

CONICET



[TESIS DOCTORAL]

Microbiología ambiental: estudio de patógenos asociados a enfermedades hídricas en arroyos urbanos bonaerenses. Índices de calidad y contaminación del agua. Influencia en la salud de la población adyacente

Lic. ELORDI MARÍA LUCILA

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA
FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS**

2016

CONTENIDO

1. Introducción a la problemática	6
1.1 Contaminación Hídrica.....	6
1.1.1 Situación Mundial	6
1.1.2 Situación Regional.....	8
1.2 Objetivos	11
1.2.1 Objetivo General	11
1.2.2 Objetivos Particulares	11
1.3 Contextualización del Área de Estudio	12
1.3.1 Ubicación del Área de Estudio.....	12
1.3.2 Caracterización Demográfica-Socioeconómica.....	14
1.4 Conclusiones Parciales	20
2. Antecedentes y Marco Teórico	23
2.1 Calidad del Agua de consumo	23
2.2 Enfermedades Hídricas	37
2.2.1 Principales enfermedades relacionadas con el agua.....	38
2.2.2 Contaminación microbiológica del agua	41
2.2.3 Protozoos de importancia en el agua	42
2.2.4 Carga de enfermedad	43
2.3 Contaminación Industrial.....	45
2.3.1 Contaminación Industrial en los países en desarrollo.....	45
2.3.2 Contaminación Industrial en la región.....	46
2.4 Cambio Climático.....	49
2.5 Conclusiones Parciales	50
3. Caracterización Físico-Química de los Arroyos	52
3.1 Aspectos generales.....	52
3.1.1 Hidrología superficial	52
3.1.2 Canal Santo Domingo.....	53
3.1.3 Arroyo Las Piedras.....	54
3.1.4 Arroyo San Francisco.....	54
3.3 Monitoreo de Parámetros Físico-Químicos, Hidrocarburos y Metales	55
3.3.1 Parámetros Físico-químicos.....	55

3.3.1.1 Arroyo Las Piedras.....	61
3.3.1.2 Arroyo San Francisco	69
3.3.2 Metales, Hidrocarburos Totales del Petróleo e Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos.....	76
3.3.2.1 Metodología	79
3.3.2.2 Resultados	82
3.4 Conclusiones Parciales	86
4. Microbiológica Ambiental	89
4.1 Bacterias indicadoras de contaminación	89
4.1.1 Monitoreo de los indicadores de contaminación fecal	94
4.1.1.1. Arroyo Las Piedras.....	98
4.1.1.2 Arroyo San Francisco	102
4.1.1.3. Imágenes de los arroyos.....	107
Arroyo Las Piedras	107
Arroyo San Francisco	110
Confluencia	111
4.2 Parásitos	112
4.2.1 Evaluación de parásitos intestinales en Agua Superficial	112
4.2.1.1 Antecedentes	113
4.2.1.2 Monitoreo y Metodología	114
4.2.1.3 Resultados	115
4.2.1.4 Conclusiones Parciales.....	116
4.3 Investigación de bacterias patógenas en matrices ambientales	116
4.3.1 Extracción de ADN y secuenciamiento de muestras ambientales.....	117
4.3.2. Diversidad bacteriana	130
4.3.2.1. Índice de Shannon.....	131
4.3.2.2. Índice de Simpson	131
4.3.2.2. Aplicación de los índices de diversidad	132
5. Índices de calidad y contaminación de aguas superficiales - Riesgo asociado a eventos de inundación.....	138
5.1 Descripción del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF	139
5.1.1 Aplicación del Índice de Calidad del Agua ICA-NSF.....	145
5.2 Índices de Contaminación del Agua Superficial	157

5.2.1 Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO)	159
5.2.1.1 Aplicación del Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO)	163
5.2.2 Índice de Contaminación Trófica (ICOTRO)	164
5.2.2.1 Aplicación del Índice de Contaminación Trófica (ICOTRO)	165
6. Conclusiones	181
7. Referencias	185

[TESIS DOCTORAL- LIC. ELORDI M. LUCILA]

[CAPÍTULO I:]

[Introducción a la problemática]

[2016]

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

1. Introducción a la problemática

1.1 Contaminación Hídrica

1.1.1 Situación Mundial

Las fuentes de agua superficial son un eje fundamental en el desarrollo de los seres humanos, que permiten el abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas llevadas a cabo en la sociedad; no obstante, de forma paradójica muchas de estas actividades causan alteración y deterioro de las mismas. En general, las aguas superficiales están sometidas a contaminación natural (arrastre de material particulado y disuelto y presencia de materia orgánica natural) y de origen antrópico, tales como descargas de aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola, efluentes de procesos industriales, entre otros (ONU, 1992).

Tanto el desarrollo humano como el crecimiento de la población a nivel mundial, ejercen permanentemente presiones múltiples y diversas sobre la calidad y cantidad de los recursos hídricos y sobre el acceso a ellos.

Estas incluyen: aumento de la urbanización que incrementa la vulnerabilidad a las enfermedades transmitidas por el agua, la creciente demanda de agua por las ciudades, la industria y la agricultura, a menudo junto con escasas oportunidades de nuevas fuentes; la variabilidad del clima que altera tanto la disponibilidad y calidad del agua, como los ciclos inundación/sequía y el calendario de lluvias; las obras de infraestructura asociadas con el desarrollo, tales como presas, carreteras, y la agricultura de riego; además de la deforestación, el colapso de los sistemas cloacales y de aguas servidas, y de recolección y conducción de aguas pluviales urbanas, la incorrecta gestión de los residuos sólidos urbanos; acciones todas que conducen a un aumento de la prevalencia de las enfermedades asociadas al agua.

Estos factores pueden interactuar de manera que afecten negativamente tanto a la cantidad y calidad del agua, como a su autodepuración y a la salud humana (Ramírez, 2000; Burkholder, 2001; Vargas *et al.*, 1996).

La contaminación de los recursos hídricos resulta uno de los problemas más importantes de los países en desarrollo, por la diversidad, desconocimiento de las fuentes de contaminación y por la carencia de medios de las instituciones públicas

para estudiarla y remediarla. La situación es dinámica, muchas veces difícilmente predecible. Lo principal sin embargo es, saber en qué medida todos estos problemas de desarrollo afectan a las personas de bajos recursos y a los más vulnerables.

Entre los efectos de la contaminación hídrica se destacan las enfermedades infecciosas, entre ellas las diarreas y las parasitosis, causas importantes de morbilidad y mortalidad en todo el mundo. La ONU señala que el 80 por ciento de las muertes en los países en desarrollo derivan del consumo de agua no potable y de la falta de sistemas de saneamiento adecuados (Rahman, 1985). El crecimiento urbano no planificado es un factor importante, que ha debilitado la capacidad de muchos gobiernos locales para la prestación de servicios sanitarios básicos (escasa cobertura de agua potable, saneamiento inadecuado, eliminación incorrecta de desechos y el hacinamiento). Por tal motivo, se requiere urgentemente un enfoque integrado de la salud humana y la gestión de los recursos hídricos.

El marcado deterioro de los cuerpos de agua superficial hace prioritaria su evaluación para la toma de decisiones, que incluyen acciones de control y mitigación del nivel de contaminación y riesgo sanitario asociado. Estas decisiones serán determinantes en la complejidad y costos del tratamiento del agua para consumo humano, así como para una adecuada gestión del recurso (Liu *et al.*, 2012).

A nivel global, uno de los principales problemas relacionado con la calidad del agua lo constituye la eutrofización, que es el resultado de un aumento de los niveles de nutrientes (generalmente fósforo y nitrógeno) y afecta sustancialmente a los usos del agua. Las mayores fuentes de nutrientes provienen de la escorrentía agrícola y de las aguas residuales domésticas (también fuente de contaminación microbiana), de efluentes industriales y emisiones a la atmósfera procedentes de la combustión de combustibles fósiles y de los incendios forestales. Las lagunas y lagos poco profundos, típicos de la provincia de Buenos Aires, son especialmente susceptibles a los impactos negativos de la eutrofización debido a su complejo dinamismo, con un periodo de residencia del agua relativamente largo, y al hecho de que concentran los contaminantes procedentes de las cuencas de drenaje. Las concentraciones de nitrógeno superiores a 5 miligramos por litro de agua a menudo indican una

contaminación procedente de residuos humanos o animales o provenientes de la escorrentía de fertilizantes de las zonas agrícolas.

Si bien la eutrofización es un proceso natural en los ecosistemas acuáticos (Ramírez, 2000), durante los últimos 200 años el hombre ha acelerado estos procesos de eutrofización modificando tanto la calidad de las aguas, como la estructura de las comunidades biológicas debido al aumento en la carga orgánica e inorgánica de los cuerpos de agua (Burkholder, 2001). La eutrofización reduce considerablemente los usos potenciales que tienen los recursos hídricos puesto que induce a la mortalidad de especies animales, la descomposición del agua y el crecimiento de microorganismos. Además, en muchas ocasiones los microorganismos se convierten en un riesgo para la salud humana, como es el caso de los agentes patógenos transmitidos por el agua, que constituyen un problema de salud mundial (Vargas *et al.*, 1996).

1.1.2 Situación Regional

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

En los últimos años el interés por la calidad ambiental de aquellos ríos, arroyos y riachuelos que atraviesan ciudades, urbes y asentamientos, ha tomado un gran protagonismo, comenzando con el caso de la cuenca Matanza Riachuelo, que dado su nivel de degradación por años de desidia y negligencia fue intervenido judicialmente, directamente por la Corte Suprema de Justicia de la Nación.

Si bien cada uno de los cursos de agua posee características y problemáticas naturales y ambientales diferentes, los cuerpos de agua superficial situados sobre el conurbano bonaerense comparten algunas características comunes, entre ellas:

- Están ubicados sobre una planicie ondulada y se dirigen al Río de la Plata.
- En la mayoría de los cursos de agua existe un proceso progresivo de asentamiento de viviendas carenciadas que ocupan la ribera y la planicie de inundación del curso, generando un elevado riesgo de inundación, lo cual conlleva a una importante diversidad de conflictos ambientales y sanitarios.
- Muchos de los pobladores de estas áreas son desocupados o practican algún tipo de actividad de subsistencia, algunas de ellas, causales de importantes conflictos ambientales, como el caso del “cirujeo” y los residuos no comercializables.
- En tramos urbanizados del curso de los arroyos se producen vuelcos directos, extendidos o puntuales de residuos sólidos urbanos (RSU).
- La presencia de residuos, vegetación abigarrada y el posterior estancamiento del agua, permiten el desarrollo de plagas y vectores de enfermedades transmisibles al hombre.
- El vuelco directo de aguas servidas desde los domicilios particulares y los vuelcos de efluentes cloacales directos o indirectos, con deficiente o nulo tratamiento, aportan al arroyo, microorganismos que pueden ser causantes de múltiples patologías humanas, desde parasitosis a infecciones bacterianas.

Una de las cuencas más importantes de la región sin duda es la Cuenca Matanza Riachuelo, la cual cuenta con 2240 km² de superficie y 64 Km de extensión, y atraviesa gran parte de los partidos de la Provincia de Buenos Aires (Torres *et al.*, 2009). En sus proximidades habitan 3,5 millones de personas, y se encuentran radicados gran cantidad de establecimientos industriales. Ambas cuestiones se convierten en causas fundamentales de la contaminación en la zona de la cuenca, mediante vertidos cloacales y desechos industriales.

Un Estudio del Banco Mundial afirma que unos 20.000 establecimientos efectúan vertidos de desechos industriales de distinto tipo en la cuenca, de los cuales unos 14.000 no hacen uso de ningún sistema de tratamiento (Ramírez, 2000).

Cabe destacar que otro importante factor de contaminación lo constituyen los basurales a cielo abierto, que representan el 70 % del total de los existentes en el AMBA. Estos basurales producen un importante impacto negativo sobre las aguas superficiales y subterráneas, convirtiéndose en un factor de riesgo a la salud de la población, sobre todo de bajos recursos, que es la que generalmente habita en las proximidades.

Si bien la calidad del agua de la cuenca difiere según los tramos de que se trate, el sector más contaminado de la misma es el denominado tramo final, que limita con la Ciudad de Buenos Aires y se extiende hasta la desembocadura en el Río de la Plata, el cual por los valores de varios de sus parámetros de calidad, como es el caso de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), lo convierten prácticamente en una cloaca a cielo abierto (Torres *et al.*, 2009).

La situación del río Reconquista no es muy distinta de la anteriormente enunciada, ya que recibe descargas de efluentes cloacales domiciliarios y descargas directas de efluentes de unas 7500 plantas industriales de diversos tamaños, e indirectas de unas 12.000 plantas industriales, a lo largo de las diferentes jurisdicciones que recorre.

De igual forma, ambos ríos tampoco resultan favorecidos desde el punto de vista natural, ya que cuentan con una mínima capacidad de dilución, cuestión que dificulta en gran parte la capacidad de autodepuración de los acuíferos y, además, se sitúan en zonas potencialmente inundables, que agravan los impactos negativos de los sectores urbanos por los que atraviesan.

El Río de la Plata cumple múltiples funciones, además de ser el receptor de los efluentes líquidos de las distintas cuencas que atraviesan el AMBA y de los arroyos entubados y pluviales de la Ciudad de Buenos Aires, es el principal abastecedor de agua para bebida en el área. Esto significa que el Río de la Plata es al mismo tiempo la fuente del agua que consumen una importante porción de los habitantes del AMBA y depósito de los efluentes que se desechan.

El Banco Mundial estimó en 1995 (WHO, 2003) que diariamente fluyen hacia el estuario 2,3 millones de m³ de aguas negras sin tratar y 1,9 millones de m³ de descargas industriales. Esta particular circunstancia hace que la contaminación del

agua y las costas del Río de la Plata sean un problema prioritario para toda la región y fundamentalmente para los municipios co-ribereños (WHO, 2008).

Aguas Argentinas en 1995 determinó que las aguas del Río de la Plata que se encuentran entre la zona de la costa y los 2500 metros, deben ser consideradas como de mediocre o regular calidad, no apta para el consumo humano, aún bajo tratamiento. Cabe mencionar que en la zona referida, la capacidad de dilución del río no es lo suficientemente elevada como para poder mitigar el impacto antrópico recibido, de todas formas no es menos cierto que ha sido el importante caudal propio del río (Batterman *et al.*, 2009) el que ha evitado, a lo largo de décadas, que la situación de deterioro ambiental no colapsara de forma definitiva.

Las principales fuentes de contaminación están constituidas por los volcamientos de cloacas a la red pluvial, los efluentes industriales, los lixiviados de basurales, y una importante cantidad de residuos dispersos en la vía pública que llegan al río.

En un estudio llevado a cabo en 1997 por (SHN, AA, OSBA,IL), se pudo determinar que el Río Matanza- Riachuelo es, de todos los cursos de aguas que descargan en el Río de la Plata, el que aporta el mayor volumen de contaminantes, junto con los arroyos Sarandí y Santo Domingo que desembocan a la altura de la Ciudad de Avellaneda.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Determinar las características microbiológicas y físico-químicas de cuerpos de agua superficiales de zonas urbanas y periurbanas de la Provincia de Buenos Aires expuestos a contaminación por basurales, descargas de aguas residuales y/o de efluentes industriales; y su relación con enfermedades hídricas y condiciones socioeconómicas y ambientales de la población.

1.2.2 Objetivos Particulares

- Seleccionar la/s cuenca/s a estudiar en función de la información obtenida y su accesibilidad.

- Relevar la información existente referida a las características microbiológicas y físico-químicas de cuerpos de agua superficiales de los arroyos bonaerenses seleccionados y de fuentes puntuales de contaminación asociadas.
- Determinar cualitativa y cuantitativamente los microorganismos indicadores y los agentes patógenos asociados a enfermedades hídricas, presentes en los cuerpos de agua seleccionados, de acuerdo con metodologías estandarizadas internacionales.
- Estudiar posibles relaciones entre los resultados obtenidos y enfermedades asociadas, de manera general a partir de la bibliografía especializada.
- Aplicar de índices de calidad y contaminación del agua. Análisis de sensibilidad de la incidencia de los distintos parámetros en el valor final del índice para su uso en estudios regionales.
- Evaluar los resultados obtenidos considerando el contexto social, económico y cultural del área de estudio.

1.3 Contextualización del Área de Estudio

1.3.1 Ubicación del Área de Estudio

El área de estudio comprende a los arroyos Las Piedras y San Francisco que forman parte de la cuenca hidrográfica Sur del arroyo Santo Domingo (Figura 1.1), los mismos cubren una superficie aproximada de 153 km² con una extensión de 23 km recorriendo parte de los partidos de Avellaneda, Quilmes, Florencio Varela y Almirante Brown.

Particularmente en este caso, se estudió el área de los arroyos que afecta alrededor de 600.000 personas en el partido de Quilmes; en esta zona se localiza el eje de crecimiento del Área Metropolitana de Buenos Aires (AMBA) sobre la margen derecha del estuario del Río de la Plata y a 17 km del centro de la Ciudad de Buenos Aires.

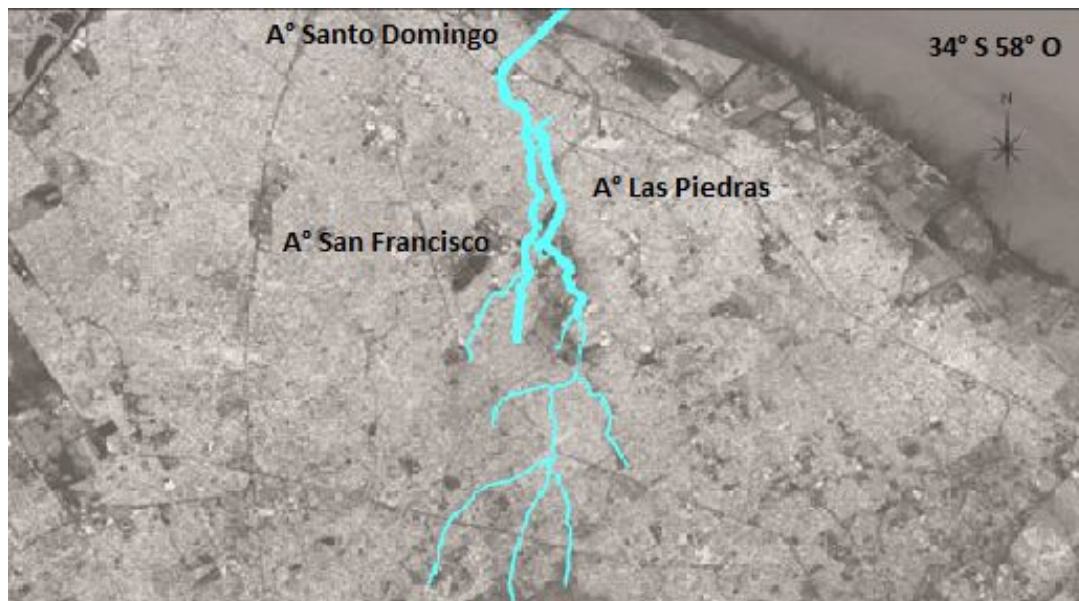


Figura 1.1. Mapa de la cuenca Sur del arroyo Santo Domingo con sus arroyos afluentes Las Piedras y San Francisco (34° S, 58° O).

El partido de Quilmes posee su centro en coordenadas geográficas 34°43' de latitud Sur y 58°15' de longitud Oeste. Limita hacia el noreste con el Río de la Plata; hacia el Sudeste y Sur con los partidos de Berazategui y Florencio Varela respectivamente; hacia el Oeste y Suroeste con Lomas de Zamora y Almirante Brown y hacia el noroeste con Lanús y Avellaneda.

La superficie total del partido es de 125 km² y se encuentra dividido en 9 localidades o entidades: Bernal (B), Bernal Oeste (BO), Don Bosco (DB), Ezpeleta (E), Ezpeleta Oeste (EO), Quilmes (Q), Quilmes Oeste (QO), San Francisco Solano (SFS) y Villa La Florida (VLF), distribuidas según se muestra en la siguiente figura (Figura 1.2):

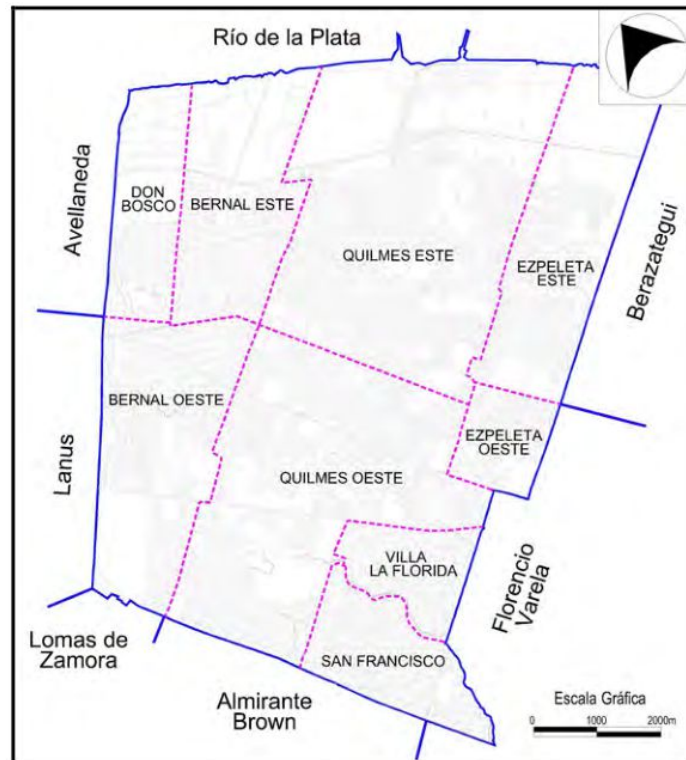


Figura 1.2. Localidades del partido de Quilmes

La entidad más populosa corresponde a QO. A ella le siguen Q, BO, SFS, E, B, VLF, EO y DB. Los arroyos en estudio atraviesan 3 entidades: BO, QO y SFS (Masciadri, 2009).

1.3.2 Caracterización Demográfica-Socioeconómica

El AMBA está integrada por 24 partidos provinciales más la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y viven cerca de 13 millones de personas en una superficie del orden de los 3.800 km².

Población en el AMBA		
Censo Año	Población	Incremento
1970	8.435.840 hab.	---
1980	9.969.826 hab.	15,4%
1991	11.297.987 hab.	11,8%
2001	12.046.799 hab.	6,6%
2010	12.806.866 hab.	5,9%

Tabla 1.1. Población del AMBA. Fuente: INDEC, 2010.

El AMBA representa actualmente 39,1% de la población total de la Argentina y el partido de Quilmes el 1,5%. Dentro de los 24 partidos bonaerenses incluidos, el de Quilmes representa el 5,9% de su población (Tabla 1.1, Tabla 1.2).

Partido	Población	Varones	Mujeres	Índice de masculinidad
24 partidos del Gran Bs. As.	9.916.715 hab.	4.816.344	5.100.371	94,4
Quilmes	582.943 hab.	281.928	301.015	93,7

Tabla 1.2. Población de Quilmes y 24 partidos del Gran Buenos Aires. Fuente: INDEC, 2010.

En ambos contextos, ya sea en las áreas con gran desarrollo urbano, como las aún no totalmente urbanizadas o periurbanas, se verifica una importante presión antrópica sobre los recursos naturales, en particular sobre los hídricos (cambios en la geometría de las cuencas), las zonas rurales y las áreas verdes remanentes.

Su población total, según el último censo realizado por el INDEC (2010), es de 582.943 habitantes, la cual ha tenido una variación respecto de los anteriores, según se observa en la Tabla 1.3.

Población en Quilmes			
Censo	Población	Incremento	Densidad
[año]	[hab.]	[%]	[hab/km ²]
1970	355.265	---	2.842
1980	446.587	20,4	3.573
1991	511.234	12,6	4.090
2001	518.788	1,5	4.150
2010	582.943	11,0	4.664

Tabla 1.3. Población Total del partido de Quilmes. Fuente: INDEC, 2010

La distribución según cada localidad se muestra a continuación:

Localidad	Porcentaje de población sobre el total
Quilmes Oeste	23 %
Quilmes Este	22 %
Bernal Oeste	15 %
San Francisco Solano	10 %
Ezpeleta Este	9 %
Bernal Este	6 %
La Florida	6 %
Ezpeleta Oeste	5 %
Don Bosco	4 %

Tabla 1.4. Distribución de la Población en el partido de Quilmes.

Según el mismo Censo la distribución de acuerdo a las características edilicias de las viviendas, es la siguiente:

Tipo	Tipo de vivienda							
	Casa	Rancho	Casilla	Dpto.	Pieza/s en inquilinato	Pieza/s en hotel o pensión	Local no construido para habitación	Vivienda móvil
Viviendas	140.172	1.072	5.229	16.214	669	102	246	13
Hogares	151.891	1.197	5.742	17.009	863	136	258	14
Población	509.412	4.599	21.760	41.147	2.136	304	565	38

Tabla 1.5: Características de las Viviendas en el partido de Quilmes. Fuente: INDEC, 2010

Conforme al Censo Social realizado en el Municipio en el año 2010, unas 101.028 personas viven en zonas de villas de emergencia, asentamientos o viviendas en áreas precarias, es decir, el 18,4% de la población de Quilmes se encuentra en situación de vulnerabilidad social. La distribución de la población en dicha situación se caracteriza por una estructura etaria más joven respecto a la media del Municipio. Se explica por una mayor participación de los niños, niñas y adolescentes al interior de la población en esa situación alcanzando el 45.1%, mientras que esta proporción se reduce al 32,7% en el Municipio (Censo Social, 2010). A partir de estos datos, se puede estimar

que la población con Niveles Básicos Insatisfechos (NBI)¹ alcanza aproximadamente al 14% (Tabla 1.4, Tabla 1.5).

Urbanización

El partido de Quilmes se encuentra en un 77% amanzanado, quedando la superficie restante ocupada por predios de grandes dimensiones, como el relleno sanitario de la Coordinación Ecología Área Metropolitana Sociedad del Estado (CEAMSE) y algunos sectores de tierras vacantes. Del área amanzanada es posible reconocer zonas de tipo comercial y de servicios, residenciales exclusivas y residenciales mixtas (Fidel, 2008). Las áreas no amanzanadas de mayor relevancia las constituyen el sector ubicado al Este del partido, entre la barranca y la costa del Río de la Plata, y el área próxima a los arroyos San Francisco y La Piedras. Ambas zonas con de cotas bajas e inundables, sin embargo, existen en la actualidad proyectos de desarrollo urbanístico en estas áreas, uno de ellos denominado Nueva Costa del Plata de carácter privado y otro de carácter municipal en el marco del Plan Estratégico Quilmes, a cargo de la Unidad Ejecutora del Proyecto de la Ribera, creada a tal fin. En la zona costera se ubica el mencionado relleno sanitario (CEAMSE) y varias cavas, ambos ámbitos de gran impacto ambiental, así como también predios deportivos, y áreas parcialmente amanzanadas ocupadas por núcleos de población de bajo nivel socioeconómico. Algo similar ocurre en la otra zona, donde se localizan fundamentalmente actividades industriales, pero en la cual también se han producido asentamientos precarios en terrenos inundables, y degradados desde el punto de vista ambiental por falta de servicios y generación de basurales.

Red de desagües Pluviales – Áreas Inundables

La sucesiva ocupación del territorio por la acción antrópica de la urbanización, alteró el drenaje natural de las cuencas de los arroyos Santo Domingo, San Francisco y Las

¹ Hogares que presenten al menos una de las siguientes privaciones: que tuvieran más de tres personas por cuarto; vivienda de tipo inconveniente (pieza de inquilinato, vivienda precaria u otro tipo); que no tuvieran ningún tipo de retrete; que tuvieran algún niño en edad escolar que no asistiera a la escuela; que tuvieran cuatro o más personas por miembro ocupado y, además, cuyo jefe no haya completado tercer grado de escolaridad primaria.

Piedras, además de provocar la impermeabilización del suelo, con el consiguiente incremento del escurrimiento superficial.

El partido posee una red de desagües pluviales más o menos desarrollada, que consiste fundamentalmente en el entubamiento y/o canalización de los cursos de agua naturales. Este sistema principal se complementa con un conjunto de conducciones menores que drenan barrios más alejados, llegando incluso a conducciones en zanja en aquellas zonas de asentamientos más precarios o calles sin pavimentar. El desagüe natural de la red pluvial son los mencionados arroyos, y finalmente por éstos, al Río de la Plata.

Este sistema de drenaje urbano se encuentra ubicado en una zona muy poblada y de importante desarrollo industrial, recibiendo además de los aportes pluviales, efluentes domiciliarios, cloacales e industriales, por lo cual el agua conducida posee niveles altos de contaminación. La falta de conservación y mantenimiento, sobre todo de las canalizaciones, contribuye a esta contaminación y a la degradación del entorno.

El área costera se ve periódicamente expuesta a inundaciones, no tanto debido a precipitaciones pluviales, sino como consecuencia de los incrementos de los niveles del Río de la Plata provocados por fuertes y persistentes vientos del sudeste (sudestadas). Cuando éstas últimas se combinan con precipitaciones intensas las áreas involucradas son muy superiores, debido a que se limita la capacidad de desagüe de los sistemas de drenaje urbano.

