

**Programa de Monitoreo de la calidad de agua y sedimentos, identificación de
fuentes contaminantes y evaluación de su variabilidad espacial y temporal en el
Arroyo El Gato, Río Santiago y Río de la Plata aledaño**

Informe 1: Caracterización general de la Calidad de Aguas



Dr. Juan C. Colombo

Equipo de trabajo:

Dr. Eric Speranza

Dr. Leandro Tatone

Lic. Santiago Heguilor

M.Sc. Carlos Skorupka

M.Sc. Carolina Migoya

Est. Gastón Bonamino

Est. Martina Palladino

Est. Sabrina Ferreyra

Est. Lourdes Riccardi

Septiembre 2023

Resumen Ejecutivo

Este informe compila los resultados del análisis de la calidad del agua del Arroyo El Gato, Río Santiago y Río de la Plata aledaño basado en mediciones continuas embarcadas y costeras y en una estación fija ubicada en el Club de Regatas La Plata (marina 9 frente a la desembocadura del Ayo. El Gato), todas realizadas con sondas multi-paramétricas y fluorómetro portátiles y análisis de muestras de agua discretas colectadas en 10 a 17 estaciones de muestreo visitadas en dos campañas realizadas en Mayo y Junio del corriente.

El Arroyo El Gato es un colector cloacal, con mala calidad del agua caracterizada por elevada conductividad y carga orgánica (nitrógeno, Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno) que produce fuerte reducción del oxígeno disuelto, y valores extremos de bacterias coliformes fecales, superando normas nacionales e internacionales para uso recreativo. Este aporte cloacal es masivo en las descargas de La Plata en El Gato (después de la calle 1), muy marcado por el nitrógeno total abundante en la orina, pero es también significativo aguas arriba. Los arroyos urbanos (Saladero en Berisso, Canal Oeste y Doña Flora en Ensenada) son fuentes secundarias de contaminación urbana (Saladero y Doña Flora, en menor medida) e industrial (Canal Oeste).

El impacto de la descarga del Arroyo El Gato en el Río Santiago es muy significativo, con marcado deterioro de la calidad de agua en el sector del Club de Regatas La Plata, especialmente notorio durante condiciones de bajante, observándose una recuperación progresiva hacia la Rada del Puerto de La Plata por la dilución con agua del Río de la Plata. Las aguas que circundan al Club de Regatas La Plata están eutrofizadas con máximos de clorofila (y desarrollo de cianobacterias) y tienen una elevada carga de coliformes fecales, superando en varias decenas de veces los valores recomendados para actividades recreativas. Esta delicada situación sanitaria representa un riesgo real de transmisión de enfermedades hídricas, especialmente crítico para el sector infantil que desarrolla actividades en la zona, lo que ameritaría crear un observatorio permanente de la calidad del agua con señalización según usos específicos, hasta tanto se resuelva de manera prioritaria y efectiva, el adecuado tratamiento de los efluentes cloacales que vuelcan en la cuenca. Tan degradado está el sistema que aún fuera del Canal de Acceso al puerto de La Plata, donde también se detectan aportes cloacales secundarios, la calidad del agua no es óptima; sólo 2 km afuera de las Farolas (km 7700) del Canal, los niveles de coliformes fecales son adecuados para usos recreativos.

La descarga del Río Santiago en el Río de la Plata, detectable por una elevación de la conductividad, la materia orgánica disuelta, y la clorofila, con reducción del oxígeno disuelto, contribuye al marcado deterioro de la franja costera sur del río, resultando en la formación de un corredor costero de aguas contaminadas, con aportes urbano-industriales sucesivos desde la Capital Federal, Avellaneda, Quilmes, Berazategui, La Plata y Magdalena, que es detectado hasta Punta Indio y Punta Piedras.

1. Introducción

Este informe pericial presenta los resultados del plan de monitoreo oportunamente presentado como trabajo pericial en la causa FLP 20471/2020 caratulados “VIGO MARIÑO, IVAN CIRO c/PROVINCIA DE BUENOS AIRES Y OTROS s/DAÑOS VARIOS” que tramitan en el Juzgado Federal No 4, a cargo del Juez Alberto O. Recondo.

El **objetivo** del mismo es evaluar las variaciones espaciales y temporales de la calidad de aguas superficiales, partículas en sedimentación y sedimentos subyacentes y su afectación antrópica mediante la identificación de las fuentes contaminantes a lo largo de la cuenca del Arroyo el Gato y Río Santiago y su impacto en el Río de la Plata aledaño.

Para cumplir con este objetivo se propuso una estrategia integrada con mediciones continuas de calidad del agua en una estación fija para registrar **variaciones temporales**, mediciones también continuas embarcadas para registrar **variaciones espaciales** en transectas de desde el Arroyo El Gato hasta la Rada del Puerto de La Plata (16 km repetidas en 2 ocasiones), complementadas con muestreos puntuales de aguas, material particulado suspendido, en sedimentación y sedimentos de fondo en 10-17 estaciones de muestreo repartidas a lo largo de la zona de estudio. La localización de las estaciones de muestreo se planificó de manera de poder discriminar la magnitud relativa de las múltiples fuentes contaminantes, urbanas, domésticas e industriales, que recibe la zona afectada. Los parámetros determinados mediante técnicas estandarizadas incluyen desde fisicoquímicos-bacteriológicos contratados a INDUSER, contenido de carbono, nitrógeno, granulometría, metales y trazadores específicos de fuentes como hidrocarburos, biomarcadores de combustibles (hopanos), precursores detergentes (LABs) y esteroides fecales, especialidades del LAQAB. Asimismo, se han extraído testigos de sedimentos con separación de varias profundidades diferentes dentro del lecho, para evaluar la variabilidad histórica de la carga contaminante. Con el objeto de simplificar la presentación de los numerosos datos generados, los resultados se han dividido en dos informes; este informe N° 1 presenta la caracterización general de la calidad de aguas incluyendo la variabilidad espacial y temporal. En el informe N° 2 se presentarán los datos de calidad de sedimentos y contaminantes persistentes.

2. Materiales y Métodos.

2.1. Muestreo y mediciones “in situ”

El muestreo se llevó a cabo los días 16-17 de Mayo y 13-14 y 27 de Junio del corriente visitando las estaciones que abarcan el área de estudio, desde el sector urbano del Arroyo El Gato en la Ciudad de La Plata (estaciones 0.5, 1 y 2), el tramo intermedio hacia Punta Lara (estaciones 3 y 4), su desembocadura en el Río Santiago, RS (estaciones 5 y 5d), el sector urbano-industrial del Río Santiago (5f, 6, 6.1, 7 y 7.1) hasta la desembocadura del Arroyo Saladero (estación 8 y 8.1), el canal de acceso al Puerto de La Plata (estación 9) y la Rada (estaciones 10 y 11). Las Figuras 1 y 2 y la Tabla 1 presentan la localización de las estaciones y el resumen del muestreo de aguas, material sedimentable, sedimentos superficiales y testigos de sedimento colectados. Las figuras 3-9 muestran fotografías de distintos pasajes del muestreo y separación de los sedimentos.



Figura 1. Área de estudio y localización de las estaciones de muestreo numeradas de manera consecutiva desde el sector urbano del Arroyo El Gato hasta la Rada del Puerto de La Plata (Tabla 1). CRLP: Club Regatas La Plata; CO: Canal Lateral Oeste. Las estaciones nombradas como M, T y F indican los sitios donde se colectaron muestras de material sedimentable, testigo de sedimento y la estación fija donde se instaló una sonda y una trampa de sedimento, respectivamente (ver detalles en las Figuras 2 y 3).



Figura 2. Detalle del área de estudio y las estaciones de muestreo en el Arroyo el Gato y Río Santiago. Las estaciones denominadas con letras indican muestreo de material sedimentable (M) testigo de sedimento (T) y estación fija (F) en la marina 9 del CRLP (ver fotografías en Figura 3). Arriba se muestran las estaciones agregadas en Junio (0.5, 5d, 5f, 6.1, 7.1, 8.1).

Tabla 1. Resumen del muestreo en el Arroyo El Gato, Río Santiago (RS) y Río de la Plata (RLP).

Estación	Número Sigla	Coordenadas	Fecha, hora Muestreo	Plataforma de muestreo	Medición / Muestras	Descripción
Ayo. El Gato 524 y 143	0.5	34°55'40.41"S 58°0'56.68"W	13/06/2023 14:30	Puente	Sonda, Agua	Agua residual doméstica, con basura
Ayo. El Gato 524 y 27	1	34°54'46.22"S 57°59'55.74"W	16/5-13/6/2023 9:50-15:30	Puente	Sonda, Agua Sedimento	Agua residual doméstica, barro antrópico negro (residuos de papel)
Ayo El Gato ~1 y 514	2	34°52'48.88"S 57°59'1.87"W	16/5-14/6/2023 12:00-10:00	Costa	Sonda, Agua (pértiga) Sedimento	Vegetación arraigada, agua residual, barro antrópico negro
Ayo. El Gato	3	34°52'26.93"S 57°58'39.02"W	16/5-14/6/2023 10:50-10:35	Costa	Sonda, Agua Sedimento	Vegetación arraigada, agua residual, barro negro
Ayo. El Gato	4	34°51'27.80"S 57°57'30.09"W	16/5-14/6/2023 12:30-11:25	Costa	Sonda, Agua Sedimento	Agua mezcla, barro negro,
Ayo. El Gato	5	34°50'28.14"S 57°56'4.04"W	16/5-14/6/2023 13:35-12:30	Bote	Sonda, Agua Sedimento	Agua mezcla RLP, barro algo más claro
Ayo. El Gato Boca en RS	5d	34°50'26.35"S 57°55'47.88"W	14/06/2023 12:40	Bote	Sonda, Agua	Agua mezcla río creciendo
RS frente estación fija	5f	34°50'23.54"S 57°55'30.01"W	16/5-14/6/2023 semanal	Bote	Sonda, Agua	Agua mezcla río creciendo
RS Muelle Ing. Rocca Boca El Gato	M	34°50'28.77"S 57°55'45.63"W	16/5-14/6/2023 ~ semanal	Bote	Material Sedimentable (Trampa)	Instalada bajo el muelle Ing. Rocca (ex propulsora siderúrgica)
RS afuera de desembocadura El Gato	T	34°50'25.38"S 57°55'42.33"W	17/05-15/6/2023 13:30-14:30	Bote	2 Testigos de sedimento (75 y 170 cm)	Superficie barro negro fluido, fondo consolidado marrón-grisáceo
RS estación fija	F	34°50'23.68"S 57°55'26.82"W	16/5-14/6/2023 ~ semanal	Marina 9 CRLP	M. Sedimentable (trampa) Sonda continua	Extremo marina 9 CRLP, agua mezcla EL Gato-RLP (entra por canaleta)
RS boca Doña Flora	6	34°50'29.28"S 57°55'1.29"W	16/5-14/6/2023 14:40-14:30	Embarcación	Sonda, Agua Sedimento	Agua más clara, barro marrón
Doña Flora Pte. S. Martín	6.1	34°50'54.78"S 57°55'15.45"W	14/6/2023 11:25	Puente Ensenada	Sonda, Agua	Agua estancada, clara
RS boca Canal Oeste	7	34°50'59.30"S 57°53'37.08"W	16/5-14/6/2023 15:00-15:00	Embarcación	Sonda, Agua Sedimento	Barro negro, oleoso
Canal Oeste Pte. O. Rosas	7.1	34°51'47.96"S 57°54'0.03"W	14/6/2023 11:00	Puente Ensenada	Sonda, Agua	Agua bajando, oleosa
RS boca Canal Saladero	8	34°51'13.90"S 57°52'54.72"W	16/5-14/6/2023 15:10-15:15	Embarcación	Sonda, Agua Sedimento	Barro marrón
Saladero Pte. Montevideo	8.1	34°52'0.07"S 57°53'12.86"W	14/6/2023 10.25	Puente Berisso	Sonda, Agua	Agua estancada, clara
Canal Acceso	9	34°50'10.68"S 57°52'46.94"W	16/5-14/6/2023 15:10-15:40	Embarcación	Sonda, Agua Sedimento	Barro marrón más claro (cerca baliza km 3200)
Río de la Plata Rada	10	34°47'45.54"S 57°51'21.78"W	16/5-14/6/2023 16:00-16:00	Embarcación	Sonda, Agua Sedimento	Agua turbia RLP, barro marrón claro
Río de la Plata Rada	11	34°46'51.52"S 57°51'2.56"W	14/06/2023 16:15	Embarcación	Sonda, Agua Sedimento	Agua turbia RLP, barro marrón claro
Total Muestreo	2 transectas espaciales (16 km c/u) + mediciones puntuales + estación fija temporal; Aguas: 30 Aguas, Sed. Superficiales: 10, Testigos: 2 testigos (n=30), Material sedimentable (trampas): 11; RS: Río Santiago					

Para las actividades de muestreo se siguieron protocolos estándares validados internacionalmente (p.ej. Sturgeon et al., 1983; Loring y Rantala, 1992; USGS, 1994; Bartram y Ballance, 1996; Chapman, 1996; EPA, 2001; UNEP, 2006 TWRI, 2008), con adaptaciones según las condiciones físicas del ambiente, básicamente accesibilidad y profundidad del cauce. Así, en las estaciones urbanas del Arroyo El Gato se llegó con la camioneta del laboratorio a las proximidades de cada sitio que fue muestreado desde el veril costero o puentes. En estos casos se ingresó con botas de goma y se tomaron las muestras siempre aguas arriba del sitio de entrada. Para las aguas se utilizó una pértiga de 3 m de largo y botellas de vidrio color caramelo de 2 litros de capacidad prelavadas para análisis de trazas (detergente, agua de canilla, agua destilada, baño ácido, enjuague con solvente PARP UVE para análisis de plaguicidas).

En las demás estaciones se procedió al muestreo embarcado utilizando un bote neumático de 3 m de eslora del laboratorio equipado con un motor fuera de borda de cuatro tiempos, Suzuki de 2.5 HP, y una embarcación particular equipada con pescantes para despliegue de la draga y circuito de distribución y toma de agua externa (a 30 cm de profundidad por delante de las descargas de agua y escape) para medición continua de parámetros físico-químicos. En estos casos las muestras de agua se colectaron de forma manual, alejado de las salidas de agua de la embarcación, en la superficie (10 cm) evitando la película interfacial, con las mismas botellas de vidrio color caramelo de 2 litros. Además, en todos los sitios se procedió a la colecta individual de muestras para los análisis contratados al Laboratorio INDUSER (demanda bioquímica de oxígeno, DBO; demanda química de oxígeno, DQO; coliformes, fósforo y nitrógeno totales), utilizando los 4 recipientes por estación enviados por la empresa para ese propósito.

La medición “in situ” de parámetros físico-químicos de la calidad de aguas se realizó con 3 sondas diferentes. La transecta continua espacial desde el CRLP a Rada, se registró con una sonda multiparamétrica YSI 6600 (temperatura, conductividad, pH, turbidez, oxígeno disuelto) y con un fluorómetro Turner C3 (clorofila a, materia orgánica coloreada disuelta: CDOM, aceites) instalados en la sentina del barco con conexión directa al agua externa con toma localizada a ~30 cm de profundidad por delante de la salida de agua del motor y conectada mediante tubería de acero inoxidable y mangueras de silicona a las respectivas celdas de flujo de las sondas (Figura

7). La variación temporal en la estación fija del CRLP se registró con una sonda Manta Eureka instalada bajo las trampas de sedimento en la marina 9 del club (Figura 6) y programada para registrar datos cada hora (temperatura, conductividad, pH, turbidez, oxígeno disuelto), mientras que las mediciones puntuales en el Arroyo El Gato se realizaron manualmente con una sonda Horiba U-52 (temperatura, conductividad, pH, turbidez, oxígeno disuelto).

Todas las sondas fueron calibradas en el laboratorio antes del despliegue siguiendo las recomendaciones de los fabricantes y utilizando soluciones estándares (pH: 4 y 7 Cicarelli; conductividad: KCl 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; turbidez: 1000 NTU Formazin Sigma-Aldrich; CDOM: materia orgánica del río Suwannee, IHSS 2R101N; International Humic Substances Society; aceite: sodium 1,5-naphtalene disulfonate di basic, Sigma-Aldrich; Clorofila a (C_{la}): intercalibración con determinaciones espectrofotométricas UV-VIS, Strickland y Parsons, 1972) según procedimientos normalizados publicados en una revista de alto impacto internacional (Water Research; Heguilor et al., 2023; Anexo II).



Figura 3. Fotografías de la estación fija, Marina 9 CRLP y detalle de basura flotante el 3/06/2023.



Figura 4. Fotografías del muestreo en el Arroyo el Gato (estaciones 1, 2 y 3; arriba, centro y abajo, respectivamente).

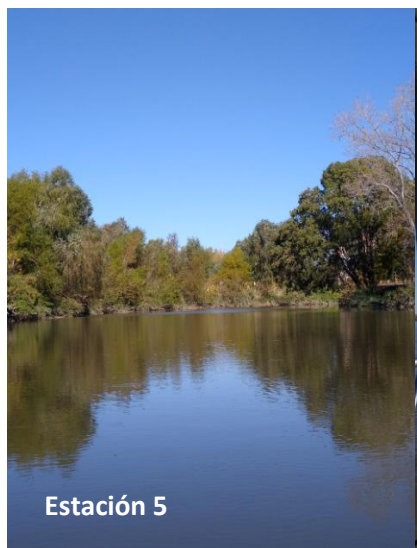
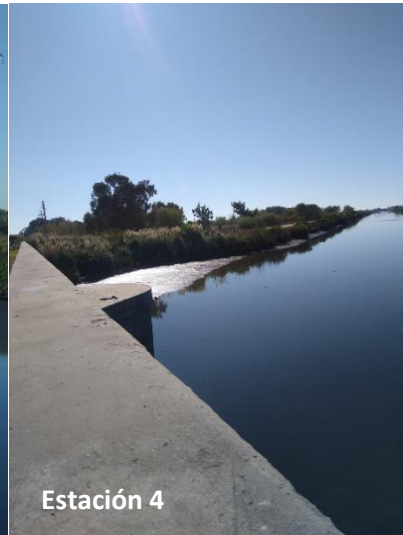


Figura 5. Fotografías del muestreo en el Arroyo el Gato, Río Santiago y Río de la Plata.



Figura 6. Trampas de sedimentos retiradas luego de 6 días de despliegue en cercanías de la desembocadura del Arroyo El Gato, muelle puerto Ing. Rocca, (izquierda; notar material oscuro desbordado del tubo Falcon inferior) y en estación fija, marina 9 del Club de Regatas La Plata (derecha, notar sonda multi-paramétrica bajo las trampas instalada para registro horario de la calidad del agua).

