

50° Aniversario de *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*

Evaluación del impacto antrópico sobre la calidad del agua del arroyo Las Piedras, Quilmes, Buenos Aires, Argentina*

Assessment of anthropogenic impact on water quality of the stream Las Piedras, Quilmes, Buenos Aires, Argentina

Avaliação do impacto antropogénico na qualidade da água do riacho Las Piedras, Quilmes, Buenos Aires, Argentina

► María Lucila Elordi¹, Jorge Esteban Colman Lerner², Andrés Porta³

¹ Doctora en Ciencias Biológicas. Becaria posdoctorado (CONICET).

² Doctor en Química. Investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

³ Doctor en Ciencias Bioquímicas. Investigador de la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC).

* CIMA, Centro de Investigaciones del Medio Ambiente. Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, Calle 47 esquina 115, La Plata, Argentina. Tel./Fax: (0221) 4229329.



Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana

Incorporada al Chemical Abstract Service.

Código bibliográfico: ABCLDL.

ISSN 0325-2957

ISSN1851-6114 en línea

ISSN 1852-396X (CD-ROM)

Resumen

El marcado deterioro de los cuerpos de agua superficiales hace prioritaria su evaluación para su adecuada gestión, incluyendo acciones de control y mitigación del nivel de contaminación y el riesgo sanitario asociado. Si bien cada curso de agua posee características y problemáticas naturales y ambientales específicas, los arroyos situados sobre el conurbano bonaerense comparten algunas características comunes que se presentan en este estudio. A tal efecto, se plantea determinar y evaluar los factores antrópicos que afectan directa o indirectamente la calidad del agua del arroyo Las Piedras en el partido de Quilmes, mediante la caracterización físico-química y microbiológica de sus aguas, además de la aplicación de índices de calidad (ICA) y de contaminación (ICOMO). Mediante el uso de estas herramientas se manifestó un potencial y grave problema de degradación del arroyo y su entorno, debido principalmente a la carencia de servicios de saneamiento, al vertido de aguas residuales sin tratamiento previo o inadecuado que generan especialmente contaminación fecal de sus aguas, y a basurales y quemazones en sus márgenes, creando así sitios puntuales de contaminación y diseminación de plagas, potenciales focos infecciosos.

Palabras clave: calidad de agua superficial * contaminación fecal * arroyo Las Piedras

Summary

The strong deterioration of surface water makes its assessment priority for proper management, including actions to control and mitigate the level of contamination and associated health risks. While each watercourse has natural characteristics and specific environmental issues, streams located on the Buenos Aires metropolitan area share some common characteristics presented in

this study. To this end it is proposed to determine and evaluate the human factors that directly or indirectly affect the water quality of the river Las Piedras in Quilmes, by physico-chemical and microbiological characteristics of the water in addition to the application of quality indices (ICA) and pollution (ICOMO). By using these tools a potential and serious problem degradation of the stream and its surroundings appeared, mainly due to lack of sanitation, the discharge of wastewater without prior or inadequate treatment especially generating fecal contamination of the water, and garbage dumps and burnings at its margins, creating specific sites of contamination and spread of pests, potential infectious foci.

Key words: *quality of surface water * fecal contamination * Las Piedras stream*

Resumo

A acentuada deterioração dos corpos de água superficiais torna prioritária sua avaliação para uma gestão adequada, incluindo ações para controlar e mitigar o nível de contaminação e o risco sanitário associado. Embora cada curso de água tenha características e problemáticas naturais e ambientais específicas, arroios localizados na área metropolitana da província de Buenos Aires compartilham algumas características comuns apresentadas neste trabalho. Para tal, propõe-se determinar e avaliar os fatores antrópicos que afetam direta ou indiretamente a qualidade da água do arroio Las Piedras, em Quilmes, através da caracterização físico-química e microbiológica das suas águas, além da aplicação de índices de qualidade (ICA) e de contaminação (ICOMO). Com a utilização destas ferramentas, um potencial e grave problema de degradação do arroio e de seu ambiente surgiu, principalmente causado pela falta de serviços de saneamento, pela descarga de águas residuais sem tratamento prévio ou inadequado, gerando especialmente contaminação fecal de suas águas, e pelos depósitos de lixo e queimadas em suas margens, criando assim lugares específicos de contaminação e disseminação de pragas, potenciais focos infecciosos.

Palavras-chave: *qualidade de água superficial * contaminação fecal * arroio Las Piedras*

Introducción

Las fuentes de agua superficial son un eje fundamental en el desarrollo de los seres humanos, que permiten el abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas llevadas a cabo en la sociedad; no obstante, de forma paradójica muchas de estas actividades causan alteración y deterioro de las mismas (1).