Los hogares que presenten al menos una de las siguientes privaciones se considera que sus necesidades básicas se encuentran insatisfechas: hogares que tuvieran más de tres personas por cuarto; hogares en una vivienda de tipo inconveniente (pieza de inquilinato, vivienda precaria u otro tipo, lo que excluye casa, departamento y rancho); hogares que no tuvieran ningún tipo de retrete; hogares que tuvieran algún niño en edad escolar (6 a 12 años) que no asistiera a la escuela; hogares que tuvieran cuatro o más personas por miembro ocupado y, además, cuyo jefe no haya completado tercer grado de escolaridad primaria. Los datos del Censo Social, permiten dar cuenta que 19.133 hogares viven en el Municipio con al menos una de estas privaciones, es decir que, 82.339 personas viven con sus necesidades básicas insatisfechas (NBI). El indicador NBI mide específicamente pobreza estructural (Figura 3).

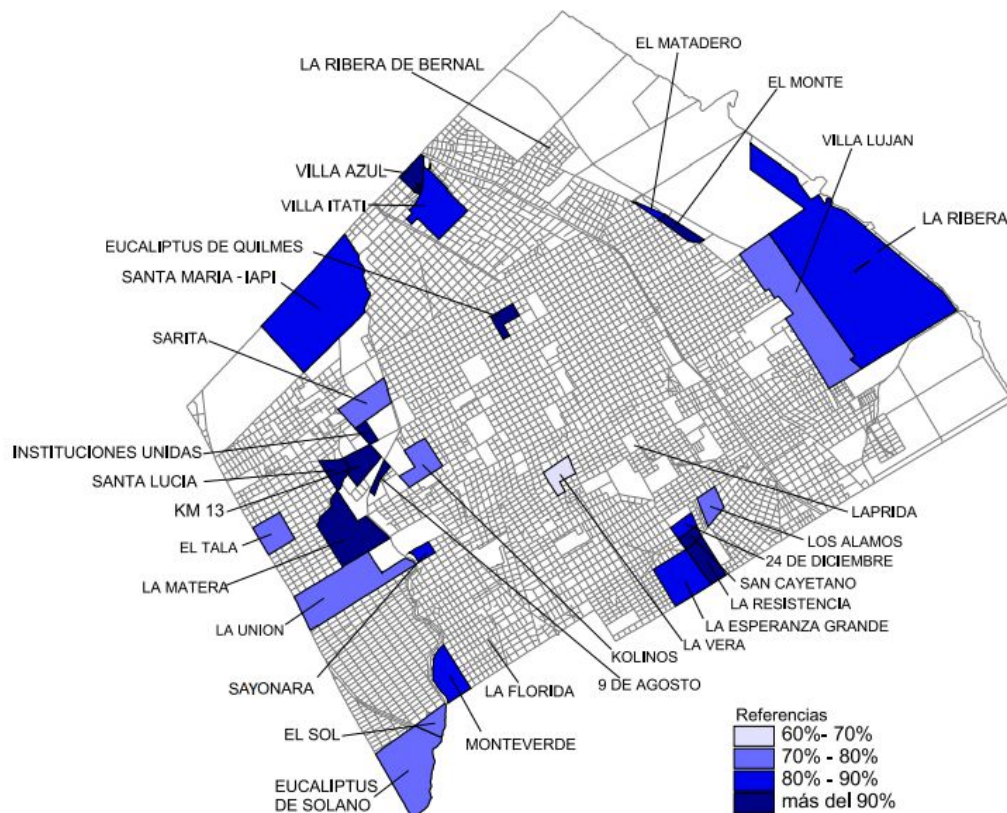


Figura 1.3. Hogares con NBI – Pobreza Estructural. En porcentajes - Censo Social Quilmes 2010

Según el Censo Social hay 101.028 personas que viven en situación de vulnerabilidad en Quilmes, de las cuales el 81,5% presenta sus necesidades básicas insatisfechas (NBI- Pobreza Estructural), entre ellos se encuentran los habitantes de los barrios atravesados por los arroyos las Piedras y San Francisco.

Las condiciones de pobreza estructural en la que vive esta población se combinan con la insuficiencia de disponer de un ingreso monetario que permita cubrir determinadas necesidades mínimas o alcanzar la línea de pobreza del hogar (Censo Social Quilmes, 2010).

Este indicador permite establecer un umbral monetario al interior de cada hogar a partir de los ingresos declarados. Se establece si éstos tienen la capacidad de satisfacer -por medio de la compra de bienes y servicios- un conjunto de necesidades alimentarias y no alimentarias consideradas esenciales, teniendo en cuenta su composición en términos de adultos equivalentes, es decir, considerando los valores

“equivalentes” de las necesidades energéticas de todos sus miembros y contrastándolo con la valorización de la Canasta Básica Alimentaria (CBA) y la Canasta Básica Total (CBT)² es posible establecer los hogares que están en situación de pobreza e indigencia.

En este sentido, según los datos de ingresos declarados en el Censo Social, el 40,2% de la población en situación de vulnerabilidad social no contaba con los ingresos suficientes para cubrir los requerimientos alimentarios básicos necesarios, de los cuales el 11,3% se encontraba en la pobreza por ingresos extrema (indigencia).

Cabe destacar que al momento del Censo Social recién se estaba implementando la Asignación Universal por Hijo (AUH) por lo cual los datos de pobreza por ingreso presentados en los párrafos anteriores no contemplan el impacto de la AUH en los ingresos declarados.

Uno de los objetivos de la Asignación Universal por Hijo es sacar de la indigencia a los hogares con niños/niñas y adolescentes menores de 18 años. A la fecha, se encuentra en proceso la realización de los cruces de datos correspondientes con el SINTYS³ para recalcular estos indicadores y analizar la cobertura de AUH en estos hogares.

² Tanto la CBA como los componentes no alimentarios de la CBT se valorizan cada mes por el INDEC con las variaciones de precios relevados por el Índice de Precios al Consumidor (IPC).

³ El SINTYS brinda información proveniente de beneficiarios de programas sociales, ingresos provenientes de empleo dependiente e independiente, jubilaciones y pensiones, seguro de desempleo, entre otros.

1.4 Conclusiones Parciales

Puede advertirse que gran parte de los problemas hídricos provienen de la geomorfología local, ya que la escasa pendiente origina un escurrimiento superficial muy dificultoso, con escasas posibilidades de atenuación natural de los problemas de contaminación. Sumado a la gran cantidad de asentamientos precarios ubicados en los márgenes inundables de los arroyos, los cuales sólo se reflejan en el Censo Social y no así en el ejecutado por el INDEC.

Según los números mencionados en este capítulo la situación social y ambiental es complicada, vale señalar que desde el comienzo de esta investigación en 2011 hasta la actualidad, la ocupación desordenada y precaria de los terrenos no amanzanados e

inundables ocurrió de manera exponencial, incrementando así el número de personas con necesidades básicas insatisfechas.

[TESIS DOCTORAL- LIC. ELORDI M. LUCILA]

[CAPÍTULO II:]

[Antecedentes y Marco Teórico]

[2016]

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

2. Antecedentes y Marco Teórico

El área de estudio constituye uno de los sectores más críticos del AMBA dada su extensión, la densidad de población que la habita y los factores de degradación que concurren.

Su escala, la falta de conectividad y conflictos ambientales funcionan como un círculo vicioso donde se multiplican las condiciones de pobreza estructural.

2.1 Calidad del Agua de consumo

Si bien prácticamente todo el partido goza del servicio de red de agua corriente y el 78,48% de cloacas, es de gran importancia resaltar que estos valores no contemplan la realidad de los extensos asentamientos que se están sucediendo a los márgenes de estos arroyos desde diciembre de 2010.

En la Figura 2.1 se observa la cobertura tanto del servicio de red de agua corriente como de red cloacal en todo el partido de Quilmes, estos datos fueron suministrados por la Secretaría de Agua, Cloacas y Saneamiento Hídrico del Municipio de Quilmes. Aquí podemos destacar que dentro del 21,52% de la población de Quilmes que no posee servicio de cloacas, se encuentran las localidades de interés en este estudio: Quilmes Oeste (QO), San Francisco Solano (SFS) y Bernal Oeste (BO), que rodean el curso de los arroyos en estudio (INDEC, 2010; Masciadri, 2009).



Figura 2.1 .Porcentaje de previsión de servicios públicos de agua corriente y cloacas en el partido de Quilmes.

Por su parte, el acceso a agua de red se obtiene en un 74% por cañería dentro de la vivienda, mientras que, casi un cuarto de las viviendas la obtienen fuera de la vivienda pero dentro del terreno y un 2,2% fuera del terreno.

En la Figura 2.2. a y b se observa que tanto la provisión de cloacas como el servicio de agua corriente en las tres localidades (BO, QO y SFS) que comprenden las márgenes de los arroyos en estudio es realmente deficiente, lo que revela una posible causa atribuible a los resultados bacteriológicos hallados.

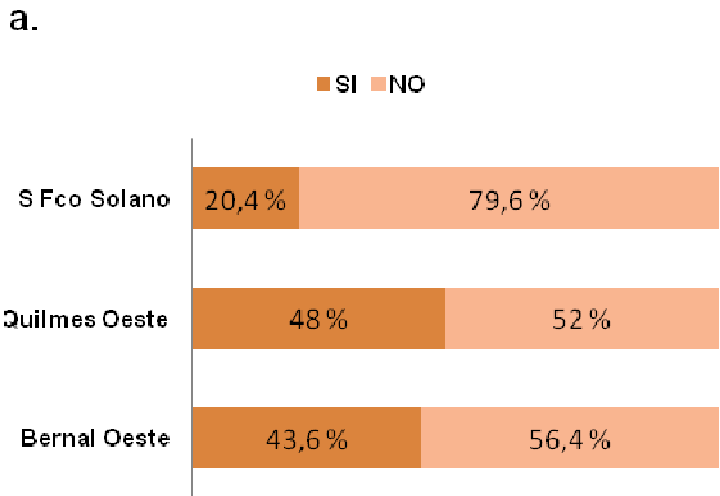


Figura 2.2. a.- Provisión de cloacas en las tres entidades afectadas por los arroyos.

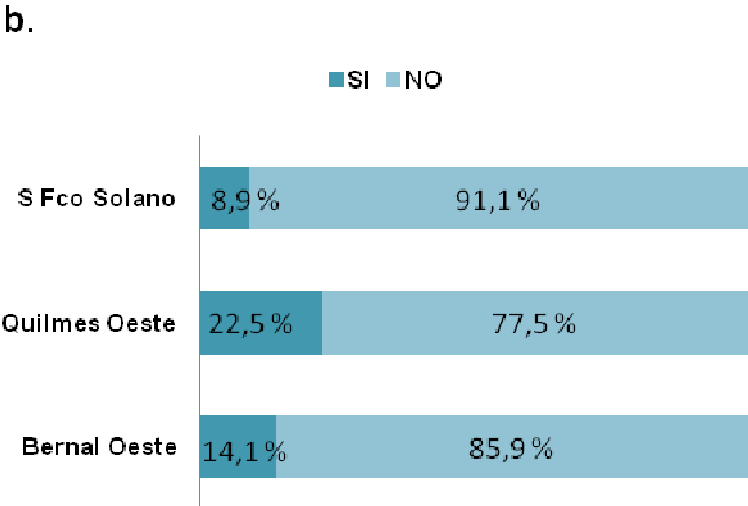


Figura 2.2. b.- Provisión de red de agua corriente en las tres entidades afectadas por los arroyos.

Cabe consignar que los porcentajes mencionados hacen referencia al 100% de cobertura en cada localidad. Por otro lado una parte sustancial de la provisión de agua no corriente corresponde a pozos particulares.

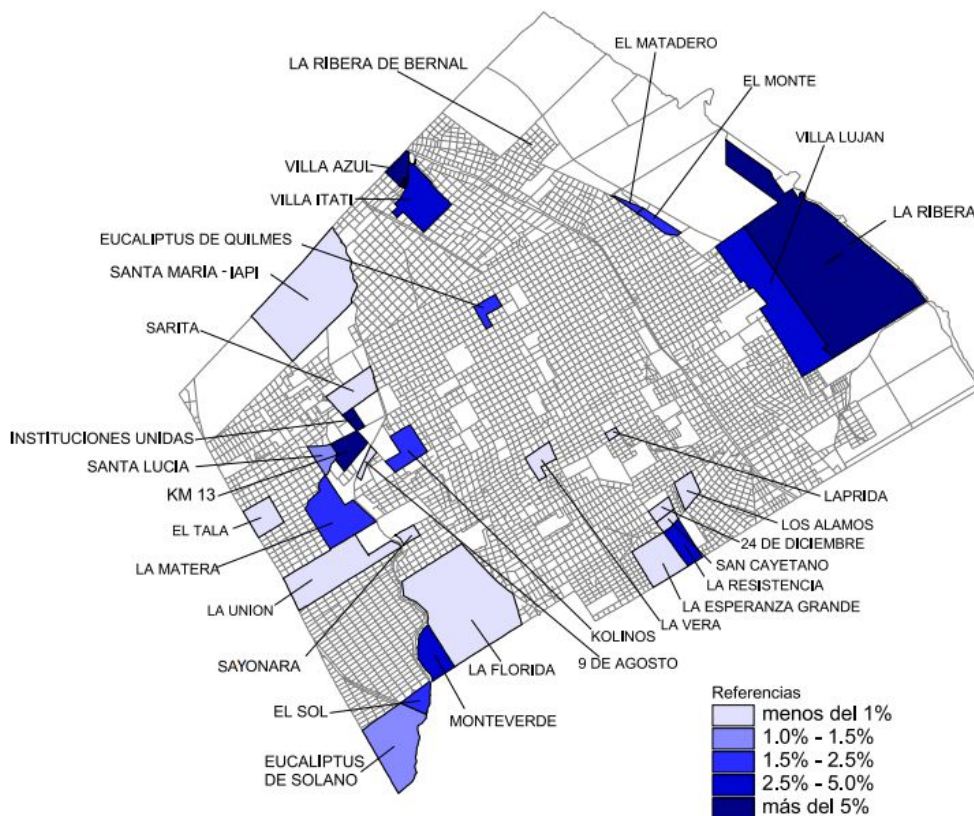


Figura 2.3. Hogares en Viviendas con acceso a Agua de Red fuera del terreno. En porcentajes - Censo Social Quilmes 2010.

Los barrios relevados por el Censo Social que no disponían del desagüe a red cloacal afectan a 22.173 viviendas de un total de 24.087 viviendas censadas. La incidencia de este indicador al interior de cada barrio, oscila entre el 75% y el 98% del total de viviendas en situación de vulnerabilidad social (Figura 2.3 y Figura 2.4).

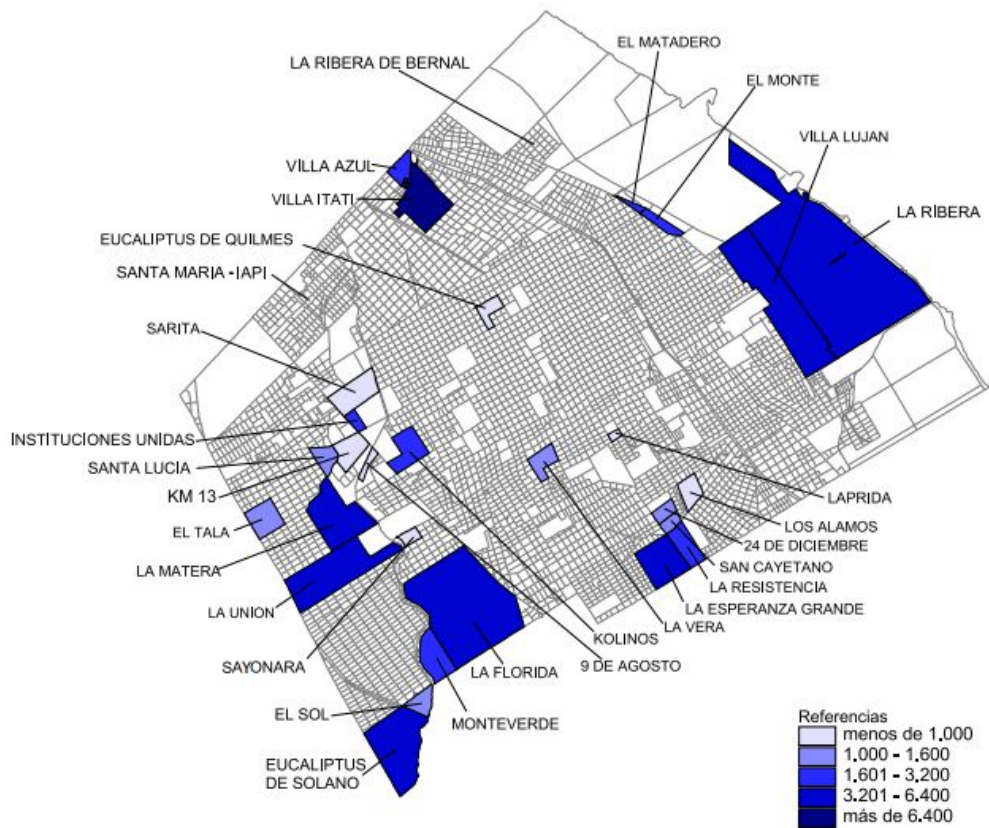


Figura 2.4. Viviendas sin desagüe de red cloacal

Según el Censo Social en 2010, 20.023 viviendas están afectadas por la falta de extensión del servicio de gas. El 83% del total de viviendas censadas no dispone de este servicio, destacándose el gas en garrafa como principal combustible para cocinar (Figura 2.5).

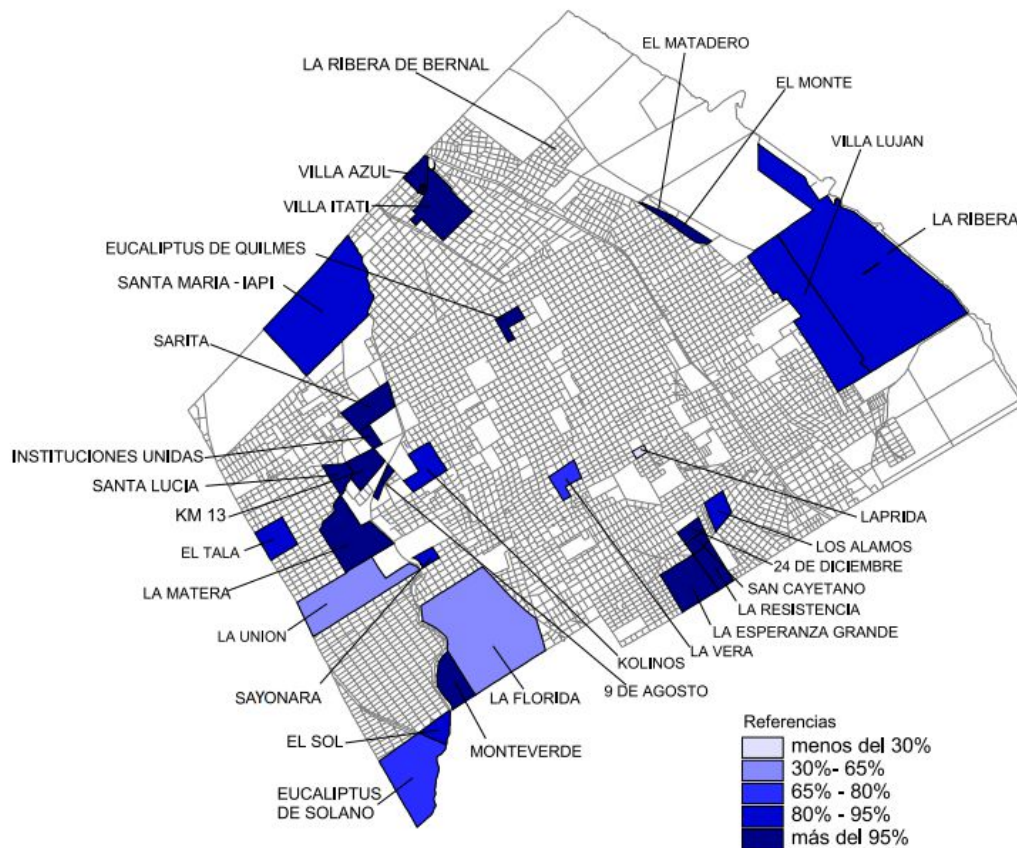
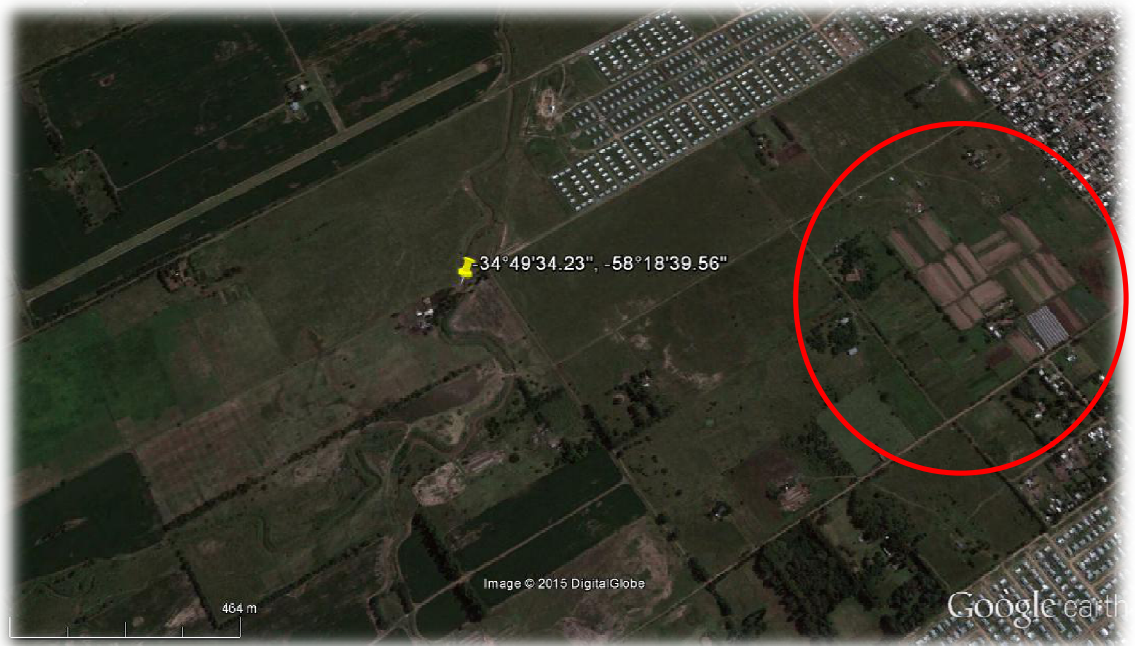


Figura 2.5. Hogares en Viviendas Sin Servicio de Gas. En porcentajes - Censo Social Quilmes 2010

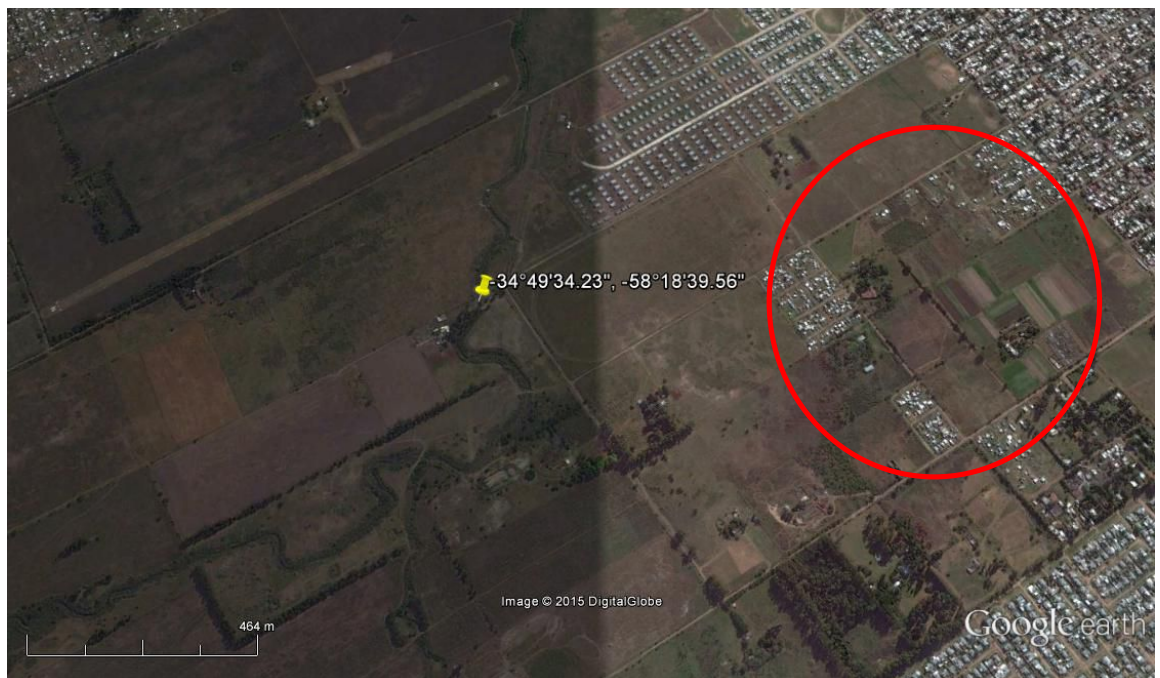
La calidad del agua, tanto si se utiliza para beber, usos domésticos, la producción de alimentos o fines recreativos tiene un impacto importante en la salud. El agua de mala calidad puede causar brotes de enfermedades y puede contribuir a tasas de enfermedad que se manifiestan en diferentes escalas de tiempo. Iniciativas para la gestión de la seguridad del agua no sólo apoyan la salud pública, sino que también promueven el desarrollo socioeconómico y el bienestar de la población (Fidel, 2008; Censo Social Quilmes, 2010).