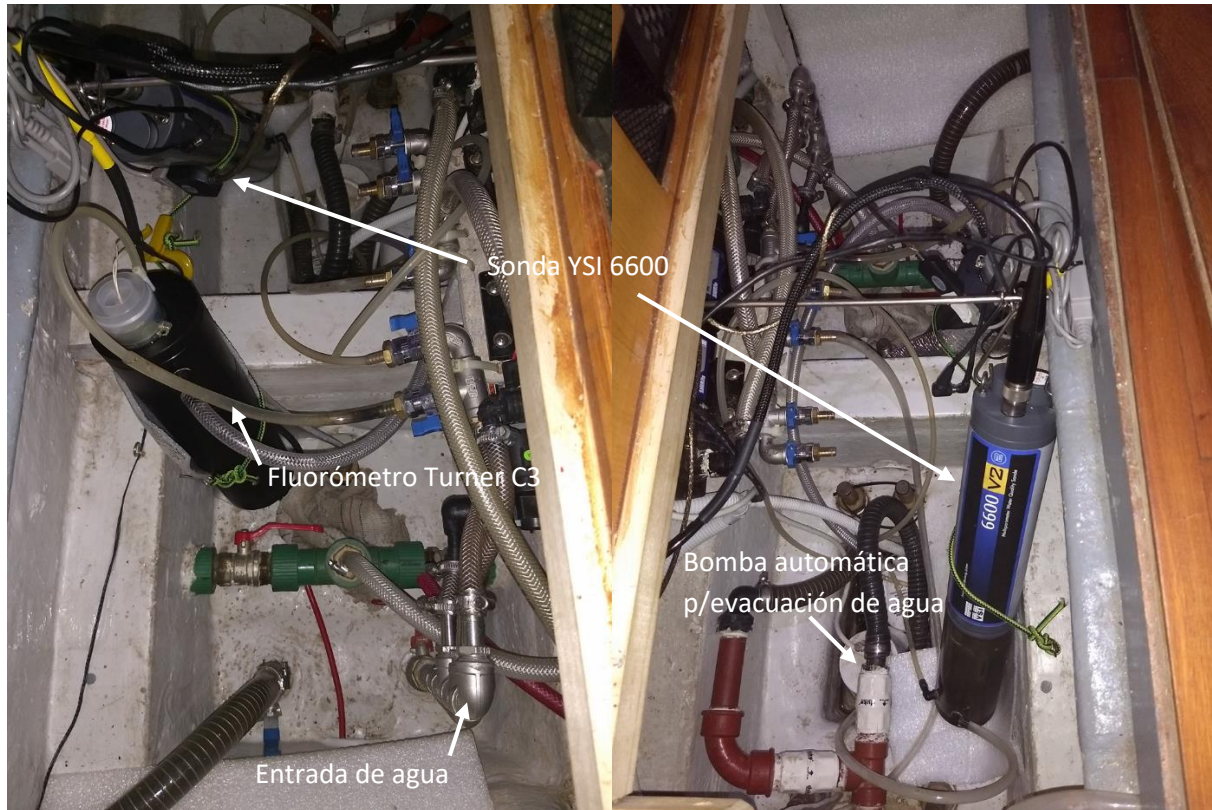


Figura 7. Fotografías de las sondas para medición continua instaladas en la sentina de la embarcación.

2.2. Análisis de laboratorio

2.2.1. Procesamiento inicial de las muestras de agua

Las muestras de agua fueron colectadas en distintos recipientes para ser enviadas inmediatamente al laboratorio externo (INDUSER: DBO, DQO, coliformes, fósforo y nitrógeno totales) y para la determinación del material particulado suspendido y análisis de metales pesados disueltos y particulados en el LAQAB, según el esquema presentado en la Figura 8. Las aguas fueron filtradas al día siguiente de su colecta utilizando filtros de acetato de celulosa (diámetro: 47 mm; poro: 0.45 μm) en un equipo Millepore conectado a una bomba de vacío de diafragma (sin aceite). Cabe destacar que las muestras internas del Ayo. El Gato (1-3) si bien de moderada turbidez (19-35 NTU), resultaron extremadamente difíciles de filtrar posiblemente debido a la presencia de coloides y partículas orgánicas que obturaban rápidamente el filtro. Los filtros obtenidos fueron secados en estufa a 65 °C, pesados en una balanza analítica electrónica Shimadzu AUW-220 (220 al 0,0001 g) y luego digeridos con ácidos según el procedimiento que se detalla a continuación para metales pesados. La fase disuelta de las aguas (filtradas, sin partículas) también fueron acidificadas y analizadas para metales pesados.

2.2.2. Análisis

La estrategia de análisis incluyó parámetros físico-químicos estándares de calidad de aguas y una variada gama de contaminantes persistentes en aguas, sedimentos y material sedimentable. Las determinaciones de calidad de agua contratadas al laboratorio externo se realizaron por métodos estandarizados para DQO (SM5220D), DBO (SM5210B), fósforo total (SM4500-P B C), nitrógeno total Kjeldahl (SM 4500-No r g B/NH₃ y bacterias coliformes fecales (SM9221 B/C/E; Induser, 2023; protocolos originales en anexo 1). La composición granulométrica del material particulado (suspendido, en sedimentación y de fondo) se determinó por la técnica de difracción laser utilizando un equipo CILAS 990L, previo agregado de hexametáfosfato de sodio como dispersante con ecuaciones de difracción de Fraunhofer y clasificación en 7 clases texturales (Liu et al., 2020). El contenido de carbono y nitrógeno orgánicos totales de sedimentos y material sedimentable se cuantificó por combustión catalítica a alta temperatura con un

analizador elemental Flash EA 1112 (Thermo Finnigan, CE Instruments) sobre 10-50 mg de material seco pesado en barquillos de estaño (Microbalanza Sartorius XM1000P).

Los datos fueron compilados, depurados en hojas de cálculo y analizados estadísticamente (correlación-regresión y análisis multi-variados) utilizando los programas Excel y XLSTAT Versión 2011.2.08 (Addinsoft 1995-2011).

Las técnicas analíticas utilizadas en el LAQAB se basan en métodos normalizados para análisis de contaminantes en aguas (EPA serie 600; EPA 3005A, 3010A, 3015A, 3020A), y sólidos (EPA 3050B, 3051A; EPA 440.0) incluyendo tanto la extracción y purificación de contaminantes orgánicos (EPA 3500C; 3510C; 3540C; 3550C;3630C) como su cuantificación (EPA 610; EPA 680; EPA 8082; EPA 1613) que han sido estandarizados y utilizados de forma rutinaria en el LAQAB en proyectos de transferencia e investigación y que han sido descriptas en detalle en publicaciones realizadas en revistas internacionales especializadas (Colombo et al., 1989, 1997a, 1997b, 2005a, 2005b,2005c, 2005d, 2006, 2007, 2015, 2018; Speranza et al., 2018, 2020; Tatone et al., 2009, 2013, 2015, 2016, 2020).

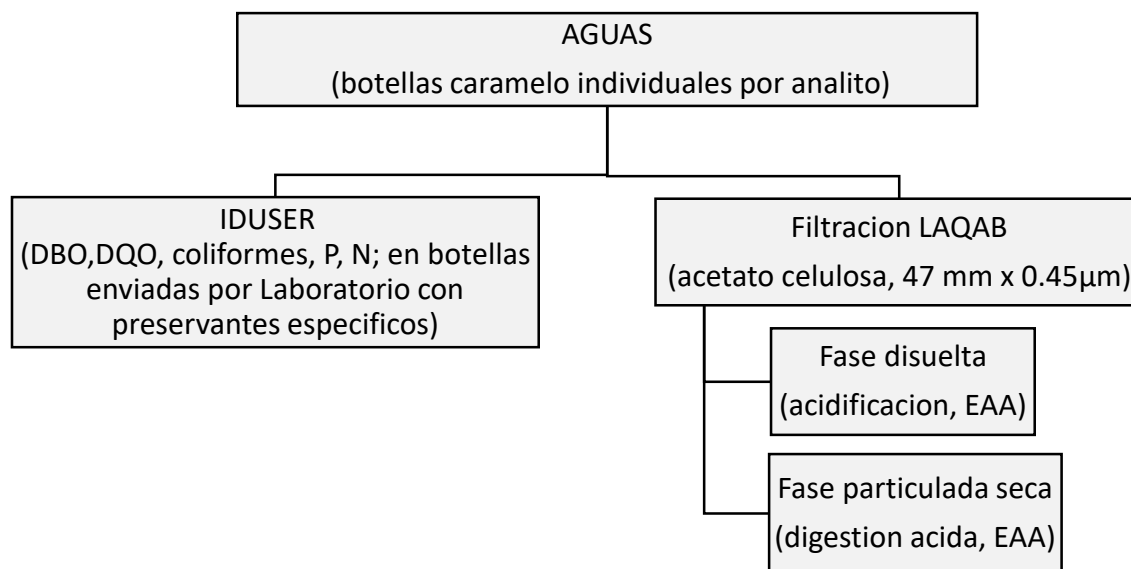


Figura 8. Esquema del procesamiento de las muestras de agua para los distintos análisis. (DBO: demanda bioquímica de oxígeno, DQO: demanda química de oxígeno; P: fósforo total; N: nitrógeno total; EAA: espectroscopía de absorción atómica.

3. Resultados y discusión

3.1. Calidad de aguas

3.1.1. Variación espacial de la calidad de aguas: registros continuos en transecta embarcada

Las Figuras 9 y 10 presentan los resultados de los dos registros continuos de la calidad del agua en las **transectas espaciales** (Mayo y Junio) cubriendo desde el Arroyo El Gato y CRLP hasta la Rada. Marcados contrastes se observan entre ambos extremos de la transecta, con reducción de la conductividad, clorofila a y materia orgánica coloreada disuelta (CDOM) y aumento del oxígeno disuelto y la turbidez hacia la Rada reflejando la dilución de las aguas más contaminadas internas con las aguas turbias bien oxigenadas del Río de la Plata. Esta transición entre el Río Santiago, Canal de Acceso y Rada de La Plata del oxígeno disuelto, conductividad y turbidez como trazadores, ha sido caracterizada ya hace más de 35 años mediante sondas ambientales y análisis químicos (Colombo, 1987; Colombo et al., 1994). La **conductividad** es el parámetro que muestra la mayor variación, cayendo más de **10 veces** desde el Ayo. El Gato a la Rada (~1200 a ~100 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Si bien este parámetro no constituye un contaminante “per se” ya que se trata de electrolitos disueltos y es elevada (varios cientos de $\mu\text{S}/\text{cm}$) en agua subterránea con elevado contenido de bicarbonato de calcio (aguas duras) o en la orina y heces humana (varios miles de $\mu\text{S}/\text{cm}$; Tare y Yadav, 2009; Rose et al., 2015) por la abundancia de cloruro de sodio, es un buen trazador de aportes domésticos. Esto se debe al marcado contraste de la conductividad en los efluentes respecto de las aguas menos impactadas, alejadas de la costa provenientes de los ríos Paraná y Uruguay (conductividad: 50-100 $\mu\text{S}/\text{cm}$; Colombo et al., 2015).

La **clorofila a (Cla)** también decrece significativamente (~ **3 veces**) desde el Río Santiago al Río de la Plata (de >20 a ~ 6 $\mu\text{g}/\text{l}$) reflejando la eutrofización de las aguas interiores favorecida por las descargas orgánicas y de nutrientes. En el propio Ayo. El Gato la proliferación de algas es menor (Cla: 4-8 $\mu\text{g}/\text{l}$) y aumenta hacia su desembocadura (21 $\mu\text{g}/\text{l}$) debido a la influencia del Río Santiago con aguas más oxigenadas que favorecen la nitrificación (conversión de nitrógeno orgánico a inorgánico que puede ser absorbido por las algas). Otro parámetro que muestra un patrón decreciente hacia afuera es la **materia orgánica coloreada disuelta (CDOM)** que cae

aproximadamente a **la mitad** desde el Ayo. El Gato a la Rada (de ~7 a 4 mg carbono/l) reflejando la reducción progresiva del impacto de los aportes de materia orgánica hacia el Río de la Plata. El **pH** y la **temperatura** son más conservativos con tendencias variables en Mayo y Junio (Figura 11). En Mayo, ambos parámetros son más elevados en el Ayo. El Gato (pH: 7.8 ± 0.1 ; Temp: $19 \pm 0.6^\circ\text{C}$) y decrecen hacia la Rada (pH: 6.8 ± 0.03 ; Temp: $18 \pm 0.1^\circ\text{C}$), mientras que en Junio, la tendencia del pH se mantiene de El Gato a la Rada (de 7.5 ± 0.6 a 6.9 ± 0.01), pero la temperatura se invierte aumentando hacia la Rada (de 12 ± 1.2 a $14 \pm 0.02^\circ\text{C}$). Esto refleja la mayor inercia térmica o conservación en las aguas del RLP respecto de los arroyos menos caudalosos que son más afectados por el descenso estacional de la temperatura (ver variación temporal, Figura 12).

En contraste con la conductividad y el CDOM, el **oxígeno disuelto** que es consumido en la degradación microbiológica de la materia orgánica, presenta un patrón opuesto creciente hacia afuera, incrementándose unas **3 veces** desde el Ayo. El Gato a la Rada (~ 3 a 9 mg/l). Esta escala expresada en % de saturación de oxígeno respecto a la temperatura (según la solubilidad decreciente de los gases con este parámetro), indica un déficit de oxígeno cercano al 70% en el Ayo. El Gato (~30% saturación) mientras que en la Rada el valor es $\geq 100\%$, indicando una buena oxigenación de las aguas favorecida por la menor carga orgánica y el oleaje que intensifica el intercambio con la atmósfera. La **turbidez** es otro parámetro que aumenta aguas afuera (de 20-30 a ~95 NTU) reflejando el aporte de sólidos suspendidos del Río Paraná al Río de la Plata en la Rada y la decantación de material en aguas internas de menor corriente.

Con el objeto de verificar los aportes en los otros arroyos que desembocan en el Río Santiago, en la transecta de Junio se procedió a ingresar a los mismos. Las llaves horizontales en el Doña Flora, Canal Oeste y Saladero muestran la variación de los parámetros desde la entrada hasta el retorno a Río Santiago (Figura 10). Si bien la magnitud es en general menor que en el Ayo. El Gato, se observa una tendencia similar de aumento de la conductividad, CDOM y en algún caso aceites, con reducción del oxígeno al internarse en los arroyos, reflejando la incidencia de los aportes con menor dilución aguas adentro. Estas tendencias resultan exacerbadas en los efluentes del Ayo. El Gato muestreados en Junio (Efl 2 y 3 en Figura 10) con máximos de conductividad, temperatura y CDOM.

En conclusión, los parámetros que **mejor demuestran o trazan la transición** de aguas más impactadas interiores, en particular las del Ayo. El Gato, hacia la Rada son la conductividad, materia orgánica disuelta, clorofila a (decrecientes) y el oxígeno disuelto y turbidez (crecientes).

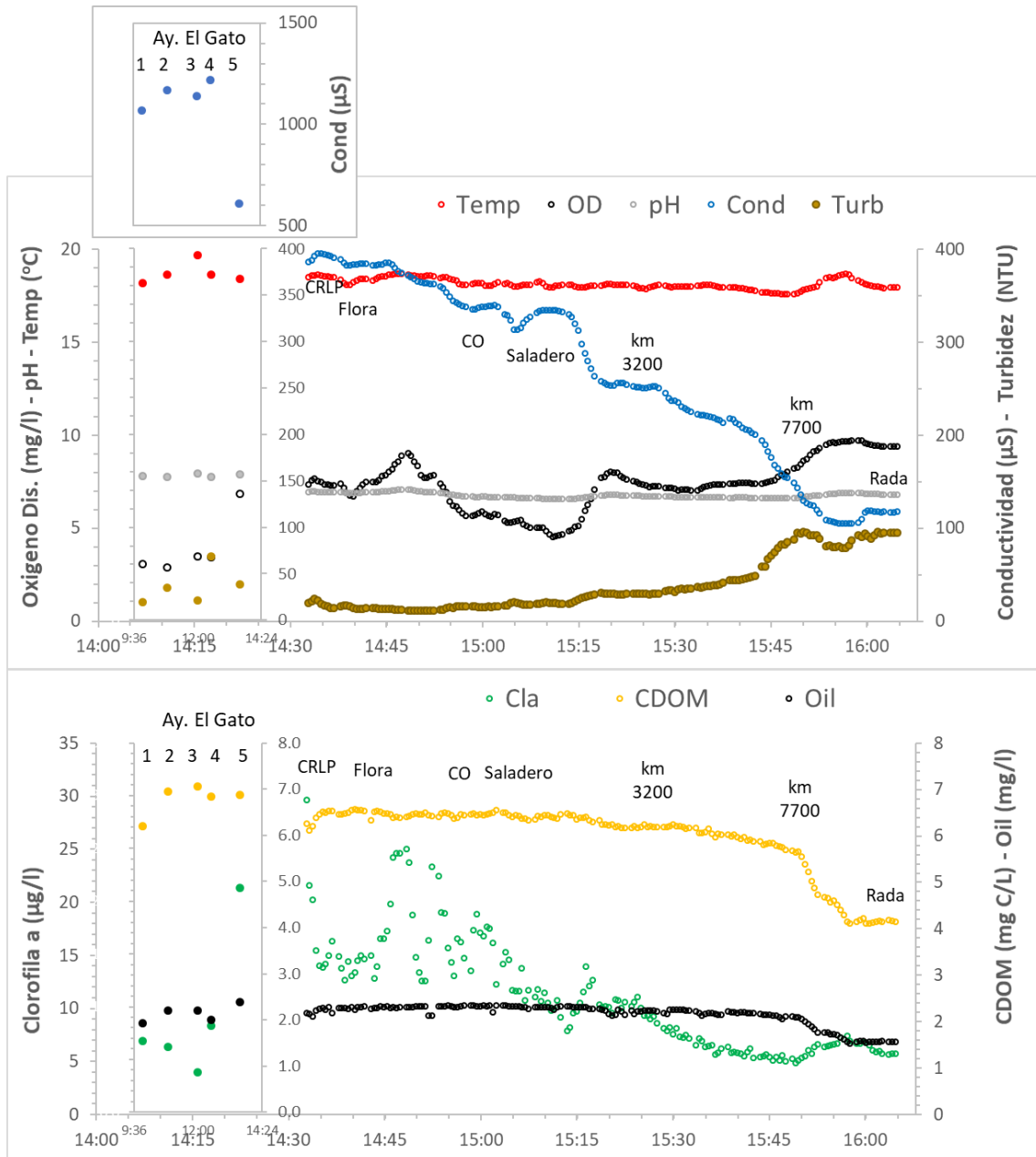


Figura 9. **Variación espacial** de la calidad del agua el 16 de **Mayo** 2023 desde el Ayo. El Gato (1-5, izquierda) hacia la Rada (derecha). Notar rápida caída de la conductividad (Cond: electrolitos disueltos), clorofila a (Cla: eutrofización) y materia orgánica coloreada disuelta (CDOM: descargas orgánicas) y aumento del oxígeno disuelto (OD: consumido en la degradación de materia orgánica) y turbidez (Turb: partículas suspendidas, del Río Paraná-Río de la Plata).