Actividades como la agricultura, la ganadería, la industria y la urbanización suelen modificar las características físicas, químicas y biológicas de arroyos y ríos y sus riberas (2). Entre los principales procesos que afectan a los ecosistemas acuáticos se incluyen el enriquecimiento de nutrientes, la contaminación hídrica, las alteraciones hidrológicas y la modificación de la vegetación ribereña (3). Las condiciones de flujo o la calidad del agua no son sólo indicadores del estado de los sistemas fluviales, sino también de los ecosistemas terrestres adyacentes (4).

Aunque la industrialización es un elemento esencial del crecimiento económico en los países en desarrollo, la actividad industrial puede tener también consecuencias negativas sobre la salud ambiental como resultado de la liberación de contaminantes en el aire y el agua y de la eliminación de residuos peligrosos. Es algo que sucede con frecuencia en los países en desarrollo, donde se presta menos atención a la protección del medio ambiente, las normas ambientales suelen ser inadecuadas o no se aplican eficazmente y aún no están plenamente

desarrolladas las técnicas de lucha contra la contaminación. Así, por ejemplo, como consecuencia de su rápido desarrollo económico, muchos países en desarrollo, como China y otros países asiáticos, se enfrentan a nuevos problemas ambientales.

Uno de ellos es la contaminación de los recursos hídricos, por la diversidad, el desconocimiento de las fuentes de contaminación y por la carencia de medios en las instituciones públicas para estudiarla y remediarla. La situación es dinámica, muchas veces difícilmente predecible. Lo principal, sin embargo, es saber en qué medida todos estos problemas de desarrollo afectan a las personas de bajos recursos, a los más vulnerables y al ambiente natural en su conjunto, dado que estos efectos pueden ser muy costosos en términos de salud pública, acumulación de residuos, degradación del medio ambiente, reducción de la calidad de vida y coste de recuperación y remediación en el futuro (5) (6).

Entre los efectos de la contaminación hídrica se destacan las enfermedades infecciosas, entre ellas las diarreas y las parasitosis, causas importantes de morbilidad y mortalidad en todo el mundo. La ONU señala que el 80% de las muertes en los países en desarrollo derivan del consumo de agua no potable y de la falta de sistemas de saneamiento adecuados (7). El crecimiento urbano no planificado es otro factor importante, que ha debilitado la capacidad de muchos gobiernos locales para la prestación de servicios sanitarios básicos (escasa cobertura de agua potable, saneamiento inadecuado, elimi-

nación incorrecta de desechos y el déficit de viviendas, con el consecuente hacinamiento).

El marcado deterioro de los cuerpos de agua superficiales hace prioritaria su evaluación para su adecuada gestión, incluyendo acciones de control y mitigación del nivel de contaminación y el riesgo sanitario asociado. Estas decisiones serán determinantes en la complejidad y costos del tratamiento del agua para consumo humano, para riego, recreación o para protección de la vida acuática (8).

La calidad natural del agua y de los sedimentos depende de diversos factores ambientales como la constitución geológica de los cauces de los ríos y arroyos, la topografía de los terrenos donde se ubican estos cuerpos de agua, y el clima, que determina la abundancia o escasez de lluvias que, a su vez, determinan las variaciones en los caudales. Sin embargo, los cuerpos de agua en el área de estudio, se ven afectados principalmente por la actividad del hombre por sobre las condiciones naturales propias del ambiente. Entre estas actividades antrópicas que degradan los ríos y arroyos bonaerenses se incluyen actividades industriales, agrícolas, residuos domiciliarios y basurales clandestinos, particularmente en el conurbano bonaerense.

Si bien cada curso de agua posee características y problemáticas naturales y ambientales específicas, los cuerpos de agua superficial situados sobre el conurbano bonaerense comparten algunas características comunes que se presentan en este estudio. A tal efecto se plantea determinar y evaluar los factores antrópicos que afectan directa o indirectamente la calidad del agua del arroyo Las Piedras en el partido de Quilmes, mediante la caracterización físico-química y microbiológica de sus aguas además de la aplicación de índices de calidad (ICA) y de contaminación por materia orgánica (ICOMO).

Materiales y Métodos

ÁREA DE ESTUDIO

Conforme al Censo Social realizado en el Municipio en el año 2010, unas 101.028 personas viven en zonas de villas de emergencia, asentamientos o viviendas en áreas precarias, es decir, el 18,4% de la población de Quilmes se encuentra en situación de vulnerabilidad social (9).