Una situación imponente y que se refleja en la zona de estudio, es la progresiva ocupación de los márgenes de los arroyos y alrededores que ocurrió durante los años en que se llevó a cabo la investigación (2010-2015). Esto se puede ver claramente en las siguientes figuras que muestran el avance de la urbanización, desordenada en muchos casos, en los sitios de muestreo seleccionados para este estudio (Figuras 2.6 – Figura 2.23)

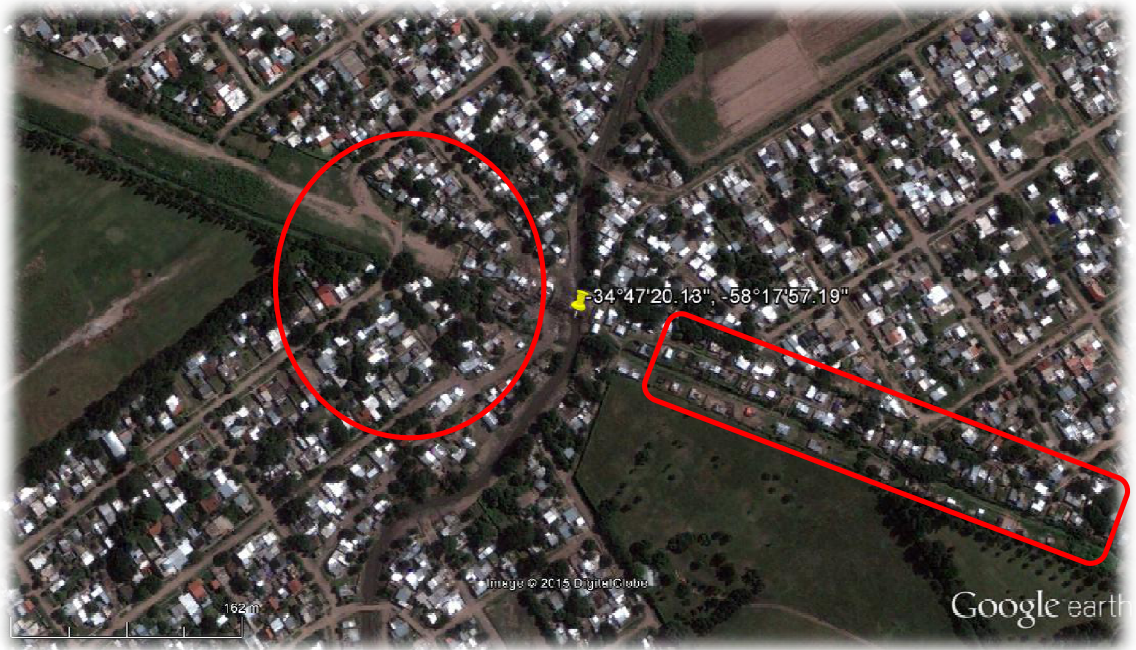
-LP1 (2010)



-LP1 (2015)



-LP2 (2010)



-LP2 (2015)



-LP3 (2010)



-LP3 (2015)



-LP4 (2010)



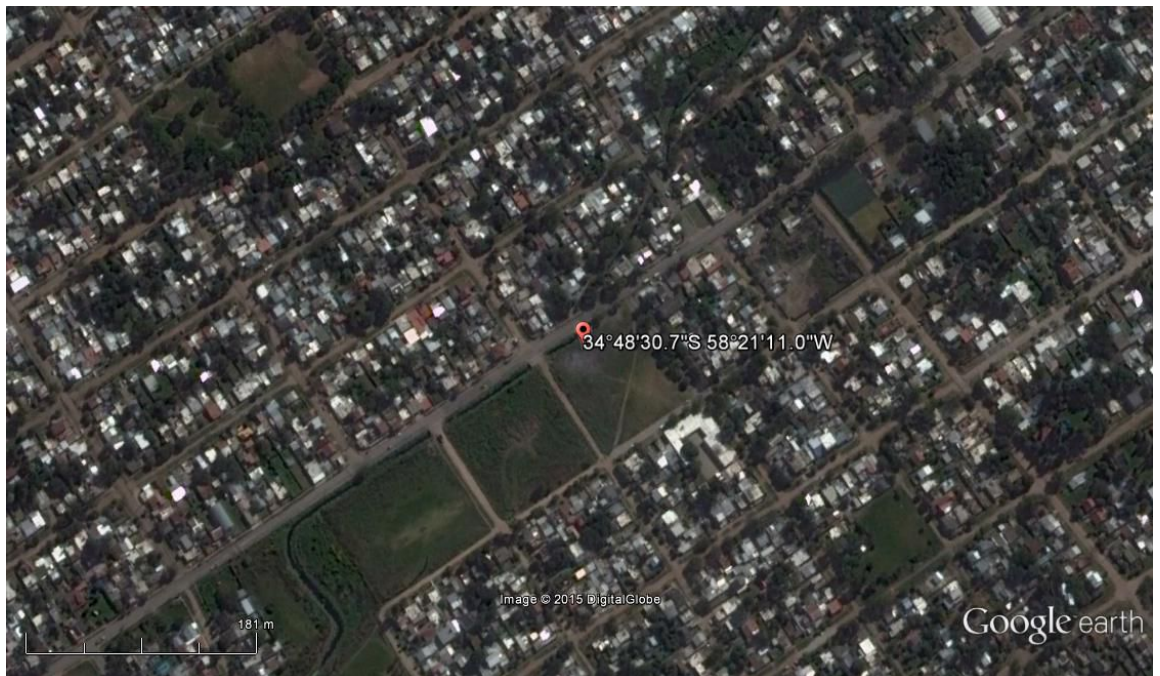
-LP4 (2015)



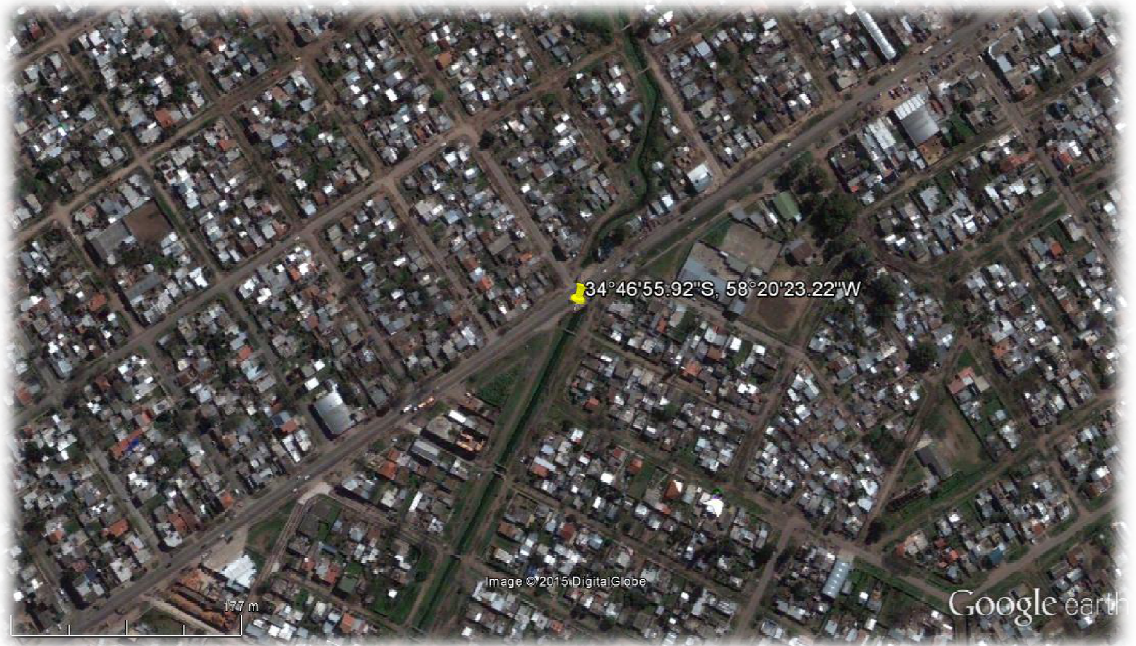
-SF1 (2010)



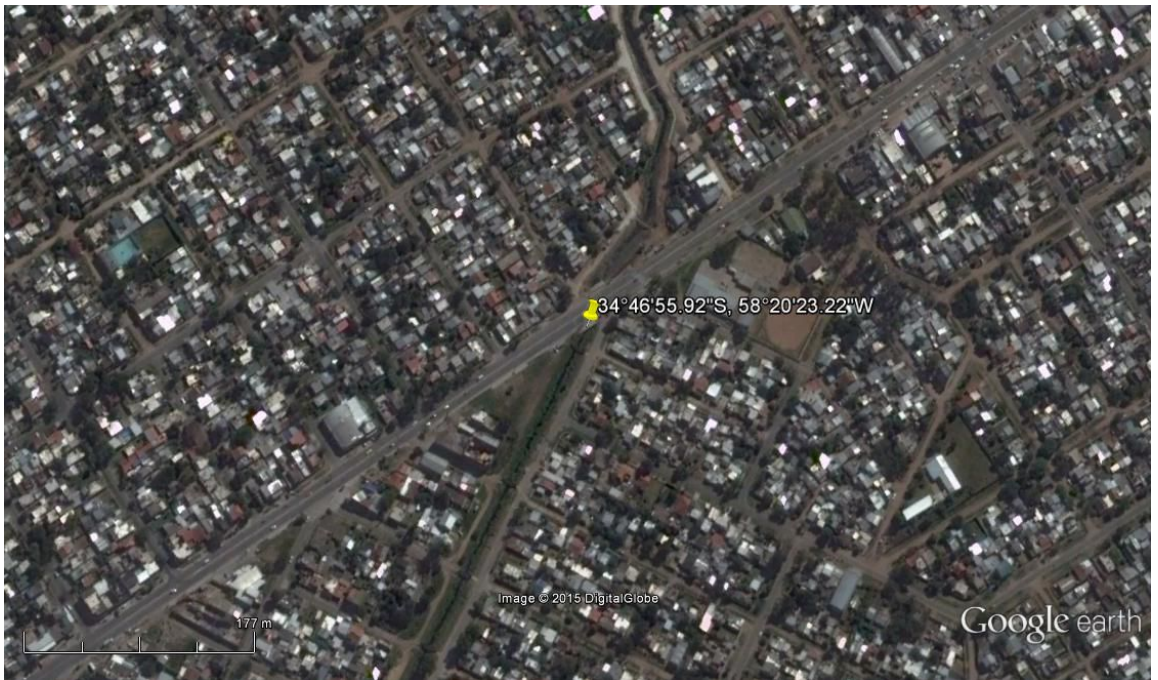
-SF1 (2015)



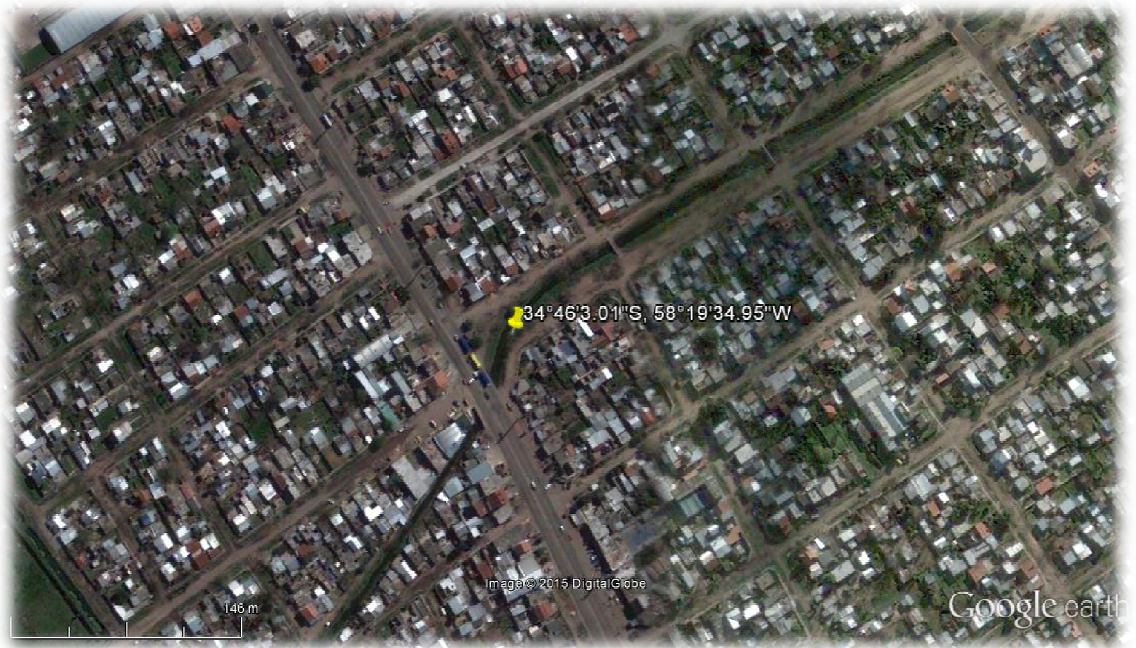
-SF1' (2010)



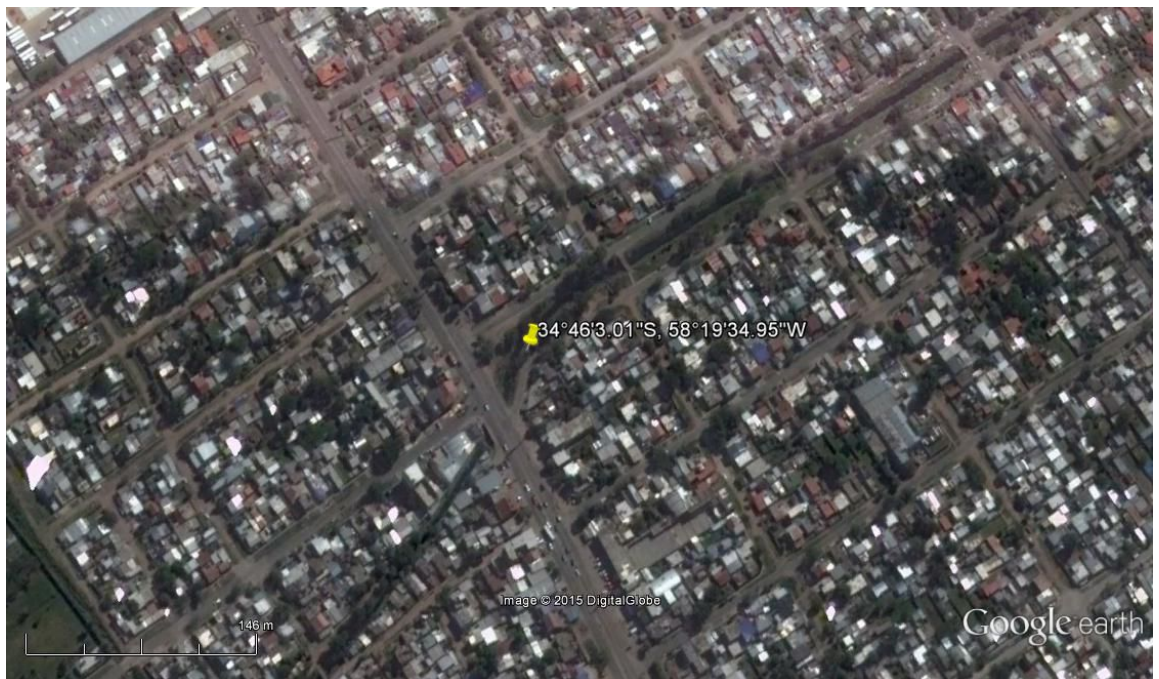
-SF1' (2015)



-SF2 (2010)



-SF2 (2015)



-SF3 (2010)



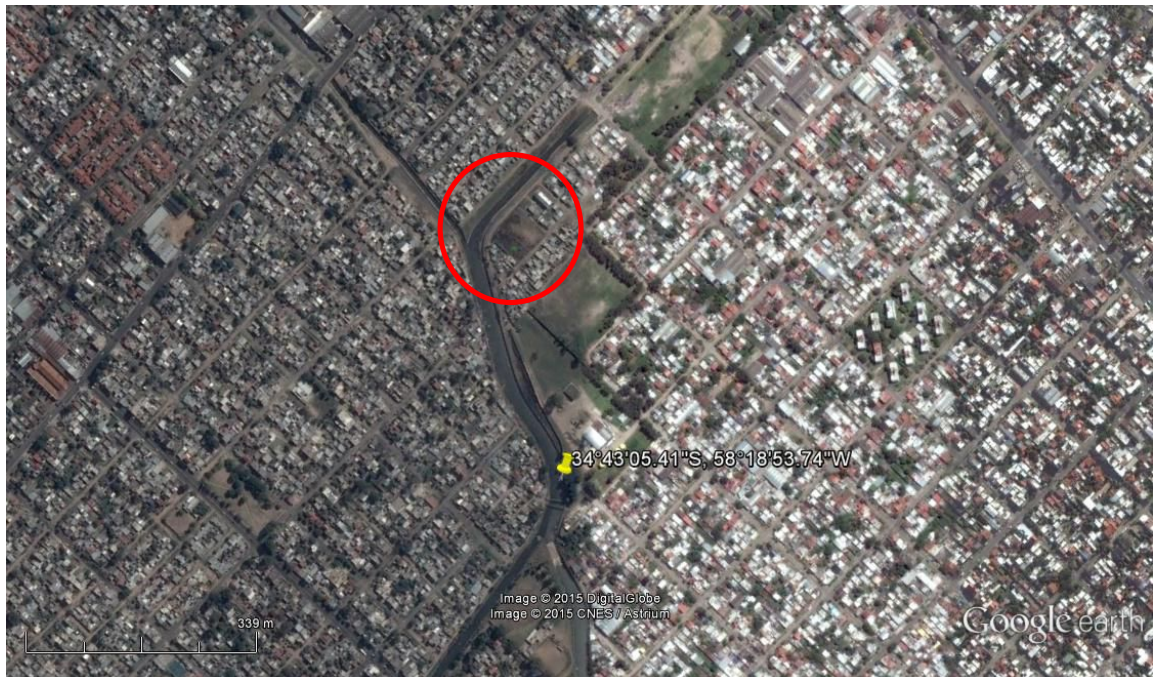
-SF3 (2015)



-CONFLUENCIA (2010)



-CONFLUENCIA (2015)



2.2 Enfermedades Hídricas

El agua hace posible un medio ambiente saludable pero, paradójicamente, también puede ser el principal vehículo de transmisión de enfermedades. Las enfermedades transmitidas por el agua son enfermedades producidas por el "agua sucia" las causadas por el agua que se ha contaminado con desechos humanos, animales o químicos. Mundialmente, la falta de servicios de evacuación sanitaria de desechos y de agua limpia para beber, cocinar y lavar es la causa de más de 12 millones de defunciones por año (Brock , 2000).

Se estima que 3.000 millones de personas carecen, por ejemplo, de servicios higiénicos. Más de 1.200 millones de personas están en riesgo porque carecen de acceso a agua dulce salubre. En lugares que carecen de instalaciones de saneamiento apropiadas, las enfermedades transmitidas por el agua pueden propagarse con gran rapidez. Esto sucede cuando excrementos portadores de organismos infecciosos son arrastrados por el agua o se lixivian hasta los manantiales de agua dulce, contaminando el agua potable y los alimentos. La magnitud de la propagación de estos organismos infecciosos en un manantial de agua dulce determinado depende de la cantidad de excremento humano y animal que éste contenga. Dado que se puede producir la contaminación fecal de los abastecimientos de agua, si el agua no se trata adecuadamente, el patógeno puede penetrar en un nuevo hospedador, al consumirla.

Las enfermedades diarreicas, las principales enfermedades transmitidas por el agua, prevalecen en numerosos países en los que el tratamiento de las aguas residuales es inadecuado. Los desechos humanos se evacuan en letrinas abiertas, canales y corrientes de agua, o se esparcen en las tierras de labranza. Según las estimaciones, todos los años se registran 4.000 millones de casos de enfermedades diarreicas, que causan 3 a 4 millones de defunciones, sobre todo entre los niños. El uso de aguas residuales como fertilizante puede provocar epidemias o enfermedades como el cólera. Estas enfermedades pueden incluso volverse crónicas en lugares donde los suministros de agua limpia son insuficientes. A principios de los años noventa, por ejemplo, las aguas residuales sin tratar que se utilizaban para fertilizar campos de hortalizas ocasionaron brotes de cólera en Chile y Perú. La epidemia del cólera -que se abatió sobre Perú en 1991 y se extendió a casi toda Latinoamérica- es un recordatorio

de la velocidad con que se propagan las enfermedades transmitidas por el agua. Con más de un millón de casos reportados y casi 10 mil muertos a fines de 1994, el cólera también alertó sobre el hecho de que la activación de una ruta de transmisión impulsa otras (Serageldini, 1994, 1995; Klohn y Wolter, 1998; Leclerc *et al.*, 2000).

2.2.1 Principales enfermedades relacionadas con el agua

Los riesgos vinculados al deterioro y escasez de agua pueden clasificarse en las siguientes categorías:

- Los transmitidos por el agua (Tabla 2.1).

Enfermedades	Causa y vía de transmisión	Extensión geográfica	Número de casos ^a	Defunciones por año
<i>Disenteria amebiana</i>	Los protozoos pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.	Todo el mundo	500 millones por año	*
<i>Disenteria bacilar</i>	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.	Todo el mundo	*	*
<i>Enfermedades diarreicas (inclusive la disenteria amebiana y bacilar)</i>	Diversas bacterias, virus y protozoos pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.	Todo el mundo	4.000 millones actualmente	3-4 millones
<i>Cólera</i>	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.	Sudamérica, África, Asia	384.000 por año	20.000
<i>Hepatitis A</i>	El virus pasa por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.	Todo el mundo	600.000 a 3 millones por año	2.400 a 12.000
<i>Fiebre paratifoidea y tifoidea</i>	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.	80% en Asia, 20% en América Latina, África	16 millones actualmente	600.000
<i>Poliomielitis</i>	El virus pasa por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, por contacto de una persona con otra.	66% en la India, 34% en el Cercano Oriente, Asia, África	82.000 actualmente	9.000

^a El número de casos se presenta como incidencia ("por año") —el número de nuevos casos ocurridos en un año— o como prevalencia ("actualmente") —el número de casos existentes en un momento dado.

*Incluidas las enfermedades diarreicas

**No hay defunciones, pero causa 270.000 casos notificados de ceguera anualmente.

ND = no disponible

Fuente: WHO 1996, excepto disenteria amebiana, disenteria bacilar, dracunculosis, dengue y FVR, de WHO 1998

Tabla 2.1. Principales enfermedades transmitidas por el agua.

(WHO, 1996; WHO, 1998)

- Con base en el agua, los transmisibles por parásitos o patógenos que pasan parte de su ciclo biológico en el agua (Tabla 2.2).

Los causantes de las enfermedades con base en el agua, son organismos que pasan parte de su ciclo vital en el agua y otra parte como parásitos de animales. Estos organismos pueden prosperar tanto en aguas contaminadas como no contaminadas. Como parásitos, generalmente toman forma de gusanos y se valen de vectores animales intermediarios (como los caracoles) para prosperar, y luego infectan directamente al hombre, penetrando a través de la piel o al ser ingeridos. Son enfermedades con base en el agua la ascariasis, dracunculosis, paraginimiasis, clonorquiasis y esquistosomiasis. Los causantes de estas enfermedades son una variedad de gusanos trematodos, tenias, vermes cilíndricos y nematodos vermiformes, denominados colectivamente helmintos, que infectan al hombre. Aunque estas enfermedades generalmente no son mortales, pueden ser extremadamente dolorosas e impiden trabajar a quienes las padecen, e incluso a veces impiden el movimiento. En América Latina, tienen importancia la ascariasis y laparaginimiasis (EPA, 1994).

Enfermedades	Causa y vía de transmisión	Extensión geográfica	Número de casos ^a	Defunciones por año
Ascariasis	Los huevos fecundados se expulsan con las heces humanas. Las larvas se desarrollan en la tierra caliente. El hombre ingiere la tierra que está sobre los alimentos. Las larvas penetran la pared intestinal, donde maduran.	África, Asia, América Latina	250 millones actualmente	60.000
Clonorchiasis	Los gusanos se reproducen en caracoles gastrópodos, luego los tragan peces de agua dulce u otros caracoles. Cuando el hombre come pescado crudo o poco cocinado, los gusanos migran a los conductos biliares y ponen huevos.	Asia Sudoriental	28 millones actualmente	Ninguna notificada
Dracunculosis (guinea worm)	El gusano de Guinea (<i>Dracunculus medinensis</i>) es ingerido por el ciclope (un crustáceo). Cuando el hombre ingiere el ciclope, las larvas del gusano se liberan dentro del estómago. Las larvas penetran la pared intestinal, luego se desarrollan, transformándose en gusanos, y migran a través de los tejidos. Después de un año, el gusano adulto llega a la superficie de la piel de las extremidades inferiores. La hembra entra en contacto con el agua y despiden las larvas dentro del agua.	78% en Sudán, 22% en otros países africanos al sur del Sahara y algunos casos en la India y Yemen	153.000 por año	Ninguna notificada
Paragonimiasis	Los gusanos que viven en quistes pulmonares ponen huevos en los pulmones humanos que se expectoran y luego se tragan. Los huevos de los gusanos se expulsan con las heces y se abren en agua dulce. Las larvas encuentran caracoles huéspedes en los cuales se reduplican, luego se mudan a cangrejos o cangrejos de río. El hombre come mariscos y pescados de mar sin cocinar. Los gusanos migran en parejas del estómago a través de la pared y del diafragma intestinal a los pulmones, donde se aparean.	Lejano Oriente, América Latina	5 millones actualmente	Ninguna notificada
Esquistosomiasis	Los huevos del gusano esquistosoma se expulsan con las heces humanas. Los huevos hacen eclosión en contacto con el agua, liberando el parásito miracidium. El parásito ingresa en un caracol de agua dulce, donde se reduplica. Se libera otra vez dentro del agua, luego penetra en la piel del hombre en unos segundos y pasa a los vasos sanguíneos. En 30 a 45 días, miracidium crece y se convierte en gusano, que puede poner de 200 a 2.000 huevos por día, durante un promedio de 5 años.	África, Cercano Oriente, faja de bosque húmedo en África Central, Pacífico Occidental, Kampuchea, Laos	200 millones actualmente	20.000

^a El número de casos se presenta como incidencia ("por año") —el número de nuevos casos ocurridos en un año— o como prevalencia ("actualmente") —el número de casos existentes en un momento dado.
*Incluidas las enfermedades diarreicas
**No hay defunciones, pero causa 270.000 casos notificados de ceguera anualmente.
ND = no disponible
Fuente: WHO 1996, excepto disenteria amebiana, disenteria bacilar, dracunculosis, dengue y FVR, de WHO 1998

Tabla 2.2. Principales enfermedades con base en el agua.

(WHO, 1996; WHO, 1998)

- Vectoriales relacionadas con el agua, transmitidas por vectores que se desarrollan en el agua, atribuibles a la falta de agua para la higiene personal y doméstica (Tabla 2.3).

Millones de personas sufren de infecciones transmitidas por vectores —insectos u otros animales capaces de transmitir una infección, como los mosquitos y las moscas tsetsé— que se crían y viven cerca de aguas contaminadas y no contaminadas. Estos vectores infectan al hombre con paludismo, fiebre amarilla, dengue, enfermedad del sueño y filariasis. El paludismo, la enfermedad más extendida, es endémico en unos 100 países en desarrollo, y unos 2.000 millones de personas están en riesgo de

contraerla. La incidencia de enfermedades de origen vectorial relacionadas con el agua parece estar aumentando. Hay numerosas razones para ello: la gente está desarrollando resistencia a los medicamentos antipalúdicos; los mosquitos están desarrollando resistencia al DDT, el insecticida que más se usa; los cambios ambientales están creando nuevos lugares de cría; a raíz de la migración, los cambios climáticos y la creación de nuevos hábitats, hay menos personas que desarrollan inmunidad a la enfermedad; y muchos programas de control del paludismo se llevan a cabo a un ritmo más lento o se han abandonado (EPA, 1994).

Enfermedades	Causa y vía de transmisión	Extensión geográfica	Número de casos ^a	Defunciones por año
<i>Dengue</i>	Un mosquito recoge el virus de un ser humano o animal infectado. El virus tiene un período de incubación de 8 a 12 días y se reduplica. En la próxima ingesta de sangre del mosquito, el virus se inyecta en la corriente sanguínea.	Todo medio ambiente; tropical en Asia, Centroamérica y Sudamérica	50-100 millones por año	24.000
<i>Filariasis (incluida la elefantiasis)</i>	Las larvas son ingeridas por un mosquito y se desarrollan. Cuando el mosquito infectado pica a un ser humano, las larvas penetran por punción y llegan a los vasos linfáticos, donde se reproducen.	África, Mediterráneo Oriental, Asia, Sudamérica	120 millones actualmente	Ninguna notificada
<i>Paludismo</i>	Los protozoos se desarrollan en el intestino del mosquito y se expulsan con la saliva en cada ingesta de sangre. Los parásitos son transportados por la sangre al hígado del hombre, donde invaden las células y se multiplican.	África, Asia Sudoriental, India, Sudamérica	300-500 millones por año (clínical)	2 millones
<i>Oncocercosis (ceguera de los ríos)</i>	Los embriones del gusano son ingeridos por jejenes. Los embriones se desarrollan y se convierten en larvas dentro de los jejenes, que inyectan las larvas en el hombre al picarlo.	África Subsahariana, América Latina	18 millones actualmente	Ninguna notificada**
<i>Fiebre del Valle del Rift (FVR)</i>	El virus generalmente existe en huéspedes animales. Los mosquitos y otros insectos chupadores de sangre recogen el virus y lo inyectan en la sangre del hombre. Éste también se infecta cuando trabaja con humores corporales de animales muertos.	África Subsahariana	ND	1% de los casos

^a El número de casos se presenta como incidencia ("por año") —el número de nuevos casos ocurridos en un año— o como prevalencia ("actualmente") —el número de casos existentes en un momento dado.
^{*}Incluidas las enfermedades diarreicas
^{**}No hay defunciones, pero causa 270.000 casos notificados de ceguera anualmente.
 ND = no disponible
 Fuente: WHO 1996, excepto disentería amebiana, disentería bacilar, dracunculosis, dengue y FVR, de WHO 1998

Tabla 2.3. Principales enfermedades vectoriales relacionadas con el agua
(WHO, 1996; WHO, 1998)

2.2.2 Contaminación microbiológica del agua

Las afecciones que se propagan por el agua se conocen como "enfermedades transmitidas por el agua". Sus agentes patógenos son biológicos, más que químicos, y los males que provocan casi siempre son contagiosos. Por lo general, los agentes patógenos pertenecen al grupo de los microorganismos, que se transmiten en las heces excretadas por individuos infectados o por ciertos animales. De forma que estas

enfermedades se pueden contraer mediante tres tipos de transmisión: Ingestión (toma), Inhalación y aspiración (aerosoles) y Contacto (baño/actividades recreativas).

Los patógenos humanos transmitidos por el agua incluyen muchos tipos de microorganismos tales como: bacterias, virus, protozoos y, en ocasiones, helmintos (lombrices), todos ellos muy diferentes en tamaño, estructura y composición (Tabla 2.4) (Leclerc, 2001).