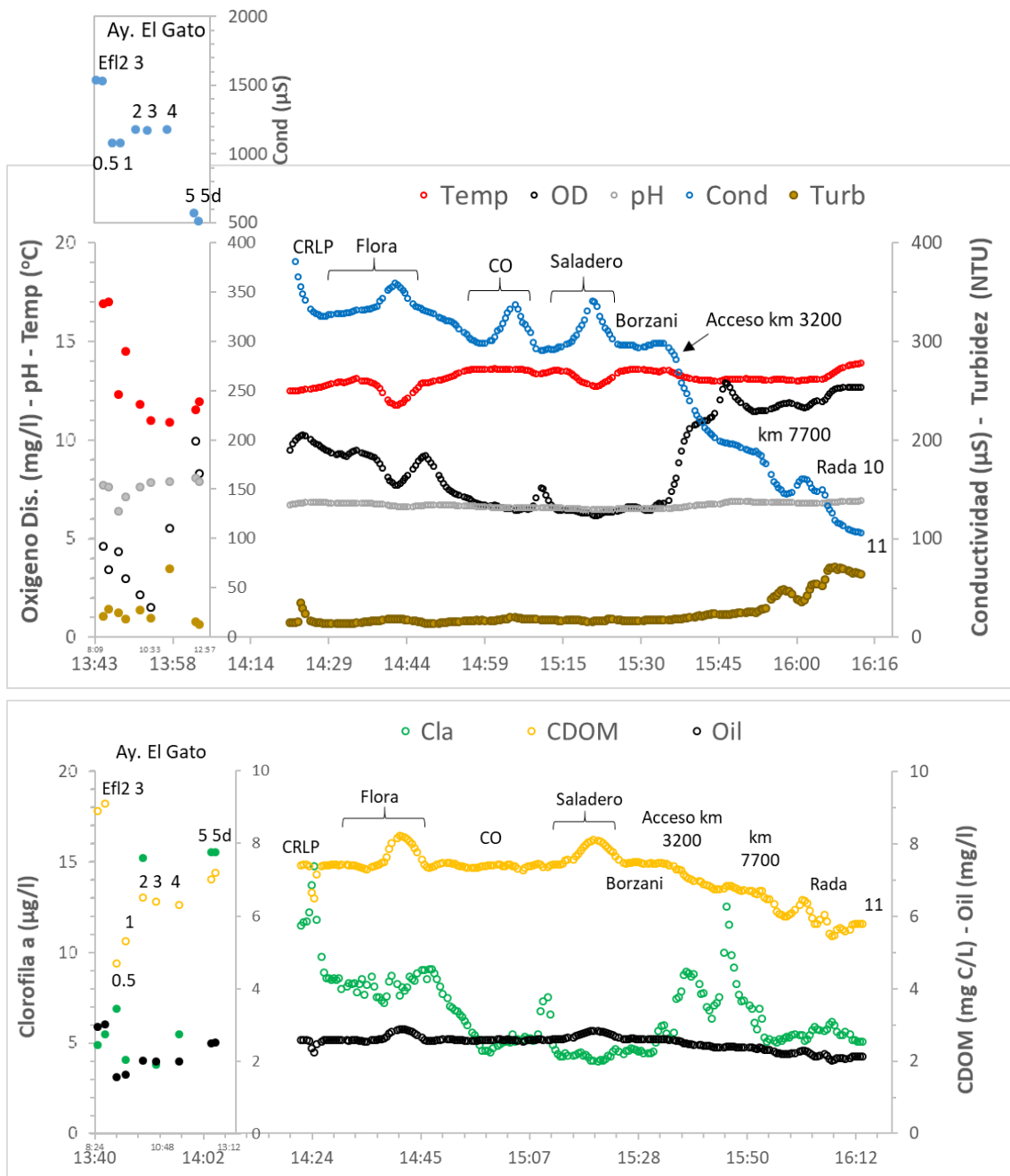


Figura 10. **Variación espacial** de la calidad del agua el 14 de **Junio** 2023. Se incluyen 3 nuevas estaciones de muestreo, en El Gato (0.5: 2 km aguas arriba de la 1, calle 143; sus efluentes Efl 2 y 3, y 5d: desembocadura) y una en la Rada (11: 2 km aguas afuera de Farolas km 7700, ~6 km de costa) y el ingreso a los arroyos Doña Flora, Canal Oeste (CO) y Saladero. Notar la consistencia de la tendencia de mejoramiento de la calidad de agua hacia la Rada (similar a la transecta de Mayo: disminución de conductividad, clorofila y materia orgánica disuelta CDOM y aumento de oxígeno disuelto y turbidez). Este contraste es exacerbado en los **efluentes volcados en el Ayo. El Gato** (Efl 2 y 3) con máximos de conductividad, temperatura y CDOM; dentro de los canales se registra un incremento de la conductividad y de la materia orgánica disuelta (CDOM) con descenso de la temperatura y pH (llaves horizontales desde entrada a salida en Flora, Saladero).

3.1.2. Variación temporal de la calidad de aguas: registros continuos en la estación fija CRLP

La Figura 11 presenta los resultados de la medición continua de la calidad de agua registrada con la sonda instalada en la estación fija, marina 9 del CRLP. Pueden observarse las fuertes oscilaciones de los parámetros durante los 30 días de despliegue, destacándose en primera instancia el impacto de la fuerte **precipitación del 25-26 de mayo** (~ 100 mm; Municipalidad de La Plata, 2023). Este evento produjo una marcada **alteración en la serie de todos los datos**, pero es particularmente evidente en la **caída de la conductividad** (< 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$) y **pH** (7.1-7.3) por dilución con agua de lluvia (pH < 6; Colombo et al.; 2015), y en los **valores extremos de la turbidez** (pico > 2000 NTU) reflejando el arrastre de material terrestre.

Previo y posteriormente a este evento de precipitación, se registra un **patrón periódico** muy consistente de **picos significativos de conductividad** (600-900 $\mu\text{S}/\text{cm}$ sobre línea de base 400-500 $\mu\text{S}/\text{cm}$) cada 1-2 días, que coinciden con **mínimos de oxígeno disuelto** (1-3 mg/l o 15-30% de saturación; líneas punteadas verticales en Figura 11). Estos valores de oxígeno disuelto son incompatibles con el normal desarrollo de la vida acuática según las normas de protección ambiental de Estados Unidos y Canadá (3-6 mg/l según tipo de organismos y estadio de desarrollo; EPA 2023; CWQG, 2023). Estos valores extremos de conductividad y oxígeno disuelto registrados en la estación fija son similares a los del Ayo. El Gato, y reflejan la influencia de la descarga de sus aguas más contaminadas en el Río Santiago.

Estos **pulsos** de descarga se detectan principalmente en **períodos de bajante** (0.1-0.4 m de altura, Puerto de la Plata; panel superior y regresión de conductividad vs. altura de río en Figura 11), mientras que con crecientes como la registrada en los días 5, 11-12 y 25-28 (altura: > 2 m), las condiciones mejoran y son opuestas. En el inserto superior de la Figura 11 se muestra la relación decreciente significativa de la conductividad en la estación Fija del CRLP con el incremento de la altura del río en el Puerto de La Plata.

La existencia de **lluvias previas** intensifica la señal de descarga como lo demuestran los picos del 19 y especialmente 24-25 de Mayo (3-4 y 8-9 días en la Figura 11). Considerando todos los picos de conductividad (máximos y secundarios), la periodicidad de los pulsos promedia

29 ± 15 hs, posiblemente coincidente con la bajante mayor diaria, pero la variabilidad es elevada debido a la influencia de lluvias (días 11-14) o vientos (W-NW: bajante; S-SE: creciente). Similares pulsos periódicos (c/12h), con picos de conductividad y temperatura y mínimos de oxígeno disuelto y turbidez, han sido reportados tempranamente en la desembocadura del Canal de Acceso reflejando la descarga de aguas más contaminadas hacia el Río de la Plata (Colombo et al., 1994).

Los demás parámetros no demuestran una sincronía tan marcada de los pulsos, excepto por un aparente aumento de la turbidez (50-160 sobre línea de base de 15-20 NTU del RS), coincidentes con días lluviosos, con un valor extremo (> 2000 NTU día 10-11; Figura 12), debido al aporte masivo de material por erosión y desborde durante el evento del 26 de Mayo.

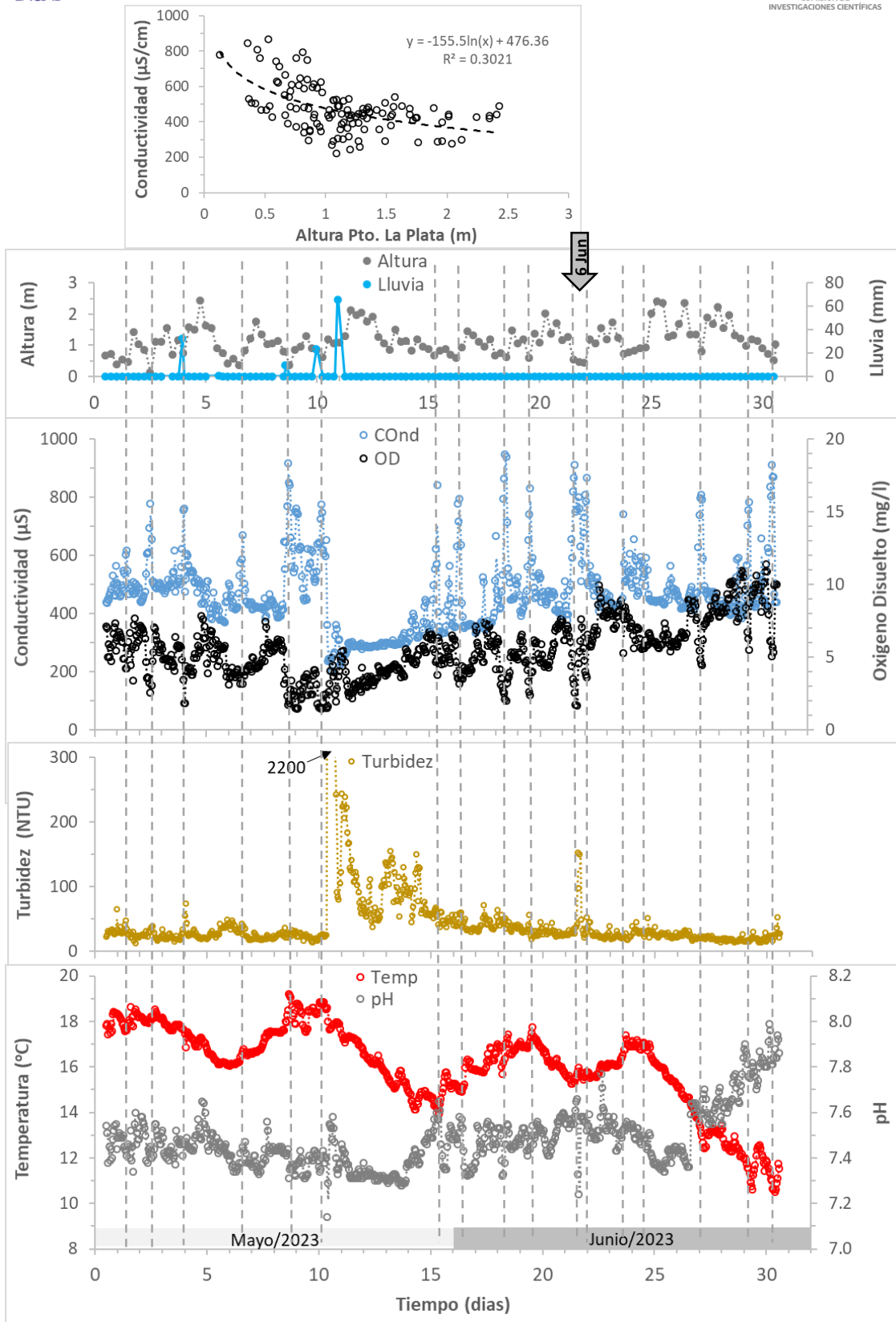


Figura 11. **Variación temporal** de la calidad del agua en la estación fija (marina 9 del CRLP). Las líneas punteadas verticales indican picos de conductividad (Cond) y mínimos de oxígeno disuelto (OD) con el río bajo (regresión conductividad y altura de río en el Puerto La Plata arriba).

En conclusión, la sonda fija desplegada en el CRLP detecta **pulsos periódicos** de aporte de aguas más contaminadas (mayor conductividad y menor oxígeno disuelto), en períodos de **bajante** provenientes del **Ayo. El Gato**, algo que es habitualmente observado por los socios del club por la abundancia de basura flotante e intenso burbujeo de metano del fondo anóxico. Esta situación se observa en la condición de bajante (0.4-0.5 m) y mayor contaminación registrada el 6 de junio (Figura 12), señalada en la Figura 11 (flecha gris arriba) y 13 que presenta de manera conjunta la variación de la **conductividad, oxígeno disuelto y materia orgánica** coloreada disuelta (CDOM). Se incluyen los datos espaciales (transecta, puntos c/bordes azules), temporales (estación fija, puntos c/bordes bordó y relleno celeste durante lluvias del 26/5) y las medidas puntuales en el Arroyo El Gato (puntos rojos) incluyendo sus **efluentes**. En la transecta espacial, se observa el rápido **desmejoramiento de la calidad de agua** desde la Rada a las cuatro Bocas con la caída del oxígeno disuelto y aumento del CDOM y conductividad, un aparente mejoramiento de las condiciones hacia el Ayo. Doña Flora y posterior declinación hacia el CRLP. Los datos de la estación fija empalman perfectamente con la tendencia espacial y confirman el desmejoramiento de la calidad del agua, con **valores extremos**, que exceden 1.5 veces el cuartil superior de la distribución de la conductividad (680 $\mu\text{S}/\text{cm}$) hacia la derecha, acercándose a los datos registrados en **el Arroyo El Gato con valores extremos en sus efluentes**. Las fuertes lluvias del 26 de mayo bajan la conductividad en la estación fija (corrimiento hacia la izquierda) y mantienen el oxígeno moderado-bajo. La variabilidad en la estación fija refleja entonces la mezcla con aporte irregular de aguas del Río Santiago y Río de la Plata (a través de la canaleta frente a CRLP) y el Arroyo El Gato, particularmente evidente en los **puntos extremos delimitados por la elipse roja** que se acercan a las medidas puntuales de este arroyo y corresponden a los **picos o pulsos** durante bajantes indicados por las líneas punteadas verticales en la Figura 12. Los eventos climáticos extremos como las lluvias del 25-26 de mayo impactan fuertemente en los parámetros, principalmente por una baja de la conductividad y el pH.



Figura 12. Fotografías tomadas desde la estación fija, marina 9 CRLP (izquierda) el 6 de junio con bajante, abundante basura flotante y burbujeo del fondo anóxico y mínimo oxígeno disuelto (1-2 mg/l o <20% saturación), muy por debajo de los 5 mg/l requeridos. La flecha indica los datos de ese día en la Figura 13.

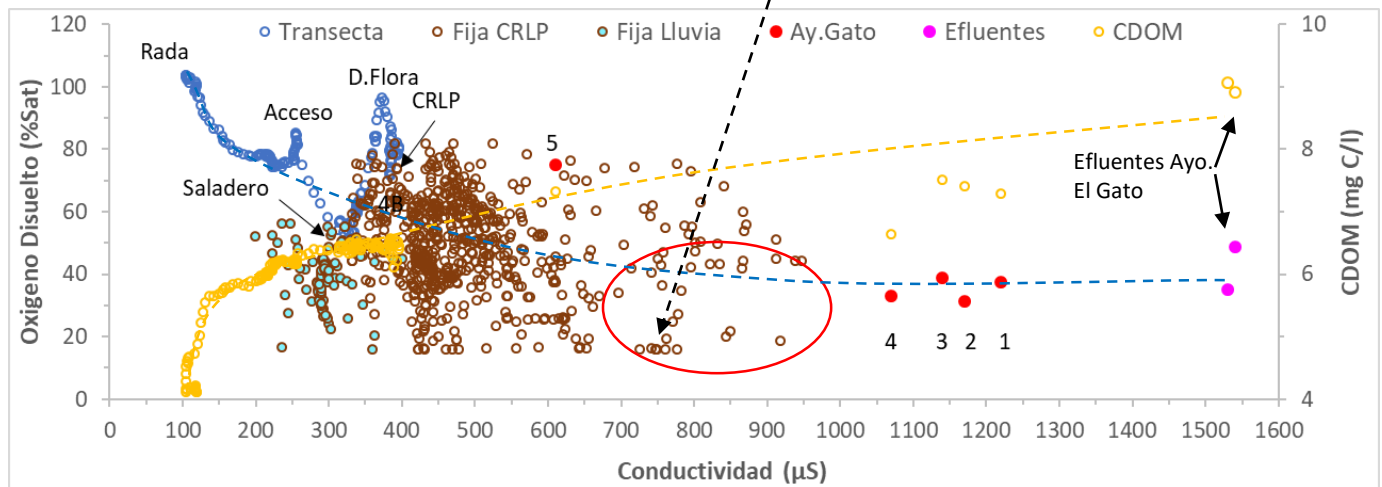


Figura 13. **Variación simultánea** de la conductividad, oxígeno disuelto y materia orgánica coloreada disuelta (CDOM). Se muestran datos de la transecta espacial (puntos azules), temporales en estación fija CRLP (marrones) diferenciando los registrados durante la lluvia del 26/5 (celeste a la izquierda), las estaciones 1-5 de El Gato (rojos) y sus efluentes (rosa y naranja, extrema derecha). Notar tendencia inversa de la materia orgánica (línea punteada naranja) y el oxígeno (línea punteada azul) consumido en su degradación, desde la Rada (izquierda) con baja conductividad ($\sim 100 \mu\text{S}/\text{cm}$) y CDOM ($\sim 4 \text{ mg C}/\text{l}$), y elevado oxígeno disuelto ($\geq 100\%$ saturación) indicando bajo impacto antrópico, hacia el Arroyo el Gato y sus efluentes con máximos de conductividad ($> 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$) y CDOM ($> 6-9 \text{ mg Carbono}/\text{l}$) y bajo oxígeno disuelto ($\sim 30\%$ saturación; extrema derecha). La variación temporal en la estación fija coincide con la transecta espacial, con valores extremos similares a las estaciones 1-4 del Ayo. El Gato (círculo rojo). Estos corresponden a las líneas verticales grises en la Figura 11 reflejando el impacto de la descarga de El Gato en el Río Santiago en bajante como la del 6 de Junio (flecha punteada negra y flecha gris superior en la Figura 11). La lluvia del 26/5 corre los datos de la estación fija hacia la izquierda (menor conductividad).

3.1.3. Datos puntuales de la calidad de aguas en las estaciones de muestreo

La Tabla 2 presenta los parámetros puntuales de calidad de agua analizados en las estaciones muestreadas en Mayo (n=10) y Junio (n=17 + efluentes del Ayo. El Gato), incluyendo también los promedios de los parámetros medidos “in situ” con las sondas multi-paramétricas y las Figuras 14-18, las tendencias principales. Los datos muestran una situación muy consistente con los registros continuos de las sondas en la **transecta espacial** observándose valores máximos de todos los parámetros en el Ayo. El Gato, especialmente en sus **efluentes**, también elevados al internarse en los arroyos, superando normas para la recreación, y disminución hacia la Rada.

