

UNIVERSIDAD DE FLORES



**Evaluación de los impactos antrópicos sobre el Arroyo Las
Piedras, Provincia de Buenos Aires**

Proyecto final para optar por el título de Ingeniera Ambiental

Autora: Gabriela Y. Iglesias.

Director: Gabriel O. Basílico.

Año: 2021

Agradecimientos

“Toda persona debe mirar a lo largo de su vida en cinco direcciones:

Adelante, para saber hacia dónde se dirige;

Detrás, para recordar de dónde viene;

Debajo, para no pisar a nadie;

Hacia los costados, para ver quien lo acompaña en los momentos difíciles;

Arriba, para que sepa que siempre alguien lo mira y lo está cuidando.”

- El Filósofo de Güémez

Me van a faltar páginas para agradecer a las personas que se han involucrado en la realización de este trabajo, sin embargo, se lo dedico a mi novio, familia, amigos, y compañeros de la carrera. En particular a mi mamá, a mi hermano Marcos, a Julio y a la memoria de mi padre, que con su incondicional amor, apoyo y paciencia me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo del esfuerzo, la perseverancia y valentía.

De manera especial le doy mi agradecimiento a mi tutor de trabajo final y a la Dra. Ana Faggi, por haberme guiado en el camino de la realización de este trabajo. A los profesores que me han ayudado a crecer como persona y profesionalmente en la Universidad de Flores.

Índice

1.	Introducción	1
1.1.	Área de estudio.....	3
1.2.	Introducción a la problemática.....	7
1.3.	Planteamiento del problema	9
2.	Antecedentes sobre la contaminación hídrica del arroyo Las Piedras	11
3.	Objetivo general.....	15
4.	Objetivos específicos	15
5.	Marco teórico	15
5.1.	Cuenca hidrográfica y ciclo hidrológico	15
5.2.	Importancia del problema.....	19
5.2.1.	Alteraciones físicas del agua.....	20
5.2.2.	Alteraciones químicas del agua	20
5.2.3.	Alteraciones biológicas del agua	22
5.2.4.	Sustancias contaminantes del agua	22
5.3.	Origen de la contaminación de las aguas	25
5.3.1.	Origen natural	25
5.3.2.	Origen domiciliario.....	25
5.3.3.	Origen industrial	28
5.4.	Población.....	30
5.5.	Cloacas	33
5.6.	Inundaciones y anegamientos temporarios	34
5.7.	Residuos sólidos urbanos	39
5.8.	Toxicología ambiental	41
5.9.	Enfermedades.....	42
6.	Metodología	43
6.1.	Tendencias en el uso del suelo	44
6.2.	Ubicación de los puntos de muestreo	45
6.3.	Índices de calidad y contaminación del agua	47
6.3.1.	Índice de calidad del agua (ICA)	48
6.3.2.	Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)	52
7.	Resultados y discusión.....	55
7.1.	Análisis del uso del suelo	55
7.2.	Relevamiento visual	59
7.3.	Análisis de los resultados fisicoquímicos y microbiológicos.....	63
7.4.	Índices ICA e ICOMO.....	67

7.4.1.	Resultados ICA.....	68
7.4.2.	Resultados ICOMO.....	69
7.5.	Discusión.....	72
7.5.1.	Comparación de parámetros con niveles límites permitidos	72
7.5.2.	Comparativa de resultados de los índices con un estudio previo.....	73
8.	Recomendaciones	77
9.	Conclusiones.....	84
10.	Bibliografía	85
11.	Anexos	92
11.1.	Anexo A.....	92
11.2.	Anexo B.....	93
11.3.	Anexo C.....	94
11.4.	Anexo D:.....	96

1. Introducción

Los recursos de agua dulce son un componente esencial de la hidrosfera e indispensables para todos los ecosistemas terrestres. En el año 1992, la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 1992) mediante la Declaración de Río sobre el Ambiente y el Desarrollo, llevada a cabo en Río de Janeiro, estableció varios objetivos, entre ellos, que el suministro de agua sea de buena calidad para toda la población del planeta y al mismo tiempo que se puedan preservar las funciones hidrológicas, biológicas y químicas de los ecosistemas. Para ello, estableció que es necesario adaptar las actividades humanas a los límites de la capacidad de la naturaleza y combatir los vectores de las enfermedades relacionadas con el agua.

Luego de la Declaración de Río en 1992, la ONU estableció objetivos en materia ambiental. En el último encuentro en el año 2015, se aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible, una oportunidad para que los países y sus sociedades emprendan un nuevo camino con el que mejorar la vida de todos sin dejar a nadie atrás. La Agenda 2030 cuenta con 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, que incluyen desde la eliminación de la pobreza hasta el combate al cambio climático, la educación, el acceso a los servicios de agua y saneamiento, la protección de los ambientes marinos y terrestres, entre otros.

En relación a la problemática del agua y el saneamiento, se puede mencionar que la escasez de agua afecta a más del 40% de la población mundial y se prevé que este porcentaje aumentará. Además, más de 1700 millones de personas viven actualmente en cuencas fluviales en las que el consumo de agua supera la recarga. Por otra parte, 4 billones de personas carecen de acceso a servicios básicos de saneamiento, como retretes (inodoros) o letrinas. Otro dato destacable, es que más del 80% de las aguas residuales resultantes de

actividades humanas se vierten en los ríos o el mar sin ningún tratamiento, lo que provoca su contaminación. También, cada día, alrededor de 1000 niños mueren debido a enfermedades diarreicas asociadas a la falta de higiene. Es por estas razones que se requiere mejorar y ampliar los servicios de agua y saneamiento. A través del ODS 6, se establecieron 8 metas para el año 2030, de las cuales una de ellas es lograr el acceso a servicios de saneamiento e higiene adecuados y equitativos para todos, prestando especial atención a las necesidades de las mujeres, las niñas y las personas en situaciones de vulnerabilidad, ampliar la cooperación internacional y el apoyo prestado a los países en desarrollo para la creación de capacidad en actividades y programas relativos al agua y el saneamiento, como los de captación de agua, desalinización, uso eficiente de los recursos hídricos, tratamiento de aguas residuales, reciclado y tecnologías de reutilización (ODS 6, 2018).

El incremento de la población urbana y del área urbanizada en un contexto de falta de planeamiento, conducen en muchos casos a la pérdida de sustentabilidad ambiental. El avance del área urbana sobre la llanura de inundación de los cursos de agua, y la falta de agua corriente y cloacas en grandes áreas de la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA) son procesos que resultan en el retorno de las aguas a los ambientes acuáticos con exceso de materia orgánica, nutrientes y gran variedad de contaminantes orgánicos e inorgánicos (Aranda, 2010). Por otra parte, el trasvase de cuencas implica una modificación en los ciclos hidrológicos a escala local.

En este proyecto final se analizan distintos aspectos ambientales de la cuenca del arroyo “Las Piedras”, ubicado en el sur del conurbano bonaerense, Provincia de Buenos Aires, Argentina. Entre los aspectos analizados, se encuentra la caracterización de la calidad del agua a lo largo del arroyo, a partir de variables microbiológicas y fisicoquímicas, así como también la

descripción de los cambios en el uso del suelo en la última década. Con base en la información generada se proponen recomendaciones para la mejora ambiental del área.

1.1. Área de estudio

El área estudiada corresponde a la cuenca del arroyo Las Piedras, que abarca parcialmente los partidos de Avellaneda, Florencio Varela, Almirante Brown y Quilmes (Fig. 1). La cantidad de personas estimadas que sufren las consecuencias directas de la contaminación es de 655.536 (Lecertua et al., 2014).



*Figura 1. Cuenca del arroyo Sarandí-Santo Domingo.
Fuente: extraída de Lecertua et al. (2014).*

La cuenca se encuentra ubicada en la ecorregión Pampa, Subregión Húmeda, complejo Pampa Ondulada. Esta región, comprende ciertas características y condiciones, las cuales se describen brevemente a continuación.

La vegetación natural predominante es el pastizal. Actualmente, está convertido en gran parte a cultivos y se encuentran parches de neoeosistemas formados por especies leñosas exóticas, acompañadas por arbustos, hierbas y gramíneas nativas. Una característica de la cubierta vegetal, es que permanece verde durante todo el año con la presencia de una flora estival y otra invernal (Matteucci, 2012).

El clima es subtropical húmedo con precipitaciones durante todo el año. Atemperado por la presencia de grandes masas de agua de los ríos de la cuenca del Plata y la forma peninsular de la Argentina (Matteucci, 2012). Según los valores climatológicos entre 1981 y el 2010, publicados por el Sistema Meteorológico Nacional de Argentina, en el punto del monitoreo del partido Quilmes, provincia de Buenos Aires, la temperatura máxima media en enero es 28°C, y la temperatura mínima media en julio es 8°C, siendo, las precipitaciones medias máximas en marzo y las mínimas en junio, con una oscilación media mensual de 40 a 120 mm (Fig. 2).

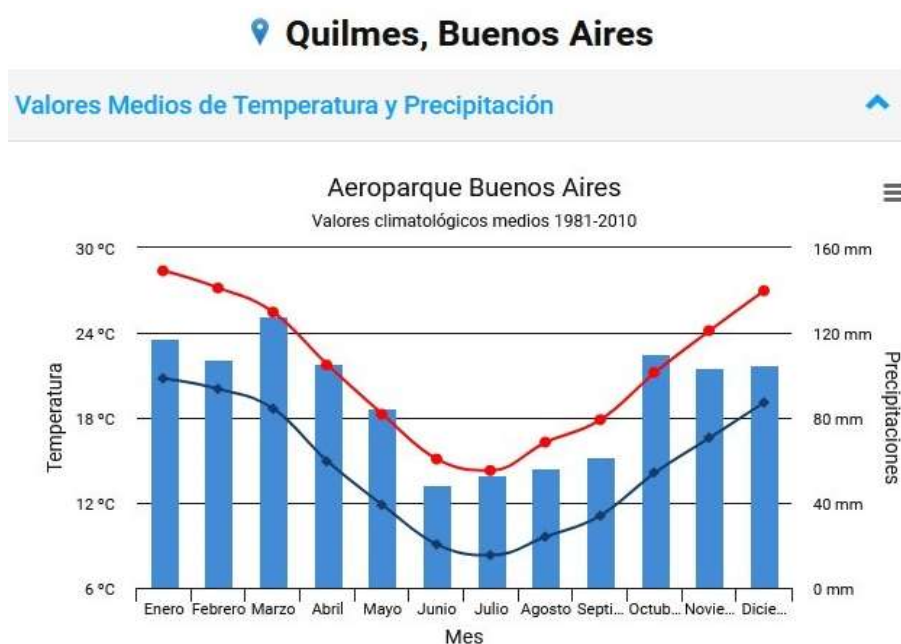


Figura 2. Valores climatológicos medios 1981-2010 de temperatura y precipitaciones de Quilmes.
Fuente: extraído de <https://www.smn.gob.ar/estadisticas>

El área de estudio se encuentra sobre el cratón del Río de La Plata, ya consolidado en el Precámbrico Superior, en la provincia geológica Llanura Chaco-Pampeana. Morfogenéticamente es un área de disección, con una gruesa cobertura de sedimentos loésicos, cuya granulometría decrece de SO a NE. Los factores modeladores del terreno desde el Pleistoceno al Holoceno han sido las ingresiones y regresiones marinas, la acumulación de los depósitos de loess alternando con procesos de deflación eólica y la formación de los suelos. Estos factores, han interactuado generando unidades geomorfológicas agrupadas en planicies loésicas y planicies fluviales. Los elementos tienen un patrón repetitivo dando un terreno con un relieve suavemente ondulado. Las altitudes varían entre 5 y 50 m, y el relieve relativo es bajo. Las pendientes no alcanzan al 2%, aunque localmente hay sectores en que llegan al 5% (Matteucci, 2012).

Una característica importante, es la presencia del acuífero semiconfinado Puelches, conformado por una secuencia sedimentaria de arenas de cuarzo sueltas, medianas a finas (arenas Puelches). Estas, se extienden en forma continua cubriendo unos 92.000 km² y tiene entre 20 a 60 m de espesor. El acuífero Puelches es el principal de la Ecorregión Pampa por su calidad y productividad. La recarga es autóctona e indirecta, a través del acuífero freático y semilibre. El uso excesivo del acuífero tuvo efectos negativos en el área metropolitana y en La Plata, donde se formaron amplios conos de depresión que facilitaron el ingreso de aguas contaminadas procedentes del acuífero freático (Matteucci, 2012).

Los suelos del AMBA poseen alta fertilidad y facilidad para su cultivo. A su vez, se hallan ligeramente modificados por la agricultura o profundamente antropizados por la urbanización. Muchas veces, con el fin de acondicionar los suelos para el uso urbano o el cultivo, se pueden generar consecuencias destructivas. De este modo, muchos suelos urbanos son de “uso sensible” desde el punto de vista ecotoxicológico y requieren de procesos de

remediación (Morrás, 2010). Como producto de la intensa actividad humana, en los últimos siglos la región ha sufrido una drástica modificación del paisaje y los ecosistemas. La agricultura ha eliminado la mayor parte de los pastizales naturales, de los cuales quedan pocos relictos. Los espacios seminaturales se encuentran fragmentados y quedan en la matriz de cultivos de distintos tipos de formaciones: reliquiales, residuales, seminaturales y neoeosistemas. Definiendo a los neoeosistemas como parches de formación reciente de origen antrópico y en los que dominan especies exóticas, en general árboles implantados en los cuales posteriormente se reintrodujeron especies nativas (Matteucci, 2012).

Los pulsos naturales más drásticos están dados por las inundaciones que afectan especialmente las zonas bajas de los valles de los arroyos y ríos principales, los cuales se hacen críticos en las zonas urbanas. Las sudestadas, originadas por fuertes vientos del Sudeste, empujan las aguas hacia el río de La Plata y producen mareas muy altas. En la zona sur del AMBA, a causa de que la ribera es baja, se producen inundaciones periódicas en las cercanías de la desembocadura del Río Matanza-Riachuelo (Matteucci, 2012).

Uno de los problemas ambientales de la región son las inundaciones, en primera instancia el nivel freático se encuentra cercano a la superficie en casi toda la región del AMBA. En las zonas de la planicie baja, el problema de inundación se ve agravado cuando hay superposición de sudestadas y de lluvias intensas, dando lugar a la elevación del nivel freático por efecto de la recarga y generando anegamiento de sótanos y excavaciones existentes. A su vez, existe un proceso reciente de elevación de la capa freática que afecta principalmente a sectores del conurbano, dicho proceso se origina en el abandono del uso del agua del subsuelo para consumo humano a través de perforaciones y en su reemplazo por agua conducida desde plantas purificadoras: si no se acompaña de redes cloacales y pluviales, esto incorpora mayor cantidad de agua al sistema de la capa freática. En consecuencia,

diversos factores naturales y antrópicos coadyuvan y se interrelacionan para producir inundaciones: precipitaciones de gran intensidad, presencia de una capa freática alta, sudestadas, pérdida de capacidad de absorción del suelo producida por la urbanización, red de drenaje inadecuado, obstrucción con sedimentos y basura de los conductos subterráneos (Morrás, 2010).

1.2. Introducción a la problemática

El cuerpo de agua estudiado se ve afectado por vuelcos de efluentes industriales, aguas grises y negras. Esto sucede debido a la presencia asentamientos informales e industrias con vertido directo de sus efluentes líquidos al cauce. Tras este impacto urbano, la calidad de agua, ribera y suelo se deterioran notablemente, afectando al ambiente y a la salud de la población que convive de manera directa con la contaminación (Elordi et al., 2012).

Como puede observarse en las Figs. 3 a 5, la situación de la población que habita a la vera del arroyo, en cercanías a la Ruta Provincial N°4 resulta crítica. En los periodos sin precipitaciones se observan residuos urbanos los cuales son volcados al cauce y riberas del arroyo por los mismos habitantes. Esto se debe, a que estos asentamientos informales carecen del servicio de recolección de residuos, además de no contar con redes de agua potable y cloacas. En períodos de precipitaciones el nivel del agua se eleva rápidamente, ocasionando inundaciones, situaciones donde las aguas contaminadas ingresan a las humildes viviendas que están asentadas en la ribera de este arroyo.



*Figura 3. Arroyo Las Piedras y RPN°4.
Fuente: Autoría propia (2020).*



*Figura 4. Arroyo Las Piedras y RPN°4.
Fuente: Autoría propia (2020).*



*Figura 5. Arroyo Las Piedras y RPN°4.
Fuente: Autoría propia (2020).*

La calidad de vida es un concepto relacionado al bienestar de las personas. Pero este, no puede ser evaluado únicamente mediante el nivel de consumo de bienes y servicios o algunos indicadores socioeconómicos básicos. Es por ello, que investigadores del CONICET (2018) desarrollaron un mapa interactivo que permite conocer el índice de calidad de vida en cualquier punto del país, logrando estimar el nivel de vida de la población tomando dos grandes grupos de indicadores: los socioeconómicos y los ambientales (Velazquez, 2018).

Se puede observar en la Fig. 6, la variación en la coloración de los radios censales de la población en cercanías al arroyo Las Piedras. La escala asocia el valor del ICV con una gama de colores de verde a rojo, de mayor a menor ICV. Puede observarse, que en la mayor parte

de los radios censales de la cuenca el ICV resultó bajo, indicando baja calidad de vida en relación a las dimensiones socioambiental y económica.

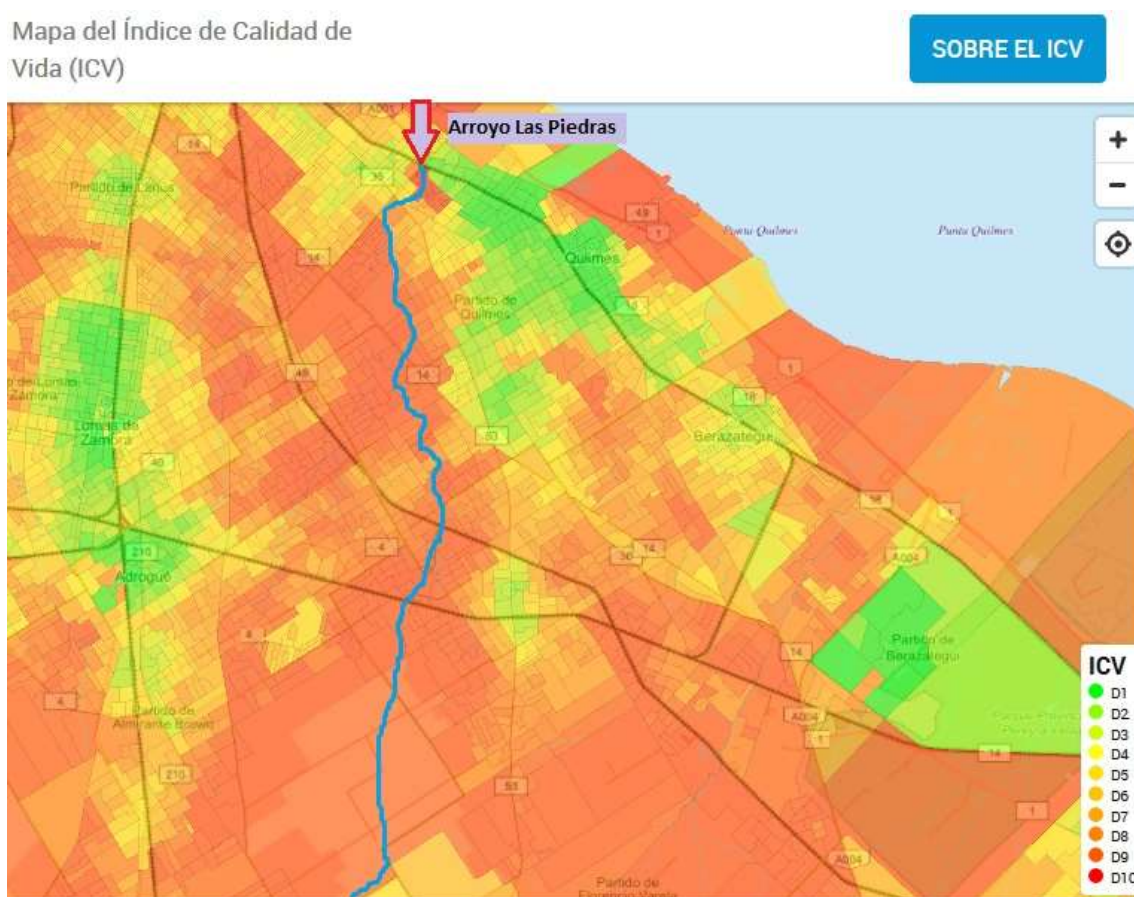


Figura 6. Mapa del Índice de Calidad de Vida (ICV). CONICET (2018). <https://icv.conicet.gov.ar/>

1.3. Planteamiento del problema

Según las ediciones 2001 y 2010 del Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas (INDEC, 2001 y 2010), la población humana en el área de estudio ha aumentado a lo largo del tiempo. Es escaso el planeamiento urbanístico que se verifica en toda la RMBA y en particular, en el área de estudio, y con el emplazamiento de viviendas informales en sitios no preparados para la urbanización, en un marco de escasos controles sobre los vuelcos de residuos sólidos y líquidos, se ocasiona un colapso en los servicios socioambientales. Según la base de datos del último censo realizado en el año 2010 (INDEC, 2010), la densidad poblacional en el área de la cuenca del arroyo Las Piedras es del 42% superior que en el resto

del territorio de los partidos que forman parte de la cuenca del arroyo. La ausencia de servicios esenciales como el abastecimiento de agua potable, la recolección de residuos sólidos urbanos y el sistema de desagüe cloacal (Fig. 7), en un contexto de alta densidad poblacional, resulta con la contaminación de agua, aire y suelo, afectando a la salud pública y los ecosistemas locales (Masciadri, 2009).



Figura 7. Viviendas sin servicios básicos, en la zona aledaña al arroyo Las Piedras y resto del partido de Quilmes. Fuente: INDEC (2010).

La contaminación hídrica del arroyo Las Piedras no se origina únicamente a partir de las viviendas, sino que es incrementada por las industrias con vuelco directo e indirecto de efluentes líquidos al cauce del arroyo. Sobre el arroyo vierten sus efluentes empresas químicas, frigoríficos, papeleras, refinería de grasa vacuna, productoras de plástico, entre otras, afectando la sanidad y la calidad ambiental (Defensoría del Pueblo de la Provincia de Buenos Aires, 2015).

En periodos de precipitaciones el sistema de desagüe colapsa rápidamente inundando la zona, produciendo pérdidas estructurales, económicas y favoreciendo el contacto directo con el agua contaminada dentro de los hogares. Esto queda en evidencia con las noticias barriales publicadas desde hace años (Anexo A).

2. Antecedentes sobre la contaminación hídrica del arroyo Las Piedras

En el año 2012 se publicó un trabajo de investigación sobre la carga microbiológica del arroyo Las Piedras (Elordi, et al., 2012) y en conjunto con un informe del año 2005 realizado por el Departamento de Estudios Ambientales de la Dirección de Saneamiento y Obra Hidráulica, Ministerio de Infraestructura de la provincia de Buenos Aires, determinaron que el arroyo presenta una elevada carga bacteriológica de origen fecal asociada probablemente a la falta de servicio de red cloacal en las viviendas que ocupan los márgenes de los mismos. A su vez, afirman y destacan que los altos valores de carga microbiana en las aguas de los arroyos, principalmente en la zona baja de la cuenca, responderían no sólo a la falta del servicio de cloacas en los hogares establecidos en las entidades de Quilmes Oeste, Bernal Oeste y San Francisco Solano, sino también al aporte de desechos domésticos por parte de la población no censada que habita en asentamientos precarios recientemente instalados en los alrededores de estos arroyos.