Bacterias	Fuente	Periodo de incubación	Duración	Síntomas clínicos
<i>Salmonella typhi</i>	Heces, orina	7 - 28 días (14)	5 - 7 días (semanas – meses)	Fiebre, tos, náusea, dolor de cabeza, vómito, diarrea
<i>Salmonella sp.</i>	Heces	8 - 48 horas	3 - 5 días	Diarrea acuosa con sangre
<i>Shigellae sp.</i>	Heces	1 - 7 días	4 - 7 días	Disenteria (diarrea con sangre), fiebres altas, síntomas tóxicos, retortijones, pujos intensos e incluso convulsiones.
<i>Vibrio cholerae</i>	Heces	9 - 72 horas	3 - 4 días	Diarrea acuosa, vómito, deshidratación
<i>V. cholerae</i> No.-01	Heces	1 - 5 días	3 - 4 días	Diarrea acuosa
<i>Eschericia coli</i> enterohemorrágica O157:H7	Heces	3 - 9 días	1 - 9 días	Diarrea acuosa con sangre y moco, dolor abdominal agudo, vómitos, no hay fiebre
<i>Eschericia coli</i> enteroinvasiva	Heces	8 - 24 horas	1 - 2 semanas	Diarrea, fiebre, cefalea, mialgias, dolor abdominal, a veces las heces son mucosas y con sangre
<i>Eschericia coli</i> enterotoxigena	Heces	5 - 48 horas	3 - 19 días	Dolores abdominales, diarrea acuosa, fiebre con escalofríos, náusea, mialgia
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Heces, orina	1- 11 días (24 - 48 horas)	1 - 21 días (9)	Dolor abdominal, diarrea con moco, sangre, fiebre, vómito
<i>Campylobacter jejuni</i>	Heces	2 - 5 días (42 - 72 horas)	7 - 10 días	Diarrea, dolores abdominales, fiebre y algunas veces heces fecales con sangre, dolor de cabeza
<i>Plesiomonas shigelloides</i>	Heces	20 - 24 horas	1 - 2 días	Fiebre, escalofríos, dolor abdominal, náusea, diarrea o vómito
<i>Aeromonas sp.</i>	Heces	Desconocido	1 - 7 días	Diarrea, dolor abdominal, náuseas, dolor de cabeza y colitis, las heces son acuosas y no son sanguinolentas

Tabla 2.4. Principales bacterias transmitidas por el agua.

(Brock, 2000)

2.2.3 Protozoos de importancia en el agua

Giardia lamblia, agente de giardiasis, una forma de gastroenteritis aguda Es un protozoo flagelado que se transmite a las personas principalmente por el agua contaminada. Las células del protozoo, trofozoítos, producen una forma de reposo llamada “quiste” y ésta es la forma primaria transmitida por el agua.

Cryptosporidium, agente de cryptosporidiosis caracterizada por una fuerte diarrea, autolimitada en individuos normales. En 1994, se reportaron 400 mil casos de cryptosporidiosis en Milwaukee, Wisconsin, EEUU (Tabla 2.5) (Esrey *et al.*, 1991; EPA, 1994; WHO, 1998).

Parásito	Fuente	Período de incubación	Duración	Síntomas clínicos
Giardia lamblia	Heces	5 - 25 días	Meses - años	Puede ser asintomática (hasta un 50%) o provocar una diarrea leve. También puede ser responsable de diarreas crónicas con mala absorción y distensión abdominal.
Cryptosporidium parvum	Heces	1 - 2 semanas	4 - 21 días	Provoca diarrea acuosa, con dolor abdominal y pérdida de peso. Es un cuadro grave en un huésped comprometido y una infección oportunista en otros pacientes.
Entamoeba histolytica / Amebiasis	Heces	2 - 4 semanas	Semanas - meses	Dolor abdominal, estreñimiento, diarrea con moco y sangre
Cyclospora var. cayetanensis	Heces (oocistos)	3 - 7 días	Semanas - meses	Diarrea acuosa con frecuentes deposiciones, náuseas, anorexia, dolor abdominal, fatiga, pérdida de peso, dolores musculares, meteorismo, y escasa fiebre.
Balantidium coli	Heces	Desconocido	Desconocido	Dolor abdominal, diarrea con moco y sangre, pujo y tenesmo
Dracunculus medinensis	Larva	8 - 14 meses	Meses	El parásito eventualmente emerge (del pie en el 90% de los casos), causando edema intenso y doloroso al igual que úlcera. La perforación de la piel se ve acompañada de fiebre, náuseas y vómitos.

Tabla 2.5. Principales protozoos de importancia en el agua

2.2.4 Carga de enfermedad

El agua contaminada sirve como un mecanismo para transmitir enfermedades transmisibles como la diarrea, el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea y la infección del gusano de Guinea. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que en 2008 las enfermedades diarreicas se cobraron la vida de 2,5 millones de personas (WHO, 2008).

Un total de 58 países de todos los continentes informó un total acumulado de 589.854 casos de cólera en 2011, lo que representa un aumento del 85% a partir de 2010 (WHO, 2012). La mayor proporción de casos se informó de la isla de La Española y el continente africano. Estas tendencias reflejan la necesidad de pasar de la capacidad de respuesta de base a un enfoque integral y multidisciplinario que trabaja con las comunidades para mejorar el acceso al agua potable y al saneamiento, fomenta el

cambio de comportamiento y promueve el uso específico de vacunas contra el cólera orales donde la enfermedad es endémica.

Son 3,3 millones las personas que están expuestas a niveles peligrosos de contaminantes biológicos y contaminantes químicos en su agua de consumo debido al manejo inadecuado de las aguas residuales urbanas, industriales o agrícolas. Además, peligrosamente altas concentraciones de riesgos químicos, como el arsénico y el fluoruro, procedentes de fuentes naturales afectan a millones y causar enfermedades como el cáncer y la fluorosis. El arsénico inorgánico está presente en altos niveles en las aguas subterráneas de una serie de países, entre ellos Argentina, Chile, China, la India (Bengala Occidental), México, los Estados Unidos de América, y en particular Bangladesh, donde 45 millones de personas están en riesgo de ser expuestos a concentraciones de arsénico que son mayores que el estándar nacional de $50 \mu\text{g.L}^{-1}$ y el valor de referencia de la OMS de $10 \mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente (EPA, 1994).

Si bien el consumo de agua contaminada representa el mayor riesgo, otras vías de transmisión también puede conducir a la enfermedad y contribuir a la carga de la enfermedad. Por ejemplo, la OMS estima que más de 200 millones de personas están afectadas por la esquistosomiasis y alrededor de 800 millones más están en riesgo de infección (Esrey y Habicht, 1986; Flanagan *et al.*, 2012).

La carga de enfermedad atribuible a las exposiciones de aguas de baño es significativa, en gran parte debido a la gran población expuesta en las playas recreativas de todo el mundo (Esrey *et al.*, 1991). Sin embargo, la cuantificación de esta carga de enfermedad es desconocida debido a los datos limitados o inexistentes en la población real expuesta que rara vez se contempló como parte de cualquier programa de regulación.

La carga de las estimaciones de la enfermedad se actualiza constantemente y recalibra basándose en las mejores herramientas disponibles y los estudios adicionales que pueden estar disponibles. Estos nuevos enfoques y datos adicionales tienen un impacto en las estimaciones mundiales. La OMS está actualmente reevaluando estas estimaciones, incluyendo la carga mundial de morbilidad atribuible al agua, el

saneamiento y la higiene. Basado en el trabajo realizado hasta la fecha, el número de muertes por diarrea será sustancialmente menor y probablemente menos de 2 millones. Mientras que esta estimación preliminar muestra una disminución significativa en las muertes por diarrea se relaciona en comparación con lo estimado anteriormente por la OMS, la diarrea sigue siendo la principal causa de mortalidad.

2.3 Contaminación Industrial

2.3.1 Contaminación Industrial en los países en desarrollo

La contaminación industrial es un problema más complejo en los países en desarrollo que en las economías desarrolladas. Los obstáculos estructurales que dificultan la prevención y limpieza de la contaminación son mayores. Esos obstáculos son en gran parte económicos, pues los países en desarrollo no poseen los recursos necesarios para controlar la contaminación en la misma medida en que lo hacen los países desarrollados.

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

Uno de ellos es la contaminación del medio ambiente procedente de industrias o tecnologías peligrosas transferidas por los países desarrollados, industrias y tecnologías que ya no son aceptables en esos países por razones de salud en el trabajo y salud ambiental, pero que pueden seguir utilizándose en los países en desarrollo porque su legislación ambiental es menos estricta. Otro problema es la rápida proliferación de empresas no estructuradas a pequeña escala en aldeas o zonas

rurales, que muchas veces producen una importante contaminación del aire y el agua por carecer de los conocimientos necesarios o de medios financieros suficientes.

Por otra parte, los efectos de la contaminación pueden ser muy costosos para una sociedad en desarrollo en términos de salud, residuos, degradación del medio ambiente, reducción de la calidad de vida y coste de limpieza en el futuro. Un ejemplo extremo es la preocupación por el futuro de los niños expuestos al plomo en algunas mega ciudades de países donde aún se utiliza la gasolina con plomo, o que viven en las proximidades de fundiciones. Se ha comprobado que algunos niños tienen niveles de plomo en sangre lo suficientemente elevados para afectar a su inteligencia y sus facultades cognitivas (Botello *et al.*, 1996; Guha-Sapir *et al.*, 2010).

2.3.1.1 Contaminación del agua y el suelo

La eliminación inadecuada y a menudo negligente de los residuos industriales —el vertido incontrolado a los cursos de agua y a la tierra, contaminando agua y suelo— constituye otro grave problema de salud ambiental, aparte de la contaminación del aire de origen industrial, en los países en desarrollo, especialmente aquellos que poseen muchas empresas de aldea de pequeñas dimensiones como las de China. Algunas fábricas a pequeña escala, como las de teñido de textiles, pasta de papel y papel, curtiduría de cuero, galvanoplastia, lámparas fluorescentes, baterías de plomo y fundición de metales, producen siempre gran cantidad de residuos, que contienen sustancias tóxicas o peligrosas como cromo, mercurio, plomo, cianuro, etc., que cuando no son tratadas pueden contaminar ríos, arroyos y lagos, y también el suelo. A su vez, la contaminación del suelo puede contaminar los recursos de aguas subterráneas.

2.3.2 Contaminación Industrial en la región

La región de estudio, partido de Quilmes, no se encuentra exenta de todas las características y problemáticas asociadas a la contaminación industrial que ocurre en los países en vía de desarrollo antes descriptas.

En el partido de Quilmes, en la zona de estudio, se emplazan en la actualidad 32 industrias de diversos rubros que van desde graseras, fábricas de pintura, papeleras, frigoríficos, químicas hasta materiales para la construcción, entre otras (Tabla 3.1).

EMPRESA	DOMICILIO	TIPO DE RESIDUO	COORDENADAS
Blunter S.A	calles 809 y 879	R.industriales	34°44'46.48"S 58°18'45.49"O
Freskural S.A	calle 815 N° 907	R.Industriales	34°45'10.13"S 58°18'41.35"O
Cepas Arg. S.A	Cno. Gral Belgrano km 14,200	R.industriales	
Ansabo S.A	Iriarte N° 1257	Barros	
Lafram S.A	CnoGral Belgrano Km10500	R.Industriales	34°45'1.90"S 58°18'22.83"O
Tanimar	Cno.Gral Belgrano Km 12200	Barros	34°44'35.79"S 58°18'53.35"O
Federal	Av. T Flores	R. industriales	
L Industrial	Calle 880 y 815	R.industriales	34°44'43.12"S 58°18'54.18"O
A Fires S.A	Bermejo N°4565	R. industriales	
Domec	Zapiola 3000	R.industriales	34°44'5.61"S 58°19'9.69"O
Cattorini	Av. Tomas Flores 5000	Barros	34°44'43.45"S 58°19'44.57"O
Marbel	calle 815 y 882	R.industriales	34°45'7.30"S 58°18'35.78"O
Neolin S.A	calle 815 y 882	R.industriales	34°45'6.96"S 58°18'36.34"O
F Araucano	calle 844 y 878	R.industriales y barros	34°45'7.30"S 58°18'35.78"O
R.Grasas sud	Cno.Gral Belgrano km 13100	Barros	34°45'23.50"S 58°17'57.90"O
Leiner D Gelain	calle 812 y 880	Barros	34°44'49.31"S 58°18'41.92"O
Inagro S.R.L	CALLE 162 N° 1400	R. industriales	34°42'57.74"S 58°19'4.81"O
Aerosoles Filling	Zapiola N° 2400	R.industriales	34°43'49.90"S 58°18'40.60"O
Massuh S.A	CnoGral Belgrano km 14,500	R.ind y especiales	34°45'32.93"S 58°18'30.26"O

Penta	CnoGral.Belgrano y Lamdrid	R.industriales	34°44'24.58"S 58°19'10.72"O
Zucamor	CnoGral Belgrano km 14700	R.industriales	34°45'25.62"S 58°17'57.87"O
Cufasis SRL	Zapiola N°1051	R.industriales	34°43'19.30"S 58°17'39.94"O
Agrimai S.C.A	Bermejo N° 1163	R.industriales	34°42'40.03"S 58°18'43.03"O
A Fernandez	calle 162 N°1163	R.industriales	
Industrias Dalafer	Av. Tomas Flores 1946 (1879)	R.industriales	34°44'42.00"S 58°19'42.12"O
Lisapel	calle 812 N° 1395	R.industriales	34°45'16.21"S 58°19'17.09"O
Biscotti	calle 816 N° 1455	R.industriales	34°45'42.23"S 58°19'28.69"O
Daima	Cno.Gral Belgrano 3960	R.industriales	34°45'47.03"S 58°17'30.86"O
H. QuimicaArg	Zapiola 4831	R. ind y especiales	34°44'6.66"S 58°19'11.39"O
Carrei y Giglioi	calle 815 y 882	Cueros	34°45'9.45"S 58°18'42.30"O
Carindu	Tomas Flores y S. Marcos	R. ind y barros	34°44'35.15"S 58°19'30.53"O
Finexcor	Montevideo y Con Belgrano	Barros	34°44'1.78"S 58°19'34.43"O

Tabla 3.1. Lista de empresas emplazadas a la vera de los arroyos Las Piedras y San Francisco.

(Municipalidad de Quilmes, 2011)

En la siguiente Figura 3.3 se puede observar la ubicación de las industrias anteriormente mencionadas:

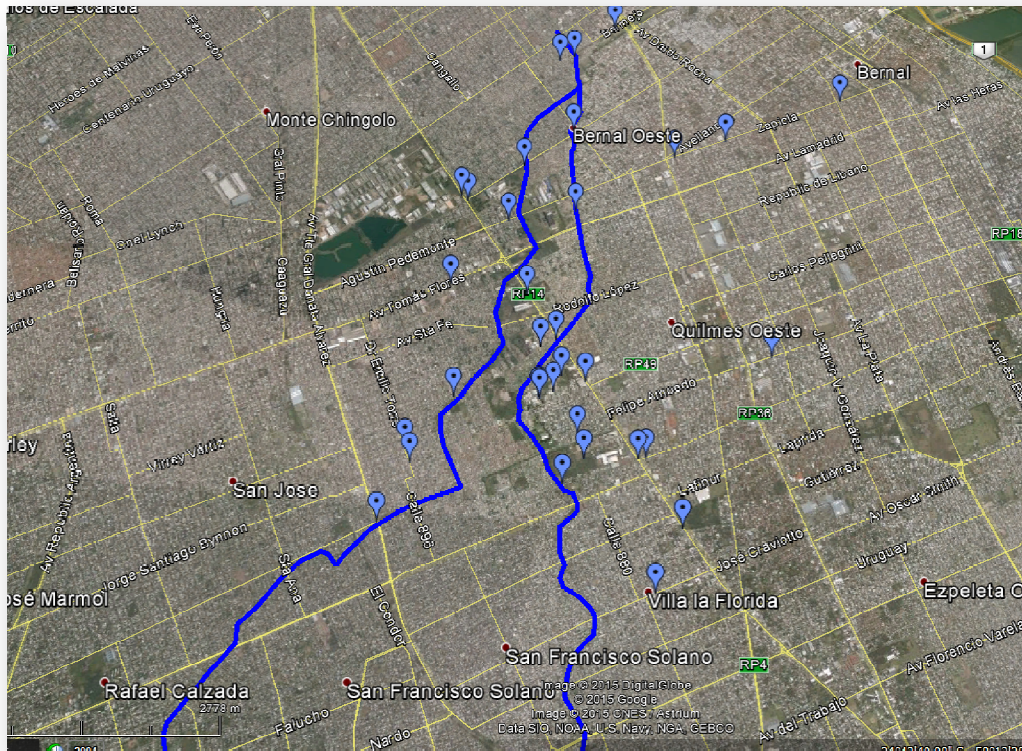


Figura 3.3: Ubicación de las industrias sobre la cuenca en estudio.

2.4 Cambio Climático

Se espera que las problemáticas globales, como el cambio climático, la escasez cada vez mayor de agua, el crecimiento demográfico, los cambios demográficos y la urbanización afecten a la resistencia de los sistemas de abastecimiento y saneamiento y servicios. Como los escenarios de cambio climático son cada vez más fiables, tendrán que ser adaptados y planificados nuevos sistemas y servicios además de ser actualizada la infraestructura existente. Las condiciones climáticas extremas también se reflejan en el aumento de la frecuencia e intensidad de los desastres naturales. Por ejemplo, en 2010, más de 200 millones de personas fueron víctimas de desastres naturales, como inundaciones, con repercusiones importantes para la navegación y transmisión de enfermedades relacionadas con el agua.

En 2025, la mitad de la población mundial vivirá en zonas con escasez de agua. Cada vez más, los países están utilizando aguas residuales como una importante fuente de

agua de riego y nutrientes para la producción agrícola. En los países en desarrollo por lo menos 20 millones de hectáreas se riegan utilizando aguas residuales, correspondiente al 7% del total de campos de regadío. La práctica plantea riesgos para la salud por exposición a los residuos sin tratar y tratadas parcialmente, para los trabajadores, las comunidades y los consumidores que deben sopesarse frente a los beneficios potenciales de aumento de la producción de alimentos en términos de mejora de la nutrición y los ingresos. Sin embargo, debido a la naturaleza relativamente informal de la reutilización de residuos, estimaciones precisas de la carga de enfermedad asociados con la práctica se desconocen (Steinmann *et al.*, 2006; Shuval, 2003; WHO, 2011).

2.5 Conclusiones Parciales

Es una realidad en la zona de estudio, como en tantas otras del conurbano bonaerense que lamentablemente manifiestan las siguientes características: malas condiciones habitacionales, aspectos conflictivos a partir de la escala territorial y la enorme cantidad de población afectada, falta de políticas públicas para atender esa problemática, superposición de factores de degradación social, ambiental, de accesibilidad, niveles socio-económicos más bajos de la región, actividades productivas en situación operativa, subutilizada o desactivada.

[TESIS DOCTORAL- LIC. ELORDI M. LUCILA]

[CAPÍTULO III:]

**[Caracterización Físico-Química de los
Arroyos]**

[2016]

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

3. Caracterización Físico-Química de los Arroyos

3.1 Aspectos generales

3.1.1 Hidrología superficial

Es necesario recordar que una cuenca podría ser definida como el conjunto de cursos de agua superficial que drenan una determinada superficie de terreno en un punto de vuelco o desembocadura. Sus límites están definidos por la línea divisoria de aguas, línea imaginaria resultante de la unión de los puntos más altos que definen el aporte de las aguas hacia una u otra cuenca al escurrir en distintas direcciones.

Entre las cuencas hídricas más importantes del AMBA se encuentran los ríos Luján, Reconquista y Matanza-Riachuelo, por cuyos sistemas se desarrolla la mayor parte del drenaje regional. Hacia el sur del AMBA, donde se encuentra el Partido de Quilmes, importan las cuencas de los arroyos Sarandí, Santo Domingo y Jiménez, de descarga directa al Río de la Plata.

En importantes tramos de su trazado original, estos cursos se encuentran modificados, convertidos en conductos entubados o canalizaciones artificiales, conformando las conducciones principales del entramado de la red urbana de desagües pluviales.

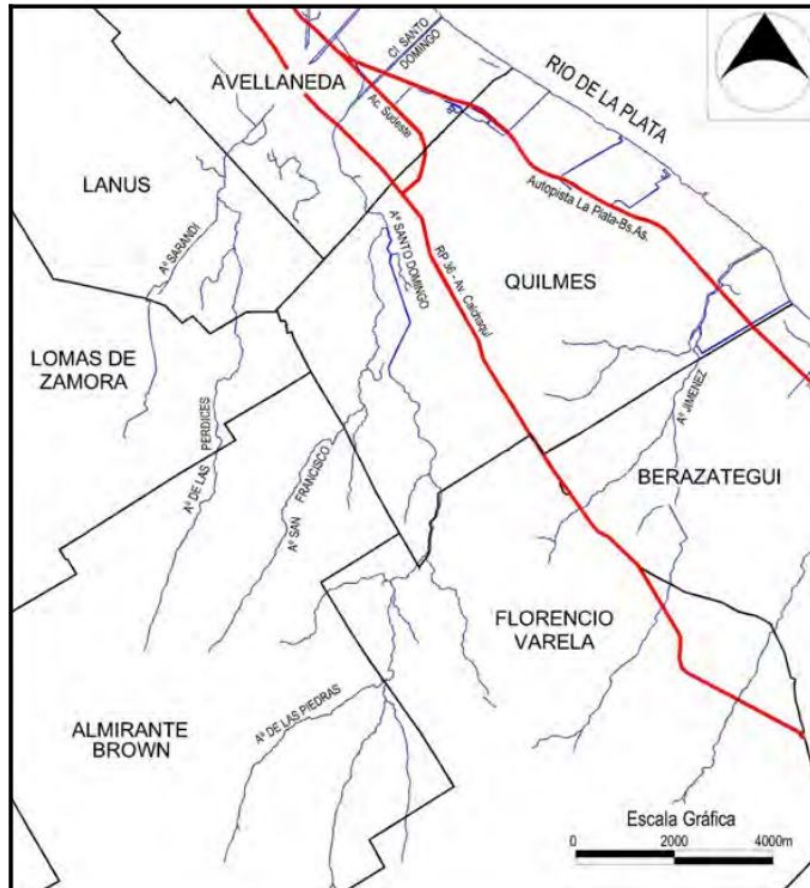


Figura 3.1. Mapa de las cuencas más importantes del AMBA sur.

3.1.2 Canal Santo Domingo

El Río de la Plata es receptor natural de los cursos que atraviesan el territorio. La dirección del escurrimiento regional es de sur-suroeste a nor-noreste (SO-NE), siendo los afluentes más importantes el arroyo Jiménez y el Santo Domingo, este último formado por la confluencia de los arroyos San Francisco y Las Piedras.

El arroyo Santo Domingo, que como se mencionó surge a partir de los dos anteriores, recorre los partidos de Quilmes y Avellaneda en una longitud cercana a los 7 km, hasta desembocar en el Río de la Plata. A partir del límite entre ambos el curso se encuentra entubado hasta aproximadamente la estación Villa Domínico del Ferrocarril General Roca (F.C.G.R.), donde desagua en el canal Santo Domingo, el cual conduce el escurrimiento hasta el Río de la Plata. Este entubamiento data del año 1964 y cuenta con una capacidad de erogación de $42\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$ aproximadamente. La superficie de la

cuenca es del orden de los 210 km² y su pendiente media del 1,0 ‰. Además de la propia cuenca, existe un trasvase del arroyo Las Perdices, perteneciente a la cuenca del Sarandí, que aporta también al Santo Domingo (Figura 3.2).

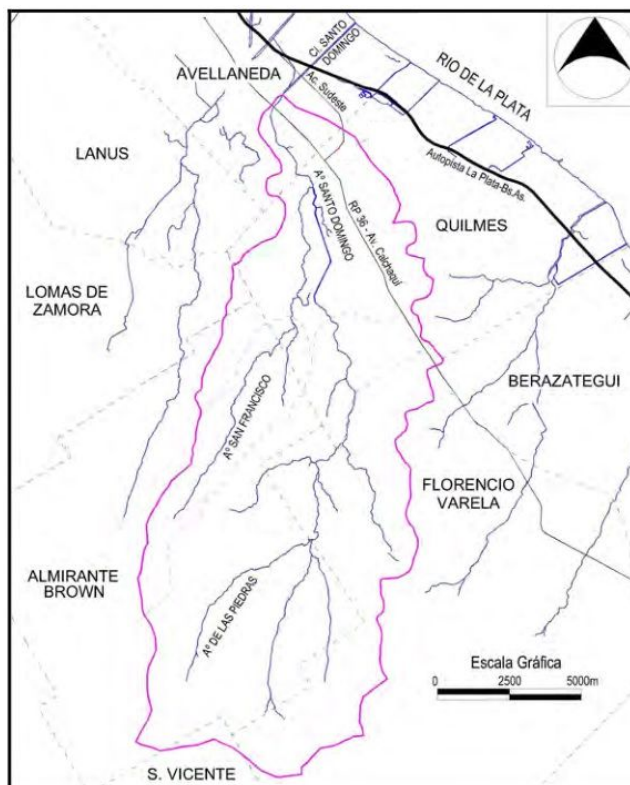


Figura 3.2. Mapa de la cuenca del arroyo Santo Domingo

3.1.3 Arroyo Las Piedras

Nace el arroyo Las Piedras en los partidos de Almirante Brown y Florencio Varela, primero recorre este último y luego ingresa al partido de Quilmes. El área total de la cuenca es de 123 km², la longitud del curso principal de aproximadamente 20 km, y su pendiente promedio 1,25 ‰, entre las nacientes y la Cañada de Gaete y 0,12 ‰, entre ésta y la unión con el A° San Francisco.

3.1.4 Arroyo San Francisco

El arroyo San Francisco recorre los partidos de Almirante Brown y Quilmes, posee una longitud de cauce de alrededor de 13 km, una cuenca del orden de los 27 km² y una pendiente promedio de 1,8 ‰, entre sus nacientes (cercanas a la localidad de Glew) y

la zona conocida como Cañada de Gaete (zona de bañados), y de 0,2 ‰ entre este último punto y el encuentro con el A° Las Piedras.

La situación general de la cuenca de los arroyos Las Piedras y San Francisco frente a la ocurrencia de tormentas de gran magnitud, muestra en términos generales los graves problemas que se presentan en la cuenca media e inferior, este último especialmente ve agravada su situación por las crecidas propia del Arroyo Santo Domingo, cuya respuesta sigue el común denominador urbano de aumentar sus excesos en correspondencia con el cambio gradual y sostenido del uso del suelo.

En la cuenca baja y media, los desniveles son mínimos y la capacidad del arroyo insuficiente, con graves problemas de contaminación y en general sin demasiadas posibilidades de ampliación por la descontrolada ocupación del suelo (implantación de viviendas precarias sobre las márgenes del arroyo, invasión de calles). En estas zonas las redes de desagües son prácticamente inexistentes. El área presenta gran número de terrenos inundables, de escaso valor que han experimentado un intenso proceso de ocupación por parte de habitantes de muy bajos recursos, estando expuestos a eventos de inundación de diferentes orígenes, por desbordes del Arroyo Santo Domingo y por lluvias intensas de corta duración, cuyos excesos superan la capacidad de conducción de los Arroyos San Francisco y Las Piedras.

Ante dichas problemáticas el Municipio de Quilmes ha encarado numerosas acciones, únicamente estructurales, que lamentablemente resultan ser soluciones parciales y que en muchos casos conllevan a otras problemáticas. De modo que hasta el momento no se han tomado medidas integrales que contemplen tanto la salud del ambiente como la de la población que convive con estos cuerpos de agua contaminados.