En Mayo (Figura 14), las tendencias decrecientes desde el Ayo. El Gato (estaciones 1-4) hacia el RLP muestran una caída de 2-4 veces para fósforo total (1.9 ± 0.3 a < 1 mg/l), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) que es la cantidad de oxígeno necesaria para la degradación microbológica de la materia orgánica (18 ± 10 a < 5 mg/l) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), u oxígeno requerido para una oxidación fuerte de la materia orgánica (53 ± 9 a 14 mg/l), mientras el oxígeno disuelto aumenta 2.5 veces (3.2 ± 0.3 a 9.3 mg/l). La caída es mayor, de 8 veces para el **nitrógeno** total Kjeldahl que incluye al orgánico + amonio (**NTK**: 8.4 ± 0.5 a 1 mg/l) y la **conductividad** (1150 ± 63 a 136 $\mu\text{S/cm}$), y es máxima **> 70 veces** para las bacterias **coliformes fecales** (> 110.000 a 1500 NMP/100 ml), contundente confirmación de la **gravedad de la contaminación cloacal aportada por el Ayo. El Gato**. Básicamente el mismo patrón, pero con mayor contraste se observa en Junio (Figura 16), con una caída de 2-6 veces para fósforo (1.9 a < 1 mg/l), DBO (26 ± 14 a < 5 mg/l) y DQO (71 ± 27 a ~ 19 mg/l), aumento de 3.5 veces del oxígeno disuelto (3.5 ± 1.4 a ~ 12 mg/l) y reducción de 7-21 veces de la conductividad (1250 ± 198 a ~ 170 $\mu\text{S/cm}$) y NTK (20 ± 5 a 1 mg/l) hacia la Rada. En ambos muestreos, todas las estaciones salvo la más externa en la Rada, superan el valor de coliformes generalmente aceptado como inocuo para la recreación: 500-1000 NMP/100 ml. Las mediciones realizadas en las muestras de los **efluentes** volcados en el Ayo. El Gato son consistentes con los demás datos mostrando máximos de todos los parámetros con incrementos de 30% (conductividad) a 60 a $> 100\%$ (PT, NTK, DBO, DQO), respecto a las estaciones internas (0.5-4) más contaminadas de este arroyo, manteniendo elevadísimas las coliformes fecales ($> 110000/100$ ml).

El caso del **NTK** es interesante ya que sus niveles elevados en los efluentes y las estaciones internas de (0.5-4) y su rápida caída hacia la Rada es muy consistente con las **coliformes fecales**, con las que está significativamente correlacionado, y ambos parámetros con la **conductividad** (Figuras 15 y 17). Esto refleja el fuerte impacto de las descargas cloacales; en el caso del NTK fundamentalmente por el aporte de **orina** cuyo contenido en compuestos nitrogenados orgánicos es muy elevado (116 ± 38 g/24 hs o 5000-20000 mg NTK/l) por la abundancia de aminoácidos, proteínas, pero fundamentalmente de urea, ácido úrico, creatinina y amoníaco (Peeters et al., 2018; Lim y Leverenz, 2019). Con el objeto de realizar una evaluación comparativa con las mismas técnicas analíticas empleadas para las muestras ambientales, se realizó el análisis de una muestra compuesta de orina colectada en el laboratorio confirmando los valores extremos de conductividad (15200 $\mu\text{S}/\text{cm}$), NTK (7900 mg/l), DBO (3440 mg/l) y DQO (8980 mg/l; Ordil en Anexo 1 INDUSER, página 52). Estos valores son 1-2 órdenes de magnitud más elevados que los registrados en los efluentes volcados en el Ayo. El Gato, pero concuerdan muy bien con la transición decreciente hacia la Rada (Figura 18). La elevada carga de desechos concentrados por los riñones en la orina hace que, aunque constituya un porcentaje menor del volumen total de las descargas cloacales ($\sim 1\%$), la orina represente un porcentaje muy significativo de su carga de nutrientes, p.ej. 80% Nitrógeno, 50% fósforo, 90% de potasio (Larsen et al., 2001; EAWAG, 2007). En el ambiente, la conversión de las formas orgánicas de nitrógeno (NTK) a nitratos (nitrificación) que es la especie asimilable por las algas, contribuye a la **eutrofización** de los cuerpos de agua receptores, incluyendo el desarrollo de algas potencialmente nocivas (floraciones de cianobacterias), algo que queda claramente demostrado por los elevados niveles de **clorofila a** en el Río Santiago y sus recurrentes floraciones estivales (Figura 11). Dado que un ser humano produce unos 500 l de orina por año, su reciclado es un tema muy actual, de doble ganancia ya que permite reducir un importante impacto ambiental y a su vez generar ingresos, principalmente por la producción de fertilizantes nitrogenados (Wald, 2022).

La contaminación descrita del Arroyo El Gato es de larga data como lo reportan numerosos artículos periodísticos (p.ej. El Día, 2018, 2020) y lo demuestran trabajos científicos previos que indican números muy elevados de coliformes fecales en la desembocadura del arroyo

(4.000 a >100.000/100 ml; Cano et al., 2015), a valores extremos en la zona de la descarga (>100.000 a > 1.000.000/100 ml), cuyas aguas fueron catalogadas como peligrosas en base a ensayos ecotoxicológicos (Rimoldi et al., 2018). Si bien la legislación local es fragmentaria y poco sistematizada en cuanto a valores límites de estos parámetros para uso recreativo, a fines comparativos se han tomado los valores guías de otros países u organizaciones internacionales (Health Canada, 2012; WHO, 2021) y/o valores máximos de vuelco de efluentes en aguas superficiales (ACUMAR; 46/2017; Figura 15). En el caso de la **DBO y DQO**, en el Ayo. El Gato se sobrepasan valores indicativos de **contaminación en aguas superficiales** (30-40 mg/l; Sanchez et al., 2007), con valores inferiores a lo establecido para vertido pluvial (200-700 mg/l, ACUMAR, 46/2017), pero más elevados que la DBO recomendada para actividades recreativas pasivas, uso IV (<15 mg/l; ACUMAR 9/2019), en las estaciones 2, 3 y 4 (DBO= 16-31 mg/l, Tabla 3).

El caso de las bacterias **coliformes** es extremo, en el Ayo. El Gato se **sobrepasan largamente los <500 a <1000 NMP/100 ml** aconsejados para aguas de uso recreacional por agencias de protección ambiental de Norte América y Europa (EPA, 2012; Health Canada, 2012). La Organización Mundial de la Salud indica que con números superiores a **500/100 ml** de enterococos intestinales, que es el límite de vuelco de vertido pluvial fijado por ACUMAR (46/217), excedido más de 200 veces en el Ayo. El Gato, existen riesgos significativos de gastroenteritis (>10% de probabilidad con una sola exposición), considerando seguro el nivel de < 40/100 ml (WHO, 2021). La magnitud de la **contaminación fecal** en el arroyo El Gato y todo el Río Santiago, que además de bacterias coliformes incluye otro tipo de patógenos como virus, protozoos y parásitos, queda evidenciada por los números elevados de coliformes que se registran aún en la Rada (1500/100 ml en la estación 10), a pesar de la dilución aportada por las aguas del RLP. En el canal de Acceso el incremento puntual de las coliformes sugiere la presencia de fuentes secundarias de contaminación fecal. **Sólo, en la estación 11, la más alejada de la Rada muestreada en Junio (2 km afuera de la boca del canal de acceso km 7700), el número de coliformes fecales es muy bajo (23/100 ml), cumpliendo con lo aconsejado para uso recreativo.**

Debido a la consistencia del gradiente decreciente de contaminación desde el Ayo. El Gato hacia la Rada, todos los parámetros muestran una relación directa significativa con la

conductividad, con máximos en las estaciones internas y mínimos en la Rada (Figura 16). Todas las regresiones lineales con la conductividad son muy significativas (Mayo r^2 : 0.83-0.97; Junio r^2 : 0.61-0.83), menos significativa para DBO que se encuentra por debajo del límite de detección en varias estaciones (Tabla 3), e inversa para el oxígeno disuelto (r^2 : 0.75-0.79) que es consumido en la degradación de la materia orgánica aportada. Las estaciones internas de los canales muestreadas en Junio (D. Flora: 6.1; C. Oeste: 7.1; Saladero: 8.1) presentan una mayor contaminación indicada por la elevación de los valores sobre la tendencia decreciente hacia la Rada (Figura 16), aunque quedan debajo del Ayo. El Gato para NTK, DBO, DQO, pero mantienen igualmente elevada conductividad y coliformes fecales.

En función de las regresiones significativas entre las coliformes fecales y la conductividad, es posible estimar el número de bacterias fecales en función de los datos continuos de conductividad. Así, para las conductividades observadas en la estación fija del CRLP (rango: 200-950; media: $467 \pm 128 \mu\text{S/cm}$), las coliformes fecales oscilarían entre 220 y 85000/100 ml (media: $30572 \pm 14464/100 \text{ ml}$). Estos valores son consistentes con la tendencia de reducción de coliformes al alejarse en el Río Santiago según los datos puntuales de las dos campañas ($17000 \pm 15869/100 \text{ ml}$), que resultan **10-100 veces superiores a los < 40-500 recomendados para actividades recreativas** como las que se desarrollan en la zona. La gravedad de esta situación enfatiza la necesidad de darle **absoluta prioridad al tratamiento de los deshechos cloacales** y al **control permanente** del estado de las aguas en la cuenca del Río Santiago. Dada la importancia de las **actividades náuticas** en la zona (remo, vela, motonáutica, pesca, etc.), que incluye un importante **segmento infantil** más susceptible al contagio y a los efectos de las enfermedades hídricas, sería aconsejable disponer de un **sistema de alerta sanitario**, basado en el control microbiológico de las aguas a manera de banderas que indiquen si son aptas o no para determinados usos, como existen en otras regiones para los programas de monitoreo de playas (por ejemplo en Brasil: <https://balneabilidade.ima.sc.gov.br>; o en Australia: <https://www.environment.nsw.gov.au>).

Tabla 3. Datos de calidad de aguas en las estaciones muestreadas en Mayo.

Estación	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	Ay. El Gato					D.Flora	C.Oeste	Saladero	Acceso	Rada
Temp (°C)	18.1	19.6	18.6	18.6	18.4	18.2	18.2	18.2	17.9	17.9
Cond. (µS/cm)	1070	1140	1170	1220	610	445	387	375	290	136
pH	7.75	7.91	7.70	7.72	7.85	6.95	6.70	6.61	6.74	6.82
OD (mg/l) 2-5	3.0	3.4	2.8	3.4	6.8	7.3	5.9	4.9	7.4	9.3
Turbidez (NTU)	19.2	20.9	35.1	68.3	38.3	16.5	16.0	18.6	29.5	95.3
CDOM (mg C/l)	6.7	7.5	7.4	7.3	7.3	6.5	6.5	6.4	6.2	4.2
Clorofila a (µg/l)	6.7	3.8	6.2	8.2	21.3	14.0	16.0	11.5	9.4	5.7
Fósforo (mg/l)	1.6	1.7	2.2	2.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
NTK (mg/l)	8.7	8.9	8.2	7.8	4.4	2.5	1.5	2	1.7	1
Col.Fec. (100 ml) <500-1000	>110000	>110000	>110000	>110000	>110000	24000	15000	4600	15000	1500
DBO (mg/l) <15	<5.0	17.9	30.6	18.2	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
DQO (mg/l) <40	42	52.4	65.1	54	26.5	21.8	19.1	16.8	17.1	<15.0

Temp: temperatura; Cond: conductividad; OD: oxígeno disuelto; CDOM: materia orgánica coloreada disuelta; NTK: nitrógeno total Kjeldahl; Col.Fec: coliformes fecales. En rojo límites máximos sugeridos (ADA, 2006; Sanchez et al., 2007; ACUMAR, 2009; Health Canada, 2012; WHO, 2021). En negrita variables utilizadas para el cálculo del Índice de Calidad de Agua (ICA).

Tabla 3 continuación. Datos de calidad de agua en las estaciones muestreadas en Junio sumando los efluentes descargados en el Ayo. El Gato (Efl2 y Efl3).

Estación	0.5	1	2	3	Efl2	Efl3	4	5	5d	5f	6	6.1	7	7.1	8	8.1	9	10	11	
	Gato calle 143	Gato calle 25	Gato calle 1	Gato	Gato	Gato	Gato	Gato	Gato	RS	RS	Pte D. Flora	RS C. Oeste	Pte O. Rosas	RS Salade ro.	Pte Monte video	Canal Acceso	Rada 0.5	Rada 2 km	
					Dg74 Brown				Boca	E.Fija	Flora									
Temp (°C)	12	14	12	11	17	17	11	12	12	12	13	10	14	13	14	10	13	13	14	
Cond (µS/cm)	1083	1084	1180	1170	1540	1530	1180	569	511	455	430	580	383	1372	375	1135	360	200	135	
pH	6.4	7.1	7.6	7.8	7.7	7.5	7.9	8.1	7.9	7.9	6.8	4.5	6.6	4.1	6.6	3.7	6.6	6.8	6.9	
OD (mg/l)	4.4	3.0	2.2	1.5	4.6	3.4	5.5	9.9	8.3	7.5	9.8	5.5	6.7	3.9	6.9	2.0	8.1	12	13	
OD (%sat)	40	28	21	14	49	35	52	94	79	73	92	49	65	38	66	18	77	112	123	
Turbidez (NTU)	25	18	27	19	21	28	69	16	13	12	15	6.6	17	17	18	3.7	18	48	65	
CDOM (mg C/l)	4.7	5.3	6.5	6.4	8.9	9.1	6.3	7.0	7.2	7.4	7.4	7.3	7.4	12	7.4	5.7	7.1	6.0	5.8	
Cla (µg/l)	6.9	4.1	15	3.8	4.9	5.5	5.5	15	16	13	8.5	4.5	5.0	4.0	4.7	1.6	8.6	5.6	5.1	
Aceite (mg/l)	1570	1645	2012	1995	2960	3022	1990	2490	2520	2620	2581	2510	2582	3990	2601	1850	2498	2185	2128	
P (mg/l)	1.9	<1	<1	<1	4.3	4.1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	
NTK (mg/l)	29	18	17	18	53	35	17	5.8	14	3.2	2.8	4.4	2.2	8.5	2.5	9.8	2.5	1	0.9	
Col. Fec (100 ml)	>110 mil	>110 mil	>110 mil	>110 mil	>110 mil	>110 mil	>110 mil	46000	>110 mil	24000	4300	>110 mil	46000	>110 mil	1100	>110 mil	24000	1500	23	
DBO (mg/l)	25	12	46	20	48	47	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	11	<5	<5	<5	<5	<5	
DQO (mg/l)	95	53	106	55	115	117	47	27	28	21	22	26	23	66	23	33	19	17	21	

Temp: temperatura; Cond: conductividad, OD: oxígeno disuelto; CDOM: materia orgánica disuelta coloreada; Cla: clorofila a; P: fósforo total; NTK: nitrógeno total Kjeldahl; Col. Fec: coliformes fecales; DBO: demanda bioquímica de oxígeno; DQO: demanda química de oxígeno

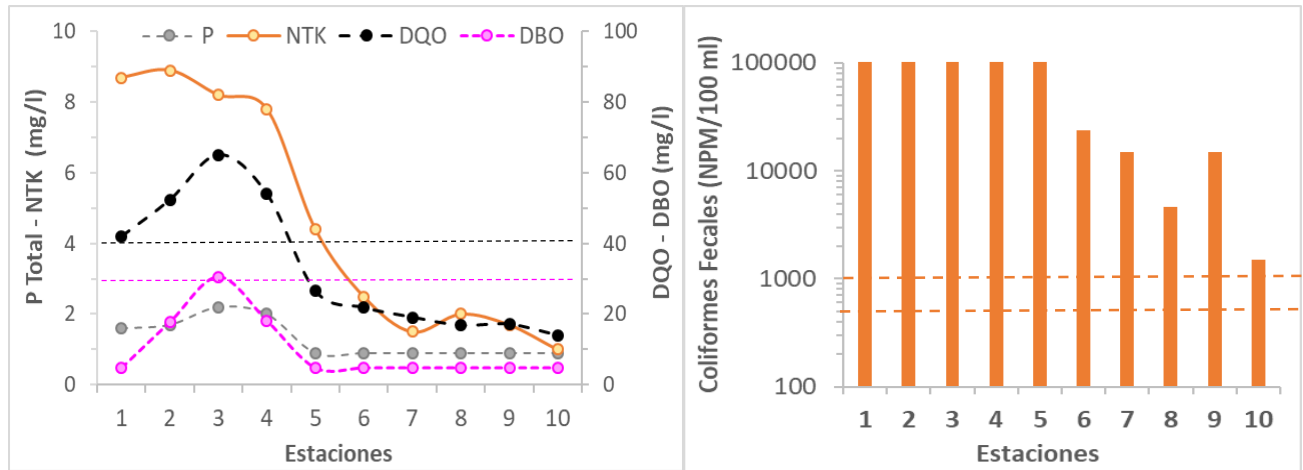


Figura 14. Variación espacial de los datos puntuales de calidad de aguas colectadas en Mayo/23 en las estaciones del Ayo. El Gato (1-5), Río Santiago (6-8), Canal de Acceso (9) y Rada (10). Notar **escala logarítmica** en el gráfico de Coliformes fecales (derecha). Las líneas punteadas horizontales indican los **valores guía** de DQO y DBO (30-40 mg/l; Sanchez, 2007) y coliformes fecales (<500-1000/100 ml, CWQG, 1999; WHO, 2021). P: fósforo total; N: nitrógeno total Kjeldhal; DQO: demanda química de oxígeno; DBO: demanda bioquímica de oxígeno.

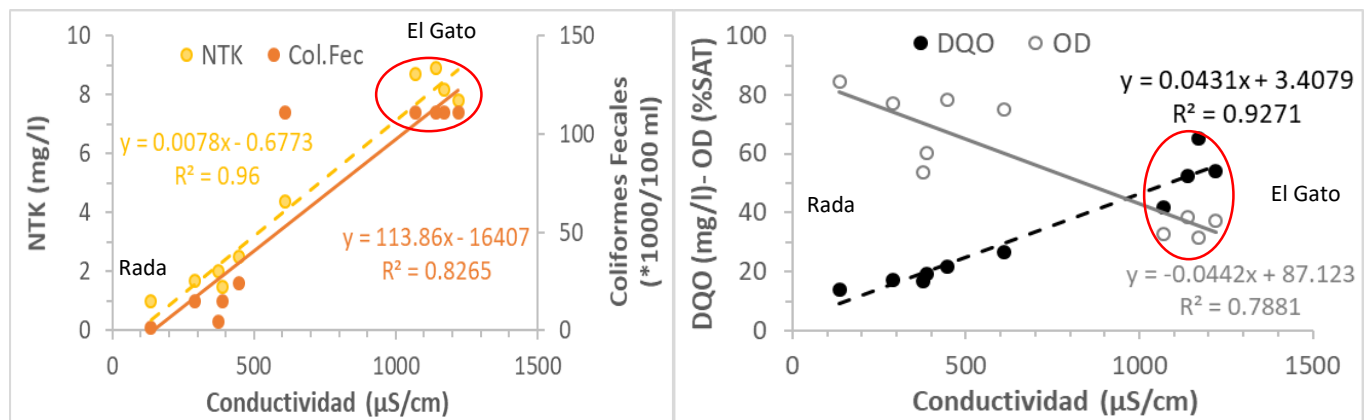


Figura 15. Covariación de los parámetros en las 10 estaciones muestreadas en Mayo/23. Notar correlación positiva significativa del nitrógeno total Kjeldhal (NTK), Coliformes fecales (Col. Fec) y demanda química de oxígeno (DQO) con la conductividad y negativa con el oxígeno disuelto (OD). Estaciones 1-4 del Ayo. El Gato en el círculo rojo y la Rada en extremo opuesto (abajo izquierda) de cada serie de datos.