La contaminación ambiental de origen industrial en la localidad de San Francisco Solano, Partido de Quilmes, podría tener efectos negativos sobre la salud de la población, según una resolución de la Defensoría del Pueblo de la provincia de Buenos Aires (2015). Tras una denuncia, el organismo recorrió el lugar observando las precarias condiciones ambientales en las que reside parte de la población donde conviven a la vera de aguas putrefactas, entre grandes industrias, restos de autos desarmados y sobre antiguos basurales a la vera del arroyo Las Piedras. La Defensoría solicitó al Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS), que informe en relación a las industrias radicadas en las localidades afectadas. Asimismo, solicitó la intervención de la Autoridad del Agua (ADA) con el objetivo de

informar si las industrias allí radicadas poseen permisos de explotación del recurso hídrico, permiso de vuelco de efluentes líquidos, y si existen inspecciones, análisis de calidad de efluentes líquidos o determinación del estado ambiental de las aguas y el cauce del arroyo Las Piedras.

Tras las inspecciones de OPDS, se informó que el asentamiento con acceso sobre la calle 823 de la localidad de San Francisco Solano, Partido de Quilmes, está construido sobre un ex basural municipal, ocupado por 283 familias en 10 hectáreas linderas al arroyo Las Piedras y reciben diariamente tierra y escombros para poder avanzar sobre el humedal, tapando los residuos sin ningún tipo de remediación de suelos. Se carece además de todo servicio público, y los vecinos deben realizar quema de los residuos sólidos urbanos ante la falta de recolección (Res. N°111/15 - Acta de Inspección N°B98903 del 16-01-2012). Tras la denuncia contra una empresa de producción y refinación de subproductos agrícolas y ganaderos por los fuertes olores y vuelcos de efluentes líquidos industriales a las aguas del arroyo Las Piedras, la inspección consistió en un relevamiento visual y la constatación de olores, pero no se tomaron muestras de sus efluentes ni de las aguas superficiales del arroyo (Elordi, 2012).

La Autoridad del Agua dio como respuesta un listado de industrias en los partidos de Almirante Brown, Quilmes, Berazategui, Avellaneda, Presidente Perón y Lomas de Zamora que vuelcan sus efluentes al Arroyo Las Piedras. De un total de 72 empresas empadronadas, 8 se encuentran en la localidad de San Francisco Solano, ninguna posee permiso de vuelco de efluentes industriales y sólo cinco se encuentran tramitándolo (Res. N°111/15).

Desde el año 2011, tras reiteradas denuncias y recolección de firmas por los habitantes de la zona del arroyo, se inició un control sobre los agentes contaminantes, aunque sin resolución

ni proyección de metas, como sí se puede observar en el caso del saneamiento de la cuenca Matanza-Riachuelo (Elordi, 2012).

En septiembre del 2018 se clausuraron cañerías clandestinas (Fig. 8).



Autoridades de la Provincia y la municipalidad de Quilmes procedieron a la clausura de los entubamientos en la zona delimitada por el Camino General Belgrano, la calle 816 y el curso de agua.

Figura 8. Una de las clausuras realizadas en el área del ao. Las Piedras.

Fuente: Diario el Quilmeño del 16 de septiembre del 2018.

En el marco de los controles que realiza la Agencia de Fiscalización y Control Comunal – AFyCC– del Municipio de Quilmes, con el fin de evitar la descarga ilegal de residuos en arroyos del distrito, se concretó el 30 de septiembre del 2018 la clausura de una empresa tras detectar que, a través de una de sus cañerías, se volcaban desechos contaminantes en el cauce del arroyo Las Piedras. La empresa que arrojaba el material tóxico al agua está ubicada en la intersección de las calles 815 y 882, y se dedica a la elaboración de subproductos ganaderos.

El 2 de enero del 2019 se fiscalizó el predio conocido como “Basural Doña Teresa”, sito en la calle 815 y arroyo Las Piedras (ingreso por calle 812) de la localidad de Bernal, partido de Quilmes, disponiéndose la Clausura Preventiva total del mismo, prohibiendo el ingreso de residuos sólidos urbanos y su disposición en el lugar en las condiciones observadas.

La Defensoría del Pueblo expone tras un estudio de la calidad del agua realizado en febrero de 2011, y realizando un análisis comparativo de estudios anteriores que: *“El arroyo Las Piedras se halla fuertemente impactado por la actividad antrópica. Sobre sus márgenes existen numerosos asentamientos, su drenaje se ve dificultado por la presencia de basura domiciliaria dentro del curso, y a su vez recibe numerosas descargas industriales y cloacales que en su conjunto provocan el deterioro de este cuerpo de agua. La calidad de agua resultante del cálculo del ICA es de regular a mala. Asimismo, dos evaluaciones de la calidad del agua sobre el arroyo Las Piedras concluyen que “las aguas significan un riesgo para la salud de aquellas personas que estén directa o indirectamente relacionados en contacto con esta” (Elordi, 2012). “Se puede presumir que el estado general del arroyo es crítico” (Elordi, 2016).*

Tras nueve años de denuncias sobre las condiciones de vuelco irregulares y basurales a cielo abierto clandestinos, las acciones y medidas de los organismos de control son deficientes e ineficientes. Pero esta situación no es aislada ni exclusiva del arroyo Las Piedras, sino también de otras cuencas cercanas. Durante el otoño del año 2013, se realizó un relevamiento del arroyo San Francisco, donde se caracterizó el grado y tipo de contaminación (Efron et al., 2013). Este arroyo se encuentra ubicado en el Partido de Almirante Brown, en cercanías del arroyo Las piedras. En dicho trabajo, se muestreó un tramo de 1070 m, obteniéndose bajos niveles de OD, una baja velocidad de corriente, concentración orgánica moderada, nitrógeno inorgánico disuelto elevado, y altos niveles de coliformes totales y *Escherichia coli*. Los autores concluyeron que, debido a la densidad poblacional y la cercanía de los habitantes al cuerpo de agua, el agua debería ser apta para actividades recreativas sin contacto directo. De acuerdo a las recomendaciones del SSRH y los resultados obtenidos, el recurso no puede ser utilizado para ese fin (Efron et al., 2013).

3. Objetivo general

Relevar y evaluar la calidad ambiental del arroyo Las Piedras mediante relevamientos, análisis de imágenes satelitales y muestreo de aguas superficiales. Con base en la información recabada se propondrán algunas alternativas para revertir el deterioro ambiental y reducir el riesgo sanitario para la población afectada.

4. Objetivos específicos

- Describir el arroyo las Piedras, evaluando el cambio en el uso del suelo a lo largo de los últimos años, mediante imágenes satelitales y Sistemas de Información Geográfica (SIGs).
- Evidenciar las principales problemáticas socioambientales e identificar las principales fuentes de contaminación hídrica.
- Relevar, evaluar, medir y analizar parámetros microbiológicos y fisicoquímicos del agua del arroyo, para establecer los valores de los índices de calidad (ICA) y de contaminación (ICOMO).
- Proponer acciones de remediación y rehabilitación ambiental de bajo coste para reducir los niveles de contaminación y recuperar los servicios ecosistémicos.

5. Marco teórico

5.1. Cuenca hidrográfica y ciclo hidrológico

Una cuenca hidrográfica es una unidad morfológica integral, que se define en un territorio donde las aguas superficiales convergen hacia un cauce o unidad natural, delimitada por la existencia de la divisoria de las aguas, las cuales fluyen al mar u otro cuerpo de agua a través

de una red de drenaje. Una cuenca hidrológica, además incluye toda la estructura hidrogeológica subterránea del acuífero como un todo, conformando un sistema integral, constituyendo un conjunto de componentes que están conectados e interactúan formando una unidad. La estabilidad y permanencia de todos sus componentes estructurales son propiedades y formas de comportamiento del sistema (Gaspari et al., 2013).

La cuenca es un "sistema continuo" de clima, suelos, cobertura vegetal, hábitats, red de drenaje, sistemas de producción y presencia humana, que interactúan en el espacio y tiempo. La conjunción de estos factores permite identificar al colchón hídrico o sistema hidroedáfico, que cumple un rol básico para el continuo funcionamiento del sistema. El suelo presenta una capacidad de retención hídrica que depende de los tipos de estructura y textura, de la cobertura vegetal, de la orografía y del clima reinante (Gaspari et al., 2013).

Dentro de la cuenca, hay componentes hidrológicos, ecológicos, ambientales y socioeconómicos. Según Aguirre (2007), sus funciones son:

- a. Función Hidrológica: Captación de agua de las diferentes formas de precipitación para formar el escurrimiento de manantiales, ríos y arroyos, almacenamiento del agua en sus diferentes formas y tiempos de duración y descarga del agua como escurrimiento.
- b. Función Ecológica: proveer del hábitat para la flora y la fauna.
- c. Función Ambiental: Constituyen sumideros de CO₂, alberga bancos de germoplasma, regula la recarga hídrica y los ciclos biogeoquímicos, conserva la biodiversidad, mantiene la integridad y la diversidad de los suelos.
- c. Función Socioeconómica: Suministra recursos naturales para el desarrollo de actividades productivas que dan sustento a la población, provee de un espacio para el desarrollo social y cultural de la sociedad.

d. Servicios Ambientales:

- Del flujo hidrológico: usos directos (agricultura, industria, agua potable, etc), dilución de contaminantes, generación de electricidad, regulación de flujos y control de inundaciones, transporte de sedimentos, recarga de acuíferos, dispersión de semillas y larvas de la biota.
- De los ciclos biogeoquímicos: almacenamiento y liberación de sedimentos, almacenaje y reciclaje de nutrientes, almacenamiento y reciclaje de materia orgánica y absorción de contaminantes.
- De la producción biológica: creación y mantenimiento de hábitats, mantenimiento de la vida silvestre, fertilización y formación de suelos.
- De la descomposición: procesamiento de la materia orgánica, procesamiento de desechos humanos.

Se denomina Ciclo Hidrológico al movimiento general del agua, ascendente por evaporación y descendente primero por las precipitaciones y después en forma de escorrentía superficial y subterránea (Fig. 9). Como se trata de un ciclo, se consideran todas sus fases (San Román et al., 2012):

- a. Evaporación: Una parte se evapora desde la superficie del suelo o si ha quedado retenida sobre la vegetación.
- b. Infiltración. El agua infiltrada puede, a su vez, seguir estos caminos: b1) Evaporación. Se evapora desde el suelo húmedo, sin relación con la posible vegetación. b2) Transpiración. Las raíces de las plantas absorben el agua infiltrada en el suelo, una pequeña parte es retenida para su crecimiento y la mayor parte es transpirada. La suma de b1) y b2) se estudia conjuntamente: es la evapotranspiración. b3) Escorrentía subsuperficial o hipodérmica (“*interflow*”), que tras un corto recorrido lateral antes de

llegar a la superficie freática acaba saliendo a la superficie. b4) Si no es evaporada ni atrapada por las raíces, la gravedad continuará llevándola hacia abajo, hasta la superficie freática; allí aún puede ser atrapada por las raíces de las plantas freatofitas (por ejemplo, sauces y álamos), de raíces muy profundas, y que, a diferencia de otras plantas, buscan el agua del medio saturado. b5) Finalmente, el agua restante da lugar a la escorrentía subterránea.

c. Escorrentía superficial: el agua de las precipitaciones que no es evaporada ni infiltrada, escurre superficialmente. De la fracción del agua que conforma la escorrentía superficial:

c1) Parte es evaporada desde la superficie de ríos, lagos y embalses.

c2) Otra parte puede quedar retenida como nieve o hielo o en lagos o embalses. (“Escorrentía superficial diferida”).

c3) Finalmente una parte importante es la escorrentía superficial rápida que sigue su camino hacia el mar (cuencas exorreicas) u otro cuerpo receptor (cuencas endorreicas).

d. Escorrentía Directa, la que llega a los cauces superficiales en un periodo de tiempo corto tras la precipitación, y que normalmente engloba la escorrentía superficial (c3) y la subsuperficial (b3). Son imposibles de distinguir: una gran parte de lo que parece escorrentía superficial (por el aumento de los caudales que sigue a las precipitaciones) ha estado infiltrada subsuperficialmente.

e. Escorrentía Básica, la que alimenta los cauces superficiales en los estiajes, durante los periodos sin precipitaciones, concepto que engloba la Escorrentía Subterránea (b5) y la superficial diferida (c2).



Figura 9. Componentes del ciclo hidrológico. Fuente: Imagen extraída de San Román, et al. (2012).

5.2. Importancia del problema

Los ríos, lagos y mares recogen, desde tiempos inmemoriales, los desechos producidos por la actividad humana. El ciclo natural del agua tiene una gran capacidad de purificación, pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que los cuerpos de agua sean el vertedero habitual en el que se arrojan los residuos producidos por muchas actividades humanas. Pesticidas, desechos químicos, metales pesados, residuos radiactivos, etc., se encuentran, en cantidades mayores o menores, al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo. Muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida (Echarri, 1998). Por otra parte, en arroyos y ríos de áreas urbanizadas, frecuentemente se observan situaciones de contaminación hídrica por exceso de materia orgánica y nutrientes, frecuentemente asociadas a la falta o ineficacia de los sistemas de saneamiento y el vuelco de efluentes industriales con tratamiento insuficiente (Mendoza et al., 2015).

5.2.1. Alteraciones físicas del agua

En la Tabla 1 se describen algunas variables físicas relevantes en el estudio de la calidad del agua.

Tabla 1. Variables físicas relevantes en el estudio de la calidad del agua. Fuente: Modificada de Echarri (1998).

Variable física	Descripción
Temperatura	<p>El aumento de temperatura disminuye la solubilidad de gases (por ejemplo oxígeno) y aumenta, en general, la de las sales. Aumenta la velocidad de las reacciones del metabolismo, acelerando la putrefacción de la materia orgánica.</p> <p>La disminución del oxígeno disuelto sofoca las especies; además los desbalances tróficos causados por la variación de la temperatura aceleran o disminuyen los procesos reproductivos, la liberación de toxinas provocada por el calentamiento de las aguas cataliza o produce reacciones químicas cuyo impacto en los ecosistemas es impredecible, causando muertes masivas, proliferaciones descontroladas de especies o desbalances bioquímicos, provocando ambientes inhóspitos y la migración de especies (Uriarte, 2020).</p>
Materiales en suspensión	<p>Partículas como arcillas, limo y otras, son arrastradas por el agua de dos maneras: en suspensión estable (disoluciones coloidales); o en suspensión que sólo dura mientras el movimiento del agua las arrastra. Las suspendidas coloidalmente sólo precipitarán después de haber sufrido coagulación o floculación.</p>
Conductividad eléctrica (CE)	<p>El agua pura tiene una CE prácticamente nula. El agua natural tiene iones en disolución y su conductividad es mayor y proporcional a la concentración de esos electrolitos. Por esta razón, se usan estos valores como índice aproximado de concentración de solutos (sólidos disueltos totales, SDT).</p>

5.2.2. Alteraciones químicas del agua

En la Tabla 2 se describen las variables químicas y su importancia ambiental.

Tabla 2. Principales variables químicas de calidad del agua. Fuente: Modificada de Echarri (1998).

Variables químicas	Descripción
<u>pH</u>	<p>El pH tiene una gran influencia en los procesos químicos, que tienen lugar en el agua, actuación de los floculantes, tratamientos de depuración, etc. Las aguas naturales pueden tener pH ácidos por el CO₂ disuelto desde la atmósfera o proveniente de los seres vivos; por ácido sulfúrico procedente de algunos minerales, por ácidos húmicos disueltos del mantillo del suelo. Sin embargo, las aguas superficiales naturales poco contaminadas de la provincia de Buenos Aires suelen tener pH básicos (superiores a 7) debido a la presencia de materiales alcalinos en la composición de los suelos. La principal sustancia básica en el agua natural, es el carbonato cálcico que puede reaccionar con el CO₂ formando el sistema tampón carbonato/bicarbonato.</p> <p>Por otra parte, el pH de las aguas superficiales de la región bajo estudio no suele verse afectado notoriamente debido al vuelco de efluentes, ya que las aguas poseen una alcalinidad bastante elevada.</p>
Oxígeno disuelto (OD)	<p>Las aguas superficiales limpias, suelen estar saturadas de oxígeno, lo que es fundamental para la vida. Un nivel de oxígeno disuelto bajo indica contaminación con materia orgánica, generación de olores, mala calidad del agua e incapacidad para mantener formas de vida aerobias. El nivel mínimo de oxígeno disuelto para garantizar la vida aerobia en la columna de agua es de 4 o 5 mg/L (Conzonno, 2009).</p>
Materia orgánica biodegradable: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	<p>La DBO₅ es la cantidad de oxígeno disuelto requerido por los microorganismos para la oxidación aeróbica de la materia orgánica biodegradable presente en el agua. Su valor da idea de la calidad del agua en relación a la materia orgánica presente en una muestra y permite estimar cuanto oxígeno será necesario para la depuración de esas aguas.</p>
Nitrógeno total	<p>Varios compuestos de nitrógeno son nutrientes esenciales. Su presencia en las aguas en exceso es causa de eutrofización.</p> <p>El nitrógeno se presenta en muy diferentes formas químicas en las aguas naturales y contaminadas. En los análisis habituales se suele determinar el NTK (nitrógeno total Kjeldahl) que incluye el nitrógeno orgánico y el amoniacal. El contenido en nitratos y nitritos se determina por separado.</p>

Fósforo total	El fósforo, como el nitrógeno, es un nutriente esencial para la vida, en especial para las plantas, microalgas y otros microorganismos presentes en la columna de agua (fitoplancton) y en el bentos de los ambientes acuáticos. Sin embargo, el exceso de P en el agua provoca eutrofización. El fósforo total incluye distintos compuestos tales como ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.
Aniones:	Sulfatos, cloruro, bicarbonatos y carbonatos. - Indican: salinidad, contaminación agrícola y actividad bacteriológica.
Cationes:	Calcio y magnesio - Indican salinidad - Están relacionados con la dureza del agua

5.2.3. Alteraciones biológicas del agua

Las alteraciones biológicas del agua se pueden utilizar como indicadores de contaminación. Es el caso de las bacterias coliformes, que indican la posible contaminación con desechos cloacales. A su vez, los virus indican la presencia de desechos fecales y restos orgánicos.

La presencia y abundancia en agua de ciertos animales, plantas y microorganismos pueden indicar la eutrofización del sitio (Echarri, 1998)

5.2.4. Sustancias contaminantes del agua

Existe un gran número de contaminantes del agua, los cuales se pueden clasificar de muy diferentes maneras. Una posibilidad bastante usada es agruparlos en los siguientes ocho grupos (Echarri 1998):

- a) Microorganismos patógenos. Son bacterias, virus, protozoos y otros organismos que provocan enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura. Normalmente estos microbios llegan al agua

por la descarga de heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua.

En la Tabla 3, se describen los microorganismos principales transmisores de enfermedades por agua contaminada:

Tabla 3. Enfermedades por patógenos contaminantes de las aguas. Fuente: Extraída de (Echarri 1998).

Tipo de Microorganismo	Enfermedad	Síntomas
Bacteria: <i>Vibrio cholerae</i>	Cólera	Diarreas y vómitos intensos. Deshidratación. Frecuentemente es mortal si no se trata adecuadamente.
Bacterias: <i>Rickettsia typhi</i> o <i>Rickettsia prowazekii</i>	Tifus	Fiebres. Diarreas y vómitos. Inflamación del bazo y del intestino.
Bacterias: <i>Shigella</i>	Disentería	Diarrea. Raramente es mortal en adultos, pero produce la muerte de muchos niños en países poco desarrollados.
Bacterias: <i>Escherichia coli</i> , <i>Bacillus cereus</i> , <i>Shigella</i> , <i>Salmonella</i> y <i>Yersinia</i> .	Gastroenteritis	Náuseas y vómitos. Dolor en el digestivo. Poco riesgo de muerte.
Virus: VHA, VHE.	Hepatitis	Inflamación del hígado e ictericia. Puede causar daños permanentes en el hígado.
Virus: <i>Poliovirus</i>	Poliomielitis	Dolores musculares intensos. Debilidad. Temblores. Parálisis. Puede ser mortal
Protozoos: <i>Entamoeba histolytica</i>	Disentería amebiana	Diarrea severa, escalofríos y fiebre. Puede ser grave si no se trata.
Parásitos: <i>Schistosoma</i>	Esquistosomiasis	Anemia y fatiga continuas

b) Desechos orgánicos. Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aerobias, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de

desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno y ya no pueden vivir en estas aguas peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son las concentraciones de OD y DBO₅.

c) Sustancias químicas inorgánicas. En este grupo están incluidos ácidos, bases, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.

d) Nutrientes vegetales inorgánicos. Amonio, nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y macrófitas mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos aerobios. El resultado es un agua maloliente e inutilizable.

e) Compuestos orgánicos. Muchas sustancias sintéticas y sustancias orgánicas derivadas del petróleo, tales como gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc. acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, debido a que tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.

f) Sedimentos y materiales suspendidos. Muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas, son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua puede dificultar la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, colmatan lagos o pantanos y

obstruyen canales, rías y puertos (Echarri, 1998). Por otra parte, la concentración de sólidos suspendidos suele correlacionarse con las concentraciones de otros contaminantes, debido a fenómenos de adsorción, entre otros (Basílico, 2014).

g) Sustancias radiactivas. Isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y pueden acumularse a lo largo de las cadenas tróficas y alcanzar concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.

h) Contaminación térmica. El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de los cuerpos de agua receptores, con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos.

5.3. Origen de la contaminación de las aguas

5.3.1. Origen natural

Algunas fuentes de contaminación del agua son naturales. Por ejemplo, el mercurio que se encuentra naturalmente en la corteza terrestre y en los océanos, contamina la biosfera mucho más que el procedente de la actividad humana. Algo similar pasa con el arsénico en aguas subterráneas de algunas regiones como el centro de la Argentina. Normalmente, las fuentes de contaminación natural son muy dispersas y no suelen estar caracterizadas por concentraciones muy elevadas, excepto en algunos lugares muy concretos. La contaminación de origen humano, en cambio, se concentra en zonas concretas y, para la mayor parte de los contaminantes, es mucho más peligrosa que la natural (Echarri, 1998).

5.3.2. Origen domiciliario

La contaminación hídrica asociada a la actividad humana es muy variada y puede clasificarse según su origen (doméstico, agrícola, industrial, etc.) o de acuerdo con las fuentes potenciales

de contaminación. Mientras que la primera clasificación se centra en el tipo de contaminantes, la segunda se refiere a la naturaleza de la actividad que puede originar la contaminación. Así, independientemente del tipo de contaminante, las actividades que pueden dar origen a contaminación se suelen clasificar en 6 categorías (Lledó, 2002):

I- Introducción de sustancias en el terreno: fosas sépticas, pozos de inyección y aplicación sobre el terreno.

II- Actividades diseñadas para almacenar, tratar o verter sustancias: vertederos controlados o incontrolados, contenedores y tanques de almacenamiento.

III- Transporte de sustancias: tuberías y operaciones de transporte.

IV- Descarga de sustancias como consecuencia de actividades planificadas: regadío, fertilización, drenaje de minas y esorrentía urbana.

V- Contaminación inducida por modificación del sistema de flujo natural: pozos de producción y excavaciones.

VI- Producidas por actividades antrópicas: interacción agua superficial-subterránea, intrusión marina y lixiviado natural.

En aguas superficiales de zonas urbanas, la contaminación hídrica es esencialmente de tipo orgánica y microbiológica, cuyo origen es debido a la existencia de fosas sépticas, pozos absorbentes, alcantarillado, y vertederos, entre otros. Además de los anteriores contaminantes se debe añadir la presencia de productos químicos de tipo doméstico (detergentes, plaguicidas) y los denominados productos farmacéuticos y de cuidado personal (PFCs) (Lledó, 2002).