El partido de Quilmes se encuentra en un 77% amanzanado, quedando la superficie restante ocupada por predios de grandes dimensiones, como el relleno sanitario de la Coordinación Ecología Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) y algunos sectores de tierras vacantes. Del área amanzanada es posible reconocer zonas de tipo comercial y de servicios, residenciales exclusivas y residenciales mixtas (10). Las áreas no amanzanadas de mayor relevancia están formadas por el sector ubicado al este del partido, entre la ba-

rranca y la costa del Río de la Plata, y el área próxima a los arroyos San Francisco y La Piedras. Ambas zonas poseen cotas bajas e inundables.

El arroyo Las Piedras recorre parte de los partidos de Avellaneda, Quilmes, Florencio Varela y Almirante Brown. Este estudio se limitó al área del arroyo que afecta alrededor de 600.000 personas en el partido de Quilmes.

En la Figura 1 se puede observar el mapa de la zona de estudio, donde se destacan los sitios monitoreados sobre el arroyo Las Piedras (en rojo) de aguas arriba hacia la confluencia con el arroyo San Francisco (LP1, LP2, LP3, LP4 y CONF) y las industrias (en azul) situadas en los márgenes del arroyo.

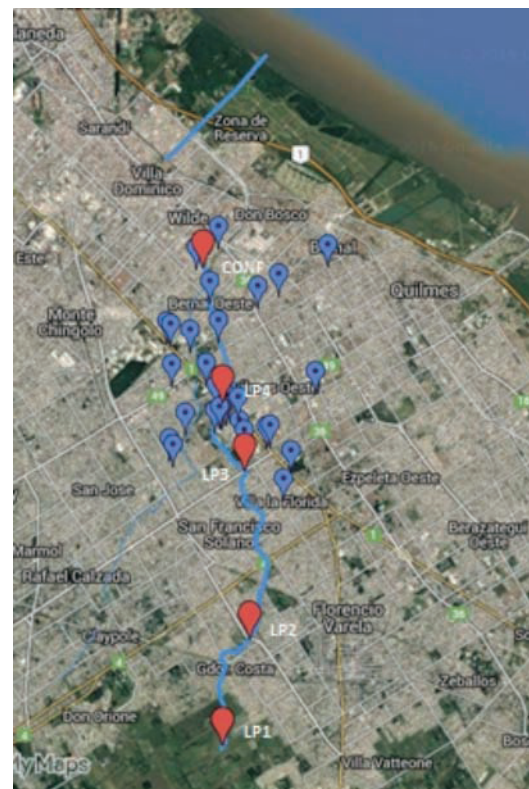


Figura 1. Mapa del arroyo Las Piedras donde se observan los sitios monitoreados (en rojo) y las industrias emplazadas en sus márgenes (en azul).

MUESTRAS

En función del conocimiento empírico de la COLCIC (Comisión de Lucha contra las Inundaciones y Contaminación de los arroyos Las Piedras y San Francisco) y de los antecedentes históricos, se seleccionaron los sitios de muestreo. Todas las muestras de agua se extrajeron entre las 9:00 y 15:30 h desde aguas arriba hacia el sitio confluencia, se mantuvieron refrigeradas a 4-6 °C y fueron procesadas siguiendo procedimientos estandarizados internacionalmente (11).

PARÁMETROS EVALUADOS

Durante los meses de febrero, marzo, abril y junio, en el período comprendido entre los años 2012-2015 se colectaron muestras de agua superficial del arroyo Las Piedras. En las mismas fueron determinados los siguientes parámetros de calidad: pH, temperatura, demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), y nitratos, entre otros, utilizando técnicas estandarizadas que se muestran en la Tabla I:

Tabla I. Metodología utilizada para la determinación de cada parámetro (SM, 1998).

Analito	Método o técnica
pH	<i>in-situ</i> - sonda multiparamétrica
Oxígeno disuelto	<i>in-situ</i> - sonda multiparamétrica
Sólidos disueltos totales	<i>in-situ</i> - sonda multiparamétrica
Conductividad	<i>in-situ</i> - sonda multiparamétrica
Turbiedad	Nefelométrico – S.M.2130 B.
Nitratos	Electrodo selectivo – S.M. 4500-NO ₃ ⁻ D.
Nitrógeno total	Macro Kjeldahl – S.M. 4500-Norg. B.
Fósforo total	Colorimétrico – S.M. 4500-P E (ácido ascórbico)
DBO ₅	Método de incubación 5 días – S.M. 5210 B.
DQO	Método de refluo abierto – S.M. 5220 B.
Hidrocarburos totales del petróleo	Partición / Infrarrojo - SM 5520 C modificado
Coliformes Totales	Método de Tubos múltiples –S.M 9221 B.
Coliformes Fecales	Método de Tubos múltiples –S.M 9221 E.