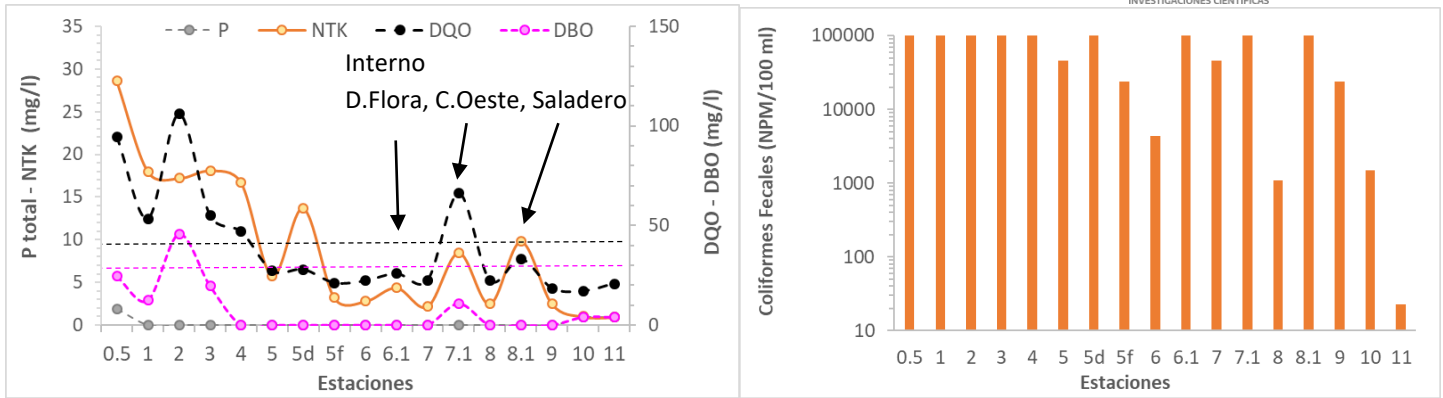


Figura 16. Variación espacial de los datos puntuales de calidad de aguas colectadas en Junio/23 en las estaciones del Ayo. El Gato (0.5-5d), Río Santiago (5f, 6-8), canales internos (D. Flora: 6.1; C. Oeste: 7.1; Saladero: 8.1), Canal de Acceso (9) y Rada (10 y 11). Notar **escala logarítmica** en el gráfico de Coliformes fecales (derecha). Las líneas punteadas horizontales indican los **valores guía** y abreviaciones como en Fig. 15.

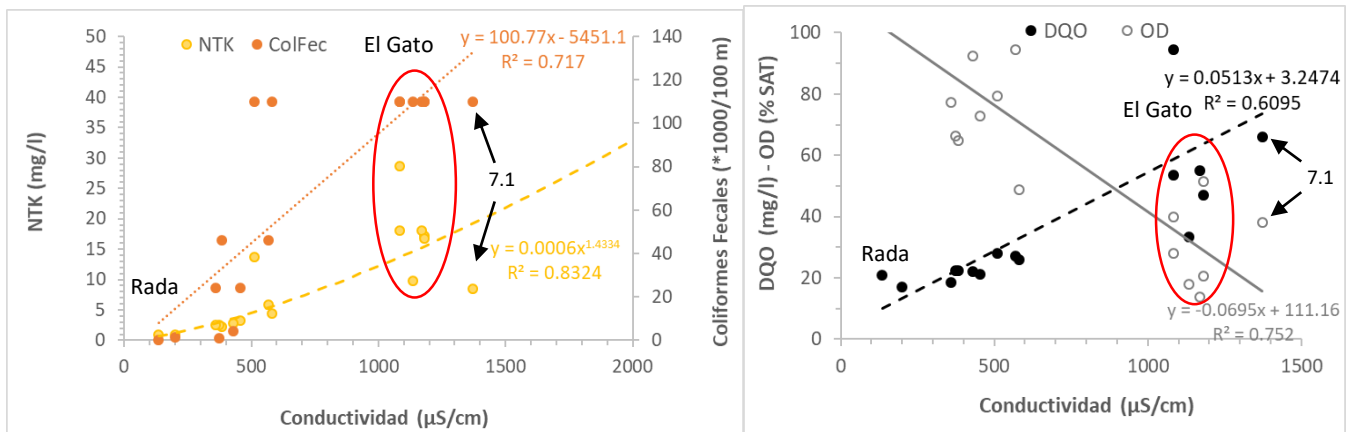


Figura 17. Covariación de los parámetros en las 17 estaciones muestreadas en Junio/23 que confirman la correlación positiva entre NTK, Coliformes fecales y DQO con la conductividad y negativa con el oxígeno disuelto (OD). Estaciones El Gato 0.5-4 + 8.1 en círculo rojo y la Rada en extremo opuesto.

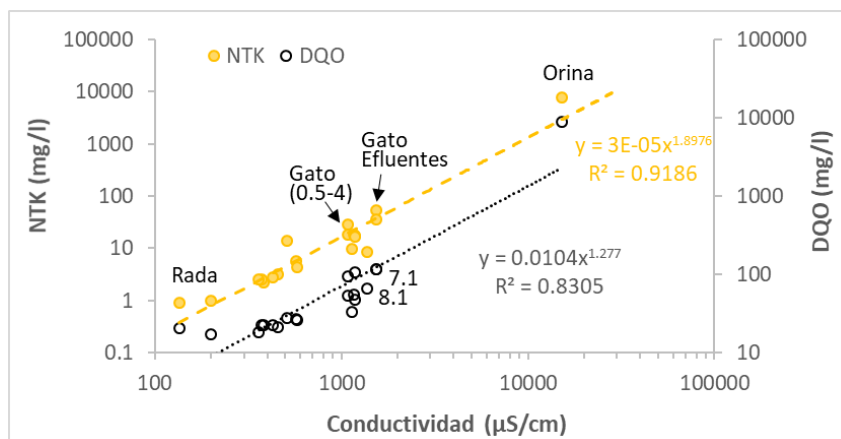


Figura 18. Covariación del NTK y DQO con la conductividad en las 17 estaciones muestreadas en Junio/23 a las que se sumaron los efluentes del Ayo. El Gato (Efl 2 y 3) y la muestra de orina. Notar escala logarítmica de todos los parámetros y la transición desde la Rada (abajo izquierda) a la orina (arriba derecha) con valores 1-2 órdenes de magnitud más elevados que en los efluentes descargados en El Gato.

3.1.4. Metales disueltos y particulados

La Tabla 4 y a Figura 19 presentan los datos de metales determinados en la fase disuelta y material particulado suspendido (MPS) en las muestras de agua. En la fase disuelta, sólo el hierro de fuentes naturales predominantes resultó detectable con un claro gradiente de aumento desde las estaciones internas hacia la Rada (Fe: 0.2 a 0.7 mg/l; Tabla 4) que está menos impactada y recibe una fuerte carga mineral disuelta-particulada aportada por el Río Paraná. La misma tendencia de aumento hacia la Rada se observa en el hierro particulado (Fe: 8000-10000 a 35000-40000 $\mu\text{g/g}$), cuya concentración aguas afuera es similar a la composición media de la corteza terrestre (~ 31000 $\mu\text{g/g}$), reflejando el aporte natural predominante en la Rada.

En contraste, los otros metales en el MPS presentan una tendencia opuesta, con máximos en el Ayo. El Gato y Río Santiago y reducción progresiva hacia la Rada. Esto se observa tanto para el Manganeseo, con fuentes naturales habitualmente predominantes (Mn: 800-2400 a 400 $\mu\text{g/g}$ en la Rada, valores $\times 10$ en la Figura 19), como para el Cinc (Zn: 565 a 79 $\mu\text{g/g}$) y el Cobre (Cu: 80 a 26 $\mu\text{g/g}$), que tienen fuentes antrópicas significativas. En el caso del Mn, su abundancia natural en la corteza (527 $\mu\text{g/g}$) es comparable al valor de la Rada que a su vez es 3-6 veces inferior a las concentraciones del Ayo. El Gato y Río Santiago desde D. Flora, C. Oeste y Saladero (1100 a 2400 $\mu\text{g/g}$). Similar tendencia decreciente se observa para el Cinc particulado, cuyos máximos en las estaciones 1-3 del Ayo. El Gato están enriquecidos (9 veces) respecto de la corteza terrestre (468 ± 84 vs. 52 $\mu\text{g/g}$ en corteza) y cuya caída hacia la Rada (6 veces) es similar a la del Manganeseo. La descarga de efluentes urbano-industriales y contaminación antrópica pueden contribuir a los niveles más elevados de Mn en el Ayo. El Gato (Huang et al., 2021; Zaho et al., 2023). Otra fuente relevante de Mn al agua, es la removilización Redox del Mn del fondo como forma disuelta en condiciones anóxicas (difusión vertical de la fase sólida de sedimentos como Mn^{+2}) con posterior reprecipitación en la columna de agua oxigenada resultando en un incremento local del Mn particulado en las estaciones del Río Santiago. El enriquecimiento del Cobre en las estaciones 1-3 del Ayo. El Gato es menor, de 5 veces (72 ± 7.0 vs. 14.3 $\mu\text{g/g}$ en la corteza), al igual que su reducción hacia la Rada (3 veces), donde las concentraciones en el MPS todavía resultan algo superiores a la media de la corteza terrestre.

En definitiva, estos datos de metales concuerdan con las mediciones de las sondas y análisis puntuales de la calidad del agua reflejando un impacto antrópico en las estaciones internas con dilución progresiva hacia el Río de la Plata donde prevalecen los aportes naturales de metales, similares a la composición de la corteza terrestre.

Tabla 4. Concentraciones de metales disueltos (Fe) y particulados en las muestras de agua.

Estación	Fe		Fe	Mn	Zn	Cu	Cr	Pb
	Disuelto mg/l	MPS mg/l						
1	0.19	13	10871	1703	430	67	<68	<155
2	0.28	5.1	8027	4775	565	80	<231	<524
3	0.37	16	7656	1087	409	70	<200	<454
4	0.41	55	36857	814	264	54	<32	<47
5	0.47	37	33819	1103	222	43	<54	<76
6	0.47	13	46212	2445	230	38	<94	<213
7	0.53	15	32236	2002	211	38	<76	<173
8	0.60	21	35049	1790	172	35	<68	<101
9	0.67	29	36313	735	127	32	<66	<86
10	0.71	75	41588	398	79	26	<33	<38
Promedio	0.47	28	28863	1685	271	48	nd	nd
Desvio estándar	0.17	22	14392	1259	151	18		

MPS: material particulado suspendido; el símbolo < indica no detectable (nd), menor que ese número (variable según cantidad de material retenido en filtros, < MPS ⇒ > límite cuantificación

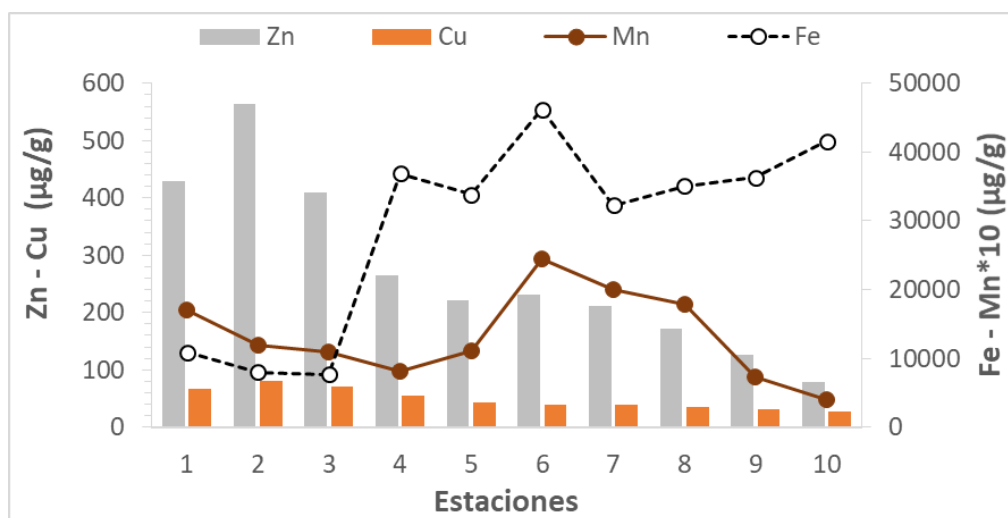


Figura 19. Concentración de metales en el material particulado en suspensión en el agua (MPS). Concentraciones del Manganeseo (Mn) para que puedan graficarse en eje de la derecha fueron multiplicadas * 10 (o sea concentraciones deben dividirse por 10).

3.1.5. Índices de calidad de Agua (ICA)

Para compendiar los datos de calidad de aguas en un solo parámetro que resuma de manera simplificada las principales tendencias, desde la década del '60 se ha estandarizado el uso de los llamados Índices de Calidad de Agua (ICA; Uddin et al., 2021). Los ICA resultan de la sumatoria de las variables normalizadas a un índice de calidad común (C), adimensional, que varía de 0 a 100 (de malo a excelente) multiplicado por el peso relativo de cada parámetro (P) que varía de 1 a 4 (de menor a mayor significancia) según el tipo de ambiente en particular (Pesce y Wunderlin, 2000). La sumatoria de los índices de calidad normalizados multiplicado por el peso de la variable (C*P) se dividen por la sumatoria de los pesos de todas las variables ($ICA = \frac{\sum C*P}{\sum P}$).

Para este informe se han utilizado 9 parámetros indicados en negrita en la Tabla 3 (temperatura, conductividad, pH, oxígeno disuelto, turbidez, fósforo total, coliformes fecales, DBO y DQO). La Figura 20 presenta los resultados obtenidos para los muestreos de Mayo y Junio graficados en función de la distancia a los vuelcos del Ayo. El Gato (estaciones 2-3). Los valores mínimos del ICA en el Ay. El Gato y sus efluentes reflejan su mala calidad del agua, con alguna mejora en el Río Santiago (regular) e incremento progresivo hacia la Rada (buena; ICA de 30 a 78). La regresión positiva significativa entre el ICA y la distancia a los vuelcos refleja la disminución gradual del impacto en el Río Santiago por dilución con aguas del Río de la Plata, consistente con el gradiente registrado en las transectas espaciales. Al internarse en los canales en el muestreo de Junio, la calidad del agua empeora y el ICA baja, reduciendo la significancia de la regresión.

Es interesante notar que aún en las estaciones de la Rada (10 y 11) localizadas ~0.5-2 km fuera de las farolas del Canal de Acceso al puerto de La Plata y a ~ 4-6 km de la costa, la **calidad de agua no llega a la categoría de excelente**, reflejando el impacto de la descarga de aguas contaminadas del Río Santiago en el **Río de la Plata**. Este aporte contribuye al deterioro de la franja costera sur del río que está fuertemente afectada desde la ciudad de Buenos Aires hasta Magdalena por las descargas directas con tratamiento deficiente de las cloacas de Berazategui y La Plata, o a través de otros arroyos polutos, verdaderas cloacas a cielo abierto, como el Matanza-Riachuelo, Sarandí, Santo Domingo, Giménez y su aliviador, las Conchitas y Ayo. Buñirigo. Tan

marcado es el deterioro de la calidad de agua en esta franja costera, que es la de mayor interacción con las actividades recreativas y fuenet de agua potable, que mediante monitoreo continuo embarcado ha sido posible discriminar este corredor contaminado a unos 5 km de la costa por sus niveles más elevados de conductividad y materia orgánica y menor turbidez, separado de los corredores de los ríos Paraná y Uruguay, a ~10 y 15-20 km hacia el N. Este corredor costero contaminado fluye unos 100 km en forma continua hacia la Bahía de Samborombón, extenso humedal y sitio RAMSAR protegido (Heguilor et al., 2023).

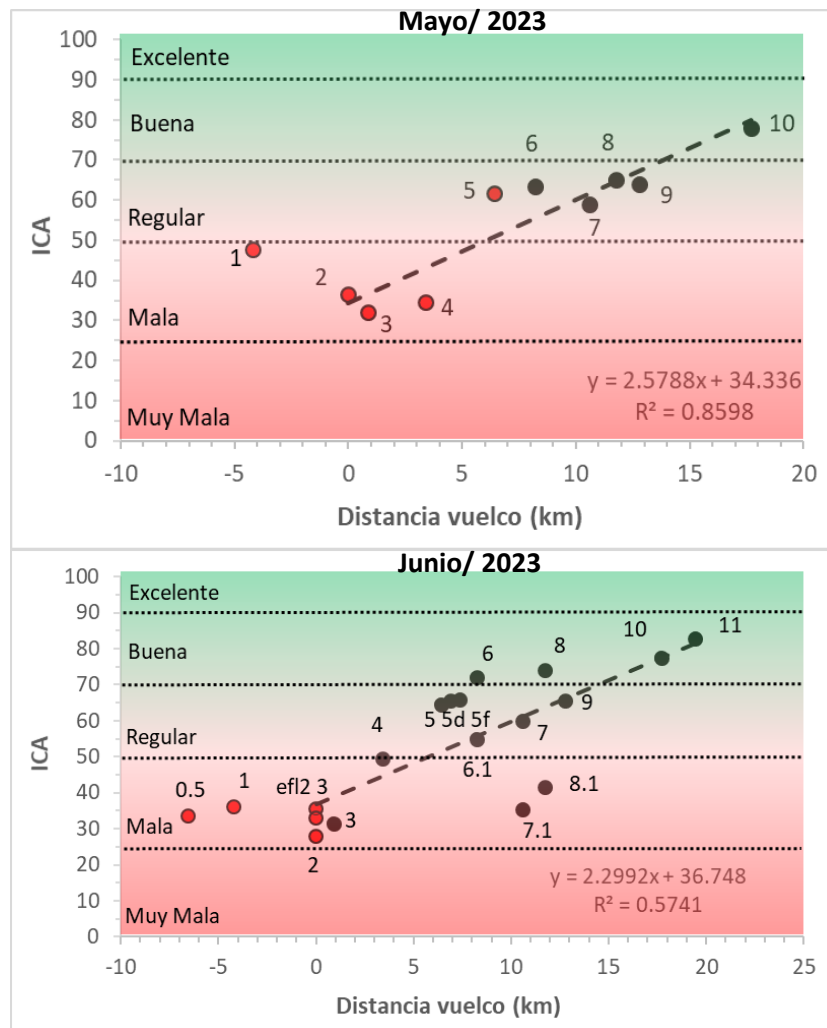


Figura 20. Índices de Calidad de Agua (ICA) calculados con nueve parámetros de la Tabla 3 para Mayo (arriba) y Junio (abajo) en función de la distancia a los vuelcos del Ayo. El Gato (Efl 2 3 y estaciones 2-3). Las estaciones 0.5 y 1 ubicadas ~4-6 km aguas arriba se indican con distancia negativa (excluidas de la regresión). La regresión positiva significativa del ICA con la distancia a los vuelcos refleja la mejora gradual de la calidad del agua desde el Ay. El Gato (mala: Efl 2 3, estaciones 0.5 a 4) a su desembocadura (regular: estación 5, 5d), el Río Santiago (regular: 5f, 6, 7 y 8), Canal de Acceso (regular: 9) y la Rada (buena: 10 y 11; no llegan a excelente). Notar empeoramiento de condiciones al internarse en los canales (estaciones 6.1, 7.1 y 8.1).