Por lo que respecta a las fosas sépticas y pozos absorbentes, el fundamento en el que se basa su instalación es la capacidad depuradora del suelo para degradar las aguas negras, sin embargo, estas aguas terminan contaminando no sólo el suelo sino también los acuíferos subterráneos. En el caso del alcantarillado, su potencial contaminante se debe a las fugas de agua en tuberías o accidentes. La proporción en la que interviene el distinto origen del agua se distribuye en un 40% procedente de las descargas de los inodoros, 30% del aseo personal, 15% de lavadoras y 10% de cocinas. Por lo que respecta a las fosas sépticas y alcantarillado, los contaminantes presentes se caracterizan por su composición orgánica. En las aguas procedentes del alcantarillado se detecta la presencia de bacterias, componentes orgánicos (detergentes, plaguicidas, disolventes, aceites y PFCs) e inorgánicos (N, P, Cu, Pb, Fe, Zn, Mn, entre otros) (Lledó, 2002).

La contaminación de las aguas subterráneas asociada al vuelco de aguas negras es fundamentalmente fecal, por lo que es frecuente la presencia de *E. coli* y *Pseudomonas aeruginosa*, además de nitratos, incremento en el contenido de sales totales y cloruros. La presencia de nitratos suele aparecer cuando las aguas negras descargan directamente sobre la zona no saturada y se origina un ambiente oxidante. Si las condiciones son anaeróbicas o se realiza una descarga directa sobre el acuífero, se produce una disminución del contenido en nitratos junto con presencia de Fe^{2+} disuelto (Lledó, 2002).

Es de destacar, que el vuelco de los efluentes de plantas depuradoras de líquidos cloacales, puede constituir una de las fuentes principales de contaminación hídrica, en especial si el nivel de tratamiento alcanzado es bajo y el cuerpo receptor es un ambiente léntico o de bajo orden lótico (Basílico et al., 2016).

La descarga de residuos sólidos en fuentes hídricas genera tanto la contaminación de las aguas superficiales como las subterráneas. La primera de ellas está asociada a la descarga directa de residuos sólidos en los cuerpos de agua superficiales, y la segunda se produce por efecto del lixiviado que escurre y contamina aguas edáficas, superficiales y subterráneas. En efecto, cuando se depositan residuos sólidos directamente en el agua, esta se contamina a causa de materia orgánica presente en este tipo de residuos y a causa de las sustancias y/o elementos compuestos que vienen mezclados en los residuos sólidos, los cuales se liberan por el contacto con otros residuos causando reacciones perjudiciales para el medio acuático (Montes, 2018).

Por otra parte, cuando los residuos sólidos son enterrados, o volcados en basurales a cielo abierto, no se cuenta con las adecuaciones técnicas para manejar correctamente el lixiviado producido, pudiendo llegar éste a las aguas subterráneas por percolación a través del suelo. Aun siendo dispuestos en rellenos sanitarios, la contaminación del agua derivada de los residuos sólidos puede ocurrir por el indebido tratamiento del lixiviado producido en la operación del relleno. En síntesis, la disposición de residuos sólidos en cuerpos de agua constituye uno de los impactos más serios provocados sobre este recurso natural. Los efectos que causen dependerán de la composición de los residuos. Lo más importante siempre será evitar que las fuentes hídricas sean el destino final de los residuos que la población genera (Montes, 2018).

5.3.3. Origen industrial

Las características de la contaminación hídrica industrial son muy variables en función de la evolución tecnológica y económica del mercado, de las materias primas empleadas y el producto elaborado. En consecuencia, la contaminación de origen industrial es tan variada como el tipo de industrias que las puede originar, aunque son de especial interés, por su

magnitud, toxicidad y el riesgo de contaminación que puedan presentar, las industrias petroquímicas, minera, de procesado de materiales y su manufacturado (Lledó, 2002). No obstante, los mataderos y frigoríficos y otras industrias alimentarias, junto con las textiles y curtiembres, constituyen actividades muy difundidas en la RMBA y con impactos graves sobre los ambientes acuáticos debido al escaso tratamiento que suele darse a los efluentes líquidos vertidos (Basílico et al., 2016).

En relación a la contaminación de los acuíferos subterráneos en el AMBA, es de destacar que se han encontrado trazas de tricloroetileno, tetracloruro de carbono, fenoles y otros compuestos en perforaciones destinadas al abastecimiento de agua cruda para potabilización (AySA, 2019). Estos compuestos son usualmente utilizados en industrias textiles, producción de agroquímicos, galvanoplastia, entre otras (Tabla 4).

La contaminación es tanto de tipo orgánico como inorgánico y puede originarse durante los procesos de producción, transporte o almacenamiento de cualquier actividad industrial. También, puede producirse por vertido de aguas residuales industriales (rotura de alcantarillado o colectores), por la presencia de focos contaminantes, como vertidos, subproductos o residuos de actividades industriales, o prácticas inadecuadas conducentes a la contaminación de suelos (Lledó 2002).

En la tabla 4 se resumen las sustancias contaminantes principales según el sector industrial:

Tabla 4. Sustancias contaminantes principales según el sector industrial. Extraída de Echarri (1998).

Sector industrial	Principales contaminantes emitidos según el sector industrial
Construcción	Sólidos en suspensión, metales, pH
Minería	Sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica, pH, cianu-

	ros
Energía	Calor, hidrocarburos y productos químicos
Textil y curtiembre	Cromo, taninos, tensioactivos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácidos acético y fórmico, sólidos en suspensión
Automoción	Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales
Navales	Petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones, sosas y ácidos
Química inorgánica	Hg, P, fluoruros, cianuros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc. y diversos compuestos de todos ellos
Química orgánica	Organohalogenados, organosilícicos, compuestos cancerígenos y otros que afectan al balance de oxígeno
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos
Pasta y papel	Sólidos en suspensión y otros que afectan al balance de oxígeno
Plaguicidas	Organohalogenados, organofosforados, compuestos cancerígenos, biocidas, etc.
Fibras químicas	Aceites minerales y otros que afectan al balance de oxígeno.
Pinturas, barnices y tintas	Compuestos organoestánicos, compuestos de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co, etc.

5.4. Población

La población del AMBA se encuentra en constante crecimiento. Es por ello, que en esta sección se analiza la cantidad de habitantes de los partidos que forman parte del área de estudio, siendo los mismos Almirante Brown, Avellaneda, Florencio Varela y Quilmes. Los valores analizados se extrajeron del informe publicado por el INDEC en el año 2013 sobre las proyecciones provinciales de población por sexo y grupos de edad 2010-2040. En la Fig. 10, se representa gráficamente el crecimiento poblacional de estas localidades a lo largo de los años.



Figura 10. Proyección del crecimiento poblacional. Fuente: INDEC (2010).

Se puede apreciar que, en los partidos de Almirante Brown, F. Varela y Quilmes el crecimiento poblacional irá en aumento, a diferencia de Avellaneda, donde la cantidad de habitantes se mantendría prácticamente constante. Cabe destacar que existe una dificultad de análisis relacionada con la existencia de asentamientos informales, los cuales en muchos casos no son censados. Por lo tanto, las estimaciones realizadas podrían subestimar el número real de habitantes en cada partido.

Los barrios de emergencia, villas o asentamientos informales son los que se encuentran expuestos directamente a diversas problemáticas ambientales como las inundaciones, contaminación, enfermedades y carencia de servicios esenciales de saneamiento, tales como la adecuada recolección de residuos sólidos y efluentes cloacales. Debido a la persistencia de estas carencias, dichos asentamientos se constituyen, a la vez, como generadores de parte de la contaminación hídrica.

La informalidad de estos barrios se puede atribuir a muchas causas, tales como un bajo nivel de ingresos, un planeamiento urbano inexistente o ineficaz, carencia de suelos con acceso a servicios públicos y/o viviendas de interés social, y un sistema legal disfuncional. La informalidad provoca costos muy elevados para los residentes de estos barrios, relacionados

con una tenencia precaria de la tierra, falta de servicios públicos, discriminación por parte del resto de la población, peligros ambientales, riesgos sanitarios, y derechos civiles no garantizados. También genera un alto costo directo para los gobiernos locales, que deben adoptar programas de mejoras, además de una cantidad sustancial de costos indirectos que surgen del impacto de la informalidad en el terreno de la salud pública, de la violencia criminal y de otros problemas sociales asociados (Fernandes, 2011). Estas condiciones permiten poner de relieve la importancia del ordenamiento territorial (OT), para prevenir antes que remediar el deterioro socioambiental.

Se puede apreciar en el trabajo de Ortiz (2017) que las viviendas con calidad insuficiente se encuentran en gran medida próximas al arroyo las Piedras, siendo a su vez lo primeros damnificados ante inundaciones (Fig. 11).

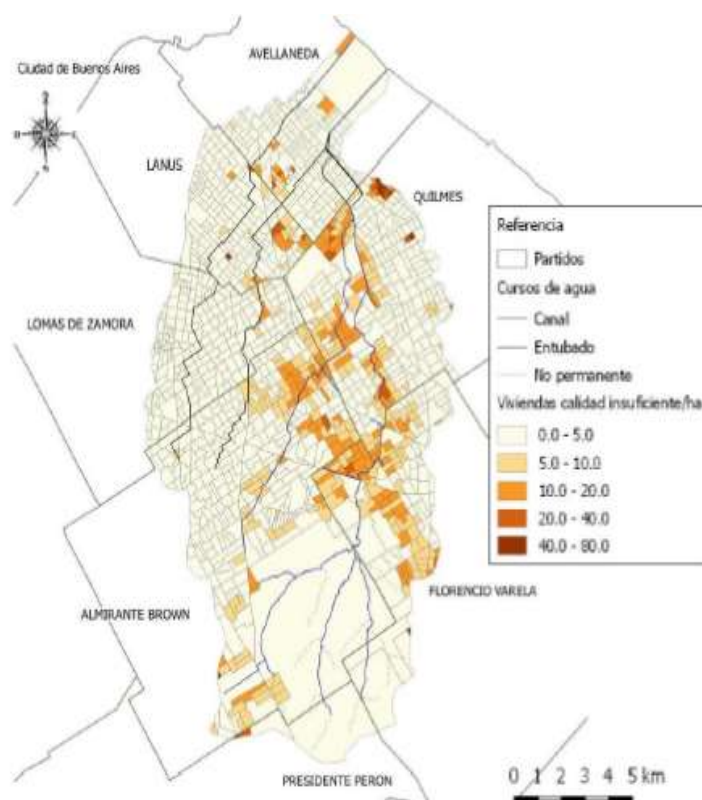


Figura 11. Indicador de calidad constructiva de vivienda. Condición insuficiente (Ortiz, 2017).

El OT se concibe como un proceso y una estrategia de planificación de carácter técnico-político, a través del cual se pretende configurar, en el corto, mediano y largo plazo, una organización del uso y ocupación del territorio, acorde a las potencialidades y limitaciones del mismo, las expectativas y aspiraciones de la población y los objetivos sectoriales de desarrollo (económicos, sociales, culturales y económicos) (Gaspari et al., 2013).

Debido a la historia del crecimiento poblacional de Buenos Aires, el OT en el AMBA, se encuentra ligado a la resolución de las complicaciones generadas por la sobrepoblación de una zona no preparada para abastecer y sostener el crecimiento habitacional. Un claro ejemplo de esta situación, es la formación de asentamientos urbanos informales debido a que el AMBA es la región con mayor potencial económico y de generación de empleo del país.

5.5. Cloacas

La conexión a una red cloacal, es uno de los servicios públicos básicos que debe poseer una vivienda en áreas densamente pobladas, dado que permite desagotar los desechos orgánicos generados en baños, cocinas y lavaderos. En la tabla 5 y Fig. 12, se volcaron los resultados del censo realizado en el 2010 por el INDEC en relación al tipo de desagüe del inodoro. Dentro de las localidades del área de interés de este trabajo, en 2010 se registraron 560.305 viviendas, de las cuales solo el 42,32% poseía cloacas.

Tabla 5. Tipo de desagüe del inodoro en el área de estudio. Fuente: INDEC (2010).

Partido	Total de hogares	Tipo de desagüe del inodoro				Sin retrete
		A red pública (cloaca)	A cámara séptica y pozo ciego	A pozo ciego	A hoyo	
ALMI-RANTE BROWN	156.918	25.087 (15,99%)	75.878 (48,35%)	51.204 (32,62%)	646 (0,41%)	4.103 (2,62%)

AVELLA- NEDA	113.142	76.182 (67,33%)	16.707 (14,77%)	18.540 (16,39%)	272 (0,24%)	1.441 (1,27%)
F. VARE- LA	113.135	30.734 (27,16%)	30.327 (26,81%)	47.494 (41,98%)	534 (0,47%)	4.046 (3,58%)
QUILMES	177.110	105.166 (59,38%)	22.728 (12,83%)	44.116 (24,91%)	957 (0,54%)	4.143 (2,34%)

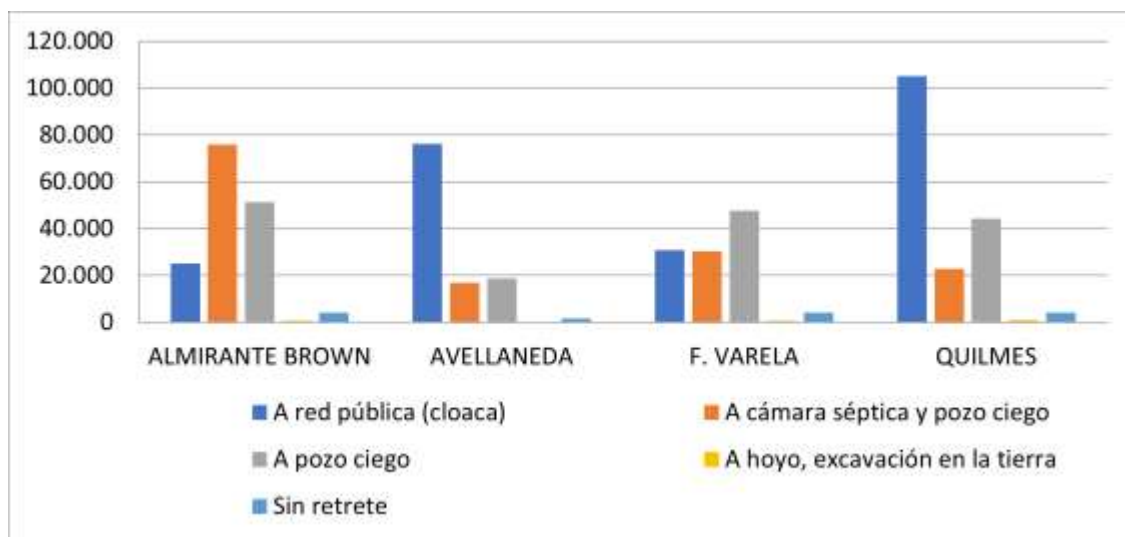


Figura 12. Representación gráfica de la Tabla 5.

5.6. Inundaciones y anegamientos temporarios

Es usual escuchar que se habla de inundaciones y de anegamientos como si fueran sinónimos, pero no lo son. En términos simples, una inundación corresponde a una masa de agua que se sale de su cauce y se dispone temporalmente fuera de él. Diferente es un anegamiento, el cual se define como la acumulación temporal de aguas de lluvias en una determinada porción de territorio (Ferrando, 2006).

Ortiz (2017), aplicó un modelo dinámico de simulación del proceso de transformación de lluvia en escorrentía, donde se simuló un evento de características similares al sucedido en el partido de La Plata. A partir de la modelación se obtuvieron las alturas máximas de inundación y se elaboraron los correspondientes mapas de inundación. Conjuntamente, se

obtuvieron las velocidades máximas en las calles y se elaboraron mapas de inundabilidad dinámica, que representan una medida de la peligrosidad del escurrimiento en la red de drenaje urbana. Lecertua (2014) realizó una simulación similar en el área bajo estudio, obteniéndose los resultados de las Figs. 13 y 14. La Fig. 13, representa la simulación en las calles Av. Monteverde y Fray Mamerto Esquiú, las cuales se encuentran a 4,5 km del Arroyo las Piedras. se puede observar donde se muestran zonas con niveles de agua que superan el límite de los 30 cm (límite establecido de ingreso a las viviendas), con tiempos de inundación de 2 h en el caso de la Fig. 14, la cual representa la situación de las calles Gral. Mosconi y Av. La Madrid, teniendo una distancia del arroyo Las Piedras de 0,75 km se estima tiempos de hasta 30 h de inundación dentro de las viviendas.

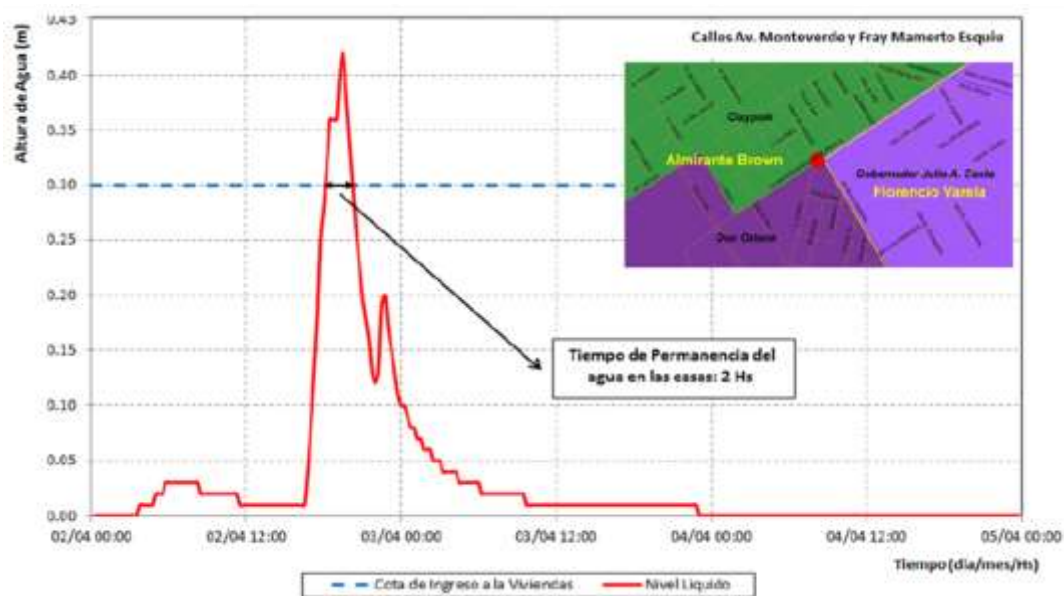


Figura 13. Altura vs. tiempo en la intersección de las calles Av. Monteverde y F. M. Esquiú.
Fuente: Extraída de Lecertua (2014).

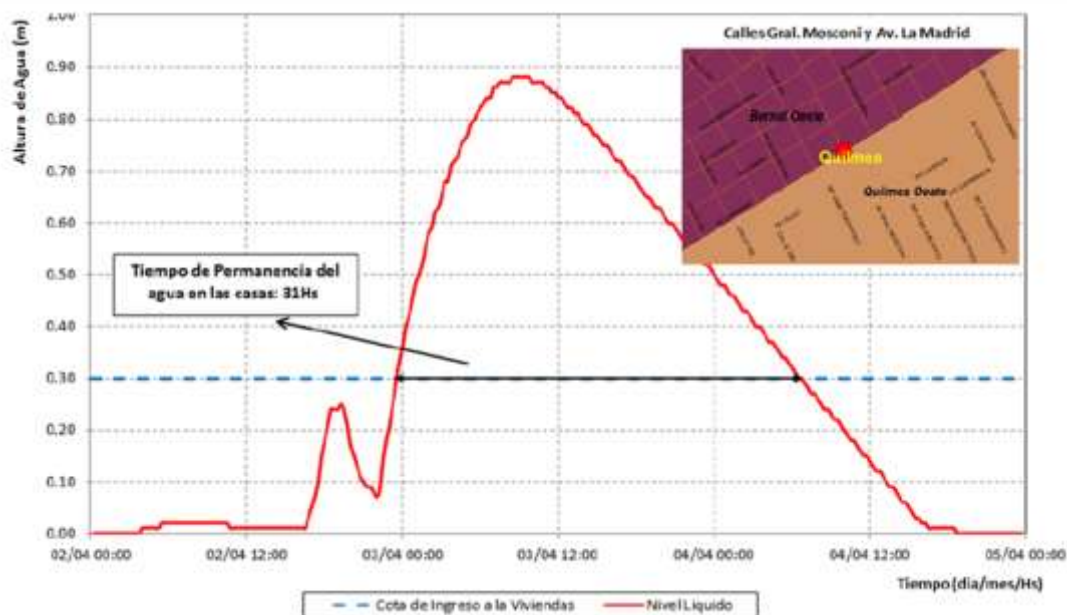


Figura 14. Altura vs. tiempo en la intersección de las calles Gral. Mosconi y Av. La Madrid Grafica.
Fuente: extraída de Lecertua (2014).

La urbanización en las cuencas, que no es organizada ni planificada estratégicamente, se caracteriza entre otras situaciones, por la ocupación de los bordes de los cauces fluviales y áreas bajas con instalaciones urbanas, que avanzan sobre paisajes ambientalmente sensibles. La planificación y gestión de los espacios urbanos bajo reales conceptos de sustentabilidad implica preservar los lechos y riberas, esteros, canales y humedales. Estas zonas deberían ser consideradas como hábitats preferenciales para la recreación de la sociedad, protección de la naturaleza y la biodiversidad, para el control climático y por sobre todo, destinadas a brindar seguridad a la población frente a las amenazas naturales, tales como inundaciones y anegamientos. Por este motivo, no se pueden intervenir los cauces fluviales si no se evalúa previamente sus efectos sobre los ciclos hidrológicos, geomorfológicos y ecológicos, especialmente en términos de conservación y protección de los hábitats de vida silvestre (Vidal, 2010).

La explosión demográfica en el AMBA, llevó al conjunto urbano a ensanchar sus límites y a densificar su planta sobre el territorio, alterando con ello el sistema natural, y especialmente los procesos hidrográficos. Si bien el sitio del conjunto urbano ha sido sometido permanentemente a lo largo de su historia a elevadas presiones por la actividad humana, es a partir de la década de 1950 que se registran las mayores transformaciones, como consecuencia de los procesos de industrialización y de migración urbano-rural. Esto implicó ocupar sistemáticamente lechos de inundación fluvial, alterar fondos y bordes de cauces fluviales, cambiar la naturaleza y geometría de las redes hidrográficas, rellenar humedales y paleocanales, y alterar significativamente la calidad y cantidad de las aguas superficiales y subterráneas. Finalmente, la urbanización de las cuencas ha significado reemplazar los usos agrícolas y cubiertas de vegetación, por sitios baldíos y superficies duras (construcciones en cemento), modificando las tasas de impermeabilización y aumentando la escorrentía superficial y subterránea. Estas transformaciones, han provocado una disminución de la infiltración de las aguas de lluvia y consecuentemente un aumento en el escurrimiento y, por lo tanto, un incremento en la capacidad de erosión y transporte de sedimentos, todo lo cual suele traducirse en la ocurrencia de inundaciones y anegamientos de mayor magnitud (Vidal, 2010).

Las inundaciones son eventos naturales, pero la falta de planeación urbanística, sumado al explosivo crecimiento poblacional ha creado ciudades inseguras, generando con todo ello graves problemas socioambientales que conllevan a pérdidas de bienes económicos, culturales o naturales, gastos en apoyo a damnificados, inversiones de recuperación, disputas legales, descensos en la economía, incrementos en el valor de los seguros, desazón e incertidumbre general, etc. Frente a esta situación, el enfoque tradicional de la

ingeniería hidráulica se orienta hacia una solución o un modo de controlar las inundaciones, operando sobre la amenaza.