3.3 Monitoreo de Parámetros Físico-Químicos, Hidrocarburos y Metales

3.3.1 Parámetros Físico-químicos

Se realizó la determinación de los parámetros de calidad fisicoquímicos de ambos arroyos. En función del conocimiento empírico de la COLCIC (Comisión de Lucha contra las Inundaciones y Contaminación de los arroyos Las Piedras y San Francisco) y de los antecedentes históricos, se seleccionaron los sitios de muestreo. Se colectaron un total de cuarenta muestras de agua y sedimentos de los arroyos. Los

sitios monitoreados, arroyo Las Piedras (LP), arroyo San Francisco (SF) y Confluencia (CONF) de ambos cuerpos de agua, se detallan en la siguiente tabla 3.1 (Figura 3.4):

Puntos de muestreo	Dirección y Coordenadas
LP1	El Zorzal y 560, Gobernador Costa (34°49'34.23"S; 58°18'39.56"O)
LP2	Donato Alvarez y LP (34°47'20.13"S, 58°17'57.19"O)
LP3	826 (Av. San Martín) y LP (34°45'45.45"S, 58°18'16.06"O)
LP4	Cno. Gral. Belgrano y LP (34°44'48.55"S, 58°18'38.37"O)
SF1	Alsina y Cjal. Tripodi (34°48'30,69"S; 58°21'11,01"O)
SF1'	Av. San Martín y SF (34°46'55.92"S, 58°20'23.22"O)
SF2	Donato Alvarez y SF (34°46'3.01"S, 58°19'34.95"O)
SF3	Montevideo y SF (34°43'42.96"S, 58°19'9.97"O)
CONF	Dr. Pozzo y Canal Santo Domingo (34°43'05.41"S, 58°18'53.74"O)

Tabla 3.1. Sitios de monitoreados en los arroyos Las Piedras y San Francisco

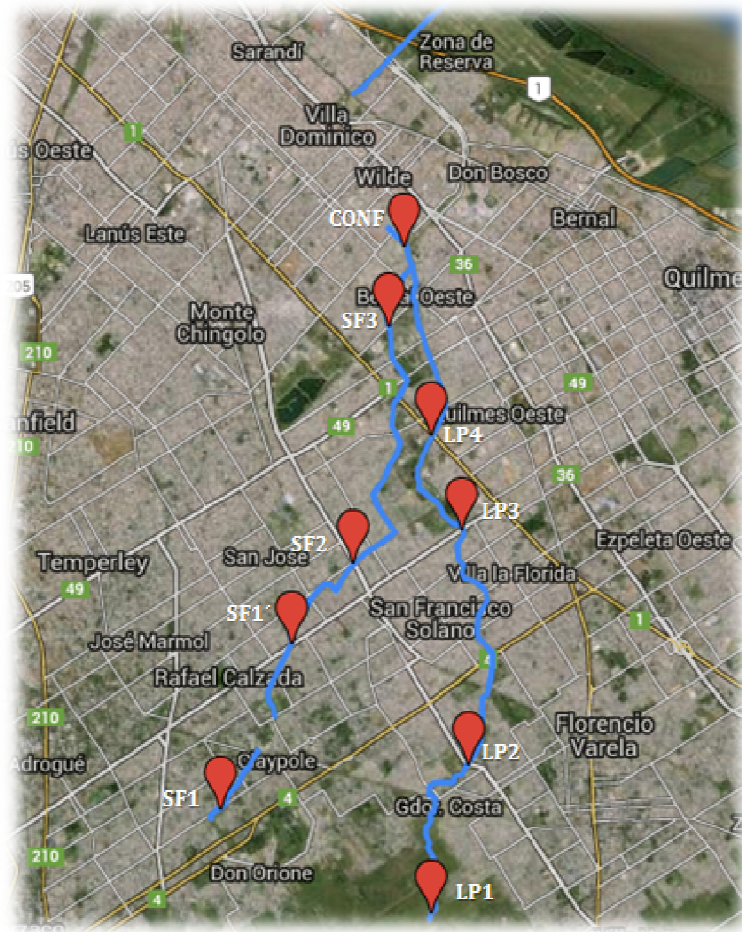


Figura 3.4. Mapa del área de estudio con las estaciones de muestreo.

Todas las muestras se extrajeron entre las 9:00 y 15:30 h desde aguas arriba hacia la confluencia de los arroyos, se mantuvieron refrigeradas a 4-6° C y fueron procesadas siguiendo procedimientos estandarizados internacionalmente (AWWA, 1998).

Se caracterizaron fisicoquímicamente los arroyos según los siguientes parámetros de calidad: pH, temperatura, demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), nitratos, metales pesados (cadmio, plomo, cromo, cobre), entre otros. Los cuales se evaluaron utilizando técnicas estandarizadas que se muestran en la siguiente tabla 3.2:

Analito	Método o técnica
pH	Electrométrico – S.M. 4500-H ⁺ B.
Oxígeno Disuelto	Oxímetro – S.M. 2515
Sólidos disueltos totales	Gravimétrico – S.M. 2540 B.
Sólidos suspendidos	Gravimétrico. – S.M. 2540 D.
Conductividad	Conductimétrico. – S.M. 2510 B.
Turbiedad	Nefelométrico – S.M.2130 B.
Cloruros	Argentométrico – S.M. 4500-Cl ⁻ B (Mohr).
Sulfatos	Nefelométrico – S.M. 4500-SO ₄ ⁻ E.
Nitratos	Electrodosselectivo – S.M. 4500-NO ₃ ⁻ D.
Nitrógeno amoniacal	Destilación y titulación – S.M. 4500-NH ₃ C
Nitrógeno orgánico	Macro Kjeldahl. – S.M. 4500-Norg. B.
Nitrógeno total	Macro Kjeldahl. – S.M. 4500-Norg. B.
Fósforo total	Colorimétrico – S.M. 4500-P E (ácido ascórbico)
Demanda bioquímica de oxígeno	Método de incubación 5 días – S.M. 5210 B.
Demanda química de oxígeno	Método de reflujo abierto – S.M. 5220 B.
Fenoles	Fotométrico – S.M. 5530 D (directo).
Hidrocarburos totales del petróleo	Partición / Infrarrojo - SM 5520 C modificado
Cromo	Absorción atómica (llama) – S.M. 3111 B.
Cadmio	Absorción atómica (llama) – S.M. 3111 B.
Cobre	Absorción atómica (llama) – S.M. 3111 B.
Plomo	Absorción atómica (llama) – S.M. 3111 B.

Tabla 3.2. Metodología utilizada para la determinación de cada parámetro (SM, 1998)

Los parámetros Oxígeno Disuelto (OD), Conductividad, Sólidos Disueltos Totales (SDT), Salinidad, pH y Temperatura se obtuvieron in-situ utilizando una sonda multiparamétrica de calidad ambiental SPER CIENTIFIC, calibrado oportunamente antes de la salida de campo.

A continuación se describen algunos de los parámetros químicos más relevantes que proveen diferentes cualidades a la calidad ambiental de los arroyos en estudio:

Oxígeno Disuelto

El análisis de oxígeno disuelto (OD) mide la cantidad de oxígeno (O₂) presente en una solución acuosa. El oxígeno ingresa en el agua mediante difusión desde el aire y también es liberado por la vegetación acuática y el fitoplancton durante el proceso de fotosíntesis. Es consumido principalmente por los procesos de degradación de la materia orgánica (oxidación biológica) presente en el agua, con lo cual la

concentración de oxígeno disuelto se ve fuertemente influenciada por la dinámica biológica. Cuando se realiza la prueba de oxígeno disuelto, solo se utilizan muestras tomadas recientemente y se analizan inmediatamente. Por esto la determinación de la concentración de OD se determina in situ (en campo durante la campaña de muestreo). La temperatura, la presión y la salinidad afectan la capacidad del agua para disolver el oxígeno, por ejemplo, a mayor temperatura menor es la cantidad de oxígeno disuelto en el agua.

Demanda Química de Oxígeno

La demanda química de oxígeno (DQO) es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno requerida para oxidar mediante un compuesto químico oxidante fuerte (Dicromato de Potasio), la totalidad de la materia orgánica e inorgánica presente en una muestra de agua. Se utiliza para medir el grado de contaminación por descargas de origen cloacal e industrial y se expresa en miligramos de oxígeno por litro (mg.L^{-1}).

Demanda Bioquímica de Oxígeno

La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es la cantidad de oxígeno que los microorganismos descomponedores, especialmente bacterias y hongos consumen durante la degradación de la materia orgánica contenida en la muestra de agua. Es una medida indirecta de la cantidad de materia orgánica presente en el curso de agua. Se expresa en miligramos de oxígeno (O_2) consumido por litro de agua. Es un parámetro indispensable cuando se necesita determinar el estado o la calidad del agua de ríos, lagos, lagunas o efluentes. Cuanto mayor cantidad de materia orgánica contiene la muestra, más oxígeno utilizarán los microorganismos para degradarla (oxidarla). Como el proceso de descomposición varía según la temperatura, este análisis se realiza en forma estándar durante cinco días a 20°C ; indicándose como D.B.O_5 . La Demanda Bioquímica de Oxígeno (D.B.O_5) afecta directamente la cantidad de oxígeno disuelto en el agua. A mayor D.B.O_5 , para un mismo caudal (cantidad de agua que fluye por unidad de tiempo por ejemplo $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$), el oxígeno presente en la columna de agua de un río se consume más rápidamente. Esto significa que menos oxígeno estará disponible para formas más complejas de vida acuática, como por ejemplo peces.

Nitratos

El nitrato está presente naturalmente en suelo y agua y su concentración puede incrementarse ya sea por fuentes antrópicas difusas (descargas a pozos ciegos, uso de fertilizantes) como por descargas puntuales. El nitrato es uno de los compuestos del nitrógeno que al igual que el fósforo es un nutriente esencial en el medio acuático y contribuye al proceso de eutrofización del ecosistema.

Aceites y Grasas

Las grasas y aceites de origen vegetal o animal son triglicéridos o también llamados ésteres de la glicerina con ácidos grasos de larga cadena de hidrocarburos que generalmente varían en longitud. De forma general, cuando un triglicérido es sólido a temperatura ambiente se le conoce como grasa, y si se presenta como líquido se dice que es un aceite. Están presentes en aguas residuales domésticas e industriales, pueden ser orgánicos o derivados del petróleo. Generalmente se extienden sobre la superficie de las aguas, creando películas que afectan los intercambios gaseosos en la superficie del agua y por ende a la comunidad biótica acuática.

3.3.1.1 Arroyo Las Piedras

En la siguiente tabla (Tabla 3.3) se pueden observar los resultados físico-químicos obtenidos (medias aritméticas) para cada uno de los sitios monitoreados

ARROYO LAS PIEDRAS						
Parámetro	Unidad	LP1	LP2	LP3	LP4	CONFL
Temperatura ambiente	°C	21,30	20,20	28,80	29,20	27,00
Temperatura agua	°C	15,34	20,30	21,14	23,06	20,80
pH	u de pH	8,38	8,08	8,02	7,50	7,58
Oxígeno Disuelto	mg.L ⁻¹	3,30	1,50	1,39	1,13	0,47
% Oxígeno Disuelto	%	30,70	17,89	16,20	13,41	5,48
Conductividad	µS/cm	1075,5	1127,7	1216	1380,75	1229
Salinidad	mg.L ⁻¹	0,53	0,54	0,60	0,72	0,58
Cloruros	mg.L ⁻¹	54,20	67,70	95,00	106,15	121,90
Sólidos Disueltos Totales	mg.L ⁻¹	535	543	635,5	690	580
DBO5	mg.L ⁻¹	97,50	40,57	38,18	86,85	113,70
DQO	mg.L ⁻¹	158,50	87,00	81,38	165,75	314,77
Turbidez	NTU	2,30	2,50	3,15	3,45	6,10
Nitrógeno Total	mg.L ⁻¹	16,42	12,55	6,09	4,48	9,14
Amonio	mg.L ⁻¹	12,33	11,17	8,97	4,57	6,42
N-Amoniacal	mg.L ⁻¹	9,55	8,66	7,19	3,63	4,97
Nitrógeno orgánico	mg.L ⁻¹	6,87	3,90	2,97	1,22	4,17
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	1,24	1,19	1,10	1,12	1,62
Nitratos	mg.L ⁻¹	2,26	1,62	5,56	5,19	0,82
Nitritos	mg.L ⁻¹	0,75	0,33	0,09	0,15	0,14
Sólidos Totales	mg.L ⁻¹	647,00	684,33	513,40	626,53	761,33
Grasas y Aceites	mg.L ⁻¹	S/D	S/D	< 0,5	616,10	S/D

S/D: Sin Datos

Tabla 3.3: Resultados físico-químicos del arroyo Las Piedras

En los siguientes gráficos (Figura 3.5 – 3.9) se puede observar la distribución de los distintos parámetros medidos desde aguas arriba (LP1) hacia aguas abajo (CONF) donde confluyen ambos arroyos:

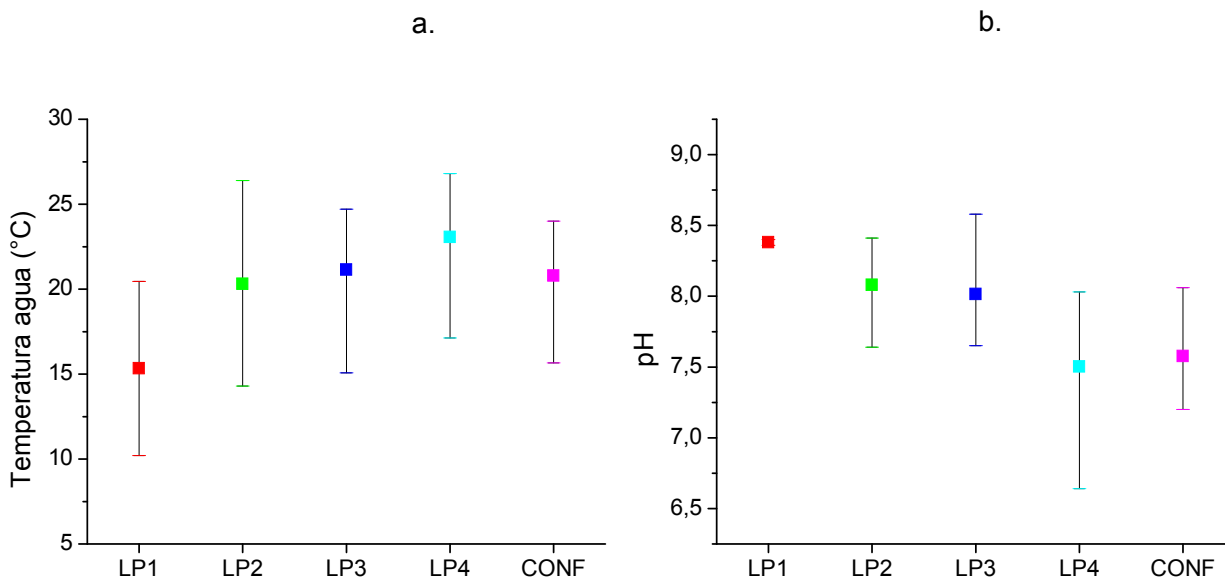


Figura 3.5. Distribución de los resultados obtenidos de **a.** Temperatura del agua y **b.** pH en el arroyo Las Piedras

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

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

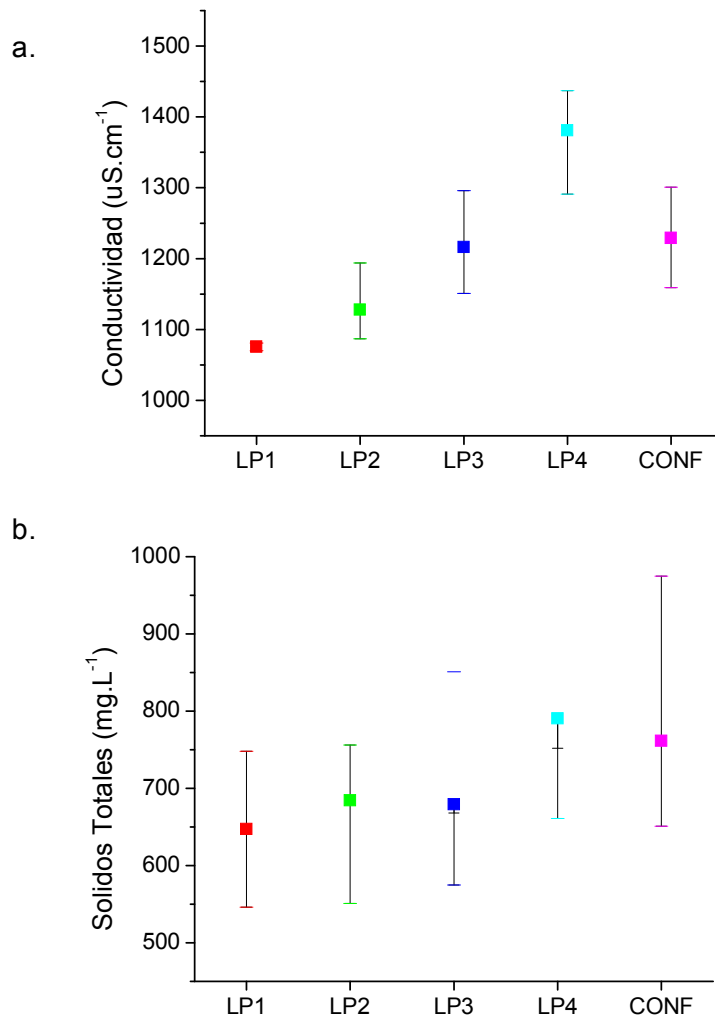


Figura 3.6. Distribución de los resultados obtenidos de a. Conductividad y b. SDT en el arroyo Las Piedras

En ambos gráficos (Figura 3.6 a y b) se puede observar que tanto la concentración de sólidos totales como la conductividad, la cual refleja de alguna manera la concentración de sales disueltas, presentan valores altos. Pudiéndose destacar un pico de concentración elevada en el sitio LP4, con una posterior estabilización de los niveles en la confluencia.

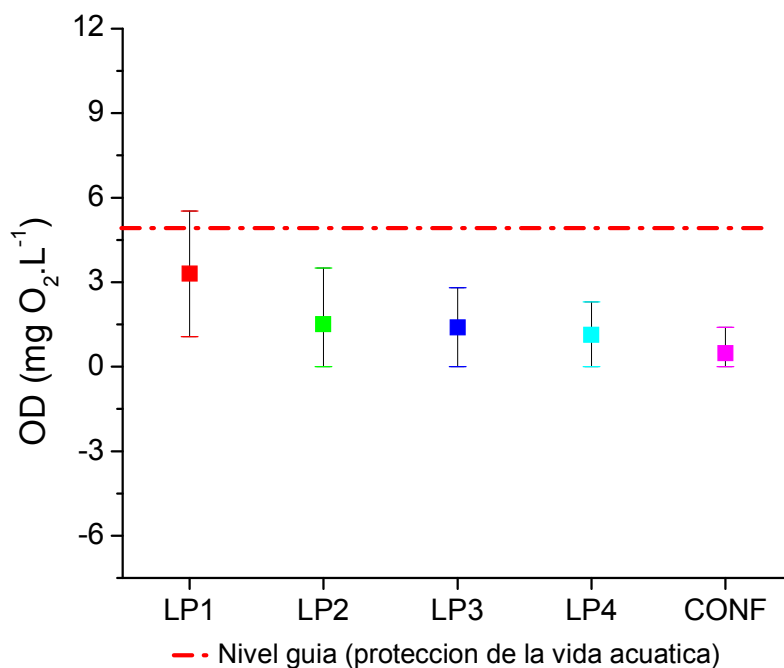


Figura 3.7. Distribución de los resultados obtenidos de Oxígeno disuelto en el arroyo Las Piedras

Según lo que se observa en la Figura 3.7 la concentración de oxígeno disuelto en el agua se encuentra por debajo del nivel guía estipulado para la protección de la vida acuática (5 mg.L^{-1})⁴. La misma disminuye drásticamente desde aguas arriba hacia la confluencia, llegando casi a una concentración nula en este último punto.

⁴ Nivel guía para la protección de la vida acuática, Secretaria de Recursos Hídricos Cuenca del Plata, República Argentina.

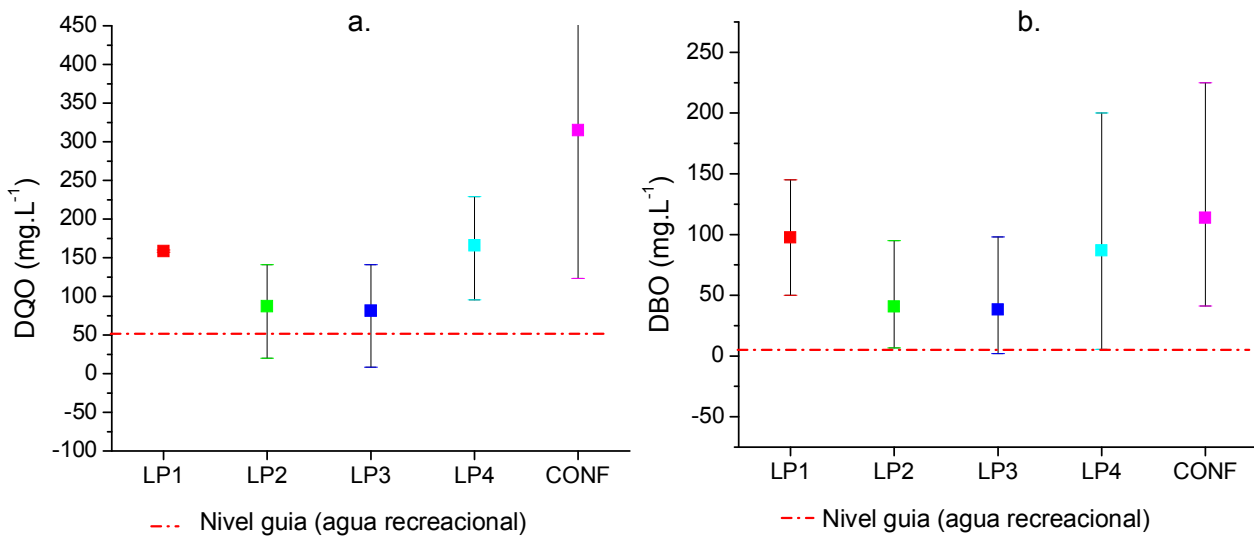


Figura 3.8. Distribución de los resultados obtenidos de a.DQO y b. DBO₅ en el arroyo Las Piedras.

Los valores de DQO y DBO exceden ampliamente a los sugeridos por entidades de regulación de la calidad de las aguas superficiales dependiendo de su destino, en el gráfico se muestran los valores guía adoptados por ACUMAR (Autoridad Cuenca Matanza-Riachuelo) para aguas superficiales destinadas a recreación, DQO (50 mg.L⁻¹) y DBO (3mg.L⁻¹), siendo éstos valores los menos exigentes según los diferentes tipos de uso del recurso. Estos valores ponen de manifiesto un aporte constante de materia orgánica a las aguas del arroyo las Piedras provenientes probablemente de aguas servidas de origen doméstico e industrial.

Se observa también que el punto de máxima concentración para ambos parámetros corresponde a la confluencia de ambos arroyos siguiendo una lógica de tipo aditiva y concordando con los valores de oxígeno disuelto observados (Figura 3.8).

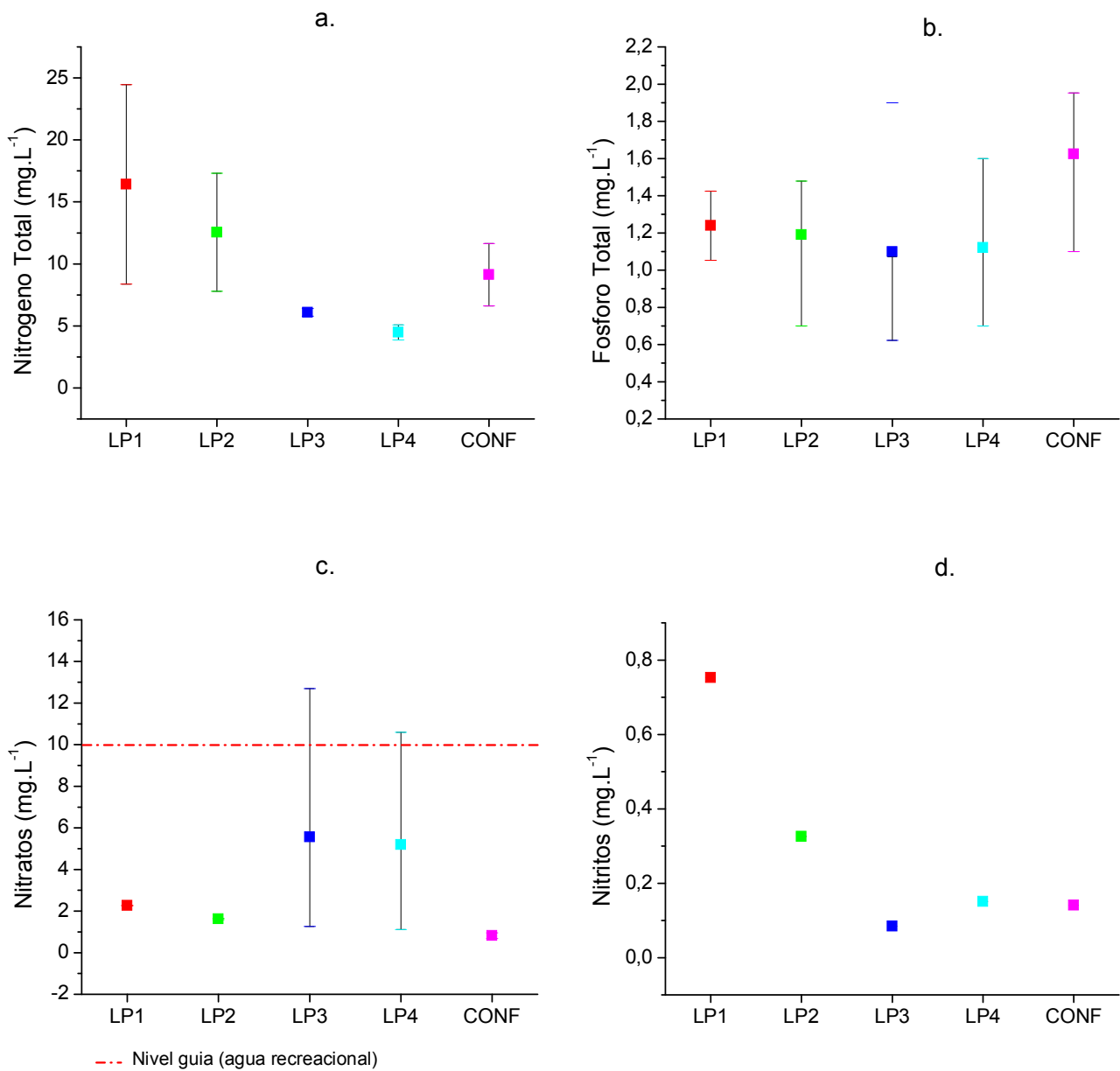


Figura 3.9. Distribución de los resultados obtenidos de a. Nitrógeno total, b.Fósforo total, c. Nitratos y d. Nitritos en el arroyo Las Piedras

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

En estos gráficos se observa también que los niveles de nitritos son muy bajos y los de nitratos no superan el valor sugerido para aguas de recreación (10 mg.L^{-1}), pero se observan los valores más elevados en los puntos LP3 y LP4 con una posterior baja de su concentración en la confluencia de los arroyos (Figura 3.9 a-d).

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



Figura 3.10: Sitio de monitoreo LP4. Sobre el margen izquierdo se observa una importante grasería y sobre el derecho, un asentamiento denominado “villa de los paraguayos”.

Los parámetros evaluados más relevantes fueron analizados estadísticamente con el test no paramétrico U de Mann-Whitney en busca de puntos críticos de contaminación a lo largo del arroyo Las Piedras. Se utilizó el software Origin Pro Lab para realizar los cálculos correspondientes.

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

En la siguiente tabla (Tabla 3.4) se pueden observar los resultados obtenidos:

Variable	LP1 Mediana	valor-p	LP2 Mediana	valor-p	LP3 Mediana	valor-p	LP4 Mediana	valor-p	CONF Mediana
OD (mgO₂.L⁻¹)	3,3	0,2403	0,5	1	0,64	1	1	0,5023	0
Conductividad (μS.cm⁻¹)	1075,5	0,1052	1148	0,9025	1205	0,2101	1376	0,2703	1193
DQO (mg.L⁻¹)	158,5	0,1052	99	0,8057	59	0,2101	118,4	0,1779	410,5
DBO (mg.L⁻¹)	97,5	0,2472	27	0,7133	13	0,2963	31,9	0,1779	150
CF (log NMP/100 mL)	5,09	0,2472	5,57	0,2703	4,97	0,3457	5,38	0,3873	5,88

Tabla 3.4: Resultados estadísticos de la aplicación del test U de Mann-Whitney para evaluar la variación de los parámetros más relevantes a lo largo del arroyo las Piedras.

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

3.3.1.2 Arroyo San Francisco

En la siguiente tabla (Tabla 3.5) se pueden observar los resultados físico-químicos obtenidos (medias aritméticas) para cada uno de los sitios monitoreados:

ARROYO SAN FRANCISCO						
Parámetro	Unidad	SF1	SF1'	SF2	SF3	CONFL
Temperatura ambiente	°C	21,30	20,20	28,80	31,00	27,00
Temperatura agua	°C	15,95	25,50	19,91	22,64	20,80
pH	u de pH	8,43	7,47	7,96	7,56	7,58
Oxígeno Disuelto	mg.L ⁻¹	5,41	8,20	2,10	1,55	0,47
% Oxígeno Disuelto	%	49,15	99,87	21,84	19,15	5,48
Conductividad	µS/cm	943	1182	1148	1334	1229
Salinidad	mg.L ⁻¹	0,50	S/D	0,52	0,71	0,58
Cloruros	mg.L ⁻¹	74,50	S/D	81,30	99,50	121,90
Sólidos Disueltos Totales	mg.L ⁻¹	506	S/D	524	361	580
DBO5	mg.L ⁻¹	75,00	16,30	41,90	41,48	113,70
DQO	mg.L ⁻¹	112,50	48,90	69,40	106,20	314,77
Turbidez	NTU	S/D	3,40	3,30	13,30	6,10
Nitrógeno Total	mg.L ⁻¹	7,37	S/D	5,99	12,00	9,14
Amonio	mg.L ⁻¹	7,03	S/D	5,41	7,78	6,42
N-Amoniaco	mg.L ⁻¹	5,45	S/D	4,19	6,14	4,97
Nitrógeno orgánico	mg.L ⁻¹	1,92	S/D	1,80	7,62	4,17
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	1,16	0,80	0,93	1,75	1,62
Nitratos	mg.L ⁻¹	1,85	1,22	2,67	4,55	0,82
Nitritos	mg.L ⁻¹	0,95	S/D	0,69	0,23	0,14
Sólidos Totales	mg.L ⁻¹	579,50	702,00	679,67	653,72	761,33
Grasas y Aceites	mg.L ⁻¹	S/D	S/D	S/D	123,40	S/D

S/D: Sin Datos

Tabla 3.5: Resultados físico-químicos del arroyo San Francisco.

