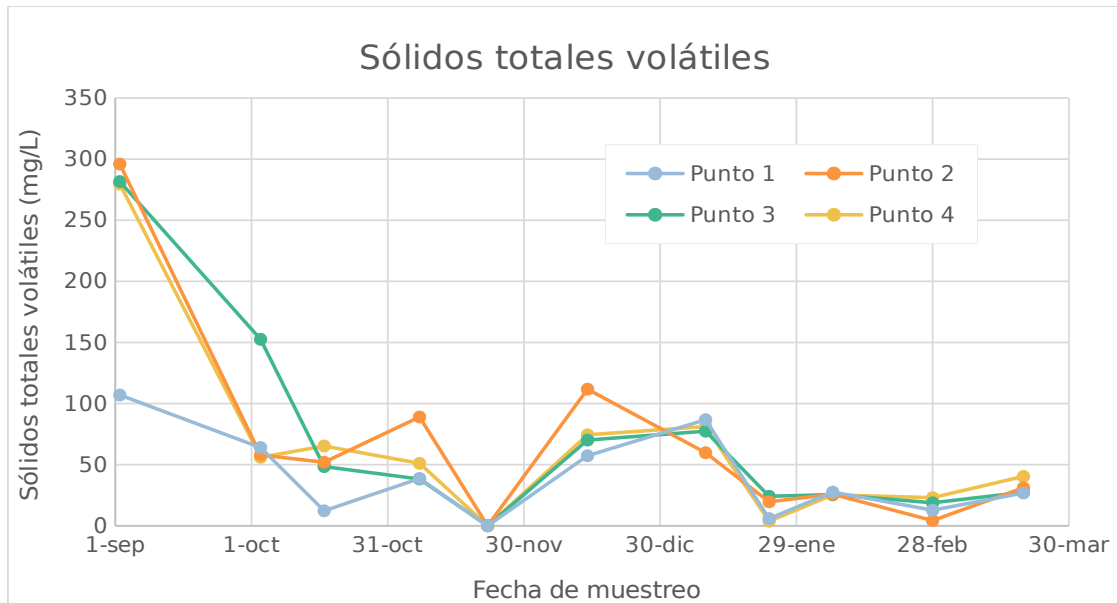
Sólidos totales fijos (mg/L)

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	254	3248,48	3205,10	1982,65
3-oct	212	260	234,02	244
17-oct	372,45	281	272,63	257,89
7-nov	178,49	213,19	203,70	177,17
22-nov	190,72	212,09	220,88	222,34
14-dic	174,15	143,53	168,96	166,28
9-ene	139,56	159,78	126,19	132,94
23-ene	129,41	179,38	180,72	133,33
6-feb	137,93	183,14	176,66	169,23
28-feb	154,25	212,76	208,23	223
20-mar	160,82	225,55	209,47	205,32



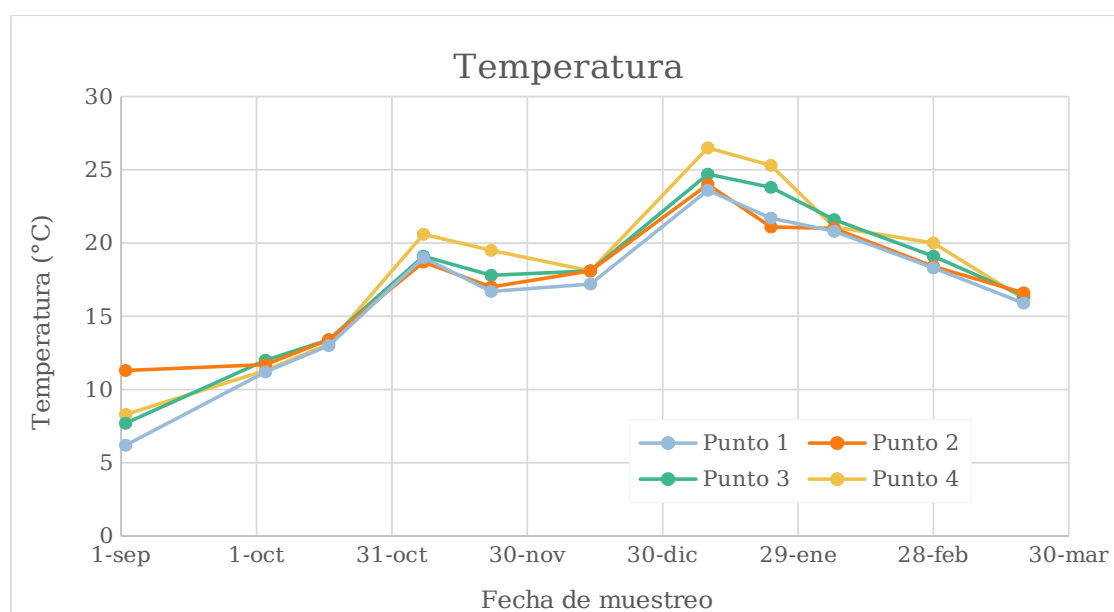
Sólidos totales volátiles (mg/L)

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
2-sep	107	295,96	281,63	279,59
3-oct	64	57,89	152,57	56
17-oct	12,24	52	48,42	65,263
7-nov	38,71	89,01	38,27	51,09
22-nov	0	0	0	0
14-dic	57,30	111,76	70,11	74,42
9-ene	86,81	59,78	77,38	81,17
23-ene	5,88	19,59	24,09	3,70
6-feb	27,59	25,84	25,55	25,27
28-feb	12,76	4,25	18,82	23
20-mar	26,80	31,11	27,37	40,42



Temperatura

Fecha de muestreo	Punto 1	Punto 2	Punto 3	Punto 4
1-sep	6.2	11.3	7.7	8.29
3-oct	11.2	11.7	12	7.66
17-oct	13	13.4	13.4	8.56
7-nov	19	18.7	19.1	8.13
22-nov	16.7	17	17.8	9.49
14-dic	17.2	18.1	18.1	7.74
9-ene	23.6	24	24.7	9.22
23-ene	21.7	21.1	23.8	9.39
6-feb	20.8	21	21.6	8.49
28-feb	18.3	18.4	19.1	8.74
20-mar	15.9	16.6	16.4	8.02



PCA- Biplot con las dimensiones 1 y 3 utilizando todos los datos obtenidos (incluyendo los de septiembre).