Las intervenciones propuestas desde la ingeniería hidráulica para paliar las inundaciones, actualmente trabajan sobre la amenaza y no la planificación preventiva. Pero estas obras de ingeniería, conllevan inversiones económicas muy altas, las cuales son difíciles de lograr. En el AMBA, este enfoque netamente hidráulico omite la valoración de los servicios ambientales de los arroyos, ríos, humedales y se centra únicamente en evacuar los excedentes hídricos de la manera más rápida posible, muchas veces exportando el problema hacia aguas abajo. Al modificar los cauces mediante su rectificación, ensanchamiento y/o canalización, se amplía la capacidad de conducción de agua a expensas de eliminar la vegetación ribereña y alterar drásticamente los ambientes acuáticos. En estos casos, los ríos y arroyos son considerados simplemente como vías de transporte de la escorrentía superficial y los contaminantes. El caso extremo es el entubamiento de cursos de agua, una práctica que se ha abandonado en muchas ciudades del mundo, en algunas de las cuales posteriormente se ha llevado a cabo de manera exitosa la reapertura de ríos y arroyos entubados (Baho et al., 2021).

Es necesario proponer actuaciones diversas ante los episodios de inundaciones, abatiendo la vulnerabilidad, disminuyendo el riesgo hidráulico y valorando los servicios ambientales que brindan los ambientes acuáticos, tales como la autodepuración del agua, posibilidades de recreación, incremento del valor inmobiliario, mejora de la naturaleza y el paisaje (Idagarra, 2010). Por estas razones, se debe integrar la mayor cantidad de disciplinas científicas y técnicas para que las obras de ingeniería se ejecuten desde una mirada integral y no a partir de un enfoque únicamente hidráulico.

5.7. Residuos sólidos urbanos

Según la Ley N°13.592, de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la Provincia de Buenos Aires, los Residuos Sólidos Urbanos son aquellos elementos, objetos o sustancias generados y desechados producto de actividades realizadas en los núcleos urbanos y rurales, comprendiendo aquellos cuyo origen sea doméstico, comercial, institucional, asistencial e industrial no especial asimilable a los residuos domiciliarios. Según un estudio que analizó la composición física promedio de los RSU del AMBA (FIUBA, 2011), las categorías más significativas son los desechos alimentarios (37,65%) y los plásticos (15,22%) (Tabla 6).

Tabla 6. Composición aproximada de los RSU en el AMBA. Fuente: Extraído de FIUBA (2011).

COMPOSICIÓN	PORCENTAJE
Desechos Alimenticios	37,65%
Plásticos	15,22%
Papeles y Cartones	13,80%
Residuos de poda y jardín	12,74%
Materiales Textiles, Madera, Goma, Cuero y Corcho	7,77%

La recolección de los residuos sólidos y su transporte a los sitios de transferencia, tratamiento o disposición final, es responsabilidad de los municipios, sin embargo, para que dicho servicio se lleve a cabo de manera eficaz y eficiente, es necesaria la participación de todos los ciudadanos, quienes deben acondicionar los residuos adecuadamente y sacarlos a la calle (disposición inicial) en los días, sitios y horarios preestablecidos. Para que el proceso se efectúe en forma correcta y satisfactoria el organismo responsable debe garantizar la universalidad del servicio prestado, es decir que todo ciudadano debe ser atendido por la recolección de residuos domiciliarios y el mismo debe ser regular, es decir se deben respetar los sitios, días y horarios (González, 2010).

La recolección de los residuos sólidos urbanos debe ser realizada por los municipios, esto sucede con eficiencia en las zonas donde la urbanización es formal. Pero, en las urbanizaciones informales el servicio de recolección suele ser escaso e insuficiente. Esto es lógico porque estas zonas no suelen ser reconocidas como área urbana por los municipios. Pero la invisibilización de estos generadores de residuos crea un impacto muy alto, ya que estos terminan en basurales a cielo abierto o en cursos de agua cercanos. Otro inconveniente, es la recolección y gestión inadecuada de neumáticos, estos son descartados sin tratamiento por gomerías y usuarios particulares. Esta situación, además del impacto negativo sobre el ambiente, genera focos de enfermedades por la proliferación de roedores, insectos y otros vectores. Otro tema relevante son los elevados porcentajes de residuos de plástico, papeles y cartón que se desechan, representando un sobre costo de transporte y disposición final, ya que podrían ser tratados y reciclados. Finalmente, en muchos puntos del AMBA, pueden observarse microbasurales y puntos de descarga clandestina de carros, vehículos particulares y volquetes transportando áridos y residuos tales como escombros, maderas, alfombras, animales muertos, etc. Lamentablemente, las riberas de muchos ríos y arroyos suelen ser puntos preferidos para realizar esta práctica.

En los últimos años, tras reiteradas denuncias por los vecinos y ONGs, el municipio de Quilmes realiza actividades de limpieza y saneamiento sobre el arroyo Las Piedras. Si bien esto ayuda a minimizar el impacto, trabaja sobre la consecuencia de la problemática, pero no sobre el foco real del problema. Esto queda en evidencia con las noticias periódicas sobre esta problemática (Anexo B).

En el partido de Quilmes hay siete basurales clandestinos a cielo abierto relevados, emplazados en las inmediaciones: San Sebastián I y II, Arroyito, kilómetro 13, Instituciones Unidas o Emporio del Tanque, La Sarita, 9 de Agosto y La Matera (Masciadri, 2009). En

todos hay ‘cirujeo’, que es la actividad donde personas rebuscan entre la basura con el fin de encontrar alimento o algún objeto de valor para la reventa. Desde la comuna hay tolerancia a esta actividad, siempre que se mantenga lo menos visible posible. Los basurales tienen una antigüedad que fluctúa entre los 7-15 años y contienen residuos domiciliarios, patógenos, industriales, cueros con cromo y restos de poda (Masciadri, 2009).

5.8. Toxicología ambiental

Los vuelcos de efluentes sin tratar y algunos residuos urbanos, en ocasiones, liberan en el ecosistema elementos que son tóxicos para la flora, fauna y los habitantes que residen en las zonas de descarga. Cuando un tóxico llega al organismo, dependiendo de la vía de exposición, entra en contacto con las superficies epiteliales del tracto digestivo, del aparato respiratorio o de la piel. Cuando cruza esas membranas y alcanza el torrente sanguíneo, se considera que el tóxico penetró al organismo. La sangre lo transporta a los distintos tejidos y órganos y en uno o en varios de ellos puede llegar a causar un daño permanente o acumularse. La cantidad de tóxico que penetra al organismo puede ser muy diferente de la cantidad inhalada o ingerida, debido a que la sustancia no siempre está totalmente biodisponible. Desde el momento en que el tóxico penetra en el organismo puede ser transformado por diversos mecanismos, originando sustancias más o menos tóxicas que la original. Los daños producidos pueden ser reversibles debido a que las células tengan capacidad de reparar los daños que sufran o bien pueden ser irreversibles y producir una transformación permanente, incluyendo la muerte de la célula (Peña et al, 2001).

Un concepto importante es la susceptibilidad individual, ningún organismo es idéntico a otro y las respuestas tóxicas pueden variar de un individuo a otro. Hay factores que hacen que a exposiciones iguales se observen respuestas similares, sin embargo, la edad, el sexo, el estado

de salud o las diferencias genéticas entre individuos pueden resultar en respuestas diferentes (Peña, et al, 2001). Por este motivo, no toda la población que se ve afectada por la contaminación presenta síntomas o problemáticas en su salud. Pero esto no quita que existan factores que atentan, afectan y modifican la calidad de vida de la población expuesta.

5.9. Enfermedades

La calidad de vida de la población está condicionada por el déficit habitacional, mala calidad de las viviendas, hacinamiento, precariedad laboral, desempleo, contacto con insectos y organismos susceptibles de transmitir enfermedades (vectores), exposición a gases tóxicos, aguas y suelos contaminados. Estos factores, favorecen el desarrollo de dolencias que afectan el bienestar de los habitantes de la cuenca, imponiendo severos límites a la producción de ciudadanía (Masciadri, 2009).

Las viviendas que no poseen acceso a la red de agua potable (agua segura), extraen el agua de las napas freáticas, las mismas que recirculan las aguas negras de los “pozos ciegos”, esto puede generar que el consumo de estas aguas conlleve a la ingesta de microorganismos nocivos para la salud.

En los registros de mortalidad publicados por el departamento de Estadísticas Vitales y Demográficas de la Dirección de Información en Salud de la Provincia de Buenos Aires (2018). Donde, se presta particular atención a los partidos que pertenecen a la cuenca del arroyo Las Piedras, se toma como relevante y alarmante los casos de deceso por causas de enfermedades infecciosas en la localidad de Avellaneda, la cual supera casi en un 20% de casos en relación a los casos de la media del resto de los partidos de la Provincia de Bs.As. A su vez, se destaca en términos generales como relevante que, las causas de mortalidad más significativas son las enfermedades infecciosas y las malformaciones congénitas. Siendo

estas dos causas generalmente asociadas a enfermedades a consecuencia de condiciones de baja calidad de vida por las condiciones sanitarias y contaminación del medio.

Las malformaciones congénitas consisten en defectos ocurridos en algún momento del desarrollo del embrión y las causas de anomalías son de origen genético y/o ambiental. A los agentes ambientales responsables de provocar las malformaciones se los denomina teratógenos, los cuales pueden ser químicos, físicos e infecciosos (Guzmán, 2005).

Los microorganismos se encuentran estrechamente relacionados a nuestras vidas ya sea porque proporcionan un beneficio o porque son agentes causantes de enfermedades (microorganismos patógenos). Entre los agentes patógenos más pequeños, se encuentran los virus; estos parásitos intracelulares poseen la capacidad de infectar bacterias, animales y por supuesto al ser humano. Además, son capaces de provocar enfermedades que van desde alteraciones leves hasta incluso provocar la muerte. Otros agentes patógenos, con mayor nivel de complejidad son las bacterias y hongos (Cabello, 2007).

En el área de estudio, uno de los indicadores de contaminación fecal más destacados son los coliformes totales, que son un grupo de bacterias que se encuentran comúnmente en las plantas, el suelo, los animales e incluso los humanos. Pero la presencia de estos en los cuerpos de agua, son un indicador de que el agua puede estar contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición (Ramo-Ortega, 2008).

6. Metodología

El área estudiada corresponde a la cuenca del arroyo Las Piedras, que abarca parcialmente los partidos de Avellaneda, Florencio Varela, Almirante Brown y Quilmes. Desde hace varias décadas, esta región sufre la intensa actividad humana, ocasionando drásticas modificaciones

del paisaje, los ecosistemas y un alto impacto negativo por los residuos residenciales e industriales. Por esto, se analiza el uso del suelo con una variación temporal y se caracteriza el cuerpo de agua principal mediante un índice de calidad y contaminación orgánica.

Para cumplir con los objetivos planteados, se analizó la evolución demográfica, por medio de un software libre denominado QGIS, siendo las imágenes trabajadas de la cuenca con una variación temporal de 7 años. A su vez, se establecieron cuatro puntos de muestreo para la toma de muestras y relevamiento visual. Tras las mediciones en campo y los parámetros evaluados por el laboratorio se caracterizó el cuerpo de agua con los índices ICA e ICOMO y se compararon con valores obtenidos por un estudio realizado por Elordi (2014).

6.1. Tendencias en el uso del suelo

Con el fin de analizar la evolución del uso del suelo del área estudiada, se utilizaron imágenes tomadas por el satélite artificial Landsat 8, siendo las mismas extraídas de la página Earth Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/>), datadas del mes de mayo del año 2013 y 2020 provistas por el USGS. Este estudio geográfico se realizó con el software “QGIS 3.13.3 with GRAS 7.8.5”.

Con las imágenes extraídas, se efectuó la combinación RGB de las bandas 4, 8 y 3, se le realizó el refinamiento pancromático, la corrección atmosférica y el corte multibanda. Se continuó con las clasificaciones de la cobertura del suelo en 4 clases; área urbana/ SV (sin vegetación), agrícola o áreas verdes, vegetación secundaria o en transición y por último vegetación densa. La clasificación de las 4 áreas de estudio, fue por medio de la conversión de las áreas en polígonos, obteniendo una capa vectorial con la selección de las áreas de interés. Luego, se combinó la capa vectorial y el corte multibanda por medio del

complemento “DZETZACA” y con el comando “r.report” se determinó la superficie correspondiente a cada clase.

6.2. Ubicación de los puntos de muestreo

Para el análisis de los indicadores se tomaron muestras de aguas superficiales en cuatro puntos del arroyo Las Piedras (Fig. 15 y Tabla 7). El primer punto seleccionado (PM 1) se ubica en cercanías a las nacientes del arroyo, el segundo (PM 2) se encuentra a una distancia estimada de 11,5 km de recorrido del arroyo. En este tramo, aproximadamente el 80% de las tierras son destinadas al uso agrícola y la recreación. El tercer punto (PM 3), se ubica a una distancia estimada del PM 2 de 9 km, observándose que en aproximadamente la primera mitad del tramo se encuentra con población asentada sobre la ribera y el tramo restante, además del asentamiento de viviendas en la ribera, presenta industrias químicas y refinerías con vuelco de sus efluentes líquidos al cauce. El cuarto punto de muestreo 4 (PM 4) se ubica a una distancia estimada de 3 km aguas abajo del punto PM3. En este último trayecto relevado, no hay asentamientos sobre la ribera del arroyo, pero si se encuentran industrias con vuelco de efluentes líquidos. En este tramo se evidencia el impacto negativo de las actividades antrópicas debido a los malos olores, la basura y la presencia de sobrenadantes.

Tabla 7. Ubicación de los puntos de muestreo (2020).

Punto de muestreo	Ubicación	Coordenadas
PM 1	Av. E. S. Zeballos y arroyo Las Piedras, Ministro Rivadavia, Bs.As.	-34.86152 ; -58.35505
PM 2	Ruta Prov. N°4 y arroyo Las Piedras, F. Varela, Bs.As.	-34.78354; -58.29849
PM 3	Camino General Belgrano y arroyo Las Piedras, Bs.As.	-35.74681; -58.31052
PM 4	Miguel Ángel Mauriño y arroyo Las Piedras, Bs.As.	-34.72316; -58.31433

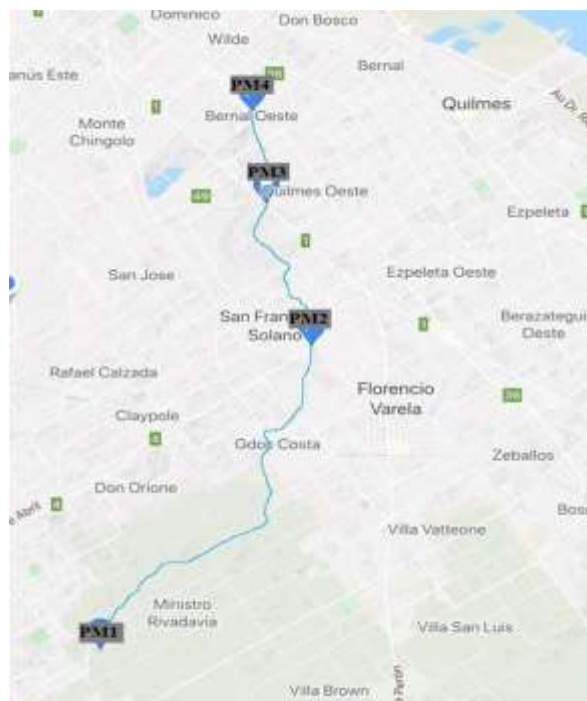


Figura 15. Ubicación de los puntos de muestreo de aguas superficiales en el arroyo Las Piedras. Autoría propia (2020).

La toma de las muestras se realizó entre las 10:00hs y las 12:30hs del 8 de mayo del 2020 y se entregaron al laboratorio ALS Corplab para su análisis, con una temperatura de conservación de 4°C y con sus cadenas de custodia correspondientes (Anexo C, Figura C.1 y C.2). Los métodos utilizados para el análisis de los parámetros se detallan en la Fig. 16 y los resultados de los análisis se encuentran en el anexo D.

Parámetros	Método de Análisis
DBO	Standard Methods - 5210 B
Sólidos Suspendidos Totales	Standard Methods - 2540 E
Nitratos	Standard Methods - 4500 NO3 C e E
Fosfato	SM 4500 P C
Coliformes Fecales	SM 9221 E
Coliformes Totales	Standard Methods - 9221 A, B, e C
Turbidez	SMWW 22ª Ed. 2012 - 2130B
Oxígeno Disuelto (Laboratorio)	SMWW. 22ª Ed. 4500-OG - 2012

Figura 16. Métodos de análisis realizados por el laboratorio ALS Corplab, según cada parámetro de estudio.

La concentración de sólidos disueltos totales (SDT), se estimó a partir del valor de la CE tomada en campo, ya que en las soluciones acuosas la conductividad es directamente proporcional a la concentración de sólidos disueltos (Brusasco, 2014). La estimación se realizó utilizando la Ec. 1, con un factor $f = 0,63$.

$$SDT \left(\frac{mg}{l} \right) = f \times C \quad \text{Ec. 1.}$$

Dónde:

C: conductividad a 25°C, $\mu\text{S}/\text{cm}$

6.3. Índices de calidad y contaminación del agua

Los índices de calidad de agua son herramientas que permiten describir la condición general de un ambiente acuático a partir de variables físicas, químicas y en algunos casos microbiológicos. Este análisis, puede llevarse a cabo sobre las dimensiones temporal y/o espacial, por ejemplo, a lo largo de un río o arroyo o en diferentes puntos sobre la superficie de un embalse, e incluso a diferentes profundidades y en distintos momentos del año. Es de destacar el alcance de este tipo de herramientas, ya que suele resultar insuficiente para integrar información relevante de todos los fenómenos naturales, y en algunos casos tampoco permiten identificar de forma específica el origen de la contaminación hídrica.

Como parte de este trabajo se analizaron los índices de calidad de agua (ICA) y de contaminación por materia orgánica (ICOMO) sobre el arroyo Las Piedras. Para ello, se tomaron muestras de agua en varios puntos del arroyo y se determinaron las variables necesarias para el cálculo de los índices de interés.

Se seleccionaron 4 puntos de muestreo en el arroyo Las Piedras, en los cuales se extrajeron muestras agua superficial y se preservaron para su posterior análisis en laboratorio. Además, se elaboró un registro fotográfico de las condiciones de la ribera y el cuerpo de agua en

estudio, registrándose en cada caso las coordenadas geográficas mediante GPS. A su vez, se midió *in situ* la CE, el pH y la temperatura con un medidor de marca MLAT, modelo PHEC983.

6.3.1. Índice de calidad del agua (ICA)

Este índice es utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos específicos de los ríos a través del tiempo. También, sirve para determinar si un tramo de río es saludable o no. Para la determinación del ICA intervienen 9 parámetros, los cuales son: Coliformes fecales (en NMP/100ml), pH, DBO (mg/L), nitratos (NO₃ en mg/L), fosfatos (PO₄²⁻ en mg/L), cambio de temperatura (en °C), turbidez (en FAU), sólidos disueltos totales (en mg/L) y oxígeno disuelto (OD, en % saturación) (Bonilla et al., 2010).

El ICA adopta un valor máximo determinado en el rango de 0 a 100, el cual disminuye con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio y se clasifica según la tabla 8:

Tabla 8. Valores del ICA y categorías de calidad del agua. Fuente: Extraída de Bonilla (2010).

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

Las aguas con un ICA superior a 90 puntos son capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática y se podría tener contacto directo con ella. En el caso de las aguas categorizadas como medio o regular, tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas. Las aguas con un ICA de categoría

“mala” pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas de contaminación hídrica. Las aguas con categoría “muy mala o pésima” pueden solamente apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no sería consideradas aceptables para actividades que implican el contacto directo con ella (Bonilla et al., 2010).

El ICA utilizado en el presente proyecto fue desarrollado por *National Sanitation Foundation (NSF)* y su cálculo se realiza de acuerdo a la Ec. 2.

$$ICA = \sum_{i=1}^n w_i Q_i \quad \text{Ec. 2.}$$

Dónde:

w_i : es un factor de ponderación que varía entre 0 y 1, propuesto por NSF de cada parámetro.

Q_i : es un valor que se extrae según grafica de valoración del parámetro.

En la Tabla 9, se detallan los valores del factor w_i para cada parámetro evaluado:

Tabla 9. Factores de ponderación propuestos por la NSF. Fuente: Extraída de Bonilla et al. (2010).

Parámetros	Factor w_i
Oxígeno disuelto	0,17
Coliformes fecales	0,15
pH	0,12
Demanda biológica de oxígeno	0,11
Nitratos	0,10
Fosfatos	0,10
Desviación temperatura	0,10
Turbiedad	0,08
Solidos suspendidos totales	0,08

A continuación, se observan las gráficas de valoración de calidad de agua por parámetro, extraídas de Bonilla et al. (2010) (Figs. N° 17 a 25).

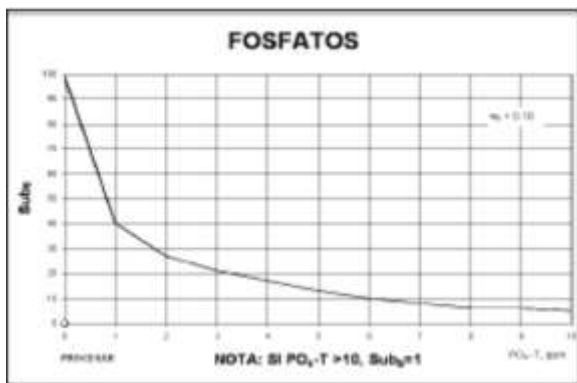


Figura 17. Grafica de valoración del parámetro Fosfatos.
Fuente: Extraída de Bonilla (2010).

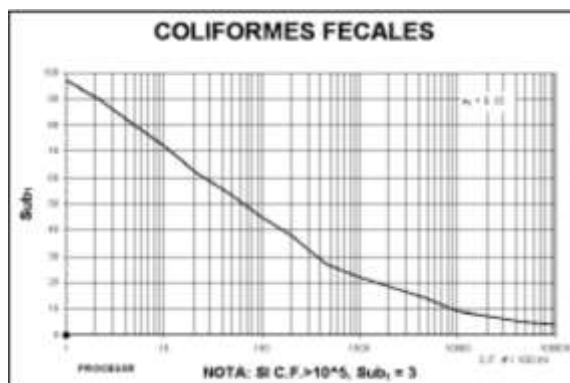


Figura 18. Grafica de valoración del parámetro Coliformes Fecales. Fuente: Extraída de Bonilla (2010).

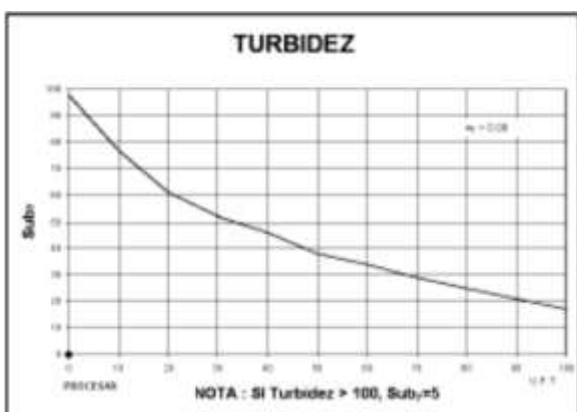


Figura 19. Grafica de valoración del parámetro Turbidez.
Fuente: Extraída de Bonilla (2010).

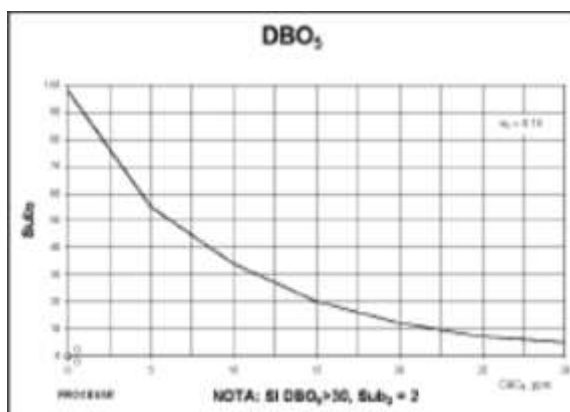


Figura 20. Grafica de valoración del parámetro DBO₅.
Fuente: Extraída de Bonilla (2010).