En los siguientes gráficos se representa la distribución de los parámetros físico-químicos más relevantes del arroyo San Francisco:

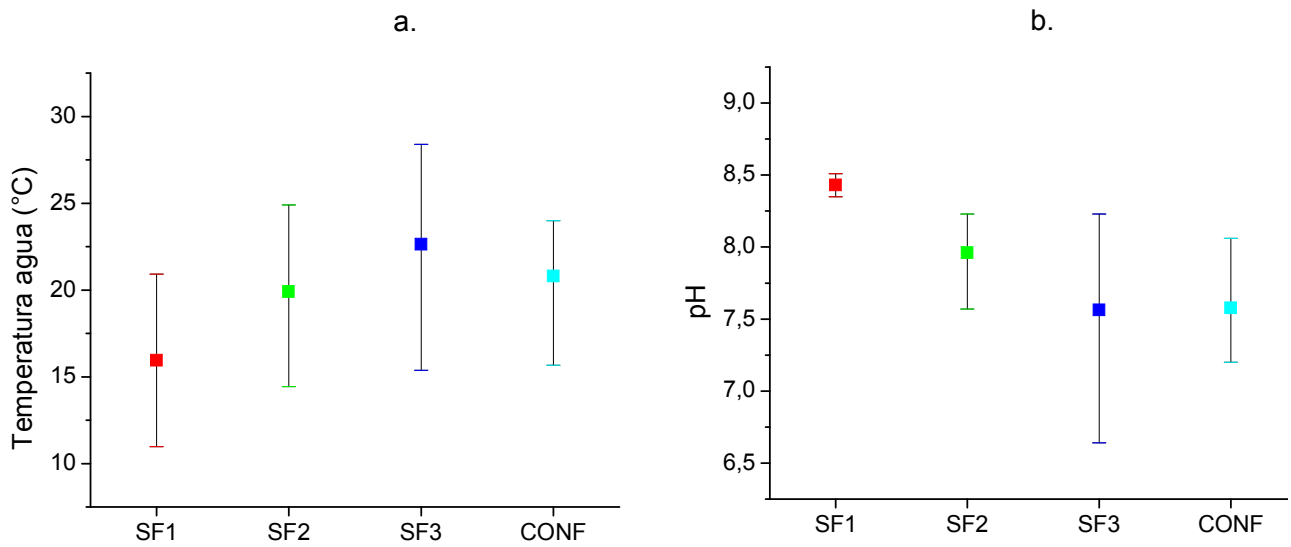


Figura 3.10. Distribución de los resultados obtenidos de a. Temperatura del agua y b. pH en el arroyo San Francisco.

Tanto los valores de temperatura del agua como los de pH se mantienen en rangos que no presentan riesgo alguno en cada uno de los sitios monitoreados en el arroyo San Francisco (Figura 3.10 a y b).

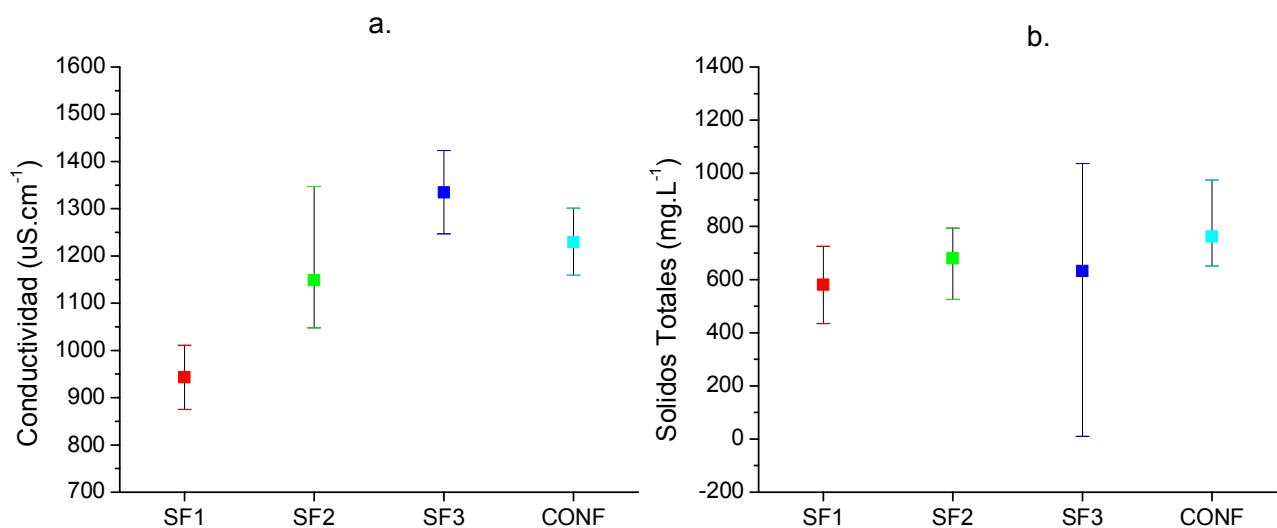


Figura 3.11. Distribución de los resultados obtenidos de a. Conductividad y b. Sólidos Totales en el arroyo San Francisco.

Respecto a la conductividad y los sólidos totales (ST) se puede observar (figura 3.11) que los niveles de ambos parámetros son altos. Particularmente se observa un pico mínimo de ST en el sitio SF3, que podría explicarse dado que ese sitio de muestreo se ubica posterior a un recodo en el cauce (retenedor natural de material en suspensión) y una elevada presencia de nitratos y nitrógeno total que actuarían como coadyuvantes a la decantación de los SDT por floculación.

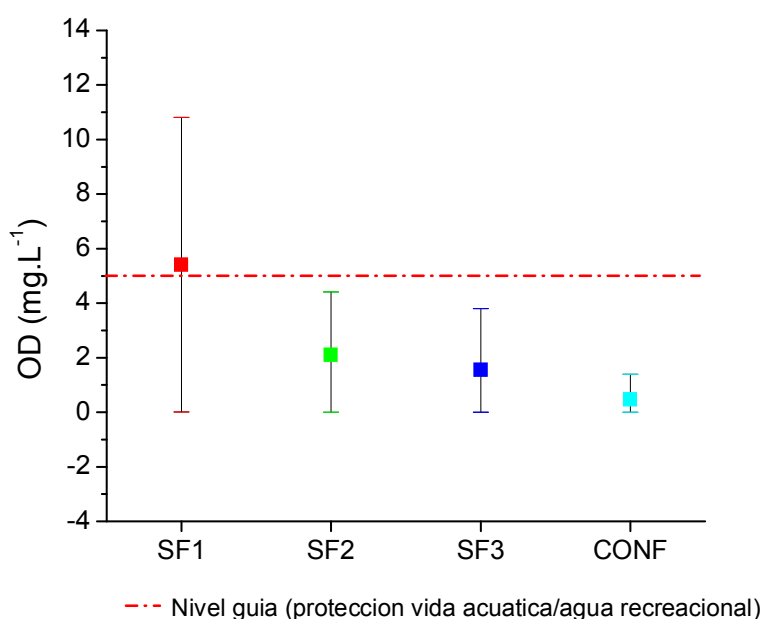


Figura 3.12. Distribución de los resultados obtenidos de Oxígeno disuelto en el arroyo San Francisco.

La concentración de oxígeno disuelto en el agua va disminuyendo desde aguas arriba (SF1) hacia la confluencia de los arroyos (CONF). Vale destacar que el punto SF2 representa el primer sitio de muestreo dentro del partido de Quilmes, y que en los sitios monitoreados que le siguen, los valores de oxígeno disuelto se encuentran por debajo del nivel guía establecido para la protección de la vida acuática y de uso recreativo (5 mg.L⁻¹)⁵. Llegando prácticamente a una concentración nula en la confluencia (Figura 3.12).

⁵ Nivel guía para la protección de la vida acuática, Secretaria de Recursos Hídricos Cuenca del Plata, República Argentina.

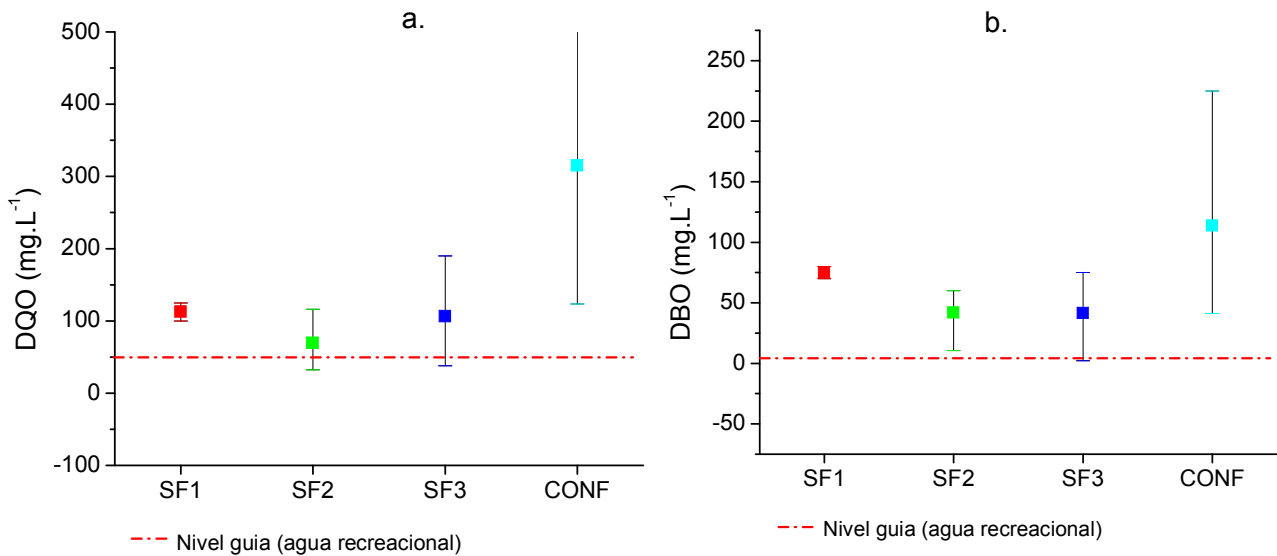


Figura 3.13. Distribución de los resultados obtenidos de a.DQO y b. DBO₅ en el arroyo San Francisco.

La demanda química y bioquímica de oxígeno muestran valores similares a los encontrados en el arroyo Las Piedras. Se observa un aumento creciente de ambos parámetros desde aguas arriba hacia la confluencia. Los valores obtenidos superan en todos los puntos monitoreados los valores guía estipulados para aguas superficiales destinadas a recreación DBO (3 mg.L⁻¹), DQO (50 mg.L⁻¹).

Estos valores elevados, al igual que en el caso del arroyo Las Piedras, indican que el arroyo San Francisco recibe una alta carga orgánica tanto por parte de efluentes domésticos como industriales, aportando generosamente a las bajas concentraciones de oxígeno disuelto halladas en todos los sitios muestreados.

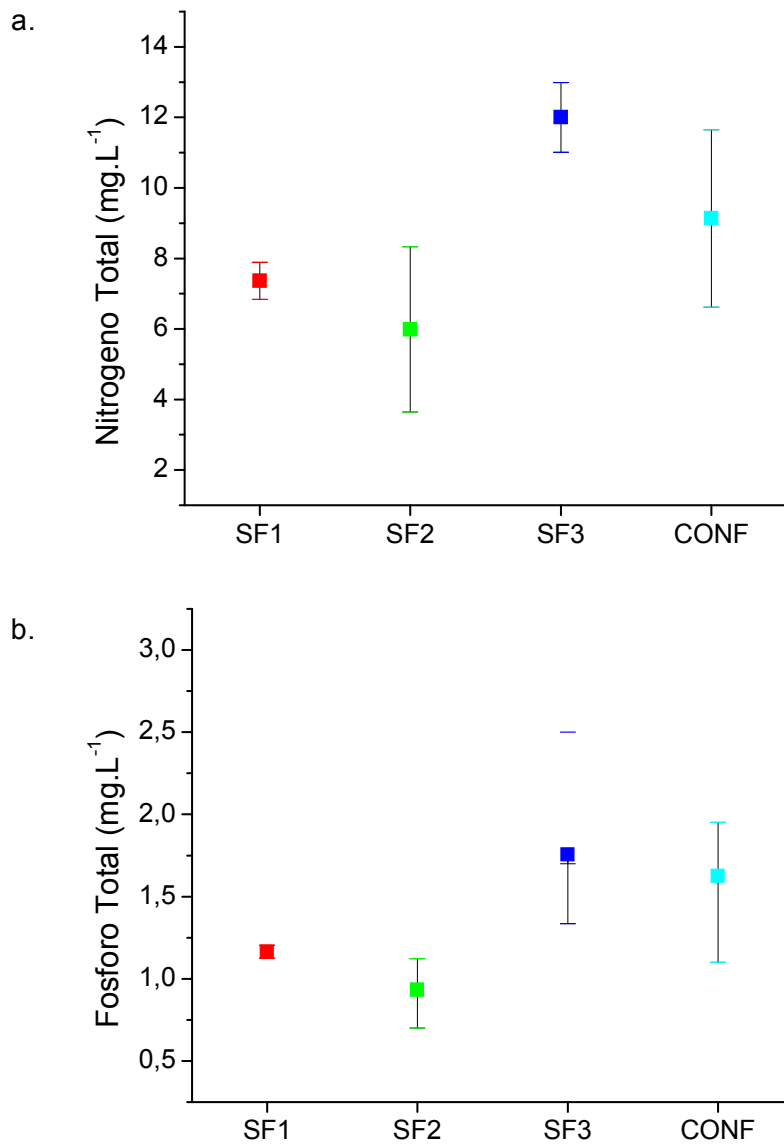


Figura 3.14. Distribución de los resultados obtenidos de a. Nitrógeno total y b. Fósforo total en el arroyo San Francisco.

El fósforo total se presenta con valores bajos (0-2 mg.L⁻¹) en el arroyo San Francisco, al igual que en el arroyo Las Piedras. Sin embargo en los puntos SF3 y CONF superan el valor guía (1mg.L⁻¹). Esto puede deberse a la actividad del de un importante frigorífico ubicado sobre los márgenes del arroyo en el sitio SF3. Respecto al nivel del nitrógeno total es superior al del fósforo, y también resalta un pico de concentración en el sitio SF3, el cual podría deberse también al aporte de nutrientes por parte del

frigorífico. Tanto los valores hallados de fósforo total como de nitrógeno total fueron mayores en el arroyo San Francisco respecto al arroyo Las Piedras.

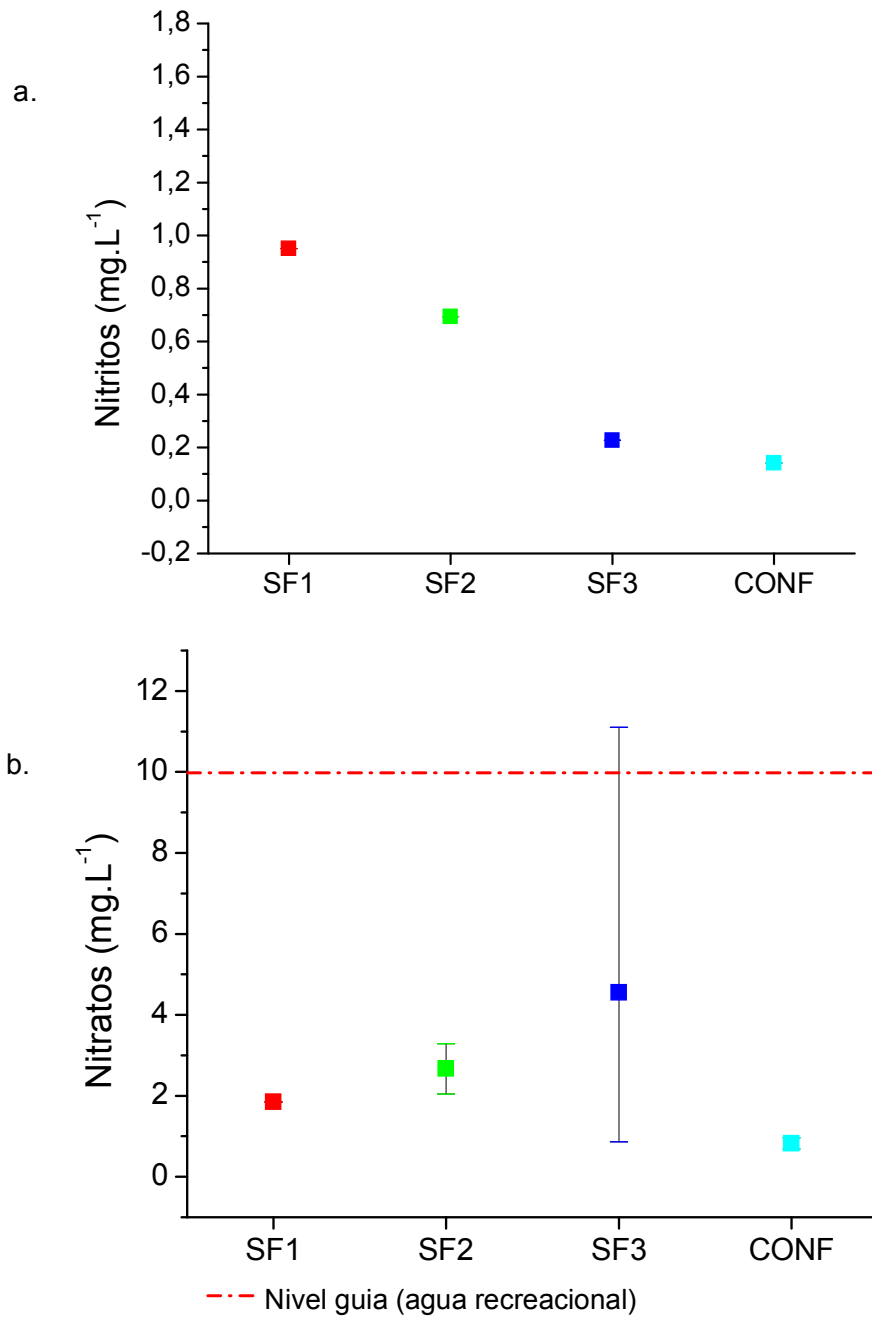


Figura 3.15. Distribución de los resultados obtenidos de a. Nitritos y b. Nitratos en el arroyo San Francisco.

En los gráficos anteriores se observa una baja concentración de nitritos en todos los sitios muestreados del arroyo, mientras que para los niveles de nitratos se observa un pico máximo en el sitio SF3, asociable a la actividad del frigorífico, que posteriormente disminuye en la confluencia. Esta situación probablemente es debida a la actividad de bacterias nitrificantes presentes tanto en agua como en sedimento del arroyo. Las mismas se describirán en el capítulo 6.

En todos los casos, los valores de nitratos se encontraron por debajo del nivel guía establecido para aguas de recreación (10 mg.L^{-1}), con un nivel máximo ocasional que apenas lo superó.

Los parámetros evaluados más relevantes fueron analizados estadísticamente con el test no paramétrico U de Mann-Whitney en busca de puntos críticos de contaminación a lo largo del arroyo San Francisco. Se utilizó el software libre Origin Pro Lab para realizar los cálculos correspondientes.

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

En la siguiente tabla (Tabla 3.6) se pueden observar los resultados obtenidos:

Variable	SF1 Mediana	valor-p	SF2 Mediana	valor-p	SF3 Mediana	valor-p	CONF Mediana
OD ($\text{mgO}_2\text{.L}^{-1}$)	8,2	0,212	0,95	0,620	0	1	0
Conductividad($\mu\text{S.cm}^{-1}$)	1011	0,596	1048,5	0,111	1248	0,178	1193
DQO (mg.L^{-1})	100	0,596	67	0,270	117	0,111	410,5
DBO (mg.L^{-1})	70	0,377	36	0,540	56	0,139	150
CF (log NMP/100 mL)	5,66	0,368	5,22	1,000	5,18	0,266	5,88

Tabla 3.6: Resultados estadísticos de la aplicación del test U de Mann-Whitney para evaluar la variación de los parámetros físico-químicos a lo largo del arroyo San Francisco.

Como se puede observar en la tabla no se registraron diferencias significativas entre los sitios monitoreados en el arroyo San Francisco (SF1/SF2/SF3/CONF) para ninguno de las variables evaluadas. Considerando los resultados particulares de cada

punto de muestreo sumado a la falta de diferencias estadísticamente significativas entre ellos, podemos presumir al igual que en el caso del arroyo Las Piedras, que el estado general del arroyo es crítico o por lo menos se encuentra fuera de los parámetros normales de calidad estimados para un uso del recurso de tipo recreativo, además del estado de salud ambiental de la cuenca en general.

3.3.2 Metales, Hidrocarburos Totales del Petróleo e Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos

El desarrollo tecnológico, el crecimiento poblacional y la industrialización son factores que contribuyen a que ingresen al ambiente, de manera continua un gran número de sustancias tóxicas, dichos contaminantes tóxicos son aquellas formas de materia que exceden las concentraciones naturales en un sistema y causa impactos negativos en el medio ambiente (Albert L., 1999), entre estos contaminantes tenemos los pesticidas, aceites y grasas, hidrocarburos y metales pesados entre otros (Hart y Fuller, 1974).

Muchos de los contaminantes que ingresan a un cuerpo de agua superficial, por vía natural o antropogénica, quedan retenidos en los sedimentos que se depositan en el fondo del cauce, causando efectos tóxicos sobre los sistemas acuáticos (Esteves *et al.*, 1996; Bohn *et al.*, 2001). Estos depósitos tienen un gran valor científico para el estudio de estos ecosistemas, pues conservan un registro histórico del tipo de contaminación que ha tenido lugar, y al interaccionar con las corrientes de agua ponen en circulación los contaminantes retenidos, alterando la dinámica general de la masa de agua (Mariani y Pompeo, 2008). Así, variaciones de pH, salinidad y de las propiedades redox de las corrientes de agua pueden provocar movilización y resuspensión de especies químicas acumuladas en los sedimentos, magnificando incluso su efecto tóxico, tal como es el caso de los metales pesados (Ruiz *et al.* 1994).

Metales

Los metales pesados son elementos químicos, constituyentes naturales de la corteza terrestre, de rocas, suelos, sedimentos, erupciones volcánicas y del agua. Sin embargo el papel que el hombre ha desempeñado en la presencia ambiental de metales es por una parte, introducir en el medio ambiente estos elementos como consecuencia de las

distintas actividades humanas como desechos domésticos, agrícolas e industriales, y constituyen un peligro para la biota acuática y el ser humano, así como un factor de deterioro ambiental (Moreno, 2003).

Estos elementos se acumulan principalmente en los sedimentos superficiales de los ríos, arroyos, aunque pueden encontrarse concentraciones relativamente elevadas a una profundidad de 15 cm y guardan una estrecha relación con el tamaño de las partículas que constituyen el sedimento (limo, arcilla y arena) y con la cantidad de materia orgánica sedimentaria, alterando el equilibrio ecológico y biogeoquímico del ecosistema (Acosta *et al.*, 2002). Por consiguiente, suelos y sedimentos actúan como reservorios de elementos biodisponibles que pueden dar lugar a bioacumulación de los mismos en la cadena alimentaria e inducir por tanto a perturbaciones en el ecosistema y provocar efectos adversos en la salud.

En la actualidad está totalmente aceptado que la toxicidad y movilidad de los metales pesados depende principalmente de su forma química y de cómo están ligados o unidos a la matriz sólida. La idea básica es que cuando quedan fijados por los sedimentos su impacto medio-ambiental se reduce. La movilidad de los metales pesados en muestras medioambientales sólidas, depende de diversos factores que afectan a la forma y fuerza de la asociación metal-sólido, tales como el tipo de sedimento y el contenido en materia orgánica entre otros (Herrera *et al.*, 2012).

Los metales pesados han sido identificados como contaminantes de los más peligrosos en ecosistemas acuáticos debido a su persistencia y elevada toxicidad, los de mayor importancia toxicológica y ecotoxicológica son: Hg, As, Cr, Pb, Cd, Ni y Zn (Martínez-Tabche *et al.*, 2000). La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables.

Hidrocarburos Totales del Petróleo (HTP)

Los hidrocarburos son uno de los agentes contaminantes de mayor preocupación en la actualidad, debido a que constituyen la principal fuente de energía en la sociedad moderna; provienen de la combustión de la gasolina, petróleo, carbón y/o gas natural. Consisten en diferentes compuestos, cuya estructura base corresponde a enlaces carbono-carbono y más aún la mayoría de éstos, contienen exclusivamente carbono e hidrógeno. La contaminación de las aguas superficiales por hidrocarburos es un hecho que ocurre con relativa frecuencia. Estas pueden presentarse de dos formas generales: puntuales y sistemáticas. Las primeras ocurren de manera fortuita en los cuerpos de agua donde generalmente no hay presencia de hidrocarburos. Las segundas son habituales y caracterizan a aquellas aguas que son contaminadas por la actividad antrópica que en ellas se realiza. Por otro lado, las fuentes de la contaminación pueden ser simples o múltiples, y verter al medio uno o varios componentes del petróleo.

El estudio de este tipo de contaminaciones puede alcanzar una gran complejidad, determinada ésta por la naturaleza de la contaminación, los métodos de análisis empleados y la manera en que se proceda en la ejecución del estudio (Prieto Díaz y Martínez de Villa Pérez, 1999).

Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs)

Los HAPs han estado presentes como contaminantes desde los inicios de la vida del hombre, ya que son compuestos naturales presentes en el ambiente. Sin embargo, el crecimiento industrial genera un aumento constante de un gran número y variedad de contaminantes en el entorno natural, entre ellos los HAPs (Blazquez Rodea, 2003). Los HAPs se encuentran entre los compuestos más tóxicos para la vida y, por tanto, entre las listas de mayor interés para instituciones internacionales como el Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas (PNUMA) o la Organización Mundial de la Salud (OMS). Se estima que cerca de 228.000 toneladas de estos compuestos de origen antrópico son vertidos cada año a los ecosistemas acuáticos (EPA, 2008).

La presencia de los HAPs en el ambiente puede deberse a diversas fuentes, tanto naturales como antropogénicas. Generalmente, los HAPs son producidos por

combustión que puede ser natural (incendios forestales) o antropogénicos (combustión en automóviles). Algunos son de fabricación específica, como el naftaleno empleado como insecticida, pero su producción está en descenso al ser sustituido por compuestos clorados. Existe una gran variedad de fuentes naturales de HAPs, entre ellas principalmente los incendios forestales y la actividad volcánica. La aportación de estos focos es difícil de estimar, debido a la naturaleza esporádica de los mismos. Las principales fuentes antropogénicas de mayor contribución a la presencia de HAPs en el entorno son en orden decreciente de importancia: procesos industriales, calefacciones domésticas, fuentes móviles de emisión (transportes), incineradoras, plantas de generación eléctrica y mediante la biosíntesis directa originada por microbios y plantas (Spiro y Stigliani, 2006).

3.3.2.1 Metodología

Se colectaron muestras de agua de ambos arroyos en un total de siete estaciones de muestreo (LP2, LP3, LP4, SF1', SF2, SF3 y CONF). Las muestras de sedimento fueron tomadas con una draga van Veen (Figura 3.16) de 0,05 m² de superficie operativa y un peso aproximado de 3 kg. Todas las muestras se extrajeron entre las 9:00 y 14:00 h y se mantuvieron refrigeradas a 4-6 °C hasta el momento de su procesamiento.



Figura 3.16. Draga van Veen



Figura 3.17. Arroyo Las Piedras y Cno. Gral. Belgrano, Bernal (LP4).

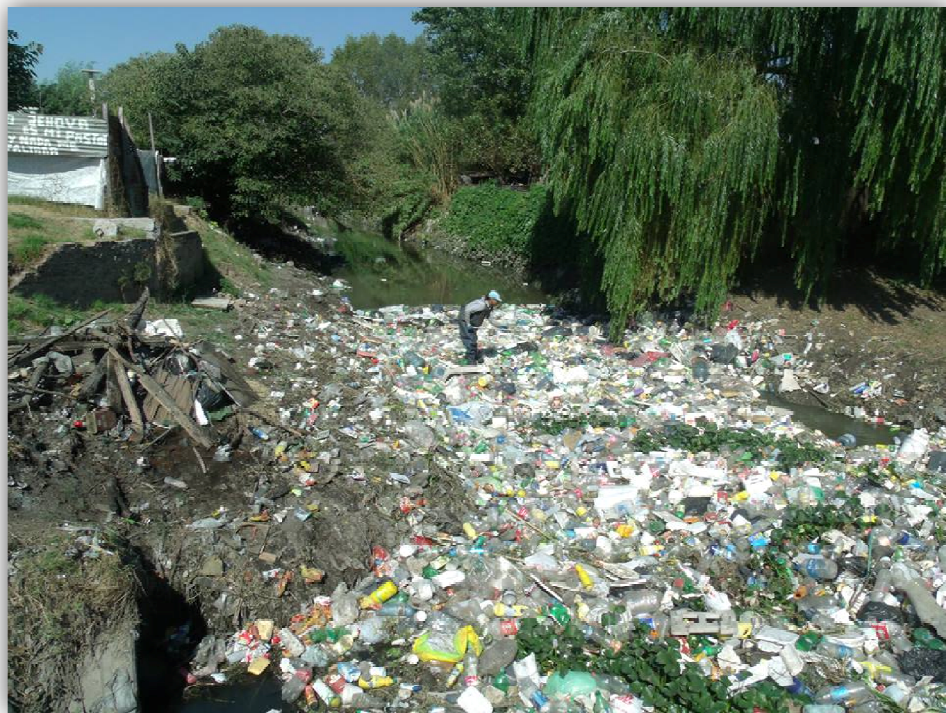




Figura 3.18. Arroyo San Francisco y Av. Montevideo, Bernal (SF3).