DBO₅=demanda biológica de oxígeno.

DQO= demanda química de oxígeno.

ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA Y DE CONTAMINACIÓN

Para evaluar la calidad general del cuerpo de agua se aplicó uno de los índices de calidad más utilizados a nivel mundial, el ICA desarrollado por la *National Sanitation Foundation (NSF)* que comprende nueve parámetros (coliformes fecales, pH, DBO₅, nitratos, fosfatos, cambio de la temperatura, turbidez, sólidos Totales y Oxígeno disuelto) y utiliza la siguiente ecuación aditiva:

$$ICA = \sum_{i=1}^n W_i Q_i$$

Donde W_i es el factor de ponderación que varía entre 0 y 1, Q_i representa los factores de escala, i representa el parámetro que va de 1 a n ("n" es el número total de los parámetros considerados en el proceso).

Para el cálculo de cada valor ICA se utilizan factores de ponderación propuestos por NSF para cada parámetro (Tabla II) y factores de escala Q_i que se calcularon por medio de ajustes polinómicos a las curvas de estandarización asociadas a cada variable, formulados por la NSF. La significancia del valor del ICA se describe en la Tabla III (12-17).

Tabla II. Factores de ponderación propuestos por NSF para cada parámetro.

Parámetros	Factor W_i
Oxígeno disuelto	0,17
Coliformes fecales	0,16
pH	0,11
Demanda biológica de oxígeno	0,11
Nitratos	0,10
Fosfatos	0,10
Desviación temperatura	0,10
Turbiedad	0,08
Sólidos totales	0,07

Tabla III. Clasificación de la calidad del agua.

Valor del Índice	Clasificación	Leyenda
0-25	Calidad muy mala (MM)	Rojo
26-50	Calidad mala (M)	Naranja
51-70	Calidad media (R)	Amarillo
71-90	Calidad buena (B)	Verde
91-100	Calidad excelente (E)	Azul

ÍNDICE DE CONTAMINACIÓN POR MATERIA ORGÁNICA (ICOMO)

En cuanto a la determinación de la contaminación debida a materia orgánica se aplicó el ICOMO descrito por Ramírez *et al.* en 1997 (18). El índice de contaminación por materia orgánica se expresa mediante las siguientes variables fisicoquímicas: DBO₅, coliformes totales (CT) y porcentaje de saturación del oxígeno (% OD), las cuales en conjunto, recogen efectos distintos de la contaminación orgánica, tal como se demuestra con la ausencia de correlaciones entre ellas. La significancia del valor del índice se describe en la Tabla IV.

El ICOMO es el valor promedio de los índices de cada una de las tres variables elegidas, como se describe en la siguiente fórmula:

$$ICOMO = 1/3 (I_{DBO} + I_{Coliformes\ Totales} + I_{OD\%})$$

- I_{DBO} : se obtiene a partir de la siguiente expresión:
- $I_{DBO} = -0,05 + 0,70 \log_{10} DBO (mg.L^{-1})$
- DBO mayores a 30 mg.L⁻¹ tienen $I_{DBO} = 1$
- DBO menores a 2 mg.L⁻¹ tienen $I_{DBO} = 0$

I_{CT} : se obtiene a partir de la siguiente expresión:

- $I_{CT} = -1,44 + 0,56 \log_{10} CT$ (NMP/100 mL)
- CT mayores a 20.000 NMP/100 mL tienen $I_{CT} = 1$
- CT menores a 500 NMP/100 mL tienen $I_{CT} = 0$

$I_{OD\%}$: se obtiene a partir de la siguiente expresión:

- $I_{OD\%} = 1 - 0,01 * OD\%$
- OD% mayores a 100% tienen $I_{OD\%} = 0$

Tabla IV. Significancia del índice de contaminación (ICO).

ICO	Contaminación	Escala de color
0-0,2	Ninguna	Azul
0,2-0,4	Baja	Verde
0,4-0,6	Media	Amarillo
0,6-0,8	Alta	Naranja
0,8-1	Muy alta	Rojo

Resultados

En la Tabla V se exponen los valores hallados (medias aritméticas) de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados en cada sitio de muestreo del arroyo Las Piedras.

Los parámetros evaluados más relevantes fueron analizados estadísticamente con el *test* no paramétrico

U de Mann-Whitney en busca de puntos críticos de contaminación a lo largo del arroyo Las Piedras. Se utilizó el *software* Origin Pro Lab para realizar los cálculos correspondientes.