4. Conclusiones

Este informe compila las conclusiones del análisis de la calidad del agua del Arroyo el Gato, Río Santiago y Río de la Plata aledaño basado en mediciones continuas embarcadas y costeras y en una estación fija ubicada en el Club de Regatas La Plata (marina 9 frente a la desembocadura del Ayo. EL Gato), todas realizadas con sondas muti-paramétricas y fluorómetro, y análisis de muestras discretas colectadas en 10-17 estaciones de muestreo visitadas en dos campañas realizadas en Mayo (n=10) y Junio del corriente (n=17).

- 4.1. El Arroyo El Gato ha sido convertido en un **colector cloacal, con mala calidad del agua** caracterizada por elevada conductividad y carga orgánica, principalmente nitrógeno, Demanda Bioquímica y Química de Oxígeno que resulta en una fuerte reducción del oxígeno disuelto, enriquecimiento en metales antrópicos particulados (Zn, Cu) y valores extremos de bacterias coliformes fecales, superando normas nacionales e internacionales e incompatible con cualquier uso recreativo.
- 4.2. El aporte cloacal es **masivo en las descargas de La Plata** en El Gato (después de la calle 1), muy marcado por el nitrógeno total abundante en la **orina**, pero es también significativo aguas arriba, a la altura de **la calle 143, La Granja** y posiblemente en M. Romero.
- 4.3. Los **arroyos urbanos** (Saladero en Berisso, Canal Oeste y Doña Flora en Ensenada) son **fuentes secundarias** de contaminación urbana (Saladero y D. Flora, en menor medida) e industrial (Canal Oeste).
- 4.4. El impacto de la **descarga del Arroyo El Gato en el Río Santiago** es muy significativo, con marcado deterioro de la calidad de agua en el sector del Club de Regatas La Plata, especialmente notorio durante **condiciones de bajante**, observándose una recuperación progresiva hacia la Rada del Puerto de La Plata por la dilución con agua del Río de la Plata.
- 4.5. Como resultado de este impacto, las aguas que circundan al **Club de Regatas La Plata** están eutrofizadas con máximos de clorofila a (favoreciendo el desarrollo de cianobacterias) y

tienen una elevada carga de **coliformes fecales**, superando en varias decenas de veces los valores recomendados para **actividades recreativas**.

- 4.6.** Esta **delicada situación sanitaria** representa un riesgo real de **infección por patógenos y transmisión de enfermedades hídricas**, especialmente crítico para el **sector infantil** que desarrolla actividades en la zona aledaña.
- 4.7.** La construcción y puesta en funcionamiento de la planta de **tratamiento de los efluentes cloacales debe ser considerada una prioridad absoluta** que permitirá disminuir la degradación ambiental imperante y el deterioro de la calidad de vida de la población.
- 4.8.** Dada la gravedad de la situación y hasta tanto se resuelva el problema de fondo del tratamiento de los **efluentes y el volcado de basura** en el Arroyo El Gato, debería crearse un **observatorio permanente de la calidad del agua** con señalización de las condiciones para usos específicos en el Río Santiago y un sistema eficiente de fiscalización y recolección continua de residuos en la desembocadura del Arroyo El Gato en el Río Santiago.
- 4.9.** Tan deteriorada está la calidad del agua en el Río Santiago, que aún **fuera del Canal de Acceso al Puerto de La Plata**, donde también se detectan aportes cloacales secundarios, las condiciones no son óptimas; sólo **2 km aguas afuera de las Farolas** del Canal (km 7700), los niveles de coliformes fecales son adecuados para usos recreativos.
- 4.10.** La **descarga del Río Santiago en el Río de la Plata**, detectable por una elevación de la conductividad, la materia orgánica disuelta, y la clorofila, con reducción del oxígeno disuelto, contribuye al marcado deterioro de la franja costera sur del río, resultando en la formación un corredor costero de aguas contaminadas, con aportes urbano-industriales sucesivos desde la Capital Federal, Avellaneda, Quilmes, Berazategui, La Plata y Magdalena, que ha sido detectado hasta Punta Indio y Punta Piedras.

Literatura citada

- ACUMAR, 2009. Objetivos de calidad ambiental de mediano-largo plazo. Indicadores ambientales relacionados con el uso IV. Resolución 3/09 del 18/5/2009.
- ACUMAR, 2017. Anexo i del proyecto de resolución “modificación de la resolución presidencia Acumar n° 46/2017”. Tabla consolidada de control de límites de vertido de efluentes líquidos.
- APHA, AWWA-WPCF, 1992. Métodos para el análisis de aguas potables y residuales. Ediciones Díaz de Santos.
- Bartram, J., Ballance, R. (Eds.). 1996. Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. UNEP/WHO. 348 p.
- Cano, L., Fabiano, I., Elisio, S., Elordi, M.L., Primost, J., Andrinolo, D. 2015. Calidad de aguas superficiales en la región costera de La Plata y alrededores. V congreso bianual PROIMCA y III Congreso Bianual PRODECA, ciudad de la Rioja, 11 al 13 de agosto.
- Chapman, D. 1996. Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. UNESCO-WHO-UNEP. 651 p.
- Colombo, J.C. 1987. Tesis de M.Sc., M 128, Université du Québec a Rimouski, Canadá, 83 páginas.
- Colombo, J.C., Pelletier, E., Brochu, C., Khalil, M., Catoggio, J.A. 1989. Determination of hydrocarbon sources using n-alkane and polyaromatic hydrocarbon distribution indexes, Case study: Rio de La Plata estuary, Argentina. Environmental Science and Technology 23: 888-894.
- Colombo, J.C., Bilos, C., Rodríguez Presa, M.J., Schroeder, F. 1994. Contaminación química en el Río de la Plata: evaluación del impacto de efluentes urbano-industriales mediante monitoreo electrónico, químico y biológico. Gerencia Ambiental, 6: 420-451 (6 páginas).
- Colombo, J.C., Silverberg, N., Gearing, J.N. 1996a. Biogeochemistry of organic matter in the Laurentian Trough: I Composition and vertical fluxes of rapidly settling particles. Marine Chemistry, 51: 277-293.
- Colombo, J.C., Silverberg, N., Gearing, J.N. 1996b. Lipid biogeochemistry in the Laurentian Trough: I- Fatty acids, sterols and aliphatic hydrocarbons in rapidly settling particles”, Organic Geochemistry, 25: 211-225.
- Colombo, J.C., Brochu, C., Bilos, C., Landoni, P., Moore, S. 1997a. Long-term accumulation of individual PCBs, dioxins, furans and trace metals in Asiatic Clams from the Río de la Plata Estuary, Argentina. Environmental Science & Technology, 31: 3551-3557.
- Colombo J.C., Silverberg N., Gearing J.N. 1997b. Lipid biogeochemistry in the Laurentian Trough--II. Changes in composition of fatty acids, sterols and aliphatic hydrocarbons during early diagenesis. Org. Geochem. 26:257-274.
- Colombo, 2004a. Fuentes, transporte y biodegradación de contaminantes en material particulado y sedimentos del Río Santiago y Río de la Plata en la zona del polo petroquímico. Informe 1: Caracterización de fuentes. Marzo, 24 páginas.

- Colombo, 2004d. Fuentes, transporte y biodegradación de contaminantes en material particulado y sedimentos del Río Santiago y Río de la Plata en la zona del polo petroquímico. Informe 5: Perfiles verticales en sedimentos del Canal Conclusión y Canal Oeste 1 y 2. Noviembre, 34 páginas.
- Colombo, J.C., Barreda, A., Bilos, C., Cappelletti, N., Demichelis, S., Lombardi, P., Migoya, M.C., Skorupka, C., Suárez, G. 2005a. Oil spill in the Río de la Plata estuary, Argentina: 1- Biogeochemical assessment of waters, sediments, soils and biota. *Environmental Pollution*, 134: 277-289.
- Colombo, J.C., Barreda, A., Bilos, C., Cappelletti, N., Migoya, M.C., Skorupka, C. 2005b. Oil spill in the Río de la Plata estuary, Argentina: 2- Hydrocarbon disappearance rates in sediments and soils *Environmental Pollution*, 134: 267-276.
- Colombo, J.C., Cappelletti, N., Barreda, A., Migoya, M.C., Skorupka, C.N. 2005c. Vertical fluxes and accumulation of PCBs in coastal sediments of the Río de la Plata estuary, Argentina. *Chemosphere*, 61: 1345-1357.
- Colombo, J.C., Cappelletti, N., Laschi, J., Migoya, M.C., Speranza, E., Skorupka, C.N. 2005d. Sources, vertical fluxes and accumulation of aliphatic hydrocarbons in coastal sediments of the Río de la Plata Estuary. *Environmental Science and Technology*, 39: 8227-8234.
- Colombo, J.C., Cappelletti, N., Laschi, J., Migoya, M.C., Speranza, E., Skorupka, C.N. 2006. Sources, vertical fluxes and equivalent toxicity of aromatic hydrocarbons in coastal sediments of the Río de la Plata Estuary, Argentina. *Environmental Science and Technology*, 40: 734-740.
- Colombo, J.C., Cappelletti, N., Speranza, E., Migoya, M.C., Laschi, J., Skorupka, C.N. 2007. Vertical fluxes and organic composition of settling material from the sewage impacted Buenos Aires coastal area, Argentina. *Organic Geochemistry*, 38: 1941-1952.
- Colombo, J.C., Skorupka, C., Bilos, C., Tatone, L., Cappelletti, N., Migoya, M.C., Speranza, E. 2015. Seasonal and inter-annual variability of water quality in the Uruguay River, Argentina", *Hydrological Sciences Journal*, 60: 1155-1163 (doi 10.1080/02626667.2014.905690).
- Colombo, J.C., Speranza, E.D., Astoviza, M., Migoya, M.C., Skorupka, C.N., Morrone, M., Heguilor, S., Tatone, L.M., Bilos, C. 2018. Long-term (1970-2017) temporal trends of PCBs in fish, settling material and sediments from populated and remote sites from the Río de la Plata estuary, Argentina. *Environmental Science & Technology*, 52: 12412-12418. DOI 10.1021/acs.est.8b04403.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). Canadian Water Quality Guidelines for Protection of Aquatic Life. <https://ccme.ca/en/res/dissolved-oxygen-freshwater-en-canada>
- Health Canada (2012). Guidelines for Canadian Recreational Water Quality, Third Edition. Water, Air and Climate Change Bureau, Healthy Environments and Consumer Safety Branch, Health Canada, Ottawa, Ontario. (Catalogue No H129-15/2012E).
- Canadian Environmental Quality Guidelines. Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) 1999. Updated 2003. Internet: <http://www.ec.gc.ca>.

- EAWAG, 2007. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. Controlling Water Pollution By Isolating Urine." ScienceDaily, 8 March 2007. www.sciencedaily.com/releases/2007/03/070308085444.htm.
- El Día, 2018. Pese a las alertas, nadie desactiva la bomba ambiental que amenaza los cursos de agua. La aparición masiva de peces muertos en El Zanjón y un tramo de EL Gato tenido de violeta, son los últimos signos de la degradación. Publicado el 25 marzo.
- El Día, 2020. Temor a desastre ambiental por preocupantes imágenes de la desembocadura del arroyo El Gato. Publicado el 27 de Octubre.
- EPA, 2001. Sediment Sampling Guide and Methodologies. State of Ohio Environmental Protection Agency. Division of Surface Water. Columbus, Ohio 43216-1049 (2nd Edition).
- EPA, U.S. Environmental Protection Agency. Métodos normalizados. Serie 600 para aguas residuales (608, 610, 613, 680). EPA 3005A, 3010A, 3015A, 3020A (Metales disueltos); 3050B, 3051A (Metales en sólidos). EPA 440.0 (Carbono y nitrógeno totales en sólidos). EPA 3500C (extracción y preparación): 3510C (ampolla), 3535A (extracción en fase sólida; SPE), 3540C (extracción con Soxhlet), 3550C (extracción con ultrasonido); 3630C (clean up en gel de sílice). EPA 508 (organoclorados). EPA 610 (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos). EPA 680 (Organoclorados, PCBs suelos / Sedimentos). EPA 1613 (Dioxinas y Furanos). EPA 8082 (PCBs).
- EPA, U.S. Environmental Protection Agency. Parámetros de calidad de agua, oxígeno disuelto. <https://www.epa.gov/awma/dissolved-oxygen-parameter-factsheet>.
- EPA, 2012. Recreational Water Quality Criteria. OFFICE OF WATER 820-F-12-058.
- Estación hidrométrica La Plata. Hidrografia.agpse.gob.ar. Accesado Mayo-Junio 2023.
- Heguilor, S., Speranza, E.D., Tatone, L.M., Skorupka, C.N., Migoya, M.C., Colombo, J.C. 2023. High-resolution multivariate analysis of the hydrochemical signature of water corridors in the Upper Río de la Plata estuary, Argentina. *Water Research*, 229, 119483.
- Huang, C.-W., Yen, P.-L., How, C.M., Chai, Z.Y., Hsiu-Chuan Liao, V. 2021. Levels of bioavailable manganese in river sediment may elevate reproductive risk in model organism *Caenorhabditis elegans*. *Aquatic Toxicology*, 2021 Oct;239:105958. doi: 10.1016/j.aquatox.2021.105958. Epub 2021 Sep 4.
- INDUSER, 2023. Protocolos de análisis (anexo I).
- Larsen, T.A., Peters, I., Alder, A., Eggen, R., Maurer, M., Muncke, J. 2001. Re-Engineering the toilet for sustainable water management. *Environmental Science & Technology*, 35(9): 192A-197A.
- Lim, K., Leverenz, H. 2019. Characterization of urease derived from *Citrulluslanatus* (watermelon) seeds to estimate total Kjeldahl nitrogen in human urine. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 99:5, 486-499, DOI: 10.1080/03067319.2019.1593973.
- Liu, Y., Huang, H., Yan, L., Yang, X., Bi, H., Zhang, Z., 2020. Particle Size Parameters of Particulate Matter Suspended in Coastal Waters and Their Use as Indicators of Typhoon Influence. *Remote Sens.* 12, 2581. <https://doi.org/10.3390/rs12162581>.

- Loring, D.H. and Rantala, R.T.T.; 1992. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth-Science Reviews*, 32: 235-283.
- Municipalidad de La Plata 2023. Sistema de telemetría de la Dirección de Hidrometeorología. Convenio específico UNLP-MLP para el Plan de reducción de riesgo por inundaciones en la región de La Plata (2da etapa). Accesado por Dr. Ing. Pablo Romanazzi.
- Peeters, B., Dirinck, E., Van Gaal, L., Roosens, L. 2018. Can calculated total nitrogen replace Kjeldahl total nitrogen measurements in 24-h urine samples? *Clinical Chemical Lab. Med.* <https://doi.org/10.1515/cclm-2018-0144>.
- Pesce, S.F. y Wunderlin, D. A. 2000. Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba city (Argentina) on Suquía River. *Water Research*, 34: 2915-2926.
- Rimoldi, F., Peluso, L., Bulus Rossini, G., Ronco, A.E. Demetrio, P.M. 2018. Multidisciplinary approach to a study of water and bottom sediment quality of streams associated with mixed land uses: Case study Del Gato Stream, La Plata (Argentina). *Ecological Indicators*, 89: 188-198.
- Rose, C., Parker, A., Jefferson, B., Cartmell, E. 2015. The characterisation of faeces and urine; a review of the literature to inform advanced treatment technology. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, DOI: 10.1080/10643389.2014.1000761.
- Speranza, E.D., Colombo, M., Skorupka, C.N., Colombo, J.C. 2018. Early diagenetic alterations of sterol biomarkers during particle settling and burial in polluted and pristine areas of the Río de la Plata Basin. *Organic Geochemistry*, 117:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.orggeochem.2017.11.013>.
- Speranza, E.D., Colombo, M., Heguilor, S., Tatone, L.M., Colombo, J.C. 2020. Alterations in the sterol signature of detritivorous fish along pollution gradients in the Río de la Plata basin (Argentina): from plant to sewage-based diet. *Environmental Research*, 184: 1-8; <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109351>.
- Sturgeon, R., Berman, S.S. and Kremling, K.; 1987. Sampling and Storage of Natural Water for Trace Metals. *CRC Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 18 (3): 209-244.
- Tatone, L. M., Bilos, C., Skorupka, C.N., Colombo, J.C. 2009. Vertical Fluxes and Accumulation of Trace Metals in Superficial Sediments of the Río de la Plata Estuary, Argentina. *Bulletin Environmental Contamination & Toxicology*, 83: 913-919.
- Tatone, L.M., Bilos, C., Skorupka, C.N., Colombo J.C. 2013. Trace metals in settling particles from the sewage impacted Buenos Aires coastal area in the Río de la Plata estuary, Argentina. *Bulletin Environmental Contamination & Toxicology*, 90:318-322.
- Tatone, L.M., Bilos, C., Skorupka, C., Colombo, J.C. 2015. Trace metal behavior along fluvio-marine gradients in the Samborombón Bay, outer Río de la Plata estuary, Argentina. *Continental Shelf Research*, 96: 27-33.
- Tatone, L.M., Bilos, C., Skorupka, C.N., Colombo, J.C. 2016. Comparative approach for trace metal risk evaluation in settling particles from the Uruguay River, Argentina: enrichment factors, sediment

- quality guidelines and metal speciation". *Environmental Earth Science*, 75:575. DOI 10.1007/s12665-016-5265-6.
- Tatone, L.M.; Skorupka, C.N.; Colombo, J.C. 2020. Comprehensive evaluation of metal pollution and ecological risk in settling material from differently impacted sites in the Río de la Plata basin. *Human & Ecological Risk Assessment: An international Journal*. 1-13 <https://doi.org/10.1080/10807039.2020.1749826>.
- Tare, V. y Yadav, K. 2009. Fate of Physico-Chemical Parameters During Decomposition of Human Feces. *Global Journal of Environmental Research* 3 (1): 18-21.
- TWRI, 2008. National Field Manual for the Collection of Water-Quality Data. Techniques of Water-Resources Investigations. Book 9 Handbooks for Water-Resources Investigations. US Geological Survey.
- Uddin, G. Md., Nash, S., Olbert, A.I. 2021. A review of water quality index models and their use for assessing surface water quality. *Ecological Indicators*, 122 107218. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107218>
- UNEP, 2006. Methods for sediment sampling and analysis. United Nations Environmental Programme. UNEP(DEC)/MED WG.282/Inf.5/Rev.1. UNEP/MAP.
- UNEP/POPS/COP.5/INF/27 (Guidance on the global monitoring plan for persistent organic pollutants; Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants).
- USGS, 1994. Guidelines for collecting and processing samples of stream bed sediment for analysis of trace elements and organic contaminants for the national water-quality assessment program. L.R. Shelton, P.D. Capel. U.S. Geological Survey, Open-File Report 94-458.
- Van den Berg, M.; Birnbaum, L. S.; Denison, M.; De Vito, M.; Farland, W.; Feeley, M.; Fiedler, H.; Hakansson, H.; Hanberg, A.; Haws, L.; et al. 2006. The 2005 World Health Organization Reevaluation of Human and Mammalian Toxic Equivalency Factors for Dioxins and Dioxin-like Compounds. *Toxicol. Sci.*, 93: 223–241.
- Wald, Ch. 2022. How recycling urine could help save the world. *Nature*, 602: 202-206.
- Wedepohl, K.H. 1995. The Composition of the Continental Crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*; 59 (7):1217-1232.
- World Health Organization, 2021. Guidelines on recreational water quality. Volume 1: coastal and fresh waters. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Zhao, m., Jiang, Y., Jia, Y., Lian, X., Feng, F., Shang, C., Zang, Y., Xi, B. 2023. Anthropogenic perturbation enhances the release of geogenic Mn to groundwater: Evidence from hydrogeochemical characteristics. *Science of The Total Environment*, 891, 15 September 2023, 164450. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164450>.