Para la determinación de metales pesados (cadmio, cobre, cromo y plomo) las muestras se digirieron en medio HNO_3 en sistema de digestión acelerada por microondas (CEM Mars 6) y posteriormente fueron analizadas en un espectrómetro de absorción atómica llama aire-acetileno (Shimadzu AA-7000).

La determinación de hidrocarburos totales de petróleo (HTPs) en las muestras se realizó mediante extracción con cloruro de metileno (J. Baker, calidad cromatográfica) y posteriormente se llevó a cabo su análisis mediante cromatografía gaseosa, CG-FID Agilent 6890N, columna capilar SPB-5 (60mts x 0,25mm x 0,25 μm).

El análisis de Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (HAPs) se realizó por cromatografía líquida de alta resolución (UHPLC Nexera, Shimadzu) con detectores de PDA (arreglo de diodos) y fluorescencia, analizándose acenafteno, acenaftileno, antraceno, benzo[a]antraceno, benzo[b]fluoranteno, benzo[k]fluoranteno, benzo[ghi]perileno, benzo[a]pireno, criseno, dibenzo[a,h]antraceno, fluoranteno,

fluoreno, indeno [1,2,3-cd]pireno, naftaleno, fenantreno y pireno. Las condiciones cromatográficas fueron las siguientes: Columna C18 (Zorbax Eclipse PAH 100mm x 4.6mm, 3.5µm). Las muestras previamente se extrajeron con Hexano (J. Baker, calidad cromatográfica) asistido con baño ultrasónico, llevadas a sequedad y posterior agregado de 1mL de acetonitrilo (J. Baker, calidad HPLC) antes de analizar.

3.3.2.2 Resultados

Según los resultados obtenidos respecto a la determinación de metales podemos observar que en las muestras de agua la concentración medida resultó por debajo del límite de detección para cada uno de ellos (cadmio, cobre, cromo y plomo). Sin embargo, las muestras de sedimento en general mostraron concentraciones alarmantes en ambos arroyos con valores que van desde 0,81mg.kg⁻¹(Cd-SF1) a 738mg.kg⁻¹(Cd-SF3), los cuales se pueden observar en la siguiente tabla (Tabla 3.7):

Estación	Cd	Cu	Pb	Cr
LP2	144,22	170,52	56,8	23,35
LP4	427,65	140,2	84,13	116,27
SF1'	0,81	77,44	27,43	17,02
SF2	0,99	284,55	239,55	31,18
SF3	738,94	200,24	102,37	166,36
CONF	618	433,6	306,56	216,26
Nivel Guía CCME⁶ (mg.kg⁻¹)	0,6	35,7	35	37,3

Tabla 3.7. Concentración (mg/kg) de los diferentes metales medidos en el sedimento de los arroyos Las Piedras (LP2 y LP4), San Francisco (SF1', SF2 y SF3) y Confluencia.

⁶CCME: Canadian Environmental Quality Guidelines.

Observando la Figura 5 correspondiente al arroyo Las Piedras, se puede apreciar que tanto las concentraciones de cadmio como de cromo y plomo siguen una tendencia que va en aumento desde el primer punto de muestreo (LP2) hacia el último, aguas abajo (Confluencia). Con respecto al cobre no se observan prácticamente diferencias entre LP2 y LP4. Vale aclarar que no se pudieron tomar muestras de sedimento en el punto LP3.

Los valores de cadmio observados son los más elevados llegando a alcanzar su máxima concentración en la confluencia con un valor de 618 mg.kg⁻¹.

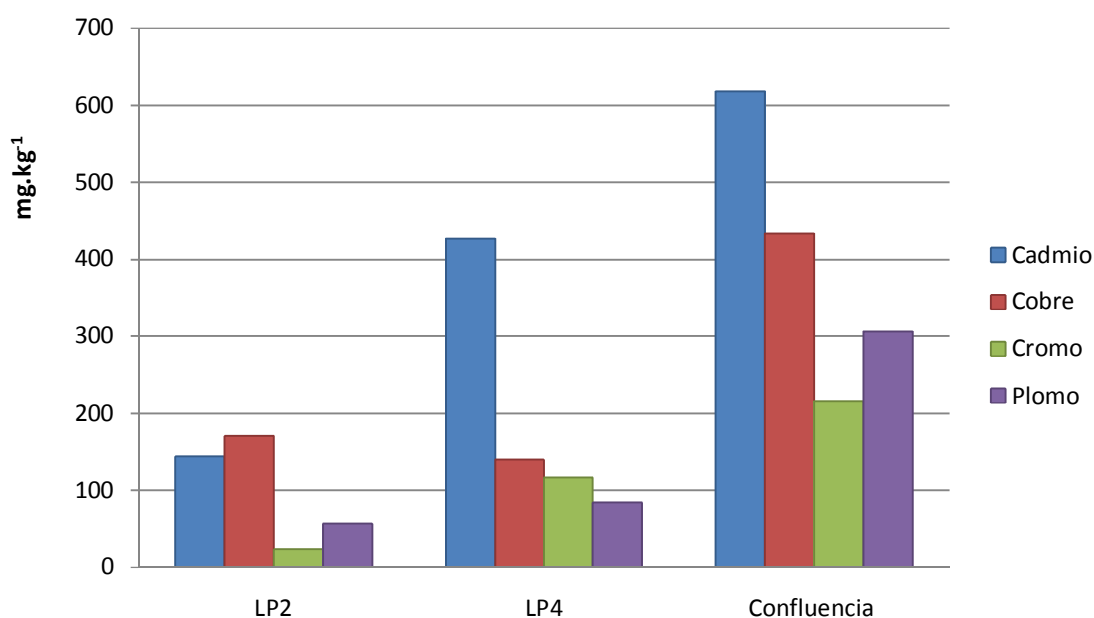


Figura 3.19. Distribución de la concentración de los metales medidos en el sedimento del arroyo Las Piedras.

La situación en el arroyo San Francisco no difiere demasiado en cuanto a que la concentración de todos los metales analizados, cadmio, cobre, plomo y cromo, se encuentra por encima de los niveles guía estipulados por la CCME, 2002: 0,6; 35,7; 35 y 37,3mg.kg⁻¹ respectivamente.

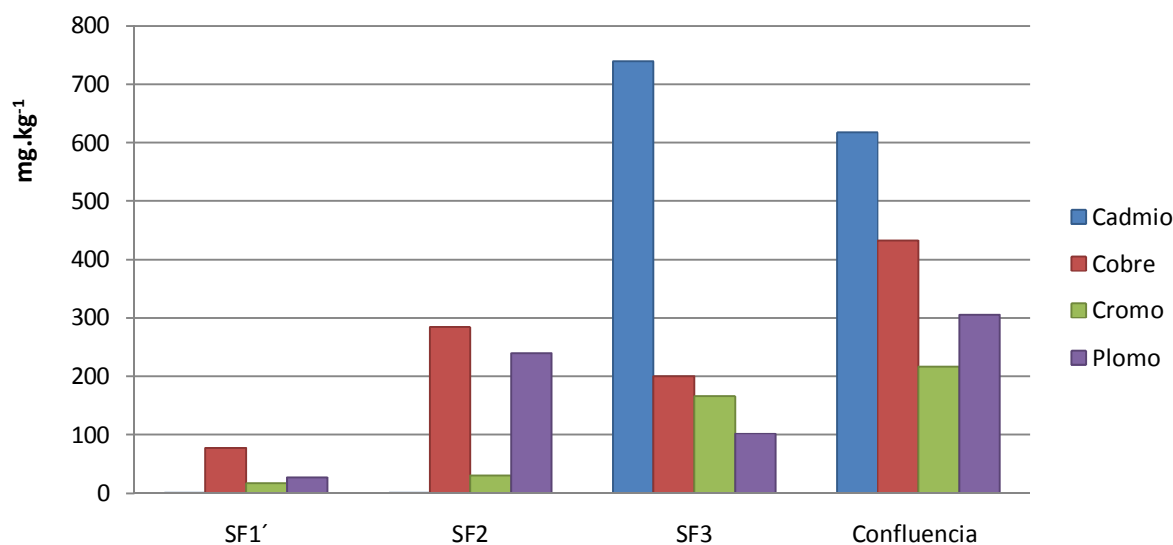


Figura 3.20. Distribución de la concentración de los metales medidos en el sedimento del arroyo San Francisco.

Sin embargo podemos observar en la Figura 3.20 que los niveles de cadmio aguas arriba son muy inferiores respecto a los del arroyo Las Piedras, aunque en el sitio SF3 se observa un pico de concentración máxima superior a los 700 mg.kg⁻¹. Este sitio de muestreo se caracteriza por la presencia de industrias que históricamente han aportado y continúan aportando metales pesados; entre ellas se encuentran químicas industriales, frigoríficos, graseras, entre otras.

Tanto la concentración de cobre como de plomo mostraron fluctuaciones presentando un aumento de la misma en los puntos SF2 y CONF, y una disminución en el sitio SF3. En cuanto a los valores de cromo se observa una tendencia creciente hacia la confluencia de los arroyos.

Con respecto a los valores obtenidos sobre la concentración de hidrocarburos totales del petróleo en la siguiente tabla (Tabla 3.8) se puede observar que las muestras de agua de ambos arroyos presentan valores inferiores al límite propuesto para cuerpos de agua superficiales, establecido por la Autoridad del Agua Res. 336/2003 (≤ 50 ppm) (ADA, 2003). Sin embargo, el sitio CONF muestra una concentración de HTPs en agua que supera en más de 40 veces el nivel guía señalado anteriormente.

Estación	Agua (mg kg ⁻¹)	Sedimento	
		Húmedo	Seco
LP1	1,86	79,5	191,0
LP2	2,72	163,1	589,0
LP3	2,75	S/D	S/D
LP4	3,16	160,0	321,2
SF1	2,25	99,2	184,3
SF2	2,55	209,2	345,8
SF3	2,28	182,2	1310,9
CONF	1256,27	74,2	291,9

S/D Sin dato

Tabla 3.8. Valores de Hidrocarburos (mg kg⁻¹) Totales del Petróleo en agua y sedimento de los arroyos Las Piedras y San Francisco.

En el caso de los sedimentos se puede observar que en ambos arroyos y en todos los sitios de muestreo la concentración de HTPs supera ampliamente el valor máximo establecido por la UNESCO en 1976, de 70 mg.kg⁻¹ en materia seca, siendo particularmente elevada la concentración en el sitio SF3 (1310,9mg kg⁻¹).

Sólo en las muestras de sedimento se determinó la concentración de los 16 HAPs considerados contaminantes prioritarios según la USEPA, 1994: naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo (a) antraceno, criseno, benzo (b) fluoranteno, benzo (k) fluoranteno, benzo (a) pireno, dibenzo (a,h) antraceno, benzo (g,h,i) perileno, indeno (1,2,3-c,d) pireno.

Los niveles de los 16 HAPs considerados, resultaron por debajo del límite de detección LD en todas las muestras de sedimento de ambos arroyos. Sin embargo, cabe destacar que el sitio CONF presentó los siguientes valores (Tabla 3.9):

Compuesto	CONF	LDM(mg.kg⁻¹)
Naftaleno	<44,56	44,56
Acenaftileno	<45,83	45,83
Acenafteno	<49,71	49,71
Fluoreno	<8,18	8,18
Fenantreno	<2,79	2,79
Antraceno	<4,65	4,65
Fluoranteno	<0,15	0,15
Pireno	<2,34	2,34
Benzo(a)antraceno	5,39	0,06
Criseno	7,25	1,90
Benzo(b)fluoranteno	6,94	0,08
Benzo(k)fluoranteno	3,23	0,06
Benzo(a)pireno	4,76	0,20
Dibenzo(a,h)antraceno	2,38	0,52
Benzo(g,h,i)perileno	8,20	0,32
Indeno(1,2,3-c,d)pireno	6,48	2,95

Tabla 3.9. Valores de HAPs en el sedimento de la confluencia de los arroyos Las Piedras y San Francisco.

Es importante mencionar que el Benzo(a)pireno que se encuentra en una concentración tal (4,76 mg.kg⁻¹) que no es despreciable, es un hidrocarburo policíclico aromático potencialmente carcinógeno que se forma durante la combustión incompleta o pirólisis de materia orgánica. Estas sustancias se encuentran en aire, agua, suelos y sedimentos, por lo general a nivel de trazas excepto cerca sus fuentes.

3.4 Conclusiones Parciales

Este trabajo pone de manifiesto un potencial y grave problema ambiental, derivado del alto contenido de metales pesados presentes en los sedimentos de los arroyos Las Piedras y San Francisco. Respalda además los resultados obtenidos en cuanto a la pobre calidad microbiológica y físico-química de sus aguas, a las cuales más de 100.000 habitantes se encuentran expuestos diariamente.

Algunas de las causas de la contaminación por metales podría deberse al vertido de aguas residuales sin tratamiento previo, la infiltración de aguas negras y el desarrollo de actividades industriales (metalúrgicas, metalmecánicas, pinturerías) particularmente en la parte baja de la cuenca. Sin embargo, la principal amenaza de

este tipo de contaminación no reside en su acumulación en la fracción sedimentable sino en los mecanismos de sorción-desorción y precipitación-disolución, dependientes de las condiciones físicas y químicas de los arroyos, que pueden provocar su resuspensión en la columna de agua dejándolos biodisponibles. En particular, dados los bajos niveles de OD en agua y la ausencia de metales disueltos en agua es muy probable que los metales se encuentren en los sedimentos formando sulfuros metálicos de muy baja solubilidad. Lamentablemente por cuestiones operativas no fue posible evaluar la concentración de sulfuros en los sedimentos para corroborar dicha presunción.

En el caso de los HTPs la confluencia de ambos arroyos superó ampliamente el valor guía establecido por la Autoridad del Agua Res. 336/2003 de ≤ 50 ppm. Este resultado refleja la acumulación de hidrocarburos que ocurre cuando ambos arroyos confluyen arrastrando hidrocarburos provenientes de la actividad vehicular a través de los efluentes pluviales.

Si bien los niveles de los 16 HAPs analizados resultaron por debajo del límite en todas las muestras de sedimento, y sólo el sitio CONF presentó niveles detectables, consideramos importante continuar relevando su concentración tanto en sedimentos como en agua, ya que son contaminantes ubicuos con múltiples fuentes que se generan por combustión incompleta de materia orgánica; hecho que sucede con frecuencia en la quema de numerosos basurales clandestinos ubicados a la vera de ambos arroyos.

Estos resultados evidencian el deterioro progresivo, e incluso histórico, aguas abajo que ambos cuerpos de agua padecen. Considerando la potencialidad carcinogénica de los contaminantes encontrados y la alta densidad poblacional que rodea a estos arroyos, resultaría de suma importancia la intervención inmediata por parte de las autoridades responsables.

[TESIS DOCTORAL- LIC. ELORDI M. LUCILA]

[CAPÍTULO IV:]

[Microbiología Ambiental]

[2016]

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

4. Microbiológica Ambiental

4.1 Bacterias indicadoras de contaminación

El uso de aguas superficiales como fuentes de agua de bebida, como fuentes de recreación, incluso en aquellos eventos de inundación, implica un riesgo de transmisión de enfermedades hídricas. Los agentes patógenos involucrados con la transmisión por esta vía son las bacterias, virus y protozoos, helmintos y cianobacterias, que pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad, desde una gastroenteritis simple hasta serios y a veces fatales cuadros de diarrea, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea. La transmisión hídrica es solo una de las vías, pues estos agentes patógenos también pueden transmitirse a través de alimentos, de persona a persona debido a malos hábitos higiénicos y de los animales al hombre, entre otras vías (WHO, 1995; WHO, 1996; Ryan y Ray, 2004).

Se ha demostrado la presencia de patógenos en aguas superficiales, así como su relación con los brotes epidémicos. En algunos casos no se ha detectado la fuente de origen pero, por las características del brote, se presume que su transmisión ha ocurrido por la vía hídrica (Rodríguez, 2001).

Bacterias transmitidas por el agua

Shigella dysenteriae, es una bacteria con forma de bacilo Gram-negativa, habitante normal del tracto gastrointestinal humano y que puede causar shigellosis (disentería bacteriana). No forma esporas, es anaerobia facultativa y no móvil.

S. dysenteriae se propaga contaminando el agua y los alimentos, causando las más severas disenterías debido a su potente y mortal toxina Shiga, aunque otras especies también pueden ser agentes de disentería. Fermenta la glucosa pero no la lactosa. Forma ácido a partir de carbohidratos, pero pocas veces producen gas.

Salmonella typhi, es un bacilo que causa la fiebre tifoidea, una enfermedad sistémica grave que puede dar lugar a hemorragia o perforación intestinal. Aunque el agente de la fiebre tifoidea puede transmitirse también por alimentos contaminados y por

contacto directo con personas infectadas, la forma más común de transmisión es a través del agua (Janda y Abbot, 1996; Brock, 2000).

Vibrio cholerae, es un bacilo Gram negativo con forma de bastón curvo que provoca el cólera en humanos. Junto con otra especie de género *Vibrio* pertenece a la subdivisión gamma de las Proteobacterias. Se transmite habitualmente a través del agua. Sin embargo, también puede transmitirse por consumo de mariscos u hortalizas crudas. La enfermedad ha sido prácticamente eliminada en los países desarrollados gracia a la eficaz potabilización del agua (Janda y Abbot, 1996; Brock, 2000; Ivanova *et al.*, 2001).

Escherichia coli, es un bacilo Gram Negativo, móvil que colonizan el intestino, son comensales, sin embargo dentro de esta especie se encuentran cepas patógenas causantes de una diversidad de enfermedades gastrointestinales. Dentro de los *E. coli* patógenos se incluyen: *E. coli enteropatogénico*, *E. coli enterotoxigénico*, *E. coli enteroinvasivo*, *E. coli enterohemorrágico*, *E. coli enteroadherente*, *E. coli enteroagregativo* (Janda y Abbot, 1996; Brock, 2000).

Determinar el tipo de microorganismos presentes en el agua y su concentración proporciona herramientas indispensables para conocer la calidad de la misma y para la toma de decisiones en relación al control de vertidos, tratamiento de aguas y conservación de ecosistemas, evitando así el riesgo de contaminación de las personas y el ambiente.

No obstante, existe una gran dificultad para determinar la presencia de todos los microorganismos patógenos implicados en los procesos de contaminación ambiental. Dicha determinación implica costos elevados, tiempo, y laboratorios especializados. Frente a estas dificultades y a la necesidad de hacer una evaluación rápida y fiable de la presencia de patógenos en el agua, se ha planteado la necesidad de trabajar con determinados grupos indicadores.

Los microorganismos indicadores son aquellos que tienen un comportamiento similar a los patógenos, concentración y reacción frente a factores ambientales, pero son más fáciles, rápidos y económicos de identificar. Una vez se ha demostrado la presencia de

grupos indicadores, se puede inferir que los patógenos se encuentran presentes en la misma concentración y que su comportamiento frente a diferentes factores como pH, temperatura, presencia de nutrientes, tiempo de retención hidráulica o sistemas de desinfección es similar a la del indicador (Campos, 1999).

Un microorganismo indicador de contaminación fecal debe reunir las siguientes características (Fernández *et al.*, 2001):

- Ser un constituyente normal de la flora intestinal de individuos sanos.
- Estar presente, de forma exclusiva, en las heces de animales homeotérmicos.
- Estar presente cuando los microorganismos patógenos intestinales lo están.
- Presentarse en número elevado, facilitando su aislamiento e identificación.
- Debe ser incapaz de reproducirse fuera del intestino de los animales homeotérmicos.
- Su tiempo de supervivencia debe ser igual o un poco superior al de las bacterias patógenas, su resistencia a los factores ambientales debe ser igual o superior al de los patógenos de origen fecal.
- Debe ser fácil de aislar y cuantificar.
- No debe ser patógeno.

Las bacterias que se encuentran más frecuentemente en el agua son las bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de la materia fecal. Cuando estos microorganismos se introducen en el agua, las condiciones ambientales son muy diferentes y por lo tanto su capacidad de reproducirse y de sobrevivir son limitadas (Galárraga, 1984; Borrego *et al.*, 1987).

Debido a que su detección y recuento a nivel de laboratorio son lentos y laboriosos, se ha usado el grupo de las bacterias coliformes como indicadores, ya que su detección es más rápida y sencilla (Olivieri, 1982; Craun *et al.*, 1997; Rose, 1997; Steiner *et al.*, 1997).

El grupo de microorganismos coliformes es adecuado como indicador de contaminación bacteriana debido a que estos son contaminantes comunes del tracto gastrointestinal tanto del hombre como de los animales de sangre caliente, están

presentes en el tracto gastrointestinal en grandes cantidades, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección.

Los microorganismos que conforman el grupo de los coliformes totales; *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Edwardsiella* y *Citrobacter*, viven como saprófitos independientes o como bacterias intestinales; los coliformes fecales (*Escherichia*) son de origen intestinal (Canosa, 1995). Todos pertenecen a la familia Enterobacteriaceae, son bacilos Gram negativos, anaerobios facultativos, no esporulantes, fermentadores de lactosa con producción de gas; constituyen aproximadamente el 10% de los microorganismos intestinales de los seres humanos y otros animales (Prescott *et al.*, 1996), las bacterias del tracto intestinal no suelen sobrevivir en el medio acuático, están sometidas a un estrés fisiológico y pierden gradualmente la capacidad de producir colonias en medios diferenciales y selectivos. Su velocidad de mortalidad depende de la temperatura del agua, los efectos de la luz solar, las poblaciones de otras bacterias presentes, y la composición química del agua. La presencia de Coliformes en el agua indica la contaminación bacteriana reciente y constituye un indicador de degradación de los cuerpos de agua (Fernández *et al.*, 2001; Asanoa y Cotruvo, 2004).

Los coliformes fecales se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. Esta denominación está ganando más adeptos actualmente, pues sería una forma más apropiada de definir este subgrupo que se diferencia de los coliformes totales por la característica de crecer a una temperatura superior. La capacidad de reproducción de los coliformes fecales fuera del intestino de los animales homeotérmicos es favorecida por la existencia de condiciones adecuadas de materia orgánica, pH, humedad, etc. (Rodríguez, 2001).

Estas bacterias son de interés clínico, ya que pueden ser capaces de generar infecciones oportunistas en el tracto respiratorio superior e inferior, además de bacteremia, infecciones de piel y tejidos blandos, enfermedad diarreica aguda y otras enfermedades severas en el ser humano (Moore *et al.*, 2002).

La presencia de coliformes totales debe interpretarse de acuerdo con el tipo de aguas: deben estar ausentes en 85% de las muestras de aguas potables tratadas. En caso de

estar presentes, su número debe ser <3 coliformes NMP/100 mL, según el Código Alimentario Argentino. Esta contaminación a pesar de ser baja, no puede ocurrir en tres muestras recolectadas en días consecutivos. En aguas tratadas, los coliformes totales funcionan como un alerta de que ocurrió contaminación, sin identificar el origen. Indican que hubo fallas en el tratamiento, en la distribución o en las propias fuentes domiciliarias.

Su presencia acciona los mecanismos de control de calidad y de procesamiento dentro de la planta de tratamiento de agua, e intensifica la vigilancia en la red de distribución (Harwood *et al.*, 2005).

Los estreptococos fecales, actualizados taxonómicamente como *Enterococcus* incluyen un número de especies que se encuentran en las heces de los humanos y animales de sangre caliente. Esto es muy importante, ya que la contaminación fecal causada por animales puede involucrar riesgos sanitarios, por lo que hay que tener en cuenta a los microorganismos más abundantes y frecuentes en las heces de los animales, sobre todo en los de producción; vaca, cerdo, oveja, caballo, gallina y pato. En todos ellos se encuentran coliformes y Estreptococos fecales, aunque son más abundantes los estreptococos fecales (Fernández *et al.*, 2001).

Los estreptococos fecales no se multiplican en el medio ambiente, o si esto ocurre es solamente en raras ocasiones, son más persistentes en ambientes acuáticos y en suelos contaminados que *E. coli*. Son importantes en situaciones donde se sabe que hay contaminación fecal y no se detectan coliformes, como ocurre cuando las descargas son intermitentes o más antiguas, de modo que mueren los coliformes fecales y *E. coli*, y permanecen los estreptococos (EPA, 2002).

Las especies de *Enterococcus* que están presentes en las heces y que se encuentran en aguas contaminadas pueden ser divididas en dos grupos: en el primer grupo se encuentran *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium* y *Enterococcus durans*, estos organismos están normalmente presentes en las heces de humanos y animales, el segundo grupo incluye *Streptococcus bovis*, *Streptococcus equinus* y *Enterococcus avium*, estos organismos no se encuentran comúnmente en las heces humanas. La identificación de la especie puede ser un mejor indicativo de la fuente de contaminación (De Vicente *et al.*, 1991; Godfree *et al.*, 1997).

El uso de *Enterococcus* como un indicador de contaminación fecal de aguas recreacionales fue recomendado por la Environmental Protection Agency en 1986 (Messer *et al.*, 1998). La recomendación se basó en estudios que demostraron que los *Enterococcus* tienen una relación directa con las enfermedades asociadas a la natación en ambientes de agua marina y agua dulce.

Las *Pseudomonas* son bacilos Gram-negativos no esporulados, de unos 3 x 0,5µm, presentan flagelos polares para su locomoción que pueden producir un pigmento fluorescente, son oxidasa positivo, utilizan la glucosa oxidativamente y no forman gas. Se hallan comúnmente en el suelo y en el agua y algunas especies son clasificadas como patógenos y patógenos oportunistas, para el hombre y los animales. Algunas de las especies más importantes son: *P. aeruginosa*, *P. fluorescens*, *P. putida*, *P. maltophilia*, *P. stutzeri*, *P. aeruginosa* es una bacteria que no se considera autóctona del agua, puede derivar de heces humanas y animales, su detección en agua se asocia con contaminación por descarga de aguas residuales, por lo tanto hay una estrecha correlación de su presencia en ambientes acuáticos con fenómenos de contaminación. Este microorganismo crece en muy baja concentración de nutrientes en medio ambiente acuoso y puede sobrevivir durante muchos meses en aguas a temperatura ambiente, es un importante patógeno oportunista y es causa de un amplio rango de infecciones, especialmente de oídos, ojos y piel, su control en aguas destinadas a la recreación es una obligación en varios países del mundo (De Vicente *et al.*, 1991).

4.1.1 Monitoreo de los indicadores de contaminación fecal

Se realizó la determinación de indicadores bacteriológicos de contaminación fecal de ambos arroyos. En función del conocimiento empírico de la COLCIC (Comisión de Lucha contra las Inundaciones y Contaminación de los arroyos Las Piedras y San Francisco) y de los antecedentes históricos, se seleccionaron los sitios de muestreo. Se colectaron un total de cuarenta muestras de agua de los arroyos. Los sitios monitoreados, arroyo Las Piedras (LP), arroyo San Francisco (SF) y Confluencia (CONF) de ambos cuerpos de agua, se detallan en la siguiente tabla 4.1:

Puntos de muestreo	Dirección y Coordenadas
LP1	El Zorzal y 560, Gobernador Costa (34°49'34.23"S; 58°18'39.56"O)
LP2	Donato Alvarez y LP (34°47'20.13"S, 58°17'57.19"O)
LP3	826 (Av. San Martín) y LP (34°45'45.45"S, 58°18'16.06"O)
LP4	Cno. Gral. Belgrano y LP (34°44'48.55"S, 58°18'38.37"O)
SF1	Alsina y Cjal. Tripodi (34°48'30,69"S; 58°21'11,01"O)
SF1'	Av. San Martín y SF (34°46'55.92"S, 58°20'23.22"O)
SF2	Donato Alvarez y SF (34°46'3.01"S, 58°19'34.95"O)
SF3	Montevideo y SF (34°43'42.96"S, 58°19'9.97"O)
CONF	Dr. Pozzo y Canal Santo Domingo (34°43'05.41"S, 58°18'53.74"O)

Tabla 4.1. Sitios de monitoreados en los arroyos Las Piedras y San Francisco.