Se consideró la existencia de diferencias significativas para la variable medida entre dos puntos consecutivos monitoreados, cuando el valor $p < 0,05$, sugiriendo así la existencia de algún evento que podría estar aportando a la contaminación del arroyo.

En la Tabla VI se pueden observar los resultados obtenidos (ver página siguiente).

ICA

En la Figura 2 se pueden observar los resultados obtenidos a partir de la aplicación del ICA-NSF sobre las muestras de agua del arroyo Las Piedras (LP) en cada una de las campañas realizadas.

ICOMO

Utilizando los resultados obtenidos en el monitoreo físico-químico correspondientes a la campaña de junio del arroyo Las Piedras, se aplicó el ICOMO consiguiendo una descripción del mismo en cuanto a su contaminación por materia orgánica.

En la Figura 3 se puede observar el grado de contaminación del arroyo.

Tabla V. Resultados físico-químicos del arroyo Las Piedras.

ARROYO LAS PIEDRAS						
Parámetro	Unidad	LP1	LP2	LP3	LP4	CONF
Temperatura ambiente	°C	21,3	20,2	28,8	29,2	27
Temperatura agua	°C	15,3	20,3	21,1	23	20,8
pH	u de pH	8,4	8,1	8	7,5	7,6
Oxígeno disuelto	mg.L ⁻¹	3,3	1,5	1,4	1,1	0,5
Conductividad	μS.cm ⁻¹	1.075	1.128	1.216	1.381	1.229
Sólidos disueltos totales	mg.L ⁻¹	535	543	635,5	690	580
DBO ₅	mg.L ⁻¹	97	41	38	87	114
DQO	mg.L ⁻¹	158	87	81	166	315
Turbidez	NTU	2,3	2,5	3,1	3,5	6,1
Nitrógeno total	mg.L ⁻¹	16,4	12,5	6,1	4,5	9,1
Fósforo total	mg.L ⁻¹	1,24	1,19	1,10	1,12	1,62
Nitratos	mg.L ⁻¹	2	1,6	5,6	5,2	0,8
Sólidos totales	mg.L ⁻¹	647	684	513	626	761
Grasas y aceites	mg.L ⁻¹	S/D	S/D	< 0,5	616	S/D
Hidrocarburos totales del petróleo	mg.L ⁻¹	1,86	2,72	2,75	3,16	1.256
Coliformes totales	NMP.100 mL ⁻¹	573.000	7.790.000	432.800	2.818.000	14.075.000
Coliformes fecales	NMP.100 mL ⁻¹	122.150	385.000	297.060	659.000	2.745.000

S/D: Sin Datos

Tabla VI. Resultados estadísticos de la aplicación del test U de Mann-Whitney para evaluar la variación de los parámetros más relevantes a lo largo del arroyo las Piedras.

Variable	LP1 Mediana	valor-p	LP2 Mediana	valor-p	LP3 Mediana	valor-p	LP4 Mediana	valor-p	CONF Mediana
OD (mgO ₂ .L ⁻¹)	3,3	0,2403	0,5	1	0,64	1	1	0,5023	0
Conductividad (μS.cm ⁻¹)	1.075	0,1052	1148	0,9025	1205	0,2101	1376	0,2703	1.193
DQO (mg.L ⁻¹)	158	0,1052	99	0,8057	59	0,2101	118	0,1779	410
DBO (mg.L ⁻¹)	97	0,2472	27	0,7133	13	0,2963	32	0,1779	150
CF (log NMP/100 mL)	5,09	0,2472	5,57	0,2703	4,97	0,3457	5,38	0,3873	5,88

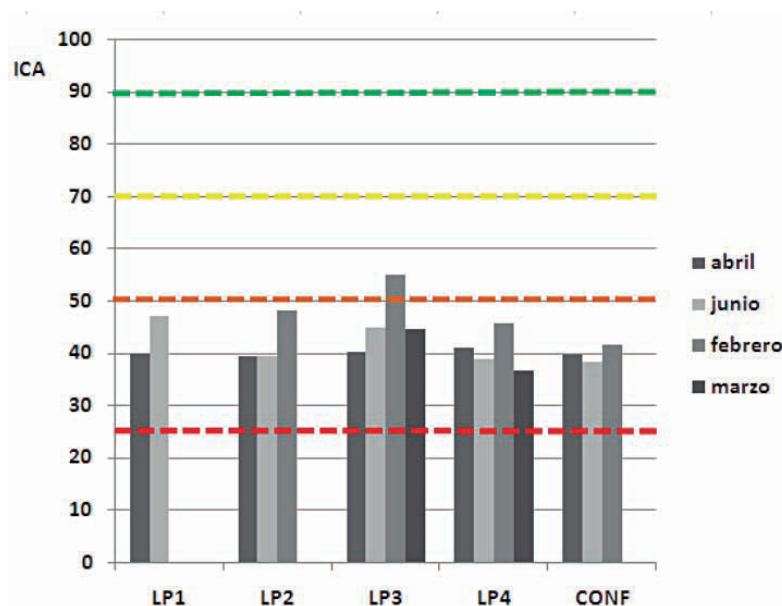


Figura 2. Valores del ICA del arroyo Las Piedras.