Anexo I. Protocolos de análisis de la empresa INDUSER

Laboratorio Central: induser@induser.com.ar – Tel: 0810-222-0430 / 0810-268-0052
Sede Salta: admsalta@induser.com.ar – Tel: (54-0387) 439-5925
Sede San Juan: administracionsanjuan@induser.com.ar – Tel: (54-0264) 422-9379/4804
Sede Mendoza: mendoza@induser.com.ar – Tel: (54-0261) 424-1367
Sede Neuquén: admneuquen@induser.com.ar – Tel: (54-0299) 448-3129
Sede Chubut: comrivy@induser.com.ar – Tel: (54-0297) 454-8287
Sede Santa Cruz: santacruz@induser.com.ar – Tel: (54-0297) 454-8287
Sede Catamarca: admcataamarca@induser.com.ar – Tel: (3834) 4175751
www.induser.com.ar



PROTOCOLO DE ANÁLISIS Q 369564

Fecha de recepción: 17/05/2023

Fecha de emisión: 08/06/2023

Cliente: CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS CONICET
Dirección Fiscal: Rivadavia Av. 1917 Piso:05 Localidad: Ciudad Autónoma Buenos Aires
Muestra Manifestada: AGUA SUPERFICIAL - FECHA TOMADA 16/05/2023

Cantidad: (10 MUESTRAS)

Tomada Remitida: CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS CONICET

Resultados

Muestra: MUESTRA N° 1			
Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	42.0	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	< 5.0	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	1.6	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	8.7	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	>110000	SM 9221 B/C/E (#)
Muestra: MUESTRA N° 2			
Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	52.4	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	17.9	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	1.7	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	8.9	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	>110000	SM 9221 B/C/E (#)
Muestra: MUESTRA N° 3			
Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	65.1	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	30.6	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	2.2	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	8.2	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	>110000	SM 9221 B/C/E (#)

Página 1 de 3

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a las muestras recibidas o material ensayado. Los mismos no pueden ser reproducidos sin la aprobación escrita del Laboratorio Induser. Las muestras serán mantenidas en el laboratorio por el periodo de 14 días posteriores a la fecha de emisión del protocolo, pasado este lapso se dispondrá de las mismas según normativa vigente. La información proporcionada por el cliente que afecte la validez de los resultados queda bajo su responsabilidad.

FC-7.08-01-01

Laboratorio Central: Castelli 1761 - C.P. 1832 - Lomas de Zamora (BS. AS.)

Rev:5

Fecha de vigencia: 30/03/2023

Laboratorio Central: induser@induser.com.ar – Tel: 0810-222-0430 / 0810-268-0052
 Sede Salta: admsalta@induser.com.ar – Tel: (54-0387) 439-5925
 Sede San Juan: administracionsanjuan@induser.com.ar – Tel: (54-0264) 422-9379/4804
 Sede Mendoza: mendoza@induser.com.ar – Tel: (54-0261) 424-1367
 Sede Neuquén: adneuquen@induser.com.ar – Tel: (54-0299) 448-3129
 Sede Chubut: comriv@induser.com.ar – Tel: (54-0297) 454-8287
 Sede Santa Cruz: santacruz@induser.com.ar – Tel: (54-0297) 454-8287
 Sede Catamarca: admcatamarca@induser.com.ar – Tel: (3834) 4175751
www.induser.com.ar

PROTOCOLO DE ANÁLISIS Q 369564

Fecha de recepción: 17/05/2023

Fecha de emisión: 08/06/2023

Muestra: MUESTRA N° 4

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	54.0	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	18.2	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	2.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	7.8	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	>110000	SM 9221 B/C/E (#)

Muestra: MUESTRA N° 5

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	26.5	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	< 5.0	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	4.4	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	>110000	SM 9221 B/C/E (#)

Muestra: MUESTRA N° 6

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	21.8	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	< 5.0	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	2.5	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	24000	SM 9221 B/C/E (#)

Muestra: MUESTRA N° 7

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	19.1	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	< 5.0	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	1.5	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	15000	SM 9221 B/C/E (#)

Muestra: MUESTRA N° 8

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
-----------	--------	----------------	--------

Página 2 de 3

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a las muestras recibidas o material ensayado. Los mismos no pueden ser reproducidos sin la aprobación escrita del Laboratorio Induser. Las muestras serán mantenidas en el laboratorio por el período de 14 días posteriores a la fecha de emisión del protocolo, pasado este lapso se dispondrá de las mismas según normativa vigente. La información proporcionada por el cliente que afecte la validez de los resultados queda bajo su responsabilidad.

Laboratorio Central: induser@induser.com.ar - Tel: 0810-222-0430 / 0810-268-0052
Sede Salta: admсалта@induser.com.ar - Tel: (54-0387) 439-5925
Sede San Juan: administracionsanjuan@induser.com.ar - Tel: (54-0264) 422-9379/4804
Sede Mendoza: mendoza@induser.com.ar - Tel: (54-0261) 424-1367
Sede Neuquén: admneuquen@induser.com.ar - Tel: (54-0299) 448-3329
Sede Chubut: comriv@induser.com.ar - Tel: (54-0297) 454-8287
Sede Santa Cruz: santacruz@induser.com.ar - Tel: (54-0297) 454-8287
Sede Catamarca: admcatamarca@induser.com.ar - Tel: (3834) 4175751
www.induser.com.ar

PROTOCOLO DE ANÁLISIS Q 369564

Fecha de recepción: 17/05/2023

Fecha de emisión: 08/06/2023

Muestra: MUESTRA N° 8

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	16.8	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	< 5.0	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	2.0	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	4600	SM 9221 B/C/E (#)

Muestra: MUESTRA N° 9

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	17.1	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	< 5.0	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	1.7	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	15000	SM 9221 B/C/E (#)

Muestra: MUESTRA N° 10

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	< 15.0	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	< 5.0	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	1.0	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	1500	SM 9221 B/C/E (#)

Observaciones:

Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación O.A.A.

(#) SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition, no siendo la última versión vigente.

Fecha de análisis:

D.Q.O. - Iniciado: 18/05/2023 Finalizado: 18/05/2023

GRUPO
INDUSER
SRL

Firmado digitalmente por
GRUPO INDUSER
SRL
Fecha: 2023.06.12
07:12:41 -03'00'

Lic. FERNANDO A. GOMEZ
Director Técnico,
GRUPO INDUSER S.R.L.
M.P.C.P.Q 5042

Página 3 de 3

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a las muestras recibidas o material en su ayuda. Los mismos no pueden ser reproducidos sin la aprobación escrita del Laboratorio Induser. Las muestras serán mantenidas en el laboratorio por el periodo de 14 días posteriores a la fecha de emisión del protocolo, pasado este lapso se dispondrá de las mismas según normativa vigente. La información proporcionada por el cliente que afecta la validez de los resultados queda bajo su responsabilidad.

FC-7.08-01-01

Laboratorio Central: Castelli 1761 - C.P. 1832 - Lomas de Zamora (BS. AS.)

Rev:5

Fecha de vigencia: 30/03/2023

Laboratorio Central: induser@induser.com.ar - Tel: 0810-222-0430 / 0810-268-0052
 Sede Salta: adm.salta@induser.com.ar - Tel: (54-0387) 439-5925
 Sede San Juan: administracionsanjuan@induser.com.ar - Tel: (54-0264) 422-9379/4804
 Sede Mendoza: mendoza@induser.com.ar - Tel: (54-0261) 424-1367
 Sede Neuquén: adminneuquen@induser.com.ar - Tel: (54-0299) 448-3329
 Sede Chubut: comrov@induser.com.ar - Tel: (54-0297) 454-8287
 Sede Santa Cruz: santacruz@induser.com.ar - Tel: (54-0297) 454-8287
 Sede Catamarca: adm.catamarca@induser.com.ar - Tel: (3834) 4175751
www.induser.com.ar



PROTOCOLO DE ANÁLISIS Q 371391

Fecha de recepción: 15/06/2023

Fecha de emisión: 07/07/2023

Cliente: CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS CONICET
Dirección Fiscal: Rivadavia Av. 1917 Piso:05 Localidad: Ciudad Autónoma Buenos Aires
Muestra Manifestada: AGUA SUPERFICIAL - FECHA TOMADA 15/06/2023

Cantidad: (18 MUESTRAS)

Tomada Remitida: CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS CONICET

Resultados

Muestra: MUESTRA 1 (13/06/23)

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	53.4	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	12.5	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	18.0	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	> 110000	SM 9221 B/C/E (#)

Muestra: MUESTRA 6 (14/06/23)

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	22.2	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	< 5.0	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	2.8	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	4300	SM 9221 B/C/E (#)

Muestra: MUESTRA 51 (14/06/23)

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	21.2	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	< 5.0	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	3.2	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	24000	SM 9221 B/C/E (#)

Página 1 de 5

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a las muestras recibidas o material en su ayuda. Los mismos no pueden ser reproducidos sin la aprobación escrita del Laboratorio Induser. Las muestras serán mantenidas en el laboratorio por el periodo de 14 días posteriores a la fecha de emisión del protocolo, pasado este lapso se dispondrá de las mismas según normativa vigente. La información proporcionada por el cliente que afecta la validez de los resultados queda bajo su responsabilidad.

Laboratorio Central: Ceceles 1761 - C.P. 1832 - Lomas de Zamora (BS. AS.)

FC-7.06-01-01

Rev:5

Fecha de vigencia: 30/03/2023



Laboratorio Central: induser@induser.com.ar – Tel: 0810-222-0430 / 0810-268-0052
 Sede Salta: admsalta@induser.com.ar – Tel: (54-0387) 439-5925
 Sede San Juan: administracionsanjuan@induser.com.ar – Tel: (54-0264) 422-9379/4804
 Sede Mendoza: mendoza@induser.com.ar – Tel: (54-0261) 424-1367
 Sede Neuquén: admsneuquen@induser.com.ar – Tel: (54-0299) 448-9129
 Sede Chubut: comriv@induser.com.ar – Tel: (54-0297) 454-8287
 Sede Santa Cruz: santacruz@induser.com.ar – Tel: (54-0297) 454-8287
 Sede Catamarca: admscatamarca@induser.com.ar – Tel: (3834) 4175751
www.induser.com.ar

PROTOCOLO DE ANÁLISIS Q 371391

Fecha de recepción: 15/06/2023

Fecha de emisión: 07/07/2023

Muestra: MUESTRA 6,1 (14/06/23)

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	25.9	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	< 5.0	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	4.4	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	> 110000	SM 9221 B/C/E (#)

Muestra: MUESTRA 8 (14/06/23)

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	22.5	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	< 5.0	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	2.5	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	1100	SM 9221 B/C/E (#)

Muestra: MUESTRA 10 (14/06/23)

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	17.1	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	< 5.0	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	1.0	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	1500	SM 9221 B/C/E (#)

Muestra: MUESTRA 125 (13/06/23)

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	94.6	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	24.5	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	1.9	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	28.6	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	> 110000	SM 9221 B/C/E (#)

Muestra: MUESTRA 71 CANAL OESTE ENSENADA (14/06/23)

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
-----------	--------	----------------	--------

Página 2 de 5

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a las muestras recibidas o material ensayado. Los mismos no pueden ser reproducidos sin la aprobación escrita del Laboratorio Induser.
 Las muestras serán mantenidas en el laboratorio por el periodo de 14 días posteriores a la fecha de emisión del protocolo, pasado este lapso se dispondrá de las mismas según normativa vigente.
 La información proporcionada por el cliente que afecte la validez de los resultados queda bajo su responsabilidad.

Laboratorio Central: Castelli 1761 - C.P. 1832 - Lomas de Zamora (BS. AS.)

FC-7.08-01-01

Rev:5

Fecha de vigencia: 30/03/2023



Laboratorio Clase A - Resolución 41/14 OPDS



Laboratorio Central: induser@induser.com.ar - Tel: 0810-222-0430 / 0810-268-0052
 Sede Salta: admsalta@induser.com.ar - Tel: (54-0387) 439-5925
 Sede San Juan: administracionsanjuan@induser.com.ar - Tel: (54-0264) 422-9379/4804
 Sede Mendoza: mendoza@induser.com.ar - Tel: (54-0261) 424-1367
 Sede Neuquén: admneuquen@induser.com.ar - Tel: (54-0299) 448-3129
 Sede Chubut: comriv@induser.com.ar - Tel: (54-0297) 454-8287
 Sede Santa Cruz: santacruz@induser.com.ar - Tel: (54-0297) 454-8287
 Sede Catamarca: admcatamarca@induser.com.ar - Tel: (3834) 4175751
www.induser.com.ar

PROTOCOLO DE ANÁLISIS Q 371391

Fecha de recepción: 15/06/2023

Fecha de emisión: 07/07/2023

Muestra: MUESTRA 71 CANAL OESTE ENSENADA (14/06/23)

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	66.1	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	10.9	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	8.5	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	> 110000	SM 9221 B/C/E (#)

Muestra: MUESTRA 7 (14/06/23)

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	22.5	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	< 5.0	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	2.2	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	46000	SM 9221 B/C/E (#)

Muestra: MUESTRA 5 (14/06/23)

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	27.2	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	< 5.0	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	5.8	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	46000	SM 9221 B/C/E (#)

Muestra: MUESTRA 82 (14/06/23)

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	33.2	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	< 5.0	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	9.8	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	> 110000	SM 9221 B/C/E (#)

Muestra: MUESTRA 11 (14/06/23)

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
-----------	--------	----------------	--------

Página 3 de 5

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a las muestras recibidas o material ensayado. Los mismos no pueden ser reproducidos sin la aprobación escrita del Laboratorio Induser.
 Las muestras serán mantenidas en el laboratorio por el periodo de 14 días posteriores a la fecha de emisión del protocolo, pasado este lapso se dispondrá de las mismas según normativa vigente.
 La información proporcionada por el cliente que afecta la validez de los resultados queda bajo su responsabilidad.

Laboratorio Central: Castelli 1761 - C.P. 1832 - Lomas de Zamora (BS. AS.)

PC-7.08-01-01

Rev:5

Fecha de vigencia: 30/03/2023

Laboratorio Central: induser@induser.com.ar – Tel: 0810-222-0430 / 0810-268-0052
 Sede Salta: admsalta@induser.com.ar – Tel: (54-0387) 439-5925
 Sede San Juan: administracionsanjuan@induser.com.ar – Tel: (54-0264) 422-9379/4804
 Sede Mendoza: mendoza@induser.com.ar – Tel: (54-0261) 424-1367
 Sede Neuquén: admneuquen@induser.com.ar – Tel: (54-0299) 448-9329
 Sede Chubut: comrivi@induser.com.ar – Tel: (54-0297) 454-8287
 Sede Santa Cruz: santacruz@induser.com.ar – Tel: (54-0297) 454-8287
 Sede Catamarca: admcatamarca@induser.com.ar – Tel: (3834) 4175751
www.induser.com.ar

PROTOCOLO DE ANÁLISIS Q 371391

Fecha de recepción: 15/06/2023

Fecha de emisión: 07/07/2023

Muestra: MUESTRA 4 (14/06/23)

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	47.0	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	< 5.0	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	16.7	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	> 110000	SM 9221 B/C/E (#)

Muestra: MUESTRA 3 (14/06/23)

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	55.0	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	19.8	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	18.1	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	> 110000	SM 9221 B/C/E (#)

Muestra: MUESTRA CRLP ESPEJO (14/06/23)

Parámetro	Unidad	Valor Obtenido	Método
D.Q.O.	mg/l	28.2	SM 5220 D (#)
D.B.O.5 (*)	mg/l	< 5.0	SM 5210 B (#)
Fósforo Total (*)	mg/l	< 1.0	SM 4500-P B C (#)
Nitrógeno Total Kjeldahl (*)	mg/l	4.4	SM 4500-Norg B/NH3 C (#)
Bacterias Coliformes Fecales (*)	NMP/100 ml	4300	SM 9221 B/C/E (#)

Observaciones:

Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación O.A.A.

(#) SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition, no siendo la última versión vigente.

Fecha de análisis:

D.Q.O. - Iniciado: 15/06/2023 Finalizado: 15/06/2023

GRUPO
INDUSER
S R L

firmado digitalmente por GRUPOINDUSER S.R.L.
Fecha: 2023.07.11 07:23:27 -0300



Lic. FERNANDO A. GOMEZ
Director Técnico.
GRUPO INDUSER S.R.L.
M.P.C.P.Q. 5042

Página 5 de 5

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a las muestras recibidas o material ensayado. Los mismos no pueden ser reproducidos sin la aprobación escrita del Laboratorio Induser. Las muestras serán mantenidas en el laboratorio por el periodo de 14 días posteriores a la fecha de emisión del protocolo, pasado este lapso se dispondrá de las mismas según normativa vigente. La información proporcionada por el cliente que afecta la validez de los resultados queda bajo su responsabilidad.

Laboratorio Central: Castelli 1761 - C.P. 1632 - Lomas de Zamora (BS. AS.)

FC-7.09-01-01

Rev:5

Fecha de vigencia: 30/03/2023



Laboratorio Clase A - Resolución 41/14 OPDS



Laboratorio Central: induser@induser.com.ar - Tel: 0810-222-0430 / 0810-268-0052
Sede Salta: admsalta@induser.com.ar - Tel: (54-0387) 439-5925
Sede San Juan: administracionsanjuan@induser.com.ar - Tel: (54-0264) 422-9379/4804
Sede Mendoza: mendoza@induser.com.ar - Tel: (54-0261) 424-1367
Sede Neuquén: admneuquen@induser.com.ar - Tel: (54-0299) 448-3129
Sede Chubut: comriv@induser.com.ar - Tel: (54-0297) 454-8287
Sede Santa Cruz: santacruz@induser.com.ar - Tel: (54-0297) 454-8287
Sede Catamarca: admcataamarca@induser.com.ar - Tel: (3834) 4175751
www.induser.com.ar



PROTOCOLO DE ANÁLISIS Q 372089

Fecha de recepción: 28/06/2023

Fecha de emisión: 20/07/2023

Observaciones:

Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el alcance de la acreditación O.A.A.


(#) SM: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Edition, no siendo la última versión vigente.