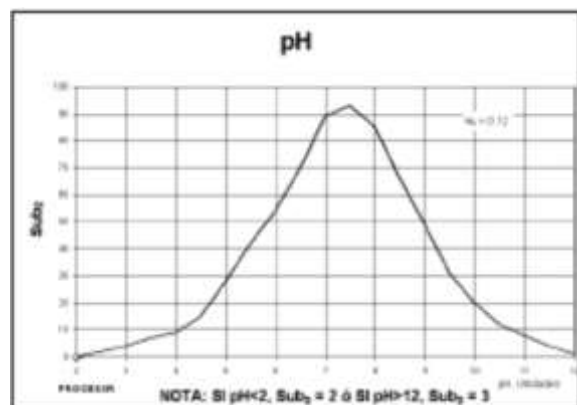


Figura 21. Grafica de valoración del parámetro pH.
Fuente: Extraída de Bonilla (2010).

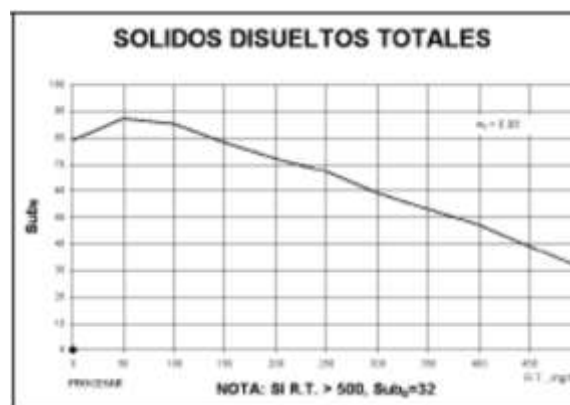


Figura 22. Grafica de valoración del parámetro SDT.
Fuente: Extraída de Bonilla (2010).

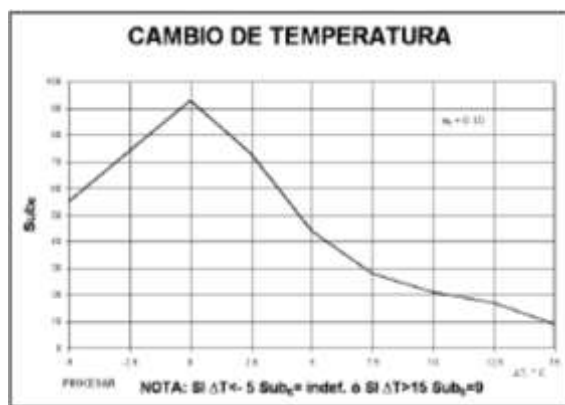


Figura 23. Gráfica de valoración del parámetro Cambio de temperatura. Fuente: Extraída de Bonilla (2010).

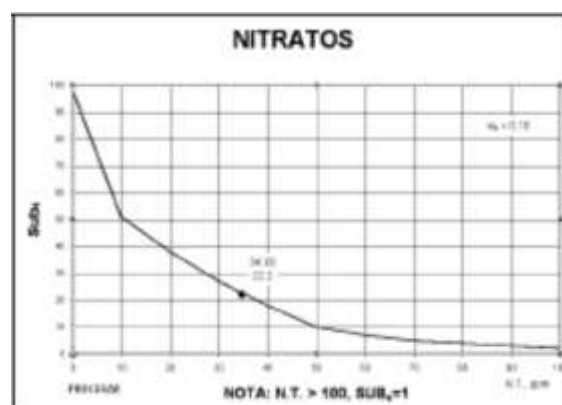


Figura 24. Gráfica de valoración del parámetro Nitratos. Fuente: Extraída de Bonilla (2010).

Para el parámetro de Oxígeno Disuelto (OD) primero es necesario calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua. Para esto hay que identificar el valor de saturación de OD según la temperatura del agua y la presión.

El porcentaje de saturación del oxígeno en agua es el porcentaje de oxígeno contenido en una muestra de agua relacionado con la cantidad de oxígeno presente en la misma en su punto de saturación a la temperatura y presión especificada (López, 2018). Para su cálculo se puede aplicar la Ec. 3 tomando la presión atmosférica de 760 mm Hg.

Ec. 3:

$$\%SAT = -0.6537153 - 0.0104799 * T + 6.918079 * OD + 0.2075711 * T * OD - 0.0129793 * OD * OD$$

Dónde:

% SAT es el porcentaje de saturación de oxígeno

T es la temperatura en °C

OD es la concentración de oxígeno disuelto en mg/l o ppm de oxígeno.

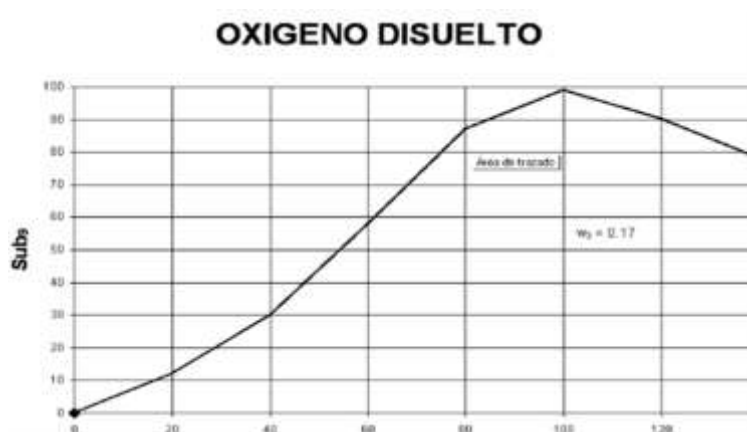


Figura 25. Gráfica de valoración del parámetro Oxígeno disuelto.
Fuente: Extraída de Bonilla (2010).

6.3.2. Índice de contaminación por materia orgánica (ICOMO)

El índice de contaminación por materia orgánica se calcula a partir de 3 parámetros, los cuales son: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), coliformes totales y porcentaje de saturación del oxígeno, las cuales, en conjunto recogen efectos distintos de la contaminación orgánica, tal como lo demuestra la ausencia de correlaciones entre ellas (Ramírez et al., 1997). En las Fig. 26, 27 y 28 se observan los parámetros individuales y su relación concentración-calidad.

COLIFORMES TOTALES (NMP-100 cm ⁻³)		
Concentración	Fuente	Calidad
50 - 100	TVA	Recreación
100 - 1.000	TVA	Recreo, pesca
0	RD	Potable
1.000	MS	Potable (desinfección). Contacto primario
5.000	MS	Agrícola. Contacto secundario
20.000	MS	Potable (tratamiento convencional)

Figura 26. Concentraciones de referencia de coliformes totales para el ICOMO. Fuente: Ramírez et al. (1997).

DBO (g·m ⁻³)		
Concentración	Fuente	Calidad
0,75 - 2	TVA	Recreación
1,5 - 3,5	TVA	Recreo, pesca
< 1	N y V	Normal
1 - 3	N y V	Aceptable
3 - 6	N y V	Calidad dudosa
> 6	N y V	Anormal
1 - 3	M	Oligosaprobio
3,5 - 12	M	Mesosaprobio
15 - 100	M	Polisaprobio
> 100	M	Eusaprobio

Figura 27. Concentraciones de referencia de DBO para el ICOMO. Fuente: Ramírez et al. (1997).

OXÍGENO (g·m ⁻³)		
Concentración	Fuente	Calidad
6,5 - 7,5	TVA	Recreación
5 - 7	TVA	Recreo, pesca
> 3	USA	Abastecimiento humano
> 4	USA	Vida piscícola
>4	MS	Preservación flora y fauna. Aguas cálidas
> 5	MS	Aguas frías
>75 %	CEE	Consumo humano
>70 %	MS	Contacto primario y secundario (recreación)

Figura 28. Concentraciones de referencia de oxígeno para el ICOMO. Fuente: Ramírez et al. (1997).

El ICOMO es el valor promedio de los índices de cada una de las variables elegidas. Este indicador lo describe Ramírez et al. Con la siguiente formula:

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

Para el cálculo se requiere de la valoración de cada variable (Figuras 29, 30 y 31).

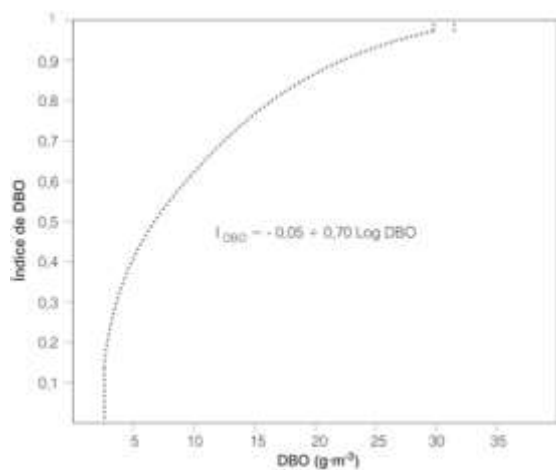


Figura 29. Gráfico para la valoración del índice de DBO (Ramírez 1997).

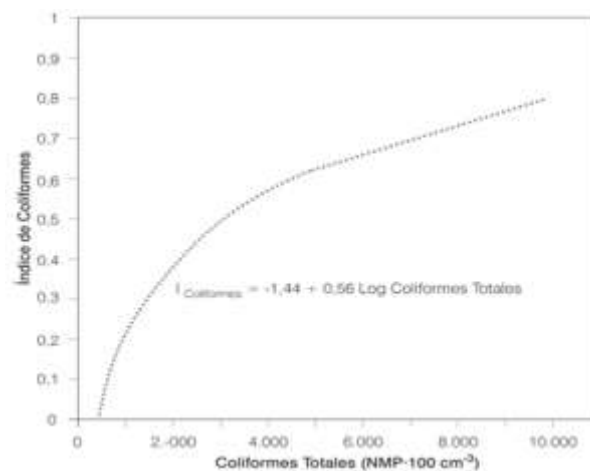


Figura 30. Gráfico para la valoración del índice de Coliformes Totales (Ramírez 1997).

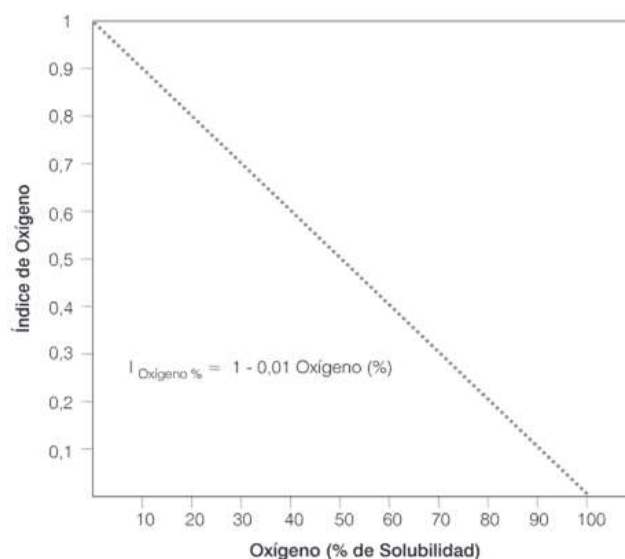


Figura 31. Gráfico para la valoración del índice de Oxígeno (Ramírez 1997).

Con el valor obtenido se clasifica la calidad del agua (Tabla 10):

Tabla 10. Valores del ICOMO y categorías de contaminación hídrica. Fuente: Ramírez et al. (1997).

Valor del Índice ICOMO	Contaminación	Escala de Color
0,0-0,2	Ninguna	Azul
0,2-0,4	Baja	Verde
0,4-0,6	Media	Amarillo
0,6-0,8	Alta	Naranja
0,8-1,0	Muy alta	Rojo

Para comparar la situación del arroyo Las Piedras entre el trabajo realizado por Elordi (2014) y el presente (2020), se extrajeron los valores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los muestreos realizados en junio del 2014 y se calcularon los valores del ICA e ICOMO.

7. Resultados y discusión

7.1. Análisis del uso del suelo

Tras procesar las imágenes satelitales de la cuenca arroyo Las Piedras, fechadas en mayo del año 2013 y mayo del año 2020, se obtuvo un reporte sobre la cantidad de hectáreas ocupadas a cada clase trabajada (Tabla 11). Tras el análisis del reporte, se observa que en el periodo de siete años el área urbana aumentó un 27,5% sobre las áreas agrícolas y las áreas verdes. Reduciendo el 81% las áreas agrícolas, 19% la vegetación densa y 14% la vegetación secundaria.

Tabla 11. Cobertura del suelo en hectáreas.

Tipo de cobertura	Año 2013 en ha	Año 2020 en ha	Variación en %
Área urbana sin vegetación	12822	16350	+27,5
Área agrícola	1813	344	-81
Vegetación secundaria o en transición	9899	8519	-14
Vegetación densa	1938	1564	-19

Al observar los mapas del uso de los suelos de la cuenca (Fig. 32), se puede apreciar que los sectores medio y bajo de la cuenca se encuentran ocupadas casi en su totalidad por áreas urbanas, siendo la misma casi de color uniforme con escasas áreas ocupadas por vegetación.

Al comparar las dos imágenes con la variación de siete años, se aprecia que el aumento del

área urbana se intensificó reduciendo las áreas verdes de la cuenca baja y en la cuenca alta en el sector suroeste, donde se observa un gran crecimiento urbano. A su vez, se aprecia que las áreas ocupadas por actividades de la agricultura fueron transformadas a vegetación secundaria. Este aumento del uso de las tierras con fines urbanos, no es una situación aislada de la cuenca, ya que esta, se encuentra situada dentro del AMBA y esta región posee un alto grado de urbanización. Argentina es un país con un alto grado de urbanización, siendo el 92% la población urbana, en donde el AMBA, representa el 31% de la población total del país. A su vez, tiene una estructura concéntrica en torno a CABA, que se puede sectorizar por los ingresos económicos per cápita, en el cual el centro no coincide con CABA o con el centro comercial de la ciudad, sino que se encuentra algo desplazado hacia el norte, incluyendo partidos del conurbano. El porcentaje de población con necesidades básicas insatisfechas en CABA es 7,0%, pero en el sur de la ciudad asciende a 15,2%, mientras que en el norte es sólo 3,8%. Los asentamientos habitacionales informales suelen ser más frecuentes en la periferia del sur (Goytia, et al., 2017).

Al visualizar la imagen de la cuenca con los usos del suelo, se aprecia que cuenca abajo hay un mayor crecimiento urbano, siendo el factor determinante su cercanía a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

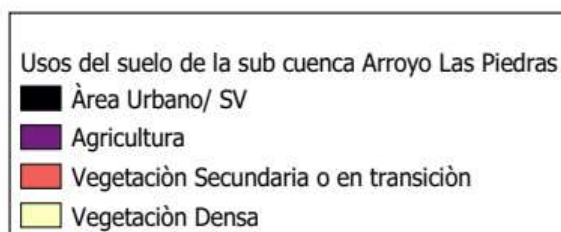
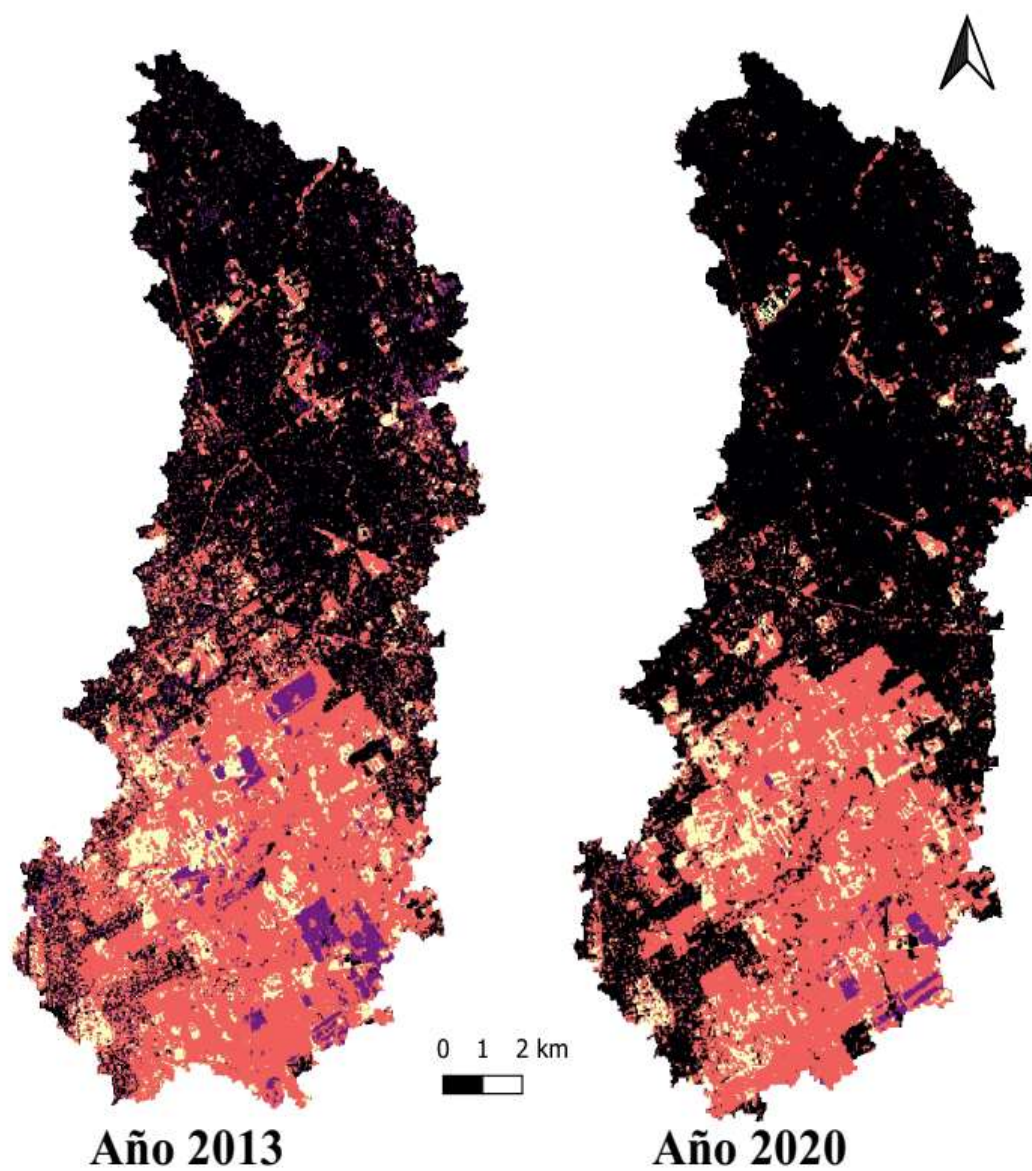


Figura 32. Usos de los suelos de la cuenca Arroyo Las Piedras 2013-2020. Autoría propia (2021).

Es importante destacar que la topografía de la cuenca (Fig. 33) es plana, con bajas pendientes y escaso desnivel con referencia al nivel mar. Estas condiciones favorecen las inundaciones en grandes extensiones cuando hay un volumen alto de precipitaciones en un corto lapso de tiempo.

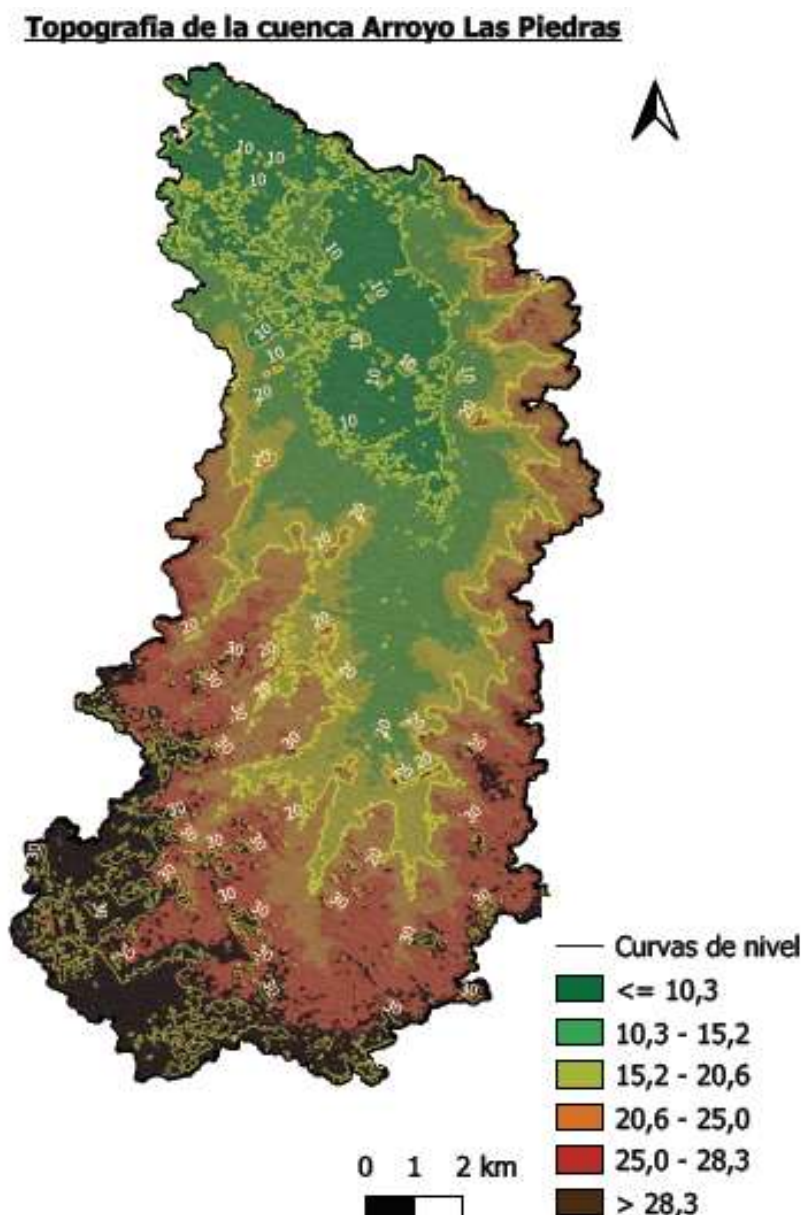


Figura 33. Representación gráfica de la topografía de la cuenca Arroyo Las Piedras. Fuente: Autoría propia (2021).

7.2. Relevamiento visual

A partir del relevamiento de los cuatro puntos de análisis PM1, PM2, PM3 y PM4 se observaron tempranamente los impactos de las actividades antrópicas. Ya en el PM1 (Figs. 34 y 35), casi en las nacientes del arroyo y en un entorno con escasa urbanización, se registraron burbujeo desde los sedimentos y presencia de espumas, ambos indicadores de contaminación hídrica de tipo orgánica. Al mismo tiempo, se observaron bolsas plásticas y botellas atrapadas por la vegetación a la altura del nivel promedio de inundación en periodo de precipitaciones. En este punto no se observan viviendas ni industrias sobre el cauce, pero a corta distancia hay un barrio en desarrollo con presuntas descargas líquidas sobre este.



Figura 34. PM1. Se aprecia escasa urbanización, vegetación abundante, botellas y bolsas plásticas retenidas en la vegetación, ante la elevación del nivel de inundación del arroyo (círculos amarillos).



Figura 35. PM1. Se observan residuos urbanos, burbujeo, sobrenadantes y restos de construcción edilicia (caños y partes estructurales de cemento).

En el PM2 el alto impacto negativo de la urbanización es notorio. En este punto hay precarias viviendas sobre la vera del arroyo y un volumen alto de basura de diferente índole, como restos orgánicos, botellas, colchones, neumáticos, carrito de bebé, ropa, inodoro, entre otros (Figs. 36 a 39). El flujo de agua es turbulento, con sobrenadantes (probablemente hidrocarburos), e islas de residuos sólidos.