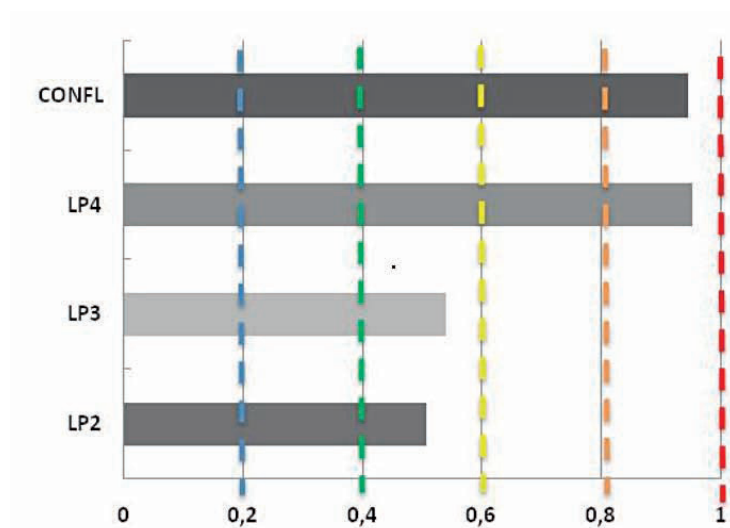


Figura 3. Resultados del ICOMO para el arroyo Las Piedras.

Discusión y Conclusiones

Como se puede observar en la Tabla V, los valores de la temperatura del agua van en aumento, teniendo su punto máximo en el sitio LP4, situación que puede estar relacionada con el vuelco directo que realiza una importante grasera situada sobre las márgenes de este arroyo. El vuelco de los efluentes de la grasera se realiza generalmente a altas temperaturas para que la grasa sea expulsada en estado líquido. La misma se solidifica permaneciendo en estado de flotación luego de recorrer unos pocos metros.

Respecto a los valores de pH se puede observar que los mismos se mantienen en un rango que no perjudica al sistema (7,5–8,3).

Tanto la concentración de sólidos totales como la conductividad, la cual refleja de alguna manera la concentración de sales disueltas, presentan valores altos, pudiéndose destacar un pico de concentración elevada en el sitio LP4, con una posterior estabilización de los niveles en la confluencia.

Según lo que se observa respecto a la concentración de oxígeno disuelto en el agua, la misma se encuentra por debajo del nivel guía estipulado para la protección de la vida acuática (5 mg.L^{-1})¹ en todos los casos. Ésta disminuye drásticamente desde aguas arriba hacia la confluencia, llegando casi a una concentración nula en este último punto.

Los valores de DQO y DBO exceden ampliamente a los sugeridos por entidades de regulación de la calidad de las aguas superficiales, dependiendo de su destino. Los valores guía adoptados por ACUMAR (Autoridad Cuenca Matanza-Riachuelo) para aguas superficiales destinadas a recreación son DQO 50 mg.L^{-1} y DBO 3 mg.L^{-1} , siendo estos valores los menos exigentes según los diferentes tipos de uso del recurso.

Estos valores ponen de manifiesto un aporte constante de materia orgánica a las aguas del arroyo las Piedras proveniente probablemente de aguas servidas de origen doméstico e industrial.

Se observa también que el punto de máxima concentración para ambos parámetros corresponde a la confluencia del arroyo Las Piedras con el arroyo San Francisco, siguiendo una lógica de tipo aditiva debido al aporte de ambos arroyos y concordando con los valores de oxígeno disuelto observados.

La concentración total de fósforo se encuentra por encima del valor guía establecido de 1 mg.L^{-1} para aguas recreativas, lo que podría indicar conjuntamente con los valores de nitrógeno total hallados, su posible rol como nutrientes disponibles para el crecimiento bacteriano.

En esta tabla se observa también que los niveles de nitratos no superan el valor sugerido para aguas de recreación (10 mg.L^{-1}), pero se observan los valores más elevados en los puntos LP3 y LP4 con una posterior baja de su concentración en la confluencia de los arroyos.

