

Universidad Nacional de Luján
Doctor en Ciencias Aplicadas

Diversidad microbiana y estado ambiental de dos sistemas lóticos pampeanos afectados por asentamientos urbanos

Lic. Guillermina Nuozzi

Directoras:

Dra. María Romina Schiaffino

Dra. Ana María Torremorell

Resumen

La región pampeana es un área de intensa actividad agropecuaria y elevada densidad poblacional, donde los ríos reciben efluentes domésticos e industriales, a menudo con tratamientos deficientes. A pesar de la relevancia de estos ecosistemas, existe escasa información sobre el estado ambiental del río Rojas (Ciudad de Rojas, Buenos Aires), mientras que la información disponible para el río Salado (Ciudad de Junín, Buenos Aires) requiere ser actualizada, particularmente en el contexto del crecimiento urbano y de eventos climáticos recientes, como la sequía registrada durante los años 2021 y 2022. El objetivo general de la tesis fue evaluar el estado ambiental del río Rojas y el tramo superior del río Salado integrando indicadores físicos, químicos y biológicos de calidad de agua, haciendo énfasis en la estructura de las comunidades microbianas a lo largo de un gradiente de impacto urbano, bajo variabilidad temporal. Para ello fueron realizados muestreos estacionales durante los años 2021 y 2022 en cuatro sitios. En el río Rojas, fue seleccionado el sitio 1 (R1) aguas arriba de la ciudad de Rojas, el sitio 2 (R2) a la altura de la ciudad y en cercanías de la planta depuradora de residuos domiciliarios (PDRD), el sitio 3 (R3) aguas abajo de la ciudad y dentro del Club de Pescadores de la ciudad de Rojas, y el sitio 4 (R4) aguas abajo de la ciudad en el parador Guido Spano. Por otra parte, en el río Salado, el sitio 1 (S1) aguas arriba de la ciudad de Junín, en cercanía a la Laguna de Gómez, el sitio 2 (S2) a la altura de la ciudad de Junín, tramo del río Salado que atraviesa el Parque Borchex, el sitio 3 (S3) aguas abajo de la ciudad, en cercanía a la laguna El Carpincho y a la PDRD de la ciudad y el sitio 4 (S4) aguas abajo de la ciudad en cercanía a la ruta 7. En cada sitio y fecha de muestreo fueron determinadas distintas variables físicas (temperatura del agua, turbidez nefelométrica, profundidad del disco de Secchi, caudal), químicas

(conductividad eléctrica (CE), pH, oxígeno disuelto (OD), nitrógeno amoniacal (N-NH₃), fósforo reactivo soluble (PRS), materia orgánica disuelta cromófora (CDOM), ion sulfato, cloruro) y biológicas (Clorofila a (Chl-a), coliformes totales (CT), coliformes termotolerantes (CTT), *Escherichia coli* (E. coli)). Asimismo, fue determinada la composición fitoplanctónica, las algas del biofilm, el aislamiento y caracterización de *E. coli* diarreogénicas (DEC) y su resistencia a antimicrobianos y la caracterización de los usos del suelo circundante.

Ambos ríos fueron afectados por una prolongada sequía asociada al evento La Niña. Fue observada una disminución de la CE y de las concentraciones de cloruros y sulfatos en los puntos de vertido de las PDRD (R2 y S3). Esto fue atribuido a la dilución ejercida por el gran volumen de agua del efluente. Asimismo, se produjo una disminución del OD aguas abajo de las PDRD, con valores por debajo del límite necesario para la vida acuática (5 mg/L). En el río Rojas, todas las muestras del sitio R2 superaron los límites guía para N-NH₃ y PRS. Por el contrario, en el río Salado, el PRS se mantuvo alto en todos los sitios, sugiriendo que, además de la PDRD, existen fuentes difusas como la escorrentía de fertilizantes agrícolas. La capacidad de autodepuración de los ríos se reflejó de manera evidente en el río Rojas, mostrando signos de recuperación en el sitio más alejado a la ciudad (R4), mientras que el río Salado no logró restaurar su calidad hídrica en el tramo final (S4). En cuanto a las bacterias, fueron determinadas altas concentraciones de CTT vinculadas a los vertidos de las PDRD. De manera similar, la abundancia de copias de *E. coli* determinada por métodos moleculares fue significativamente mayor en los sitios de descarga de las PDRD, evidenciando que los métodos de cultivo tradicionales suelen subestimar la carga bacteriana real al no detectar microorganismos en estado viable pero no cultivable.