Figura 36. PM2. Islas de basura retenidas por ramas y la baja velocidad de las aguas.



Figura 37. PM2. Viviendas precarias sobre el contorno del arroyo y residuos urbano.



Figura 38. PM2. Sobrenadantes en el centro del arroyo de supuestos derivados de hidrocarburo, islas de acumulación de basura y un colchón.



Figura 39. PM2. Bolsas de basura con restos urbanos, bidones, tapas de inodoros y maderas.

El PM3 se observa impactado por la urbanización e industrias, el ancho del arroyo es de 3 a 4 veces mayor al del PM1 y presenta residuos sobre el cauce al igual que el PM2, además se observaron vehículos y partes de ellos hundidos (estos son descartados generalmente por actividades delictivas), olor nauseabundo y presunta grasa como sobrenadante retenido por la basura y vegetación de la vera del cauce (Figs. 40 a 43). Se sospecha que la materia orgánica presente como sobrenadantes de color blanco en el agua es generada por una refinería cercana, dado que la misma ha sufrido clausuras por diferentes órganos de control por la ausencia en el tratamiento de sus efluentes y cañerías clandestinas. Frente a esta empresa, se encuentra un barrio de viviendas sociales con familias reubicadas de asentamientos informales.



Figura 40. PM3. A la derecha de la imagen hay viviendas precarias. En los contornos hay acumulación de basura y un sobrenadante blanco, el cual se sospecha que procede de grasa de origen animal, residuo de los procesos de la refinería ubicada a ala izquierda de la imagen.



Figura 41. PM3. Sobrenadante blanco y residuos sólido.



Figura 42. PM3. Restos de partes de vehículos.



Figura 43. PM3. Latas de pintura y basura sumergidas en el arroyo.

El tramo PM3-PM4 posee una mayor densidad poblacional de viviendas formales y de asentamientos informales, mataderos y frigoríficos. Visualmente posee un mayor volumen de residuos que los puntos anteriores, siendo que la mitad del arroyo se encuentra interrumpido por una barrera de basura, ramas y restos orgánicos (Figs. 44, 45 y 46). Un claro ejemplo de la ausencia de control y recursos en la región, es lo sucedido en el momento de la toma de muestras, donde se observó cómo dos individuos tiraron un animal muerto al curso de agua para desecharlo.



Figura 44. PM4. Residuos urbanos en ambas márgenes.



Figura 45. PM4. Bolsas cerradas de restos domiciliarios, en el centro del arroyo se observan residuos.



Figura 46. PM4. Bolsas, botellas, animales entre otros residuos retenidos por la retención de neumáticos y ramas.

7.3. Análisis de los resultados fisicoquímicos y microbiológicos

Con los resultados de los 14 parámetros evaluados en los 4 puntos del arroyo (Tabla 12) y las gráficas con las representaciones (Figs. 47a 53), se observó cómo relevante que:

- Los valores de pH descendieron levemente a lo largo del arroyo.
- La temperatura del agua aumentó entre el punto inicial y final 5°C siendo que la temperatura ambiente solo varió 1,8°C.

- La conductividad se mantuvo con una variación mínima y mostró su mayor valor en el PM3.
- La concentración de oxígeno disuelto disminuyó a lo largo del arroyo.
- El porcentaje de saturación de oxígeno disuelto se observa fuertemente impactado, con una reducción marcada a partir del PM2.
- La concentración de fosfato tuvo un incremento notable en el PM2, siendo el trayecto PM2-PM3, donde se encuentra la mayor densidad poblacional, con viviendas precarias construidas incluso sobre la ribera del arroyo.
- En el PM3 los sólidos disueltos totales (SDT) tuvieron un valor por encima de la media promedio de los otros puntos evaluados.
- Los sólidos suspendidos totales muestran un aumento notorio en el PM4, se sospecha que esto se debe a que el arroyo posee un mayor caudal, provocando la resuspensión de las partículas.
- En el PM4 se aprecia un alza del valor de los coliformes totales.

Tabla 12. Valores de las variables físico-químicas y microbiológicas determinadas en los puntos de muestreo de aguas superficiales. Fuente: ALS CORPLAB (2020).

Parámetro	Unidades	PM 1	PM 2	PM 3	PM 4
pH	u de pH	7,75	7,72	7,63	7,37
Temperatura agua	°C	14,5	17,6	18,6	19,1
Temperatura ambiente	°C	16,0	17,0	17,4	17,8
Conductividad	µS/cm	1000	1040	1140	970
DBO	mg/L	< 10	< 10	< 10	< 10
OD	mg/L	3,2	1,2	1,9	1,0
% OD	% mg/L	30,83	11,83	19,58	10,02
Fosfatos	mg/L	1,6	5,4	1,1	2,5

Nitratos	mg/L	< 5,0	< 5,0	< 5,0	< 5,0
SDT	mg/L	630	655	718	611
SST	mg/L	1,0	2,9	1,3	60
Coliformes fecales	NMP/100 ml	< 3	< 3	< 3	< 3
Coliformes totales	NMP/100 ml	240	130	130	350
Turbidez	NTU	3,2	31,1	8	21,4

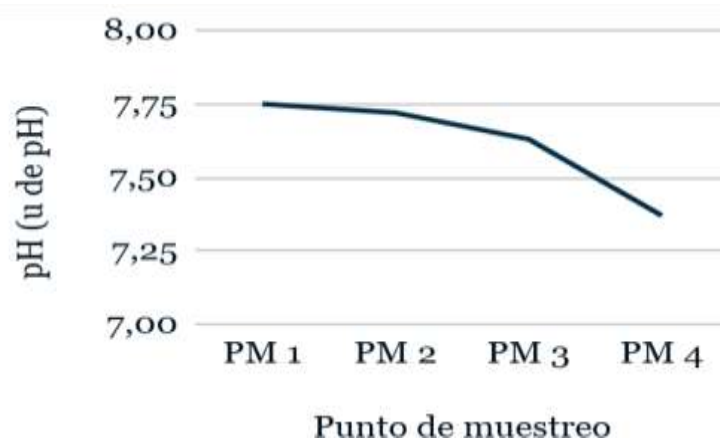


Figura 47. Representación gráfica de los valores de pH por punto de muestreo del arroyo Las Piedras.

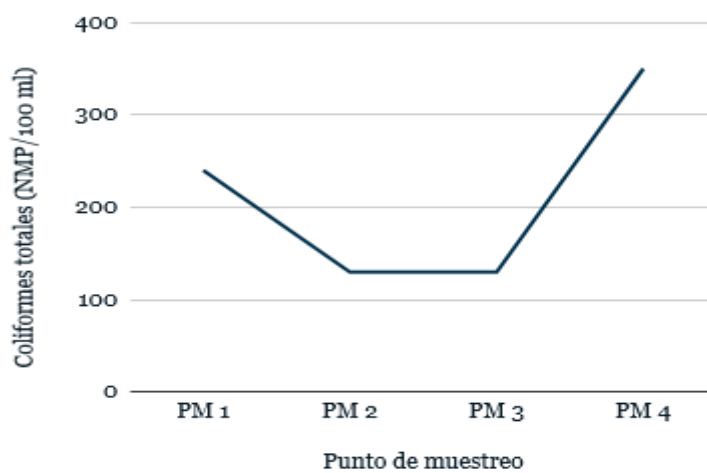


Figura 48. Representación gráfica de los valores de Coliformes totales por punto de muestreo del arroyo Las Piedras.

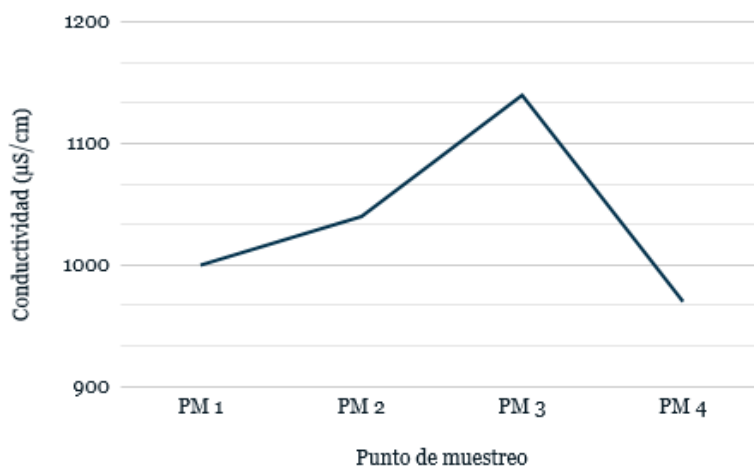


Figura 49. Representación gráfica de los valores de conductividad eléctrica en los puntos de muestreo del arroyo Las Piedras.

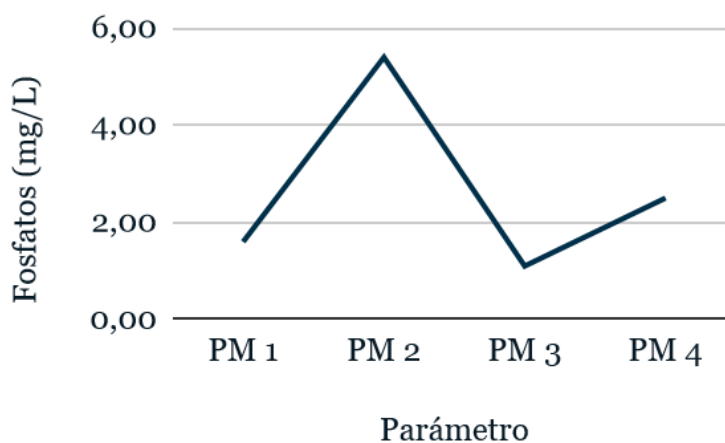


Figura 50. Representación gráfica de los valores de Fosfato por punto de muestreo del arroyo Las Piedras.

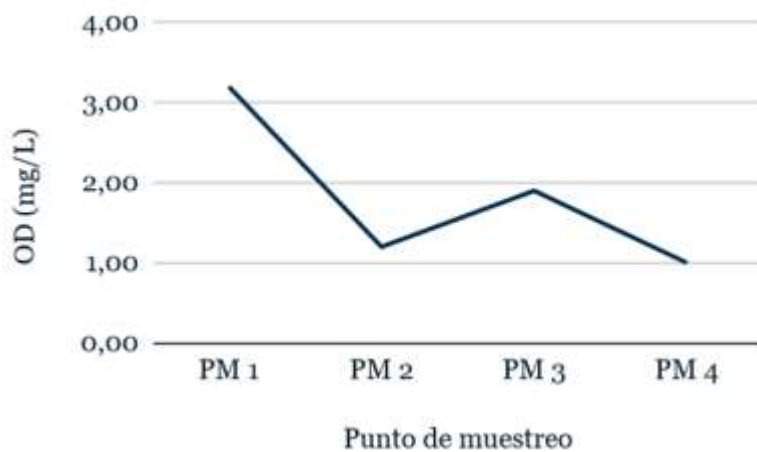


Figura 51. Representación gráfica de los valores de Oxígeno Disuelto por punto de muestreo del arroyo Las Piedras.

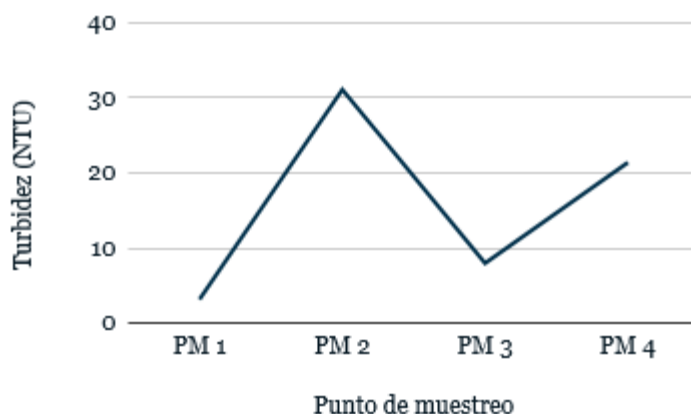


Figura 52. Representación gráfica de los valores de Turbidez por punto de muestreo del arroyo Las piedras.

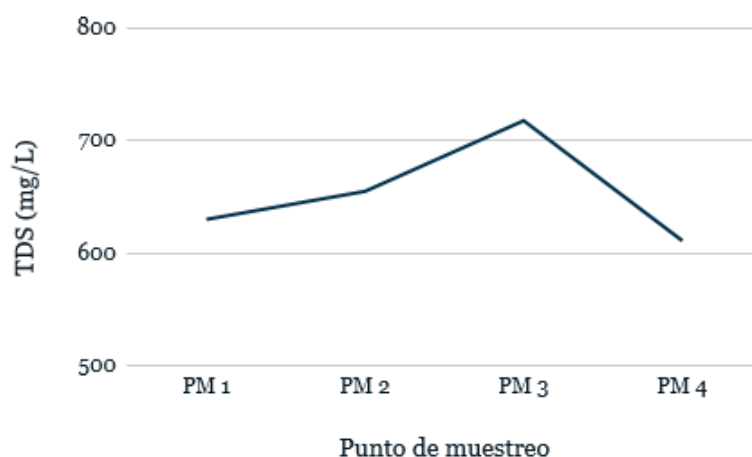


Figura 53. Representación gráfica de los valores de TDS por punto de muestreo del arroyo Las Piedras.

7.4. Índices ICA e ICOMO

Todos los valores del ICA se encontraron dentro de la calificación “media/regular”, el PM1 fue el de mejor calidad dentro de los 4 puntos, continuando el PM3, PM4 y por último el PM2.

Con respecto al índice de contaminación orgánica “ICOMO” en los PM1, PM2 y PM4, los valores registrados se mantuvieron en el mismo rango de contaminación media. Por el contrario, en el PM3 se registró un nivel de contaminación “**muy alto**”.

7.4.1. Resultados ICA

Tras los cálculos realizados, con el fin de obtener la calificación ICA de cada punto de muestreo analizado del arroyo Las Piedras, se observa que los resultados indicados en las tablas 13 a 16, se encuentra en la categoría media. Si bien los valores ICA no difieren ampliamente, se puede destacar que el PM1 y el PM3 poseen valores mayores que en los PM2 y PM4. Indicando que los PM2 y PM4 se encuentran con una calidad inferior que los PM1 y PM3.

Las variables que contribuyeron con un mayor valor en el ICA fueron el oxígeno disuelto, los fosfatos y la turbidez.

Tabla 13. Valor del índice ICA en PM 1

Parámetro	Unidades	Valor	Q _i	W _i	Total
pH	u de pH	7,75	89,9	0,12	10,79
Temperatura	°C	1,5	80	0,1	8,00
DBO	mg/l	0	45	0,11	4,95
% OD	% mg/l	30,83	20	0,17	3,40
Fosfatos	mg/l	1,6	32	0,1	3,20
Nitratos	mg/l	0	90	0,1	9,00
SDT	mg/l	630	32	0,08	2,56
Coliformes fecales	Nmp/100 ml	0	90	0,15	13,50
Turbidez	NTU	3,2	90	0,08	7,20
				Valor del ICA Σ	62,60

Tabla 14. Valor del índice ICA en PM 2

Parámetro	Unidades	Valor	Q _i	W _i	Total
pH	u de pH	7,72	90,1	0,12	10,81
Temperatura	°C	0,6	90	0,1	9,00
DBO	mg/l	0	45	0,11	4,95
% OD	% mg/l	11,83	6	0,17	1,02
Fosfatos	mg/l	5,4	11	0,1	1,10
Nitratos	mg/l	0	90	0,1	9,00
SDT	mg/l	655	32	0,08	2,56
Coliformes fecales	Nmp/100 ml	0	90	0,15	13,50
Turbidez	NTU	31,1	50	0,08	4,00
				Valor del ICA Σ	55,94

Tabla 15. Valor del índice ICA en PM 3

Parámetro	Unidades	Valor	Q _i	W _i	Total
pH	u de pH	7,63	91,1	0,12	10,93
Temperatura	°C	-1,2	82	0,1	8,20
DBO	mg/l	0	45	0,11	4,95
% OD	% mg/l	16,20	8	0,17	1,36
Fosfatos	mg/l	1,1	38	0,1	3,80
Nitratos	mg/l	0	90	0,1	9,00
SDT	mg/l	718	32	0,08	2,56
Coliformes fecales	Nmp/100 ml	0	90	0,15	13,50
Turbidez	NTU	8	78	0,08	6,24
Valor del ICA Σ					60,54

Tabla 16. Valor del índice ICA en PM 4

Parámetro	Unidades	Valor	Q _i	W _i	Total
pH	u de pH	7,37	91,8	0,11	10,10
Temperatura	°C	-1,3	81	0,1	8,10
DBO	mg/l	0	45	0,11	4,95
% OD	% mg/l	13,41	7	0,17	1,19
Fosfatos	mg/l	2,5	25	0,1	2,50
Nitratos	mg/l	0	90	0,1	9,00
SDT	mg/l	611	32	0,08	2,56
Coliformes fecales	Nmp/100 ml	0	90	0,15	13,50
Turbidez	NTU	21,4	59	0,08	4,72
Valor del ICA Σ					56,62

7.4.2. Resultados ICOMO

Tras los cálculos realizados, con el fin de obtener los valores del índice de contaminación orgánica (ICOMO) de cada punto de muestreo analizado del arroyo Las Piedras, se observa que los resultados indicados en las Tablas 17 a 20, se encuentra en la categoría de contaminación media. Si bien los valores ICOMO no difieren ampliamente, se puede destacar que el PM2 y el PM4 poseen valores mayores que PM1 y PM3, indicando mayor contaminación en los PM2 y PM4.

La variable que contribuye de manera directa al valor del indicador es el oxígeno disuelto, ya que a mayor concentración de oxígeno disuelto menor contaminación orgánica.

Tabla 17. Valor del índice ICOMO en PM 1

Parámetro	Unidades	Valor	Valoración
DBO	mg/l	<10	0,65
Coliformes totales	NMP/100 ml	240	0
% OD	%mg/l	30,83	69
ICOMO=			0,45

Tabla 18. Valor del índice ICOMO en PM 2

Parámetro	Unidades	Valor	Valoración
DBO	mg/l	<10	0,65
Coliformes totales	NMP/100 ml	130	0
% OD	%mg/l	17,89	0,88
ICOMO=			0,51

Tabla 19. Valor del índice ICOMO en PM 3

Parámetro	Unidades	Valor	Valoración
DBO	mg/l	<10	0,65
Coliformes totales	NMP/100 ml	130	0
% OD	%mg/l	16,20	0,80
ICOMO=			0,48

Tabla 20. Valor del índice ICOMO en PM 4

Parámetro	Unidades	Valor	Valoración
DBO	mg/l	<10	0,65
Coliformes totales	NMP/100 ml	350	0
% OD	%mg/l	13,41	0,90
ICOMO=			0,52

En la tabla 21, se resumen los valores obtenidos de los indicadores ICA e ICOMO. Donde se aprecia que los PM1 y PM2 se encuentran con una mayor calidad y menor contaminación que los PM3 y PM4.

Tabla 21. Resultados de los valores ICA e ICOMO.

Índice	PM 1	PM 2	PM 3	PM 4
ICA	62,60	55,94	60,54	56,62
ICOMO	0,45	0,51	0,48	0,52

Los valores obtenidos para cada punto de muestreo, se graficaron en las Figs. 54 y 55. Es en la Fig. 54, donde se aprecia que el ICA tiende a disminuir a lo largo del trayecto del arroyo evaluado. A su vez, en la Fig. 55 se observa una tendencia al aumento del ICOMO a lo largo del trayecto, indicando un aumento de contaminación de materia orgánica sobre las aguas evaluadas.

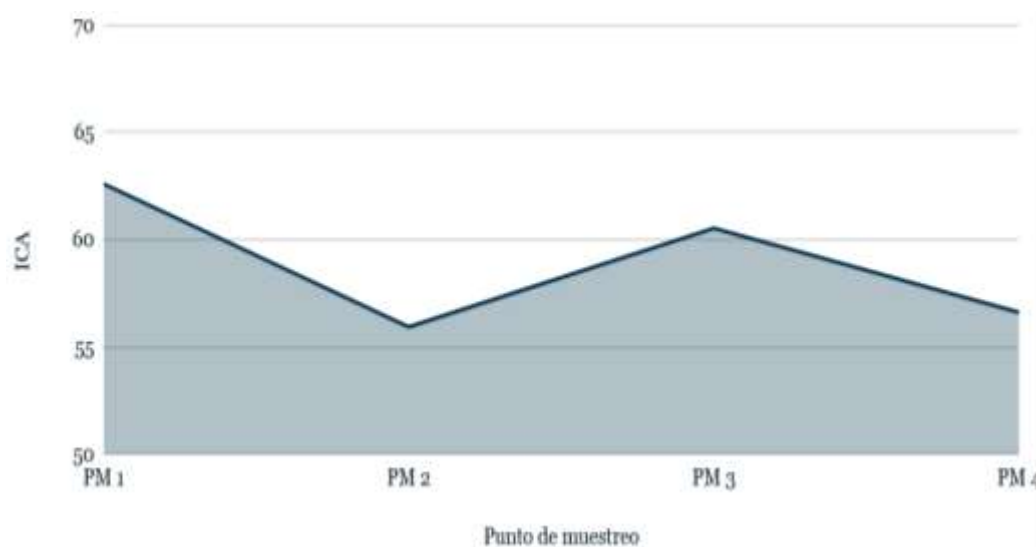


Figura 54. Evolución del índice ICA

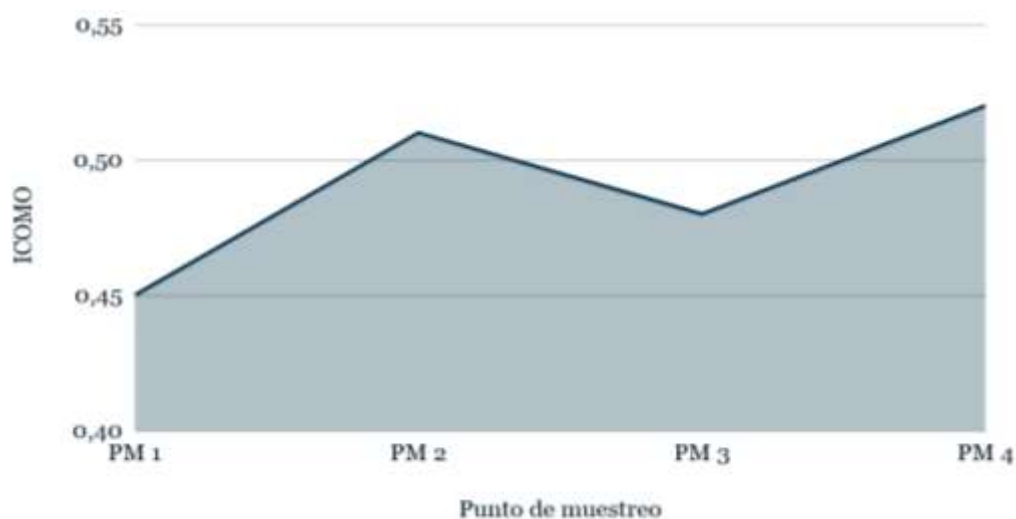


Figura 55. Evolución del índice ICOMO

7.5. Discusión

7.5.1. Comparación de parámetros con niveles límites permitidos

El AMBA es una región compleja en términos de legislación ambiental y aún más en la normativa sobre efluentes líquidos. En el AMBA, conviven diferentes autoridades de control de descarga de efluentes líquidos sobre aguas superficiales y otras. Algunas de las autoridades, por ejemplo la Autoridad del Agua (ADA) y la Autoridad de Cuenca Matanza-Riachuelo (ACUMAR), establecen niveles guías permitidos para los vertidos. Por ello, se comparó y analizo dichos niveles con los valores de los parámetros obtenidos en los cuatro puntos de muestro sobre el arroyo Las Piedras (Tabla 22).