Respecto al resultado hallado en el sitio LP4 para grasas y aceites (616 mg.L^{-1}), queda en evidencia la ausencia de tratamiento de sus efluentes por parte de la grasera allí instalada, la cual aporta de manera continua materia grasa a las aguas y márgenes del arroyo Las Piedras, impidiendo el paso de la luz y consecuentemente la aireación y crecimiento de organismos acuáticos, además de generar espacios propicios para la proliferación de roedores.

Con respecto a los valores obtenidos sobre la concentración de hidrocarburos totales del petróleo se observan valores inferiores al límite propuesto para cuerpos de agua superficiales, establecido por la Autoridad del Agua Res. 336/2003 ($\leq 50 \text{ ppm}$) (ADA, 2003). Sin embargo, el sitio CONF muestra una concentración de HTPs que supera en más de 40 veces el nivel guía señalado anteriormente.

En cuanto a las bacterias indicadoras de contaminación que se determinaron, se hallaron altos niveles en todos los sitios muestreados, tanto de coliformes totales y en menor medida pero igualmente preocupante, de coliformes fecales; siempre superando los estándares sugeridos para aguas de recreación ($200 \text{ CF NMP}/100 \text{ mL}$)², incluso los establecidos para una descarga en un cuerpo de agua superficial ($20.000 \text{ CF NMP}/100 \text{ mL}$)³. Estos valores, sumados a los niveles de oxígeno, de materia orgánica y de nutrientes en las aguas del arroyo Las Piedras, dan cuenta de una constante descarga de efluentes domiciliarios provenientes de los numerosos asentamientos precarios que se sitúan a sus márgenes desde 2010.

Como se puede observar en la Tabla VI no se registraron diferencias significativas entre los sitios monitoreados en el arroyo Las Piedras (LP1/LP2/LP3/LP4/CONF) para ninguna de las variables evaluadas. Considerando los resultados particulares de cada punto de muestreo, sumado a la falta de diferencias estadísticamente significativas entre ellos, se puede presumir que el estado general del arroyo es crítico o por lo menos se encuentra fuera de los parámetros normales de calidad estimados para un uso del recurso de tipo recreativo, además del estado de salud ambiental de la cuenca en general.

ICA

En la Figura 2 queda en evidencia que durante los meses de monitoreo en que se llevó a cabo el estudio, la calidad del agua del arroyo Las Piedras presentó una

1. Nivel guía para la protección de la vida acuática, Secretaría de Recursos Hídricos. Cuenca del Plata, República Argentina.

2. Nivel guía para aguas de recreación, Autoridad del Agua, Res. 336/2003.

3. Nivel guía para límite de descarga en un cuerpo de agua superficial, Autoridad del Agua, Res. 336/2003.

“calidad mala”, ya que los valores obtenidos se mantuvieron en el rango de 26-50, a excepción del sitio LP3-febrero que superó levemente dicho rango.

ICOMO

Según la significancia de los valores del ICO, el arroyo Las Piedras presenta una MUY ALTA contaminación por materia orgánica en la cuenca baja (LP4 y CONFL) y una contaminación MEDIA en la cuenca media (LP2 y LP3) del arroyo. Los resultados reflejan la situación previamente observada en cuanto a los altos niveles de bacterias indicadoras de contaminación fecal, sumado a los elevados niveles de DBO.

La situación social y ambiental de la población comprendida por la cuenca es complicada. Desde el comienzo de esta investigación en 2011 hasta la actualidad, la ocupación desordenada y precaria de los terrenos no amanzanados e inundables ocurrió de manera exponencial, incrementando así el número de personas con necesidades básicas insatisfechas.

Este crecimiento de la urbanización desordenada se suma a la condición sanitaria precaria preexistente, que se puede caracterizar por la ausencia de sistemas de desagües cloacales y provisión de agua. Dado que una actividad muy frecuente en esta población es la recuperación de elementos vendibles a partir de los residuos urbanos, la condición sanitaria se agrava. Esta situación de degradación sanitaria y ambiental, que incluye contaminación visual, anoxia en los cursos de agua, olores desagradables e irritantes, presencia de basura y vectores asociados, asentamientos precarios sin servicios básicos, se expresa en los parámetros de calidad determinados en el arroyo Las Piedras.

El análisis de las muestras de agua recogidas en las distintas campañas de monitoreo pone de manifiesto un potencial y grave problema ambiental, en cuanto a los preocupantes valores de parámetros físico-químicos y microbiológicos de sus aguas, a las cuales más de 100.000 habitantes se encuentran expuestos diariamente, de acuerdo con el censo social realizado por la Municipalidad de Quilmes en 2010.