Fecha de análisis:

D.O.O. - Inicialo: 28/06/2023 Finalizado: 28/06/2023

GRUPO
INDUSER
SRL

Firmado
digitalmente por
GRUPO INDUSER SRL
Fecha: 2023.07.26
09:35:09 -03'00'



Lic. FERNANDO A. GOMEZ
Director Técnico.
GRUPO INDUSER S.R.L.
M.P.C.P.Q 5042

Página 2 de 2

Los resultados consignados se refieren exclusivamente a las muestras recibidas o material ensayado. Los mismos no pueden ser reproducidos sin la aprobación escrita del Laboratorio Induser.
Las muestras serán mantenidas en el laboratorio por el periodo de 14 días posteriores a la fecha de emisión del protocolo, pasado este lapso se dispondrá de las mismas según normativa vigente.
La información proporcionada por el cliente que afecte la validez de los resultados queda bajo su responsabilidad.

PC-7.08-01-01

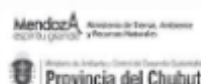
Laboratorio Central: Castelli 1761 - C.P. 1832 - Lomas de Zamora (BS. AS.)

Rev:5

Fecha de vigencia: 30/03/2023



Laboratorio Clase A - Resolución 41/14 OPDS



Anexo II. Métodos de calibración de sondas, publicado en revista de alto impacto internacional.

Water Research 229 (2023) 119483



High-resolution multivariate analysis of the hydrochemical signature of water corridors in the upper Río de la Plata estuary, Argentina

S. Heguilor^{a,b,*}, E.D. Speranza^{a,b}, L.M. Tatone^{a,b}, C.N. Skorupka^a, M.C. Migoya^{a,b},
J.C. Colombo^{a,c}

^a Laboratorio de Química Ambiental y Biogeoquímica, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Av. Calchaquí 6200, Florencio Varela, B1888PCO Buenos Aires, Argentina

^b Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Godoy Cruz 2290, C1425QJB CAJMA, Argentina

^c Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Calle 10 y 526, La Plata B1900 APM, Argentina

ARTICLE INFO

Keywords:
Water quality
Flow-through sampling
Corridor of flow
Río de la plata estuary
Argentina

ABSTRACT

Major world river-estuaries integrate the hydrochemical characteristics of the basin with specific signatures which are maintained until complete mixing or discharge to the sea. The chemical signature of distinct water masses and the anthropogenic impact in the Upper Río de la Plata estuary (RLP) were evaluated by high-resolution continuous monitoring (i.e. every 200 m) of conductivity, turbidity, pH, temperature, chlorophyll *a* and coloured dissolved organic matter (CDOM), discrete analysis of suspended particulate matter (SPM) grain size composition combined with multivariate analysis (*K*-means clustering, Principal Component Analysis). The characteristic signatures of main RLP tributaries such as the Paraná River, yielding higher conductivity, CDOM, turbidity and coarser SPM, and the Uruguay River, with clearer, more eutrophic waters enriched in very fine SPM, were maintained 60 km seaward from the estuary head. Across the river, three water corridors with distinct signatures and variable widths (3–20 km) were identified reflecting the transition from Paraná to Uruguay River waters. Multivariate techniques also allowed the identification of a polluted coastal corridor (higher conductivity and CDOM and lower turbidity) impacted by wastewater discharges from the metropolitan Buenos Aires and La Plata cities extending 100 km seaward. The combined strategy of high-resolution monitoring, discrete sampling and multivariate techniques was a useful tool to identify water masses, corridors of flow and anthropogenic sources in a heavily urbanized estuary.

1. Introduction

Major world rivers and estuaries integrate the hydrochemical characteristics of the basin through main tributaries which maintain their specific signatures until complete mixing or discharge to the sea (Dixon et al., 2018). This hydrochemical signature is acquired across their journey through different geological settings, affected by contrasting climate regimes, landscapes, weathering, biological productivity, and human impact, resulting in particular physico-chemical and biological properties (i.e. conductivity, dissolved organic matter, suspended solids, nutrients, chlorophyll, planktonic composition; Meybeck, 1982). Globally, there is a latitudinal transition with different influence of the bedrock geology, sedimentary areas and evaporation-precipitation processes from polar-cold to temperate-tropical basins (Viers et al.,

2009). Arctic rivers are dominated by bedrock weathering and glacier erosion with strong seasonal variability (Amon et al., 2012; Colombo et al., 2019). Mid-high latitude river chemistry is influenced by the combined effect of carbonate rock weathering and groundwater influence (e.g. rivers from the Tibetan plateau, Qu et al., 2019), the dominance of evaporation processes (e.g. northern Xinjiang rivers, China; Zhu et al., 2013), or the weathering of sedimentary rocks (e.g. St. Lawrence, Canada; Livingston, 1963). Tropical rivers include those with the highest discharge rates like the Amazon, characterized by heavy annual rains which drive strong erosion and weathering from the Andean mountain range (Moquet et al., 2016). The massive discharges of these hydrological systems play a relevant role on global biogeochemical cycles of sediments, nutrients, organic carbon, trace elements, and thus, have been historically studied (e.g. Degens et al., 1991; Holeman,

* Corresponding author at: Laboratorio de Química Ambiental y Biogeoquímica, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata, Av. Calchaquí 6200, Florencio Varela, B1888PCO Buenos Aires, Argentina.

E-mail address: heguilor@fcnym.unlp.edu.ar (S. Heguilor).

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.119483>

Received 27 June 2022; Received in revised form 21 November 2022; Accepted 8 December 2022

Available online 10 December 2022

0043-1354/© 2022 Elsevier Ltd. All rights reserved.

Table 1
Geographical location, water quality parameters and SPM grain size composition of main tributaries, discrete sampling stations and cross-sectional (I-III) and longitudinal (IV) transect ranges in the Upper Río de la Plata estuary.

	Tributaries				Discrete sampling			Transects			
	LU	PP	PG	UR	km 9	km 20	km 30	I	II	III	IV
Lat S	34.430	34.296	34.005	33.946	34.745	34.640	34.545				
Long W	58.545	58.533	58.484	58.389	57.850	57.850	57.851				
COND. ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	201	155	140	114	171	133	114	186-715	128-670	109-523	178-461
TURB. (NTU)	107	140	145	64	72	57	51	37-70	43-83	25-121	30-164
TEMP. ($^{\circ}\text{C}$)	27.4	27.7	27.6	27.1	24.2	24.4	25.1	17.4-18.7	17.6-18.7	24.1-25.5	21.4-22.6
pH	7.2	7.7	7.7	8.1	7.8	7.9	8	7.5-8.0	7.5-8.1	7.5-8.0	7.2-7.9
Chl <i>a</i> ($\mu\text{g l}^{-1}$)									2.1-6.5	1.3-5.9	3.8-12
CDOM (mg C l^{-1})										0.6-2.0	2.4-4.5
SPChl <i>a</i> ($\mu\text{g l}^{-1}$)	3.1	1.8	1.5	6.1	7.1	6	4				
Phaeo. ($\mu\text{g l}^{-1}$)	1.6		2.2	1.2		1.5	0.2				
%Phaeo. ratio	34		59	16		17	5				
SPM GRAIN SIZE (μm)											
<0.98	14	9	5	18	3	16	20				
1-2	9	10	9	8	10	8	12				
2-3.9	23	24	19	25	23	24	30				
3.9-7.8	23	25	23	20	28	25	30				
7.8-15.6	30	28	28	27	35	27	8				
15.6-31	2	3	16	1	2	1	0				
Clay (%)	46	43	33	52	36	48	62				
Silt (%)	54	57	67	48	64	52	38				
Median (μm)	4.4	4.7	6.5	3.7	5.7	4.2	3				

LU: Luján River, PP: Paraná de las Palmas, PG: Paraná Guazú, UR: Uruguay River, COND.: conductivity, TURB.: turbidity, TEMP.: temperature, Chl *a*: chlorophyll *a*, CDOM: coloured dissolved organic matter, SPChl *a*: spectrofluorometric chlorophyll *a*, Phaeo.: phaeopigments, SPM: suspended particulate matter. % Phaeo ratios were calculated after [Letaite et al. \(2002\)](#).

fibre filters), SPM grain size composition (0.2–500 μm by laser diffraction; CILAS 990L) and chlorophyll *a* and phaeopigments (by UV-vis spectrophotometry; 10 mm cuvette, Hitachi U-2001).

2.1.2. Continuous monitoring

A continuous flow-through measurement system was employed to sample the cross-section of the RLP between Argentina (La Plata inner Harbour) and Uruguay (close to Colonia) along three 38-km transects during 2017–2018 (I: 2017-OCT-6, II: 2017-OCT-7, III: 2018-FEB-17). An additional longitudinal transect was sampled along the South RLP shore in 2018 (IV: 2018-APR-5; [Fig. 1](#)). Field campaigns (4–7 h for each transect) were carried out in a fully equipped, 41-foot oceanic boat. The multiparameter probe (YSI 6600V2) and a submersible fluorometer (Turner C3, Turner Designs Inc., San Jose – USA; chlorophyll *a*: Chl *a* and coloured dissolved organic matter: CDOM), were coupled to flow cells supplied with river water from a 0.5 m deep water intake and connected to an external PC for data logging (YSI EcoWatch Lite and Turner C-Soft software). The sampling rate was set to every minute to obtain a high-resolution (~200 m) snapshot in each transect ($n = 225, 222, 222$ and 443 readings for transects I-IV, respectively). Georeferencing was performed by interpolation of GPS coordinates registered every 5 km. Frequent (hourly) cleaning of both sensors was performed by wiping devices, as well as manual procedures. Due to technical problems during data downloading, CDOM data for transects I and II were not retrieved.

2.1.3. Discrete sampling

During transect III, three discrete water samples were collected for laboratory determination of SPM concentration, SPM grain size distribution, and analysis of chlorophyll *a* and phaeopigments. These three sampling locations were selected to be representative of the southern, central and northern RLP sectors (at km 9, km 20 and km 30 from the South shore, respectively; [Fig. 1](#) and [Table 1](#)).

2.2. Climate and river conditions

Tributaries were sampled under average flow conditions in the case of the Paraná River ($18 \pm 0.2 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) while the Uruguay River was

below average ($1.6 \pm 0.1 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; [CMMESA, 2020](#), [NWISA, 2020](#)). The four transects for continuous monitoring were completed under similar tidal conditions (ebb tide and 0.8 ± 0.1 m tidal range; [MHSA, 2019](#)), but with contrasting wind directions and tributaries discharges. Transects I and II were characterized by weak S-SSW winds ($15\text{--}20 \text{ km h}^{-1}$) and a low Paraná River discharge ($11 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) resulting in a reduced total RLP flow ($17 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). During transect III, weak NE winds prevailed (15 km h^{-1} ; [NMSA, 2022](#)) and total RLP discharge was higher, mainly driven by the Paraná River while Uruguay River was markedly below average ($18 \pm 0.1 \times 10^3$ and $2.2 \pm 0.3 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ for the Paraná and Uruguay, respectively). Finally, during transect IV weak NE winds also prevailed and the RLP total discharge was at its maximum ($23 \pm 0.9 \times 10^3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) due to the recovery of UR discharge flow.

2.3. Calibration procedures

Detailed calibration of the multiparametric probes was performed following supplier recommendations and optimized laboratory procedures prior and after each field trip (conductivity: 2-point calibration with $100\text{--}10,000 \mu\text{S cm}^{-1}$ KCl solution and recurrent check with $1000 \mu\text{S cm}^{-1}$ solution, turbidity: 2-point calibration with 0 NTU distilled water and 126 NTU YSI 6073 standard solution, pH: 2-point calibration with 7.00 and 10.00 local commercial solutions). Fluorometric chlorophyll *a* calibration was performed by serial dilutions of real RLP waters collected in preliminary campaigns which were analysed by UV-vis spectrophotometry covering a large Chl *a* range (0 to $85 \mu\text{g l}^{-1}$). The solid Chl *a* standard of the probe was fixed at $15 \mu\text{g l}^{-1}$ for routine calibration check. In order to evaluate the possible interference of turbidity (excitation: 850, emission: 850 nm) on Chl *a* readings (ex: ≤ 635 , em: > 695 nm), a laboratory test was performed using coastal waters collected in the turbidity maximum zone (2331 NTU). Fluorometric (FluoChl *a*) and spectrophotometric Chl *a* determinations (SPChl *a*) covering a wide range of turbidities (from (100 to) 2000 NTU) yielded a very good fit ([Fig. 2](#)), which supports the reliability of the continuous Chl *a* field measurements in these highly turbid waters. Fluorometric CDOM (ex: 325, em: 470 nm) was calibrated with serial

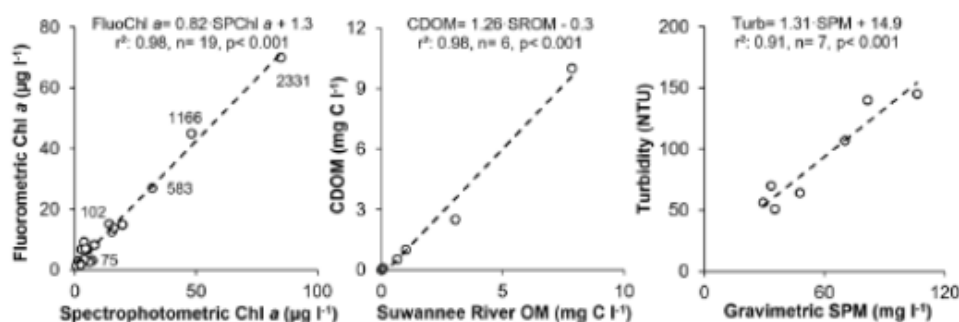


Fig. 2. Calibration regressions of chlorophyll *a* (Chl *a*), coloured dissolved organic matter (CDOM) and turbidity (SPM: suspended particulate matter). Numbers in the Chl *a* panel indicate turbidity readings for selected samples.

dilutions of Suwannee River Aquatic Natural Organic Matter Reference Material in deionized water (2R101N; IHSS). A linear response was obtained in the 0–10 mg C l⁻¹ range (Fig. 2), and the 1 mg C l⁻¹ concentration was adjusted in the solid CDOM standard.

2.4. Laboratory determination of SPM, grain size composition and chlorophyll *a*

In the laboratory, continuous turbidity measurements were compared with gravimetric SPM determinations of discrete water samples (3–4 l; 12.5 cm diameter GF-C glass fibre filters), yielding a good fit with a slope higher than one probably reflecting the abundance of coloured dissolved organic matter increasing turbidity measurements (Fig. 2). For SPM grain size analysis, sodium hexametaphosphate was added as dispersant and water samples were analysed using a particle size analyser using Fraunhofer diffraction equations and classified into 7 textural classes (Liu et al., 2020). Reproducibility measured through repeated analysis of an internal reference sediment from the Río de la Plata ranged between 1.3 and 7.0% (RSD; *n* = 7). For spectrophotometric pigment analysis, filters stored at -15 °C after on-board filtration (0.2–1.0 l; 4.7 cm diameter GF-C glass fibre filters) were extracted in the laboratory with 90% acetone and measured at 664/665 and 750 nm before and after acidification with HCl 0.1 N (Strickland and Parsons, 1972).

2.5. Statistical analysis

Data processing and statistical analysis were performed in R scripting language v3.6.2 (using factoextra, FactoMineR and ggplot2 packages; R Core Team, 2019) in Rstudio development environment. Data are reported as ranges and/or mean ± SD. For multivariate analysis data were standardized ($(x - \bar{X})/y$, where \bar{X} = mean and y = SD). In order to classify the data into groups based on variable similarity, an unsupervised clustering method (K-means) was performed followed by a Principal Component Analysis (PCA) to evaluate the distribution of the observations along the cross-sectional transects. The optimal number of clusters for each transect was obtained after $(BSS_{K+1}/TSS_{K+1}) \cdot 100 - (BSS_K/TSS_K) \cdot 100 < 5\%$, where BSS and TSS denote the Between and Total Sum of Squares for a given number of clusters (*K*) and the following (*K* + 1), respectively, which explained 82–88% of the total variability. The initial random centers to partition the readings was set to 25. Both multivariate techniques were performed using R base functions (*kmeans* and *prcomp*). The relationship between variables was evaluated through linear regression models and the level of significance was verified via *t*-test. To evaluate the degradation of the pigment signal, the percentage of phaeopigments relative to total pigments was calculated (%Phaeo = phaeopigment/phaeopigment + chlorophyll *a*; Lemaire et al., 2002). Turbidity was expressed as nephelometric turbidity units (NTU). Chlorophyll *a* reports refer to fluorometric records except in the case of discrete sampling.

3. Results

Water quality parameter ranges and SPM grain size composition of main tributaries, discrete stations and continuous measurements are detailed in Table 1 and Fig. 3. Water corridor characterization resulting from multivariate analysis is shown in Figs. 4–5 and Table 2 and further detailed in the Supplementary Material.

3.1. Main tributaries

In general, water temperatures were relatively uniform in all tributaries (27 ± 0.3 °C), whereas the other parameters showed significant differences between Paraná River branches and the Uruguay River, i.e. higher turbidity (131 ± 21 vs. 64 NTU) and conductivity (165 ± 32 vs. 114 µS cm⁻¹) and lower pH in the Paraná (7.6 ± 0.3 vs. 8.1 in the UR). Among the Paraná branches, LU was characterized by the highest conductivity (201 µS cm⁻¹) and lowest pH values (7.2) and higher Chl *a* concentration (3.1 µg l⁻¹) whereas the other branches, PP and PG showed intermediate conductivities (140–155 µS cm⁻¹), higher pH (7.7) and lower Chl *a* concentrations (1.5–1.8 µg l⁻¹; Table 1). The highest pH values in UR are related to enhanced eutrophication as denoted the higher Chl *a* values (6.1 µg l⁻¹) and fresher pigment signature. Effectively, the %Phaeo ratio, applied to evaluate the degradation of the pigment signal (%Phaeo = phaeopigment/phaeopigment + chlorophyll *a*; Lemaire et al., 2002) was 2–3.5 times lower in the UR relative to the Paraná (%Phaeo: 16 vs. 34–59%, respectively; Table 1). The analysis of SPM also revealed significant differences between both rivers. Paraná River SPM was dominated by silt fractions (clay: 41 ± 7%, silt: 59 ± 7%, median: 4.4–6.5 µm), whereas Uruguay River SPM showed a finer distribution (clay: 52%, silt: 48%, median: 3.7 µm), with a marked relative abundance of the < 0.98 µm clay fraction (18 vs. 9 ± 4% in the Paraná) and lowest percentages of fine and very fine silts (7.8–15.6 µm: 27 vs. 29 ± 1%, 3.9–7.8 µm: 20 vs. 24 ± 2%, respectively; Fig. 3 insert and Table 1). Clay appeared to be inversely correlated with turbidity whereas silt insinuated a reciprocal direct, although non-significant relationship ($r^2 = 0.76$, $p = 0.127$). The highest turbidity associated to a clear silt predominance (67%), including coarser medium silts (15.6–31 µm) was registered in the Paraná Guazú (145 NTU and 16% medium silts), with lower values in the other Paraná branches (107–140 NTU, 54–57% silts and 2–3% medium silts) and the Uruguay River (64 NTU, 48% and 1%, respectively).

3.2. Cross-sectional transects

La Plata inner harbour waters, characterized by higher temperature (17.8–25.1 °C), conductivity (238–715 µS cm⁻¹), Chl *a* (1.0–5.9 µg l⁻¹) and CDOM (1.1–2.0 mg C l⁻¹) and lower turbidity (25–121 NTU) and pH (7.5–7.8), showed a gradual transition along the main harbour channel which continues offshore along the cross-sectional transects. In a S-N