ADA se encarga de regular y fiscalizar todo lo relativo al uso de los recursos hídricos superficiales y subterráneos de la provincia de Buenos Aires, incluyendo el control de los vuelcos de efluentes líquidos a cuerpos de agua. Los valores limitantes fueron extraídos de la Resolución N°336/2003.

ACUMAR, es un organismo público y autónomo que regula, controla y remedia la cuenca Matanza-Riachuelo, este organismo cuenta con su propia normativa y sus valores limitantes de vuelco, los cuales fueron extraídos de la Resolución N°283/2019 – Anexo A.

En la tabla 22 se detallan los valores de límites de vuelco industrial de efluentes en cuerpos de agua superficiales, con el fin de la protección de la biota. De los parámetros mencionados por los organismos y este trabajo se destaca el valor de solidos suspendidos totales (SST), el cual supera ampliamente los valores límites sugeridos. Es importante destacar que es necesario ampliar los parámetros limitantes de vuelcos con el fin de mejorar la calidad de las aguas.

Tabla 22. Niveles guías vs valores obtenidos de los puntos de muestreo.

Parámetro	Unidad	Valores límites en cuerpo de agua superficial		Valores de los puntos de muestreos			
		ACUMAR	ADA	PM1	PM2	PM3	PM4
DBO	mg/L	≤ 30	≤ 50	< 10	< 10	< 10	< 10
SST	mg/L	≤ 35	x	< 1	2,9	1,3	60
pH	UpH	6,5 - 9,0	6,5 - 10,0	7,75	7,72	7,63	7,37
Temperatura	°C	≤ 45	≤ 53	14,5	17,6	18,6	19,1
Coliformes fecales	NMP/100 ml	≤ 500	≤ 2000	< 3	< 3	< 3	< 3

7.5.2. Comparativa de resultados de los índices con un estudio previo

Los resultados de las tendencias espaciales observadas en el ICA e ICOMO de este trabajo comparados con los de Elordi (2014) fueron similares. Si bien, es preciso recalcar que solo uno de los cuatro puntos analizados (PM3) posee las mismas coordenadas se representa el valor del índice vs. la distancia a las nacientes del arroyo (Figs. 56 y 57). Puede observarse que, en ambos trabajos hay un deterioro progresivo de la calidad del agua hacia la desembocadura (Fig. 56) y aumento de la contaminación orgánica (Fig. 57).

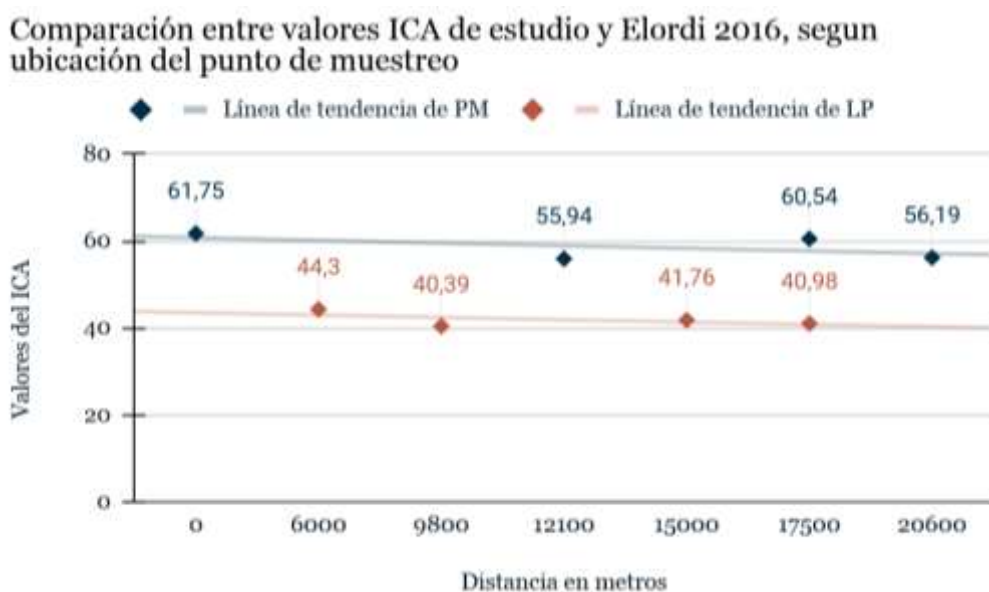


Figura 56. Representación gráfica de los valores ICA entre Elordi (2016) (LP) y el presente trabajo (PM).

Comparación entre valores ICOMO de estudio y Elordi 2016, según ubicación del punto del muestreo

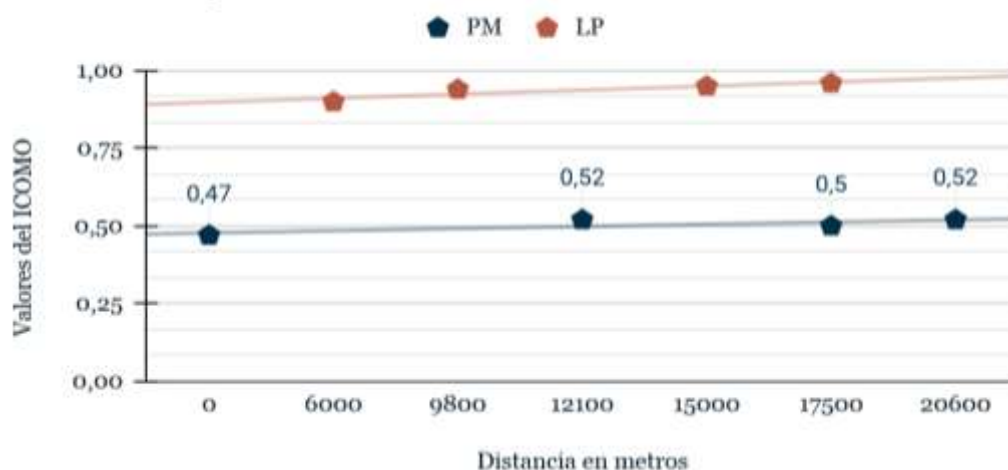


Figura 57. Representación gráfica de los valores ICOMO entre Elordi (2016) (LP) y el presente trabajo (PM).

Elordi (2016), obtuvo un mayor valor de contaminación orgánica y menor calidad de las aguas en comparación con este estudio, pero la tendencia de crecimiento es la misma, indicando que aguas abajo, el impacto de las actividades antrópicas aumenta la degradación del arroyo.

Tras el análisis de la evolución del uso del suelo de la cuenca hídrica del arroyo Las Piedras, se observó que el área urbana se encuentra concentrada en la cuenca baja, sector donde, en el periodo 2013-2020 se incrementó el área urbana un 27,5%. Esta información ratifica y apoya la proyección del crecimiento poblacional que realizó el INDEC sobre la región. Este aumento poblacional, en un marco de ausencia de planificación territorial, genera un incremento en el volumen de RSU y efluentes líquidos, los cuales finalizan en el arroyo. Esto se sostiene en la observación de las imágenes de los puntos evaluados del arroyo, donde el aumento en el volumen de RSU sobre el arroyo es proporcional a la distancia recorrida aguas abajo. Esta situación afecta la calidad de vida, la calidad hídrica, el valor de las tierras y los servicios ecosistémicos.

La hipótesis de este trabajo argumenta que el arroyo Las Piedras se encuentra fuertemente impactado por los vuelcos de efluentes industriales en dudosas condiciones de vuelco y el crecimiento urbano con escasa o nula planificación territorial. En los últimos años, tras denuncias de vecinos, se clausuraron industrias por tener cañerías clandestinas. Es de destacar, que hasta el año 2019 los únicos órganos de control que poseían injerencia en todo el trayecto del arroyo eran OPDS y ADA. Sin embargo, los parámetros permitidos de vuelco sobre aguas superficiales deberían ser más estrictos, al igual que los controles sobre las industrias y otras fuentes. El partido de Quilmes, desde hace unos pocos años, tras las inundaciones recurrentes por las obstrucciones de las cañerías de desagote por basura, realiza la remoción de RSU sobre los contornos del arroyo; si bien esto resulta necesario, no es suficiente. Es por ello, que con la creación del Comité de la Cuenca Arroyo Las piedras se generan grandes expectativas sobre las acciones que se ejecutaran para controlar y remediar el arroyo, así como lo está logrando ACUMAR sobre la cuenca Matanza-Riachuelo.

En relación a la calidad del agua, se destaca el descenso de pH y oxígeno disuelto, y un aumento en los valores de temperatura y fosfatos. Aún sin calcular índices estandarizados de calidad de aguas y contaminación, se puede sospechar de un impacto sobre el arroyo, asociado a la expansión urbana e industrial observada en la cuenca.

La cuenca del Arroyo Las Piedras no ha tenido tanto interés de estudio como otras del AMBA (Lujan, Matanza-Riachuelo y Reconquista), un indicador de ello, es la breve antigüedad del comité de la cuenca y la escasa cantidad de estudios que evalúan la situación socio ambiental. Dentro de los trabajos publicados, el más relevante corresponde a Elordi et al. (2012). En ese trabajo se evaluó la carga microbiológica del arroyo y concluyo que “*Según los resultados bacteriológicos recogidos en este estudio y en consonancia con un informe realizado por el Departamento de Estudios Ambientales de la Dirección de Saneamiento y*

Obra Hidráulica, Ministerio de Infraestructura, provincia de Buenos Aires en el año 2005 sobre estos arroyos, ambos cuerpos de agua presentan una elevada carga bacteriológica de origen fecal asociada probablemente a la falta de servicio de red cloacal en las viviendas que ocupan los márgenes de los mismos”... “la población que reside en las entidades Quilmes Oeste, Bernal Oeste y San Francisco Solano, se encuentra expuesta a un alto riesgo sanitario asociado a la pobre calidad del agua y del ambiente que los rodea, tanto por la calidad bacteriológica del agua de los arroyos como por la abundante distribución de desechos domésticos a la vera de los mismos, generando potenciales focos infecciosos y de contaminación” (Elordi et al., 2012). A su vez, en el año 2014, caracterizo por medio de los indicadores ICA e ICOMO el arroyo Las Piedras y los resultados obtenidos son semejantes a los de este trabajo, donde “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 graseira situada sobre las márgenes de este arroyo”... “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 “calidad mala”... según la significancia de los valores del ICO, el arroyo Las Piedras presenta una MUY ALTA contaminación por materia orgánica en la cuenca baja y una contaminación MEDIA en la cuenca media del arroyo”.

Los valores de los análisis obtenidos de los coliformes fecales, resultaron muy inferiores en comparativa al estudio de la carga microbiológica de Elordi et al. (2012). Esto puede ser producto de una reducción de los vuelcos orgánicos, tras algunas obras de AYSA en los últimos años. Por otra parte, debido a que el presente estudio se basa en una sola campaña de muestreo¹, posiblemente no se halla representada la realidad del sitio de estudio en su

¹ No pudieron realizarse otros relevamientos planificados debido a las medidas de aislamiento social preventivo y obligatorio (ASPO) dispuestas durante 2020 en relación a la pandemia por COVID-19.

totalidad. Es por ello, que se sugiere la realización de monitoreos en diferentes periodos y horarios.

En relación al uso del suelo se observó que superficie urbana se encuentra en expansión y que las consecuencias afectan no solo la degradación de la calidad ambiental, sino a su vez, la calidad de vida de la población. Es por ello, que los datos obtenidos de este trabajo se pueden utilizar para un ajuste y planificación del uso territorial y para la toma de decisiones hacia una gestión ambiental sostenible de la cuenca.

8. Recomendaciones

La contaminación hídrica, junto con la gestión inadecuada de los residuos sólidos exponen las bajas condiciones de calidad ambiental de la cuenca del arroyo Las Piedras, afectando de manera negativa la calidad de vida de la población y la preservación de los recursos. Considerando la baja calidad ambiental y la tendencia en el crecimiento del uso del suelo para áreas urbanas, es posible recomendar algunas acciones para reducir y revertir el deterioro ambiental. En este marco, cabe destacar que la recuperación de sitios impactados representa una oportunidad de desarrollo económico sostenible, obteniendo como consecuencia positiva la mejora en la calidad de vida de la población y la restauración de los ecosistemas.

El cese de emisiones de impactos urbanos sobre la cuenca y la restauración de la misma, requiere de un arduo trabajo colectivo multidisciplinario, con responsabilidad social, empresarial y gubernamental. Es por ello, que se sugiere trabajar sobre cuatro dimensiones principales relacionadas entre sí (Fig. 58).



Figura 58. Propuestas de acción para la gestión ambiental en la cuenca del arroyo Las Piedras.

Diagnóstico, monitoreo y control

Si bien este trabajo expone la calidad de aguas y el grado de contaminación del arroyo, es de suma importancia realizar una evaluación de superior alcance, involucrando la mayor cantidad de variables posibles. La primera medida que se propone, es caracterizar todo el trayecto del arroyo por intermedio de censos poblacionales completos y actualizados (incluyendo los asentamientos informales), análisis fisicoquímicos y microbiológicos periódicos de suelo, agua y aire, incorporando además la caracterización de la flora y fauna, y la utilización de índices e indicadores que permitan valorar la provisión de servicios ecosistémicos.

Se sugiere una dinámica continua de análisis y control, que requiere una evaluación constante para identificar si las acciones y medidas aplicadas fueron exitosas e identificar las siguientes necesidades a trabajar (Fig. 59).



Figura 59. Representación dinámica de las medidas de seguimiento.

Compromiso gubernamental, social y empresarial

La recuperación de un sitio contaminado requiere del compromiso de la población para que las medidas, acciones e inversiones se cuiden y respeten. Se debe incentivar para lograr un cambio de cultura ecológica. Por ello, se sugiere que el incentivo sea por un medio económico y de prestaciones, logrando reducir inicialmente el impacto. La primera instancia es la educación, concientización y motivación de los actores involucrados. Las acciones sugeridas en primera instancia, se resumen en la Tabla 23.

Tabla 23. Sugerencias sobre las medidas gubernamentales a tomar para la gestión ambiental del arroyo Las Piedras.

Acciones gubernamentales orientadas a:	
Industrias	Población
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Asesoramiento gratuito y obligatorio sobre economía circular, fuentes de energía renovable, asistencia técnica en materia ambiental, etc. ➤ Incentivos de reducción impuestos con la implementación de procesos sustentables. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Planificación territorial preventiva y correctiva. ➤ Análisis y desarrollo de proyectos de urbanización y reubicación. ➤ Recolección de RSU diferenciada. ➤ Eco puntos para la recepción de botellas PETs y neumáticos.

➤ Créditos a baja tasa para la inclusión de tecnologías alternativas en los procesos productivos.	➤ Inversión en obras de cloacales y agua de red.
➤ Mayor control en efluentes y sanciones más severas.	➤ Centros de capacitación para emprendimientos sustentables y asistencia financiera.

La aplicación de la producción limpia, puede ayudar a las empresas a incrementar sus ganancias por medio de la reducción de costos de producción, aumentar la eficiencia global, reducir riesgos para las personas y el ambiente.

En la Fig. 60 se resumen algunos de los beneficios que se pueden obtener:

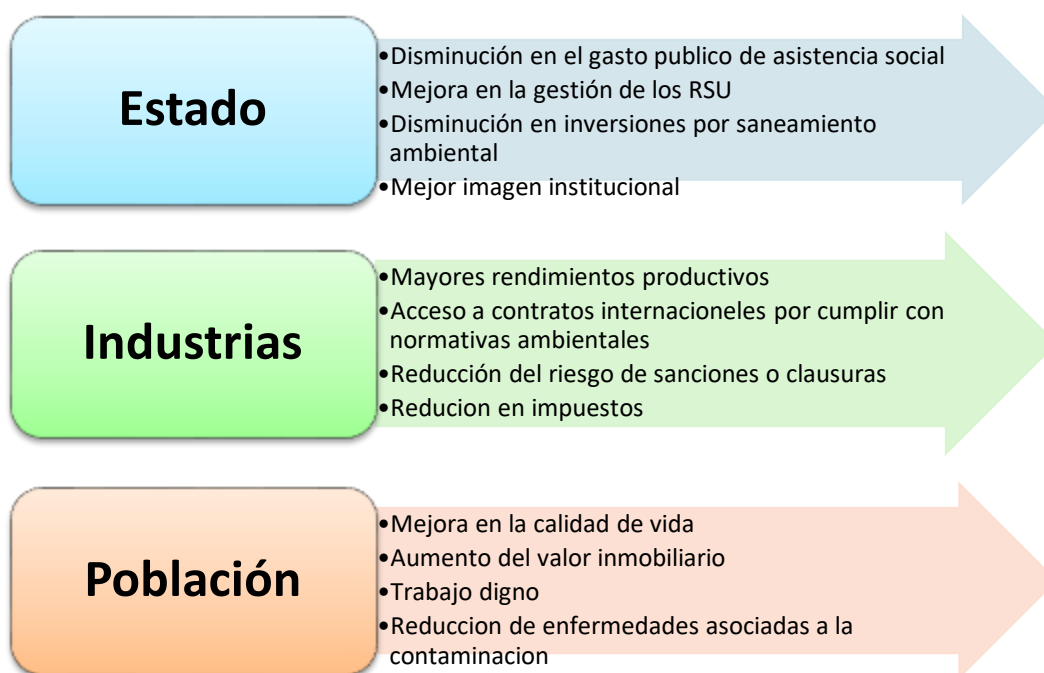


Figura 60. Beneficios que se pueden obtener tras la rehabilitación del sitio.

RSU

La adecuada gestión de los RSU es un desafío que afrontan todas las ciudades, inclusive el sitio de estudio del presente trabajo. Una imagen clara de esta problemática, son las botellas PET y neumáticos que son arrojadas en el arroyo Las Piedras y a los basurales clandestinos a cielo abierto. Como se mencionó, una de las prioridades es el diseño e implementación de planes de educación ambiental, orientados a la mejora de la gestión de RSU, tanto a nivel doméstico municipal, comercial e industrial. A manera urgente, resulta necesario mejorar el

servicio de recolección de RSU, además de promover la reducción, reutilización y reciclaje de RSU.

Se sugiere colocar ecopuntos para la recepción de botellas PETs y que al insertarlas en el contenedor se brinde un beneficio económico, por ejemplo, mediante la recarga de la tarjeta SUBE.

Los neumáticos son residuos cuya gestión es compleja, los usuarios que desean desecharlos no saben cómo y por ende suelen terminar en basurales clandestinos. Es por ello, que se propone la instalación de varios centros de recepción de neumáticos en el ámbito de la cuenca, además de un centro para su tratamiento, con el fin de procesarlos y reciclar el material como materia prima.

Para los tratamientos de los residuos recuperados, se aconseja que el lugar físico de tratamiento sea en cercanía a los lugares en los que fueron recolectados, así evitar un gasto superior en transporte. A su vez, el trabajo de tratamiento debería involucrar a residentes locales. Esto se propone con dos fines, el primero es la capacitación y la oportunidad de un trabajo digno a lugareños y en segunda instancia, generar respeto e interés por el cuidado de los lugares de depósito de estos residuos.

Por otra parte, resulta importante evaluar alternativas para evitar el vuelco directo de RSU en riberas y en el propio curso de agua por parte de volqueteros, carreros y otros.

Vuelco de efluentes líquidos

La reducción del impacto por el vuelco de efluentes líquidos sobre las aguas del arroyo Las Piedras, requiere tanto de medidas infraestructurales como no infraestructurales. Entre las principales medidas infraestructurales, se encuentran la ampliación de las redes cloacales, la conexión de las viviendas a la red cloacal (que muchas veces es el punto débil de este tipo de

intervenciones), la rehabilitación de riberas y la mejora de procesos industriales para la reducción de los vuelcos, la reutilización del agua y la mejora del tratamiento de las aguas residuales antes de su descarga en el ambiente. También, resulta indispensable verificar que los conductos pluviales que descargan en el arroyo no reciban ningún tipo de efluente líquido, eliminando los “espiches” (conexiones clandestinas).

Es de destacar, que muchas de las medidas que necesitan las industrias para un vuelco de efluentes dentro de los parámetros permitidos por los entes reguladores, requieren de una gran inversión, que en ocasiones las empresas no desean o no pueden realizar, por lo tanto, el Estado debería poner a disposición créditos a tasa baja orientados principalmente a PyMEs, para la ejecución de estas obras.

Las medidas no infraestructurales, incluyen cambios y ampliación en la normativa de vuelcos que exijan límites más restrictivos para cursos de bajo orden lótico, implementación de programas eficientes de monitoreo y control de vuelcos industriales, programas de educación ambiental y mejoras en la gestión de RSU, entre otras.

Restauración y recuperación

Con el objetivo de restaurar y recuperar el arroyo las Piedras se proponen las siguientes acciones:

- a- Programas de limpieza: se sugiere limpiar las riberas semanalmente, para retirar los RSU a la vera del arroyo, preservando la vegetación nativa.
- b- Planes y proyectos de urbanización: resulta indispensable que la población del sitio cuente con red de agua potable y cloacas, recolección de RSU, iluminación, educación y seguridad. Es por ello necesario acondicionar los sectores más postergados. En algunos casos, si bien la reubicación de viviendas es muy compleja, debería analizarse

esta opción, en especial en los sectores ribereños en los cuales el riesgo de inundaciones y contacto con aguas contaminadas es muy elevado.

- c- Las riberas son espacios propicios para la incorporación de especies vegetales nativas y fitorremediadoras, con el fin de la creación de áreas recreativas, humedales artificiales, viveros sociales y áreas de interés cultural. A nivel local, existen algunos antecedentes de este tipo de intervenciones en sectores de la cuenca Matanza-Riachuelo (Basílico et al., 2016; de Cabo et al., 2021).
- d- Se sugiere que sobre el arroyo y la Av. Camino Gral. Belgrano, se disponga de una barrera flotante para contener y retirar los residuos e incluir un sistema de tratamientos de aguas pluviales por medio de humedales artificiales, para asistir la recuperación del sitio.

Los lineamientos de estas propuestas son relacionados a casos exitosos sobre la recuperación de ríos urbanos. En el trabajo publicado por Rodríguez Valero (2016) denominado “*Deterioro y recuperación de rondas de ríos en grandes ciudades*” se resumen los casos éxitos de recuperación de ríos contaminados, de los cuales algunos de ellos son (Tabla 24):

Tabla 24. Casos de éxito de sitios recuperados. Fuente: Valero (2018).

Restauración del río Besòs -Barcelona, España -1999	El río Besòs es un río torrente que atraviesa el área urbana de Barcelona. Se ha llamado el río más contaminado en Europa durante los años 70' y los años 80' del siglo XX. Sin embargo, desde mediados de los años 90', el río se encuentra en proceso de recuperación. Se trata del diseño de un río serpeante de baja creciente dentro del canal de flujo. Los humedales construidos para mejorar la calidad del agua fueron planeados para la llanura de inundación en ambos lados de este canal.
Proyecto de Revitalización Integral del Río Funan -Chengdu, China -1996	El proyecto más grande es el Living Water Garden, un parque de 2,4 ha en el río. El río pasa por el centro de Chengdu, una ciudad de nueve millones de habitantes. En el parque hay bombas de aire, estanques de sedimentación, humedales reconstruidos, sistema de purificación de agua natural, varias especies de plantas, pasos que bajan al río

para proporcionar acceso público, y varias esculturas como artes públicas para sensibilizar sobre la contaminación en el río Funan.

Planificación del Río Singapur, Inicio de los años noventa

El río forma una arteria central en el densamente poblado Distrito Comercial Central de Singapur. Un largo paseo fue construido para ofrecer paseos sombreados, lugares de arte, restaurantes para comer al aire libre, entretenimiento y establecimientos de venta al por menor en casas de tiendas conservadas para el descanso y la recreación. Puntos clave de la restauración son la purificación del agua, y el desarrollo del río unificado con la ciudad. Después de la purificación, el valor de la tierra se elevó, los peces regresaron al río Singapur, algunas cuencas se abren al público para la navegación y la natación.