En cuanto a las comunidades fitoplanctónicas, su estructura respondió principalmente a la estacionalidad, con un gran peso de la temperatura y el pH, más que al impacto directo de los vertidos urbanos. En el río Rojas, el caudal también fue una variable significativa, mientras que en el Salado su peso fue menor debido a que las obras de regulación y las lagunas conectadas alteran la dinámica natural del río. Particularmente, en el río Rojas, predominó la clase Bacillariophyceae, típica en ríos de llanura de regiones templadas. Mientras que, en el río Salado, la clase dominante fue Cyanobacteria. Esto fue atribuido a la alta disponibilidad de PRS y a la baja turbulencia del agua en ciertos tramos del río. Asimismo, en este río, el 50% de las muestras presentaron floraciones, incluso en épocas donde la temperatura comenzaba a descender (otoño e invierno), lo que indica una resiliencia del sistema y una respuesta tardía a condiciones favorables. Las diferencias espaciales de riqueza y diversidad del fitoplancton encontradas en el río Salado (con mayores valores en los sitios donde se encuentra la PDRD y aguas debajo de esta) se explican por la conexión con lagunas como El Carpincho. Estas lagunas actúan como áreas de almacenamiento y fuentes de inóculo de organismos hacia el río. El río Rojas, al no tener estas conexiones lénticas, no mostró tales variaciones espaciales. A

pesar de la falta de un patrón espacial claro vinculado a las ciudades, la alta carga de nutrientes disueltos en todo el sistema favoreció el desarrollo de grupos tolerantes a la polución orgánica, como las clorofíceas (especialmente de los géneros *Monoraphidium* sp., *Scenedesmus* sp. y *Oocystis* sp.).

En los ensambles algales del biofilm, la clase Bacillariophyceae fue dominante en la gran mayoría de los muestreos (96,87% en Rojas y 71,88% en Salado). Particularmente, en el río Salado, fue observada una mayor abundancia de cianobacterias, similar a lo observado para el fitoplancton, asociadas a menores valores de OD. A diferencia del fitoplancton, el biofilm mostró un patrón espacial más vinculado a la ubicación de los sitios de muestreo que a la temporalidad (estacionalidad e interanualidad). En el río Rojas, los sitios R2 y R3, cercanos a la PDRD y aguas debajo de ella se diferenciaron de los sitios más alejados, ordenándose junto a mayores niveles de N-NH₃, PRS y CT. Fue observada la disminución de la abundancia de las clorofíceas aguas abajo (R3), sugiriendo que el efecto del efluente cambia a lo largo del gradiente longitudinal del río. En el río Salado el ordenamiento espacial fue menos evidente, pero la abundancia de las clases algales también fue asociada a mayores concentraciones de nutrientes y menores niveles de OD. El aumento de cianobacterias en el sitio S1 fue atribuido a la conexión con la Laguna de Gómez, que aumenta el tiempo de residencia del agua y favorece la presencia de este grupo.

En relación a las DEC, fueron aislados cuatro patotipos: STEC (shigatoxigénica), EAEC

(enteroagregativa), EPEC (enteropatógena) y un patotipo híbrido EAEC-ETEC. Asimismo, fueron detectados numerosos genes de virulencia (*stx2*, *lt*, *st*, *aggR*, *rfbO157* y *eae*) mediante mPCR, aunque sin lograr el aislamiento de la cepa correspondiente. En conjunto, estos resultados confirman que ambos ríos funcionan como reservorios permanentes de patógenos. La detección de las DEC en varios sitios de ambos ríos reflejó las actividades predominantes en cada zona: Las cepas de EAEC, asociadas mayormente a reservorios humanos, fueron recuperadas principalmente en los sitios R2 y S2, cercanos a las ciudades y sus PDRD. Mientras que los patotipos STEC y aEPEC, junto con el gen *rfbO157*, fueron asociados a la ganadería y detectados en sitios aguas arriba de las ciudades (R1 y S1). El río Salado, con más del 50% de su cuenca dedicada a esta actividad, mostró una mayor variedad de estos marcadores en comparación con el río Rojas. Por último, fueron detectadas varias cepas DEC resistentes a antimicrobianos. En particular, se logró aislar una cepa EAEC multirresistente en el sitio de descarga de la PDRD de Rojas (R2), que presentó resistencia a cinco antibióticos: ampicilina, ácido nalidíxico, estreptomycin, trimetoprima-sulfametoxazol y tetraciclina. En conjunto, los resultados obtenidos sugieren que la expansión urbana de las ciudades de Rojas y Junín ha superado la capacidad de tratamiento de sus PDRD, evidenciando un funcionamiento subóptimo de estos sistemas. En consecuencia, los ríos receptores no solo funcionan como ecosistemas acuáticos, sino también como vías de transporte de excedentes de nutrientes y bacterias patógenas y multirresistentes.