Comparando los valores de los parámetros evaluados en cada estación de monitoreo se evidencia un deterioro progresivo, e incluso histórico, aguas abajo.

Respecto a la aplicación del índice de calidad ICANSF, los resultados indican una situación crítica respecto a la calidad del agua del arroyo, calificándola como “mala” en la mayoría de los casos. A diferencia del ICA, el ICOMO presenta una descripción más adecuada y dirigida al tipo de contaminación que presenta el arroyo estudiado, con la ventaja adicional de requerir menor cantidad de parámetros a evaluar.

Algunas de las causas de la contaminación del agua podrían deberse a la carencia de servicios de saneamiento y al vertido de aguas residuales sin tratamiento

previo o bien con tratamiento inadecuado generando principalmente contaminación fecal de los cuerpos de agua. Hecho usual en las grandes ciudades y particularmente en aquellas áreas periurbanas que se caracterizan por la deficiencia de los servicios mínimos como agua potable, sistema de cloacas y saneamiento, además del hacinamiento y coexistencia con animales domésticos que actúan como reservorios de agentes patógenos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), a la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC PBA), y al Centro de Investigaciones del Medio Ambiente (CIMA) que permitieron financiar el presente estudio.

CORRESPONDENCIA

Dra. MARÍA LUCILA ELORDI
E-mail: lucilaelordi@gmail.com

Referencias bibliográficas

1. ONU (Organización de las Naciones Unidas), Departamento de Economía y Asuntos Sociales: División para el Desarrollo Sostenible. Río de Janeiro: Agenda 21; 1992.
2. Seeboonruang U. A statistical assessment of the impact of land uses on surface water quality indexes. *J Environ Manage* 2012; 101: 134-42.
3. Allan D. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 2004; 35: 257-84.
4. Zhou T, Wu J, Peng S. Assessing the effects of landscape pattern on river water quality at multiple scales: A case study of the Dongjiang River watershed, China. *Ecol Indic* 2012; 23: 166-75.
5. Botello A, Rojas J, Benítez J, Zárate D. Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y tendencias. *EPOMEX Ser Cient* 5 1996; 666-73.
6. Guha-Sapir D, Vos F, Below R, Ponsérre S. *Annual Disaster Statistical Review 2010: The Numbers and Trends*: Brussels CRED; 2011.
7. Rahman M. Impact of environmental sanitation and crowding on infant mortality in rural Bangladesh [resumen]. 1985; *Lancet* 2 (8445): 28-31.
8. Liu L, Johnson HL, Cousens S, Perin J, Scott S, Lawn JE, et al. Global, regional, and national causes of child mortality: an updated systematic analysis for 2010 with time trends since 2000. For the Child Health Epidemiology Reference Group of WHO and UNICEF; *Lancet* 2012; 379: 2151-61.
9. Censo Social Quilmes, Municipalidad de Quilmes, Subsecretaría de Desarrollo Social; 2010.

10. Fidel CH, Di Tomaso R, Farías C. Territorio, condiciones de vida y exclusión: el Partido de Quilmes, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Buenos Aires: CLACSO; 2008.
11. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20th. ed., American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation; Washington, D.C.: APHA-AWWA-WEF; 1998.
12. Brown RM, McClelland NI, Deininger RA, Tozer RG. A water quality index- do we dare? Water and Sewage Works. *Am J Wat Res* 1970; 117(10): 339-43.
13. Krenkel PA, Novotny V. 1st ed. Water Quality Management. London: Academic Press, Inc.; 1980.
14. Fernández N, Solano F. Índices de calidad de agua e índices de contaminación. Aportes a su conocimiento y análisis. Vicerrectoría de Investigaciones. Pamplona Univ; 2003.
15. Fernández N, Ramos G, Solano F. Icatest V 1.0 una herramienta para la valoración de la calidad del agua. *Rev Bistua* 2004; 2 (2): 88-97.
16. WUCEQEEEEEES (Wilkes University Center for Environmental Quality Environmental Engineering and Earth Sciences). Calculating NSF Water Quality Index; 2007.
17. Carrillo Castro AG, Villalobos Alcázar R. Tesis. Análisis Comparativo de los Índices de Calidad del Agua (Ica) de los Ríos Tecolutla y Cazones en el período Marzo-Diciembre 2010. Universidad de Veracruz. Poza Rica – Tuxpam, México; 2011.
18. Ramírez A, Restrepo R, Viña G. Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales. Formulaciones y aplicación. *CTF-Cienc, Tecnol Futuro* 1997; 1 (3): 135-53.

Recibido: 5 de septiembre de 2016

Aceptado: 7 de octubre de 2016