9. Conclusiones

Tras el estudio y evaluación de diversos aspectos ambientales a lo largo de un tramo del arroyo Las Piedras, se concluye que la urbanización en los últimos años, le ganó espacios a las áreas verdes. Además, la calidad de agua del cauce resultó **REGULAR** y la contaminación orgánica se clasificó como **MEDIA**.

El crecimiento urbano sobre la cuenca es constante y como consecuencia directa se obtiene un aumento de los vuelcos de efluentes líquidos y residuos. Es por ello, que se deben tomar medidas de manera inmediata, ya que el sistema actual se encuentra en condiciones críticas y carece de un sistema de amortización de los impactos negativos de la futura urbanización no planificada.

Es sumamente alarmante que la disposición final de los RSU sea en basurales a cielo abierto no regulados y a la vera del arroyo, que industrias descarguen efluentes líquidos de manera clandestina y que los censos excluyan algunos asentamientos informales, invisibilizándolos.

Queda en evidencia la carencia de una mirada integral por parte de las autoridades responsables en la gestión política. La falta de recursos económicos para obras de gran envergadura puede ser una razón válida, pero no limitante para recuperar nuestro sitio de

estudio. Existen técnicas de remediación de bajo coste y reutilización de RSU como materia en procesos productivos.

Las condiciones actuales de la cuenca son críticas y se requiere intervención de manera inmediata para frenar el deterioro socioambiental y lograr la recuperación del sitio, con el fin de mejorar la calidad de vida de sus habitantes y recobrar las funciones de los ecosistemas alterados y perdidos. Solo es cuestión de iniciar, nunca es tarde, el momento es ahora.

10. Bibliografía

- Adaro, R. (2018). *Los casos del Rio Matanza-Riachuelo y Rio Reconquista*. Centros de estudios metropolitanos.
- Aguirre, N. (2007). *Manual para el manejo sustentable de cuencas hidrográficas*. Universidad Nacional de Loja.
- Angheben, E. (2012). *Estudio ecohidrológico de la cuenca urbana de La Cava de Villa Itatí, Quilmes, provincia de Buenos Aires*. Universidad Nacional de La Plata.
- APHA et al. (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. AWWA.
- Aranda, D. F. C. (2010). *Introducción a la hidrología urbana*. Printego.
- AySA (2019). *Informe de niveles de servicio - Año 2017 y 2018. Agua y Saneamientos Argentinos*. Consultado el 15 de noviembre del 2020. https://www.aysa.com.ar/usuarios/Informacion_util
- Baho, D. L., Arnott, D., Myrstad, K. D., Schneider, S. C., & Moe, T. F. (2021). *Rapid colonization of aquatic communities in an urban stream after daylighting* (p. e13394). Malden, USA: Wiley Periodicals, Inc.

- Basílico, G. O. (2014). *Evaluación del impacto de ingresos puntuales de contaminantes en arroyos de llanura y pautas para su remediación*. Doctorado en Ciencia y Tecnología, Universidad Nacional de General Sarmiento.
- Basílico, G. O., De Cabo, L., & Faggi, A. (2016). *Adaptación de índices de calidad de agua y de riberas para la evaluación ambiental en dos arroyos de la llanura pampeana*. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales nueva serie*, 17(2), 119-134.
- Basílico, G., de Cabo, L., Faggi, A., & Miguel, S. (2016). *Low-tech alternatives for the rehabilitation of aquatic and riparian environments*. In *Phytoremediation* (pp. 349-364). Springer, Cham.
- Basílico, G., De Cabo, L., Magdaleno, A., & Faggi, A. (2016). *Poultry effluent biotreatment with *Spirodela intermedia* and periphyton in mesocosms with water recirculation*. *Water, Air, & Soil Pollution*, 227(6), 1-11.
- Bonilla, B., Carranza-Estrada, F. A., Flores-Tensos, J. M., Ángeles-González, C., Arias, A. Y., & Chávez-Sifontes, J. M. (2010). *Metodología analítica para la determinación del índice de calidad del agua (ICA)*. M. Springer, & JM Sermeño-Chicas (Edits.), Proyecto financiado por el fondo FEMCIDI de la Organización de los Estados Americanos y SEDI/AICD (págs. 1-19). San Salvador.
- Borràs, J., Delegido, J., Pezzola, A., Pereira, M., Morassi, G., & Camps-Valls, G. (2017). *Clasificación de usos del suelo a partir de imágenes Sentinel-2*. *Revista de Teledetección*, (48), 55-66.
- Brusasco, M. C. (2014). *Uso de la conductividad para valorar sólidos disueltos totales en agua potable*. *La alimentación Latinoamericana* N°309. Recuperado de:

<http://www.ms.gba.gov.ar/sitios/institutobiologico/files/2017/03/Uso-de-la-conductividad-para-valorar-s%C3%B3lidos-disueltos-totales-en-agua-potable.pdf>

- Cabello, R. R. (2007). *Microbiología y parasitología humana/Microbiology and Human Parasitology: Bases etiologicas de las enfermedades infecciosas y parasitarias/Etiological Basis of Infectious and Parasitic Diseases*. Ed. Médica Panamericana.
- Cariello, J. L., Gil, M. R., & Kondratiuk, V. (2019). *Aplicación de herramientas, como estrategia ambiental, para mejorar la competitividad empresarial*. UTN, 28.
- ODS 6 (2018). *Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
- Conzonno, V. (2009). *Limnología química*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 222.
- Defensoría del Pueblo de la provincia de Buenos Aires (2015). Resolución 111-15.
- De Avance, T. I. (2011). *Estudio de calidad de los residuos sólidos urbanos del área metropolitana de Buenos Aires*. Doctoral dissertation, Universidad de Buenos Aires.
- De Cabo, L., Marconi, P., Perelman, P., Capra, A. S., Escala, A., Coconier, E. G., & Nadra, C. (2021). *Restauración ecológica de las riberas del Arroyo Morales (Cuenca Matanza-Riachuelo, municipio de Marcos Paz, Buenos Aires, Argentina)*. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research, 4(1), 1161-1169.
- Echarri, L. (1998). *Libro electrónico ciencias de la tierra y del ambiente. Edición Teide*. Libro electrónico disponible en: <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/indice.html>.

- Efron, S. T., Graziano, M., de Cabo, L., & dos Santos Afonso, M. (2013). *Problemáticas ambientales de un arroyo urbano de la provincia de Buenos Aires (A° San Francisco, Claypole)*. Laboratorio de Química del Agua, INQUIMAE-CONICET y Dpto. de Química Inorgánica, Analítica y Química Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- Elordi, M. L. (2016). *Microbiología ambiental: estudio de patógenos asociados a enfermedades hídricas en arroyos urbanos bonaerenses*. Doctoral dissertation, Universidad Nacional de La Plata.
- Elordi, M. L., Digirónimo, M. C., & Porta, A. A. (2012). *Evaluación de la calidad microbiológica de las aguas de los arroyos Las Piedras-San Francisco considerando el nivel de cobertura sanitaria de la población adyacente*. In VII Congreso de Ambiente.
- Fernandes, E. (2011). *Regularización de asentamientos informales en América Latina*. Lincoln Institute of Land Policy.
- Ferrando, F. J. (2006). *Sobre inundaciones y anegamientos*. Revista de urbanismo, (15), ág-25.
- Gaspari, F., Rodríguez Vagaría, A., Senisterra, G., Delgado, M. I., & Besteiro, S. (2013). *Elementos metodológicos para el manejo de cuencas hidrográficas*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP)
- General, A. (2010). *Resolución aprobada por la Asamblea General*. Organización de las Naciones Unidas (ONU).
- Goytia, C., & Cristini, M. (2017). *Diagnóstico sobre Ciudades y Desarrollo Urbano*. Report Coordinated by the Universidad Torcuato Di Tella and Jefatura Gabinete de la Nación: Buenos Aires, Argentina.

- González, G. L. (2010). *Residuos sólidos urbanos Argentina: Tratamiento y disposición final, situación actual y alternativas futuras*. Buenos Aires: Cámara Argentina de la Construcción.
- Guzmán, M. E. H. (2005). *Malformaciones congénitas*. Editorial Universitaria.
- Idarraga, F. L. F. (2010). *Respuestas y propuestas ante el riesgo de inundación de las ciudades colombianas*. Revista de Ingeniería, (31), 97-108.
- INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). 2010. <http://www.censo2010.indec.gov.ar/>
- INDEC (2013). *Proyecciones provinciales de población por sexo y grupos de edad 2010-2040*. Serie análisis demográfico N° 36. CABA E-BOOK.
- Lecertua, E. A., Kazimierski, L. D., Re, M., Badano, N. D., & Menéndez, Á. N. (2014). *Modelación hidrológica-hidráulica de la cuenca Sarandí-Santo Domingo ante un evento de precipitación extrema*. Laboratorio de Modelación Matemática, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
- Ley N° 13592. *Gestión integral de los residuos sólidos urbanos*. Publicada en el Boletín Provincial del 20-Dic-2006.
- Lledó, L. C. (2002). *Contaminación de las aguas subterráneas: tipo doméstico e industrial*. IGME, ed. Presente Y Futuro de Las Aguas Subterráneas En La Provincia de Jaén. Vol Madrid, 149-156.
- Lopez Sebastian (2018). *Porcentaje de saturación de oxígeno en agua*. Extraído de <https://sites.google.com/site/selobu/anuncios/porcentajedesaturaciondeoxigenoenagua>
- Matteucci, S. (2012). *Ecorregión Pampa*. Ecorregiones y complejos ecosistémicos argentinos, 405-413.

- Masciadri, V. (2009). *Ciudadanía y salud ambiental en la población de Quilmas residente en la cuenca de los arroyos San Francisco y Las Piedras*. Jornadas Argentinas de Estudios de Población. Asociación de Estudios de Población de la Argentina, San Fernando del Valle de Catamarca.
- Mendoza, R., I. García, L. de Cabo, C. Weigandt & A.F. de Iorio. (2015). *The interaction of heavy metals and nutrients present in soil and native plants with arbuscular mycorrhizae on the riverside in the Matanza-Riachuelo River Basin (Argentina)*. Science of the Total Environment 505: 555–564.
- Montes Cortés, C. (2018). *Disposición final de residuos sólidos y contaminación hídrica, una problemática ambiental no tan ajena. Tratado de derecho de aguas*. Tomo I: derecho de aguas colombiano para el siglo XXI.
- Morrás, H. J. (2010). *Ambiente Físico del área metropolitana*. Dinámica de una ciudad. Buenos Aires, 22-67.
- Oehrens Baquedano, E. A. (2016). *Plan de negocios: Reverse Vending Recycle*. Universidad de Chile; Facultad de Economía y Negocios. Departamento de Administración.
- ONU (Organización de las Naciones Unidas), (1992). *División para el Desarrollo Sostenible*. Rio de Janeiro: Agenda 21.
- Ortiz Hernández, G. A., & Moreno Torres, H. J. (2017). *Estudio comparativo del comportamiento hidráulico del drenaje urbano convencional versus medidas SUDS en un sector entre calles 106 a 110 y entre carreras 7 a 9 de la localidad de Usaquén, Bogotá*. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/355
- Peña, C. E. C., Carter, D. E. & Ayala-Fierro, D. E. (2001). *Toxicología ambiental: evaluación de riesgos y restauración ambiental*. Southwest Hazardous Waste

ProgramA Superfund Basic Research and Training ProgramAt the College of PharmacyThe University of Arizona.

- Ramos-Ortega, L. M., Vidal, L. A., Vilardy, S., & Saavedra-Diaz, L. I. N. A. (2008). *Análisis de la contaminación microbiológica (coliformes totales y fecales) en la Bahía de Santa Marta, Caribe colombiano*. Acta Biológica Colombiana, 13(3), 87-98.
- Ramirez, A. R. R. V. G., Restrepo, R., & Viña, G. (1997). *Cuatro índices de contaminación para caracterización de aguas continentales*. Formulaciones y aplicación. CT&F-Ciencia, Tecnología y Futuro, 1(3), 135-153.
- Rodríguez Valero, E. (2016). *Deterioro y recuperación de rondas de ríos en grandes ciudades: enfoque ambiental, paisajístico y urbano para el Río Bogotá*. Universidad de La Salle, Bogotá.
- San Román, F. J. S. (2012). *Hidrología-Hidrogeología*. Salamanca, España, 1-285.
- Servicio Meteorológico Nacional. *Estadísticas a largo plazo. Valores Medios de Temperatura y Precipitación, Quilmes*. Extraído el 23 de Julio del 2021 de <https://www.smn.gob.ar/estadisticas>
- Uriarte, J., M., (2020). *Contaminación térmica*. Última edición: 9 de -térmica/. Consultado: 22 de julio de 2020.
- Velazquez, G., Celemin, J.P., La Macchia, L., Linares, S., Manzano, F., Mikkelsen, C., Tisnes, A. y Zunino, A. (2018). *Dime dónde resides y te diré cuán bien (o mal) vives*. CONICET. <https://icv.conicet.gov.ar/>
- Vidal, C., & Romero Aravena, H. (2010). *Efectos ambientales de la urbanización de las cuencas de los ríos Bío-Bío y Andalién sobre los riesgos de inundación y anegamiento de la ciudad de Concepción*. Pedagogía Historia y Ciencias Sociales,

Universidad San Sebastián, Concepción y Departamento de Geografía, Universidad de Chile, Santiago

11. Anexos

11.1. Anexo A



Figura A 1

Problema: Inundaciones en el sur de la RMBA

Arroyos Las Piedras y San Francisco / Quilmes Oeste



Figura A.2. 3 imágenes extraídas de http://www-atmo.at.fcen.uba.ar/docs/Mariano%20Re_InundacionesUrbanas_DCAO-FCEyN_07062017.pdf



Figura A.3

El 10 de septiembre del 2010 el diario barrial "Tres Líneas" público:

Inundaciones, contaminación y enfermedades son problemas diarios de la población de la cuenca de los arroyos Las Piedras y San Francisco. El 81% de las muertes producidas en el municipio de Quilmes proceden de residentes en Quilmes Oeste, Bernal Oeste y San Francisco Solano que viven próximos a los arroyos.

Figura A.4

11.2. Anexo B



Figura B.1. Noticias sobre operativos de limpieza sobre el Arroyo Las Piedras.

11.3. Anexo C

COMPROBANTE DE MUESTREO Y CADENA DE CUSTODIA DE AGUAS									
TOMADOR DE LA MUESTRA:		Gabriela Iglesias			FECHA DE MUESTREO:		8 / 05 / 20		Nº DE GRUPO:
COORDENADAS:									
Análisis para analizar de las muestras: DBO, OD, COLIFORMES TOTALES Y FECALIS, FOSFATOS, NITRATO Y SST.									
Nombre de la muestra	Nº de código	Hora	Tipo de muestra	Envase (plástico (P), vidrio (V))	Preservante	Temp de const. (h)	pH	Temp	Observaciones
PM 1	668426	10:40	Agua	1/2 P	5/P	4 h	7,35	14,5	
"	"	"	"	1/2 V	5/P	"	"	"	
"	"	"	"	1/2 V	"	"	"	"	
"	"	"	"	1/4 V	"	"	"	"	
"	"	"	"	1/4 V	"	"	"	"	
PM 2	668427	11:20	"	1/2 V	7/P y 5/P	"	7,72	17,6	
"	"	"	"	1/2 V	3/P	"	"	"	
"	"	"	"	1/4 V	"	"	"	"	
"	"	"	"	1/4 V	"	"	"	"	

Observaciones generales para la operación:

Firma y aclaración del responsable del muestreo: *Gabriela Iglesias*

Firma y aclaración del responsable de recepción de laboratorio: *David Pouchard*

Figura C.1. Cadena de muestra Pág. 1.

11.4. Anexo D:

Informe de Ensayo
Grupo: 22682/2020

Gabriela Yanina Iglesias
San Blas 460 - Lomas De Zamora, Buenos Aires

Cotización: 4270/2020 - N° de Grupo: 22682/2020

	<ul style="list-style-type: none">- ISO 9001:2015 Sistema de Gestión de Calidad- Laboratorio habilitado por el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS) N°101- Miembros del Consejo de Fiscalización de Laboratorios de Argentina (Colliab)- El presente informe de ensayo y los resultados indicados en el mismo, no tienen valor legal para acompañar documentación, controles o presentaciones de cualquier tipo, dentro del marco legal de las Leyes 11459, 11720, 11723, 11347, 5065, 11834 y sus respectivas normas complementarias, ya sean estas efectuadas ante el Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS), y/o cualquier otro organismo, inclusive judicial, de la provincia de Buenos Aires.- Los resultados verificados se refieren exclusivamente a las muestras analizadas.- Inscritos en Registro de Laboratorios de Determinaciones Ambientales (RELADA) de la Ciudad de Buenos Aires.- Inscritos en el Registro Provincial de Prestadores Ambientales de la Provincia del Neuquén (REPPSA).- Inscritos en Registro Provincial de Laboratorios de Servicios Analíticos Ambientales de la Provincia de Chubut.
Firma:	Director Técnico: Lic. Héctor Ituarte Matrícula Profesional: 4330

Grupo: 22682/2020 - Página 1 de 4



Documento firmado digitalmente por: Gabriela Yanina Iglesias
Fecha Firma: 04/10/2020 10:05:30 AM

Figura D. Informe de laboratorio Pág. 1.

DATOS DE LA MUESTRA

Matriz:	Agua	Cotización:	4270/2020
Identificación de la Muestra:	PM 1	Proyecto:	Muestras agua superficial
Número de muestra:	195887/2020-1.0	Responsable por el muestreo:	Cliente
Código de muestra:	6684427	Fecha/Hora de Muestreo:	08/05/2020 10:40:00
Número de grupo de muestras:	22682/2020		
Fecha Entrada al Lab:	08/05/2020		

RESULTADOS ANALÍTICOS

Parámetros	Método de Análisis	CAS	Resultado	Unidad	LQ
DBO	Standard Methods - 5210 B	—	< 10,0	mg/L	10,0
Sólidos Suspendidos Totales	Standard Methods - 2540 E	—	< 1,0	mg/L	1,0
Nitratos	Standard Methods - 4500 NO3 C e E	NO3	< 5,0	mg/L	5,0
Fosfato	SM 4500 P C	—	1,8	mg/L	0,5
Coliformes Fecales	SM 9221 E	CFTM	< 3	NMP/100 ml	3
Coliformes Totales	Standard Methods - 9221 A, B, e C	CTTM	240	NMP/100 ml	3
Turbidez	SMWW 22ª Ed. 2012 - 2130B	—	11,5	NTU	3
Oxígeno Disuelto (Laboratorio)	SMWW, 22ª Ed. 4500-OG - 2012	—	3,2	mg/L	0,1

DATOS DE LA MUESTRA

Matriz:	Agua	Cotización:	4270/2020
Identificación de la Muestra:	PM 2	Proyecto:	Muestras agua superficial
Número de muestra:	195888/2020-1.0	Responsable por el muestreo:	Cliente
Código de muestra:	6684428	Fecha/Hora de Muestreo:	08/05/2020 11:20:00
Número de grupo de muestras:	22682/2020		
Fecha Entrada al Lab:	08/05/2020		

RESULTADOS ANALÍTICOS

Parámetros	Método de Análisis	CAS	Resultado	Unidad	LQ
DBO	Standard Methods - 5210 B	—	< 10,0	mg/L	10,0
Sólidos Suspendidos Totales	Standard Methods - 2540 E	—	2,9	mg/L	1,0
Nitratos	Standard Methods - 4500 NO3 C e E	NO3	< 5,0	mg/L	5,0
Fosfato	SM 4500 P C	—	5,4	mg/L	0,5
Coliformes Fecales	SM 9221 E	CFTM	< 3	NMP/100 ml	3
Coliformes Totales	Standard Methods - 9221 A, B, e C	CTTM	130	NMP/100 ml	3
Turbidez	SMWW 22ª Ed. 2012 - 2130B	—	31,1	NTU	3

Grupo: 22682/2020 - Página 2 de 4



Figura D. Informe de laboratorio Pág. 2.

Parámetros	Método de Análisis	CAS	Resultado	Unidad	LQ
Oxígeno Disuelto (Laboratorio)	SMWW, 22ª Ed. 4500-OG - 2012	—	1,2	mg/L	0,1

DATOS DE LA MUESTRA

Matriz:	Agua	Cotización:	4270/2020
Identificación de la Muestra:	PM 3	Proyecto:	Muestras agua superficial
Número de muestra:	195889/2020-1.0	Responsable por el muestreo:	Cliente
Código de muestra:	6684429	Fecha/Hora de Muestreo:	08/05/2020 12:00:00
Número de grupo de muestras:	22682/2020		
Fecha Entrada al Lab:	08/05/2020		

RESULTADOS ANALÍTICOS

Parámetros	Método de Análisis	CAS	Resultado	Unidad	LQ
DBO	Standard Methods - 5210 B	—	< 10,0	mg/L	10,0
Sólidos Suspendidos Totales	Standard Methods - 2540 E	—	1,3	mg/L	1,0
Nitratos	Standard Methods - 4500 NO3 C e E	NO3	< 5,0	mg/L	5,0
Fosfato	SM 4500 P C	—	1,1	mg/L	0,5
Coliformes Fecales	SM 9221 E	CFTM	< 3	NMP/100 ml	3
Coliformes Totales	Standard Methods - 9221 A, B, e C	CTM	130	NMP/100 ml	3
Turbidez	SMWW 22ª Ed. 2012 - 2130B	—	8	NTU	3
Oxígeno Disuelto (Laboratorio)	SMWW, 22ª Ed. 4500-OG - 2012	—	1,8	mg/L	0,1

DATOS DE LA MUESTRA

Matriz:	Agua	Cotización:	4270/2020
Identificación de la Muestra:	PM 4	Proyecto:	Muestras agua superficial
Número de muestra:	195890/2020-1.0	Responsable por el muestreo:	Cliente
Código de muestra:	6684430	Fecha/Hora de Muestreo:	08/05/2020 11:20:00
Número de grupo de muestras:	22682/2020		
Fecha Entrada al Lab:	08/05/2020		

RESULTADOS ANALÍTICOS

Parámetros	Método de Análisis	CAS	Resultado	Unidad	LQ
DBO	Standard Methods - 5210 B	—	< 10,0	mg/L	10,0
Sólidos Suspendidos Totales	Standard Methods - 2540 E	—	80,0	mg/L	1,0
Nitratos	Standard Methods - 4500 NO3 C e E	NO3	< 5,0	mg/L	5,0
Fosfato	SM 4500 P C	—	2,5	mg/L	0,5
Coliformes Fecales	SM 9221 E	CFTM	< 3	NMP/100 ml	3

Grupo: 22682/2020 - Página 3 de 4



Figura D. Informe de laboratorio Pág. 3.

Parámetros	Método de Análisis	CAS	Resultado	Unidad	LQ
Coliformes Totales	Standard Methods - 9221 A, B, e C	CTM	350	NMP/100 ml	3
Turbidez	SMWW 22ª Ed. 2012 - 2130B	---	21.4	NTU	3
Oxígeno Disuelto (Laboratorio)	SMWW 22ª Ed. 4500- OG - 2012	---	1.0	mg/L	0,1

OBSERVACIONES TÉCNICAS

La calidad y representatividad de los resultados están sujetas a las condiciones en las que se proveyeron las muestras al laboratorio en cuanto a volumen, preservaciones y envases.

Alcances:

Los resultados obtenidos corresponden exclusivamente a la(s) muestra(s) analizada(s).

Abreviaturas:

L.Q. - Límite de Cuantificación de muestra

Impreso el 26/05/2020

FIN DEL INFORME

Grupo: 22682/2020 - Página 4 de 4



Figura D. Informe de laboratorio Pág. 4.