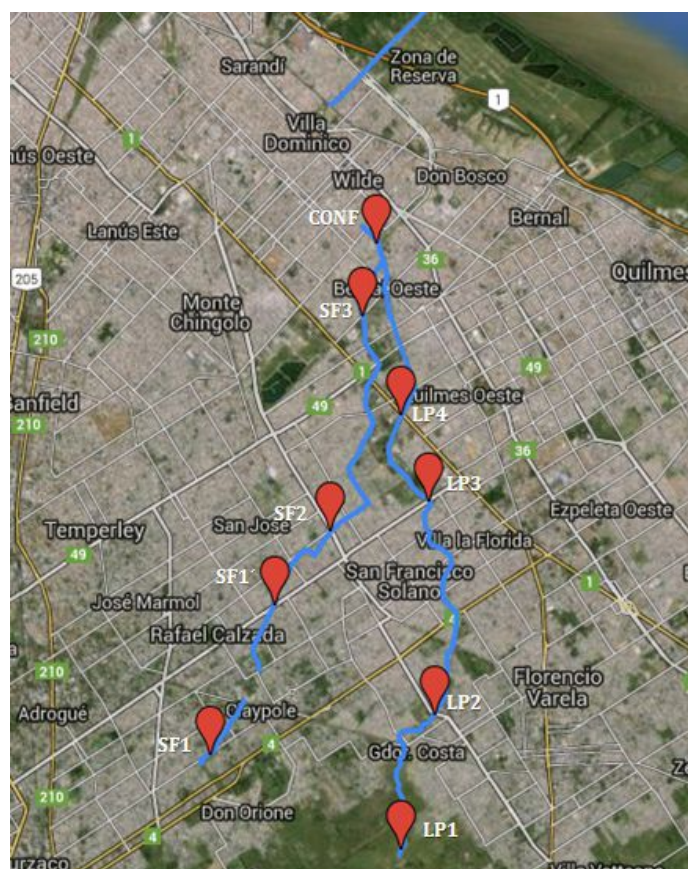


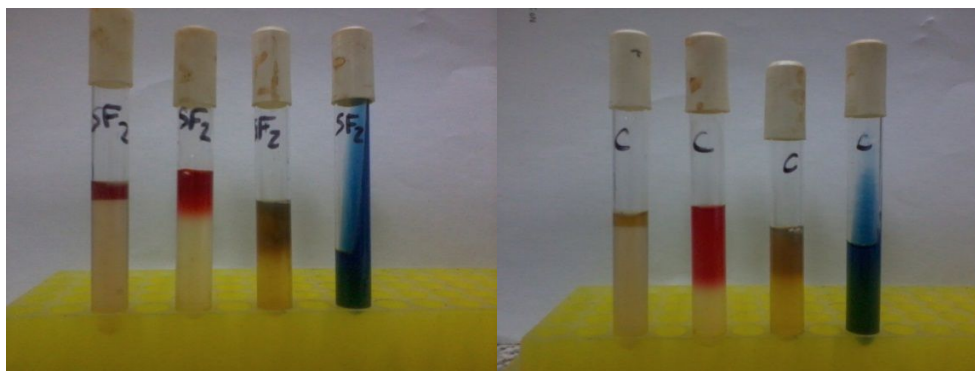
Figura 4.1. Mapa del área de estudio con las estaciones de muestreo.

Todas las muestras se extrajeron entre las 9:00 y 15:30 h desde aguas arriba hacia la confluencia de los arroyos, se mantuvieron refrigeradas a 4-6° C y fueron procesadas antes de transcurridas las 6 h de su recolección⁵, siguiendo procedimientos estandarizados internacionalmente (SM, 1998).

Para las determinaciones microbiológicas, las muestras de agua pertenecientes a cada una de las estaciones se homogeneizaron y, a partir de las mismas, se realizaron diluciones decimales seriadas en agua de dilución estéril pH 7.

Tanto para la cuantificación de los indicadores de contaminación fecal como así del patógeno oportunista, *Pseudomonas aeruginosa* se utilizó la técnica de Tubos múltiples (NMP). En este método se usaron combinaciones de tres tubos por dilución (hasta 10⁻⁶) de cada muestra, y para el caso de *P. aeruginosa* se utilizó una combinación de cinco tubos por dilución (hasta 10⁻¹). El medio empleado para detectar Coliformes Totales (CT) fue el caldo Lauril Triptosa de doble y simple concentración en la etapa presuntiva y caldo Lactosa Bilis Verde Brillante (LBVB) en la etapa confirmatoria, incubando los tubos en la primera etapa 48 h a 35°C y en la segunda 24 h a la misma temperatura. A partir de cada uno de los tubos que resultaron positivos en la prueba presuntiva, se inocularon tubos que contenían caldo EC. Este caldo se utilizó para determinar Coliformes Fecales o Termotolerantes (CF) y los tubos se incubaron 24 h a 44,5± 0.2 °C en baño termostático. Se consideraron positivos aquellos tubos que presentaron turbidez y producción de gas (SM, 1998).

A partir de los tubos positivos de EC se realizó la investigación de *E. coli*. El aislamiento se realizó en medio selectivo EMB agar incubándose durante 24 h a 35°C. Las colonias típicas de *E. coli*, es decir aquellas colonias de color negro azulado o amarronado con centro oscuro y brillo metálico, fueron repicadas a caldo nutritivo e incubadas a 35°C para posteriormente realizar las pruebas bioquímicas IMViC (Indol, Rojo de Metilo, Voges -Proskauer y Citrato).



Figuras 4.2 Pruebas bioquímicas IMViC para *E. coli*, de una muestra de agua del sitio SF2 y de CONFL.

Los estreptococos fecales se determinaron también mediante la técnica del Número más probable utilizando una combinación de tres tubos por dilución (hasta 10^{-6}). En la etapa presuntiva se utilizó el caldo Azida Glucosa incubándose a 35°C durante 48 h, mientras que para la etapa confirmatoria y aislamiento de los estreptococos se utilizó el agar selectivo Bilis Esculina. Posteriormente aquellas colonias típicas se repicaron en la Infusión Cerebro Corazón con la adición de 6.5% NaCl y se incubaron a 35°C durante 24 h. Los tubos en donde hubo crecimiento se consideraron Enterococos fecales (EF) positivos.

Para la determinación de *P. aeruginosa* se usaron 5 tubos por dilución por muestra de caldo Asparagina doble concentración en la etapa presuntiva, incubándose 48 h a 35°C . Se consideraron positivos aquellos tubos que presentaron fluorescencia bajo luz UV, y los mismos fueron confirmados en caldo Acetamida incubándose en estufa 36 h a 35°C . Aquellos tubos que resultaron positivos se repicaron con siembra en pico de flauta sobre agar P (King A) para su confirmación y diferenciación con otras *Pseudomonas*, el mismo se incubó 24h a 35°C . La producción de piocianina se observó como una zona color azul, azul-verdoso que rodea la colonia, o que se extiende en todo el medio de cultivo debido a la difusión del pigmento. Se consideraron como *P. aeruginosa* positivo aquellos picos de flauta que revelaron producción de piocianina.

El número más probable (NMP) de CT, CF, EF y PA por 100 ml de muestra, se obtuvo de la tabla correspondiente de acuerdo a la combinación de resultados positivos y negativos en los tubos (SM, 1998).

A continuación se pueden observar los resultados obtenidos para cada sitio monitoreado en los arroyos Las Piedras y San Francisco durante los meses de abril, junio y febrero (Campaña I, II y III respectivamente) en los casos que pudo ser posible. Vale aclarar que los sitios seleccionados de muestreo reflejan una situación ambiental crítica y visible respecto a la calidad de los arroyos, además de presentar una contaminación atmosférica y sonora contundente. No fue posible realizar la continuidad deseada de monitoreos debido a una situación social, política y de inseguridad muy marcada y difícil de penetrar. Por tal razón es que existen puntos que sólo se pudieron monitorear en dos oportunidades.

4.1.1.1. Arroyo Las Piedras

Campaña I (Abril)

Se pueden observar en la tabla 2 los resultados numéricos obtenidos en la cuantificación de CT, CF y EF mediante el método de Tubos múltiples (NMP/100mL) en el arroyo Las Piedras durante el mes de abril.

En todos los sitios monitoreados se puede observar que los niveles de los tres indicadores de contaminación fecal superan ampliamente los distintos niveles guía establecidos para diferentes usos del recurso. Es para destacar que si bien se espera que la confluencia de los arroyos contenga la mayor carga bacteriológica, los sitios ubicados en la cuenca baja (LP3 y LP4) también presentaron una muy alta carga bacteriana. Esto probablemente se deba al aporte constante y cada vez mayor, de efluentes domiciliarios cloacales directos al curso del arroyo.

El nivel guía para aguas de recreación es de 200 CF NMP/100mL (Autoridad del Agua, Res. 336/2003).

El nivel guía para límite de descarga en un cuerpo de agua superficial es de ≤ 20.000 CF NMP/100mL (Autoridad del Agua, Res. 336/2003).

Parámetro	LP1	LP2	LP3	LP4	CONF
Coliformes Totales	1.100.000	460.000	1.100.000	>1.100.000	4.600.000
Coliformes Termotolerantes	240.000	460.000	1.100.000	240.000	430.000
<i>Escherichia coli</i>	-	-	+	+	-
Enterococos fecales	240.000	150.000	1.100.000	240.000	430.000
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	>1600	> 1600	> 1600	> 1600	2

Tabla 4.2. Resultados microbiológicos pertenecientes al mes de abril del arroyo Las Piedras.

En la figura 4.3 se destaca una alta carga de CT en la confluencia de los arroyos, mientras que en el resto de los sitios, la concentración de los indicadores se mantiene en un rango que va prácticamente entre 240.000 y 1.100.000 NMP/100mL.

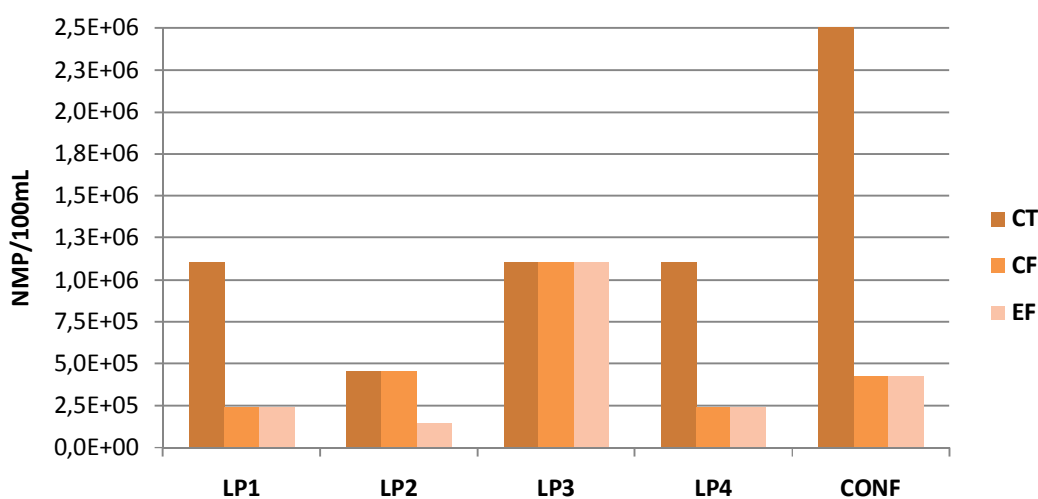


Figura 4.3: Distribución de CT, CF y EF en el agua del arroyo Las Piedras durante el mes de abril.

Respecto a la investigación de *E. coli* se observó su presencia en dos de los sitios monitoreados (LP3 y LP4) que corresponden a la cuenca baja del arroyo Las Piedras. Y en el caso de *P. aeruginosa*, esta patógena oportunista se encontró en todos los sitios muestreados excepto en la confluencia de ambos arroyos.

Campaña II (Junio)

Durante el mes de junio se analizaron muestras de agua de los sitios de muestreo planteados en la tabla 4.3 obteniéndose los siguientes resultados:

Parámetro	LP1	LP2	LP3	LP4	CONF
Coliformes Totales	46.000	4.600.000	24.000	460.000	4.600.000
Coliformes Termotolerantes	4.300	290.000	9.300	150.000	150.000
<i>Escherichia coli</i>	-	+	-	-	-
Enterococos fecales	3.500	1.000.000	24.000	1.200	430.000
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<2	< 2	< 2	< 2	> 1600

Tabla 4.3. Resultados microbiológicos pertenecientes al mes de junio del arroyo Las Piedras.

Aquí se puede observar que los sitios más impactados bacteriológicamente por indicadores de contaminación fecal, corresponden a los puntos LP2, LP4 y CONF. Sin embargo, en sólo uno de ellos se determinó la presencia de *E. coli* (LP2). A pesar de que este monitoreo se realizó en el mes de junio con bajas temperaturas tanto del ambiente como del agua, la carga bacteriológica resulta alta y supera ampliamente los niveles guía anteriormente mencionados.

P. aeruginosa sólo se encontró en la confluencia de ambos arroyos, mientras que en los demás sitios monitoreados resultó ausente.

En la figura 4.4 a continuación se observa la distribución de los indicadores en el agua del arroyo Las Piedras, donde se destaca la alta densidad de CT en los sitios LP2 y CONF.

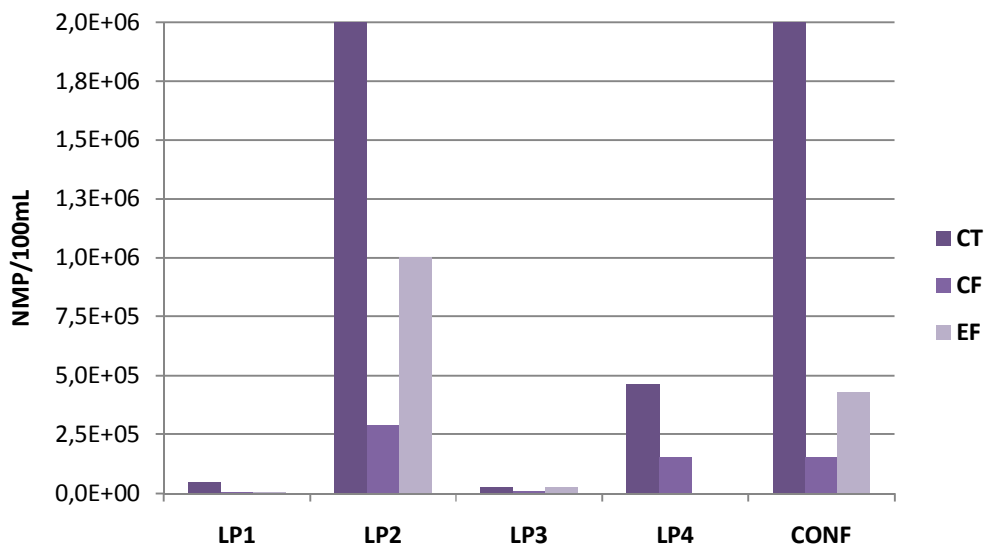


Figura 4.4: Distribución de CT, CF y EF en el agua del arroyo Las Piedras durante el mes de junio.

Campaña III (Febrero)

En la tercera campaña de muestreo se pudieron monitorear 4 estaciones, en las cuales se observaron valores muy elevados de los indicadores de contaminación (CT, CF y EF). Estos resultados se pueden observar en la tabla 4.4, donde se puede advertir también que en ninguno de los sitios se halló *E. coli*. Vale recordar que este indicador tiene una supervivencia menor que el resto de los indicadores en el ambiente y que probablemente las altas radiaciones UV que se dan durante los meses de verano, incidan negativamente sobre su persistencia en el curso de agua.

Parámetro	LP2	LP3	LP4	CONF
Coliformes Totales	24.000.000	150.000	1.100.000	46.000.000
Coliformes Termotolerantes	150.000	93.000	75.000	9.300.000
<i>Escherichia coli</i>	-	-	-	-
Enterococos fecales	290.000	240.000	1.100.000	9.300.000
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	> 1600	> 1600	> 1600	> 1600

Tabla 4.4. Resultados microbiológicos pertenecientes al mes de febrero del arroyo Las Piedras.

En todos los sitios la densidad de *P. aeruginosa* resultó > 1600 NMP/100mL y considero importante resaltar que la cantidad de diluciones utilizadas no fue la suficiente y por tal motivo el resultado es inexacto.

En la figura 4.5 siguiente se observa la distribución de los indicadores fecales y como en las campañas anteriores, la carga de CT NMP/100 mL en la confluencia de los arroyos es extremadamente alta. Los CF y EF siguen una distribución similar en todos los sitios monitoreados.

Si bien todos los puntos superan generosamente los niveles guía para aguas recreativas y para límite de descarga en cuerpo de agua superficial, al igual que en la Campaña II, los sitios LP2, LP4 y CONF son los que presentan la mayor carga bacteriana.

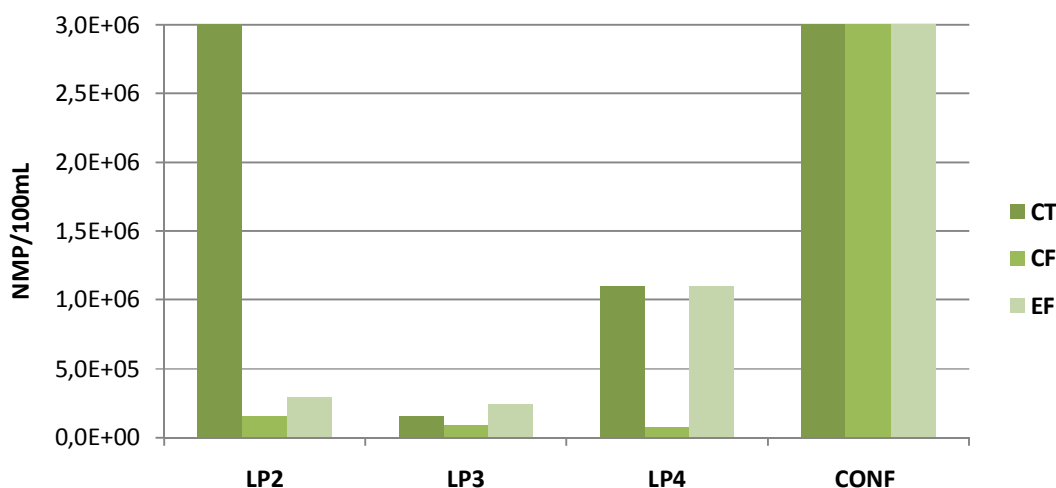


Figura 4.5: Distribución de CT, CF y EF en el agua del arroyo Las Piedras durante el mes de febrero.

4.1.1.2 Arroyo San Francisco

Campaña I (Abril)

En la tabla 4.5 se observan los resultados correspondientes a las bacterias indicadoras de contaminación (CT, CF, EF, *E. coli*), las cuales se presentan en valores de densidad sumamente elevados en todos los puntos monitoreados. Respecto a la investigación de *E. coli*, esta bacteria sólo se encontró en el sitio SF2 y *Pseudomonas aeruginosa* se presentó con una carga > 1600 NMP/100mL en los puntos SF1 y SF2, mientras que en el resto de los sitios resultó por debajo del límite de detección de la técnica (NMP).

Parámetro	SF1	SF1'	SF2	SF3	CONF
Coliformes Totales	>1.100.000	1.100.000	1.100.000	>1.100.000	4.600.000
Coliformes Termotolerantes	460.000	1.100.000	240.000	2.400.000	430.000
<i>Escherichia coli</i>	-	-	+	-	-
Enterococos fecales	70.000	75.000	240.000	2.400.000	430.000
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	< 2	> 1600	> 1600	< 2	< 2

Tabla 4.5. Resultados microbiológicos pertenecientes al mes de abril del arroyo San Francisco.

En todos los casos la densidad bacteriana superó ampliamente los niveles guía establecidos tanto para aguas destinadas a recreación como para límite de descarga en agua superficial.

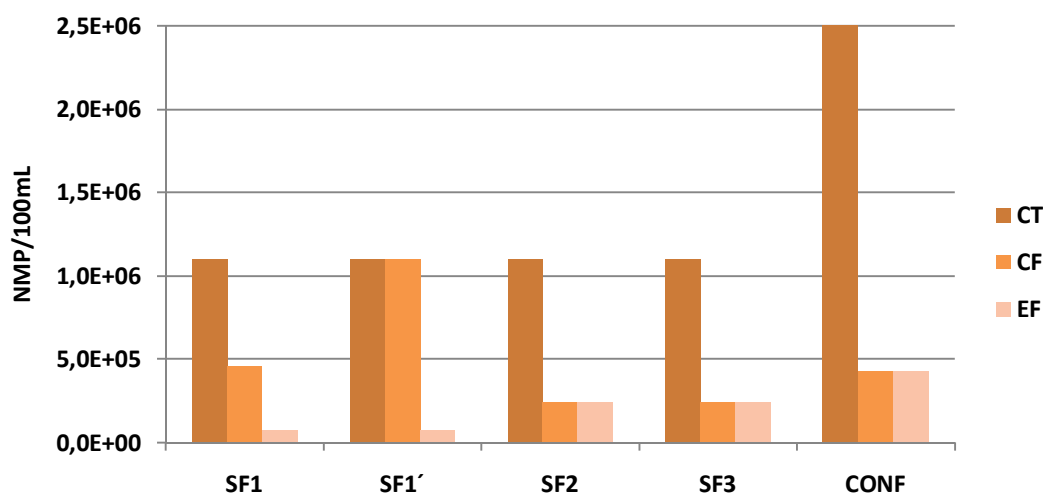


Figura 4.6: Distribución de CT, CF y EF en el agua del arroyo San Francisco durante el mes de febrero.

En la figura 4.6 se puede destacar un pico de densidad de CT en la confluencia de los arroyos como es de esperar y tal como sucede en el arroyo Las Piedras también.

Vale mencionar que en los casos en que el valor del resultado posea un valor censurado (>, <), este fue reemplazado por el mismo valor numérico sin el símbolo correspondiente.

Campaña II (Junio)

Los resultados obtenidos durante la campaña realizada en el mes de junio se pueden observar en la siguiente tabla (Tabla 4.6). Allí se advierte una densidad bacteriana menor con respecto a la observada en la Campaña I en prácticamente todos los puntos muestreados exceptuando el sitio CONF, que permaneció básicamente con el mismo nivel de contaminación fecal.

En esta campaña no se encontró *E. coli* en ninguno de los puntos monitoreados, al igual que *P. aeruginosa*, la cual resultó por debajo del límite de detección de la técnica utilizada (NMP).

Parámetro	SF1	SF2	SF3	CONF
Coliformes Totales	1.100.000	1.100.000	290.000	4.600.000
Coliformes Termotolerantes	93.000	460.000	150.000	150.000
<i>Escherichia coli</i>	-	-	-	-
Enterococos fecales	43.000	70.000	75.000	430.000
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	< 2	< 2	< 2	< 2

Tabla 4.6. Resultados microbiológicos pertenecientes al mes de junio del arroyo San Francisco.

En la figura 4.7 se advierte claramente, como en las campañas anteriores realizadas en ambos arroyos, la alta carga de CT presentes en el sitio CONF. La distribución de los demás indicadores no muestra valores extremos, aunque todos los valores registrados superan considerablemente los niveles guía ya mencionados.

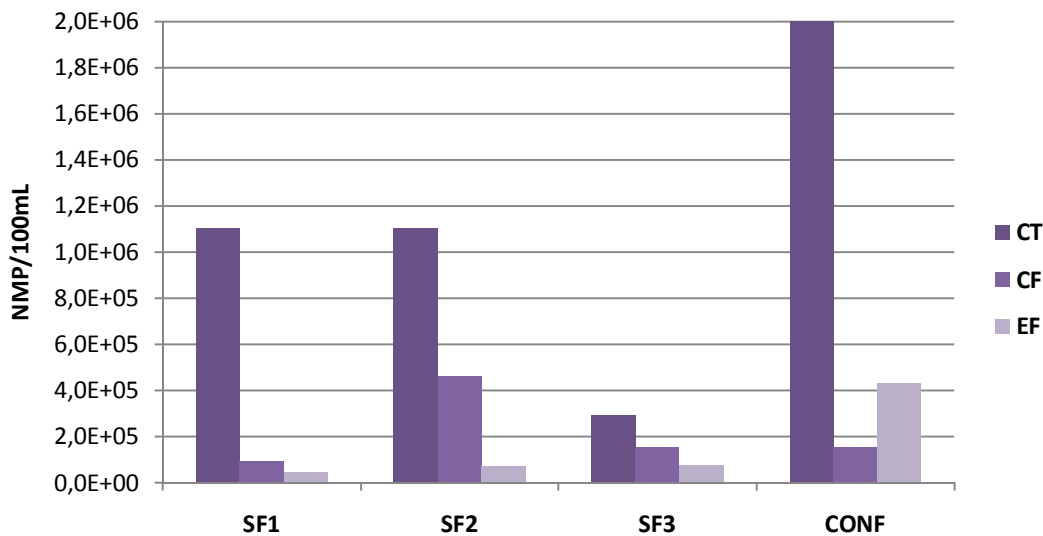


Figura 4.7: Distribución de CT, CF y EF en el agua del arroyo San Francisco durante el mes de junio.

Campaña III (Febrero)

Durante el mes de febrero se realizó la tercera campaña obteniendo resultados aún más alarmantes particularmente en el sitio CONF. Los mismos se pueden observar en la siguiente tabla (Tabla 4.7).

Parámetro	SF2	SF3	CONF
Coliformes Totales	460.000	4.600.000	46.000.000
Coliformes Termotolerantes	43.000	36.000	9.300.000
<i>Escherichia coli</i>	-	-	-
Enterococos fecales	150.000	430.000	46.000.000
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	> 1600	> 1600	> 1600

Tabla 4.7. Resultados microbiológicos pertenecientes al mes de febrero del arroyo San Francisco.

El último punto del arroyo SF3 y la confluencia muestran los mayores valores registrados en todo el estudio para la densidad de CT y EF. Si bien no se halló la presencia de *E. coli* en los sitios muestreados durante esta campaña, probablemente debido a la incidencia directa de las altas radiaciones UV relacionadas al período estival, la carga de *P. aeruginosa* fue contundente en todos los sitios (>1600 NMP/100mL).

La distribución de dichos indicadores de contaminación fecal se refleja en la figura 4.8 al igual que en las campañas anteriores e incluso en las realizadas sobre el arroyo Las Piedras, la carga bacteriana de los indicadores fecales resultó por encima de los valores guía establecidos para la provincia de Buenos Aires (ADA, 2003; FREPLATA).

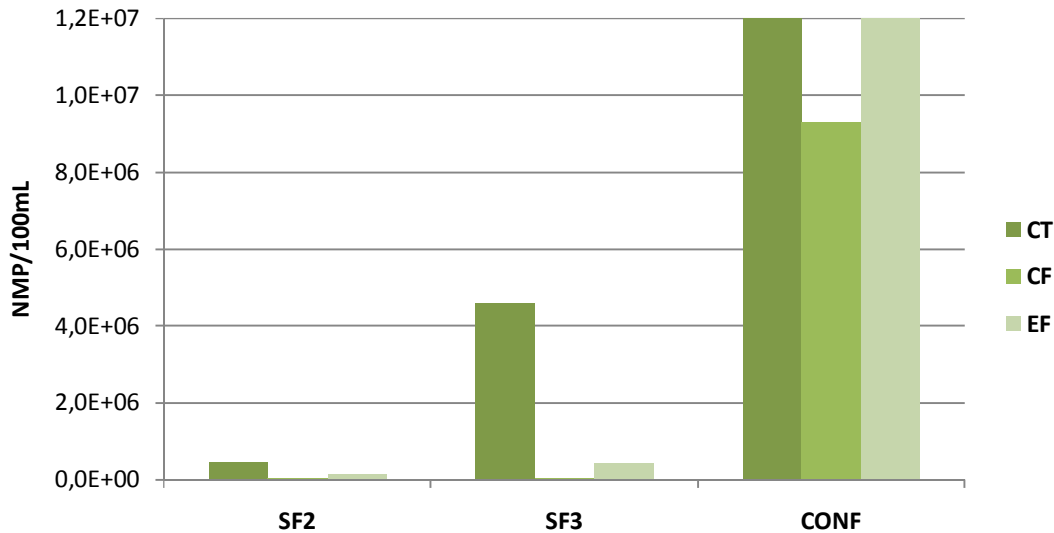


Figura 4.8: Distribución de CT, CF y EF en el agua del arroyo San Francisco durante el mes de febrero.

Es preciso reflexionar acerca de los resultados obtenidos, debido a que la carga bacteriana indicadora de contaminación fecal es alarmante. Si bien históricamente estos arroyos han sido sumideros de residuos domiciliarios y cloacales, en los últimos años, se han transformado en cloacas a cielo abierto. El aumento progresivo de asentamientos precarios a la vera de los arroyos es una de las principales fuentes de esta contaminación, sumado a los desechos de animales domésticos sin control sanitario, roedores y fundamentalmente de caballos, que se utilizan como medios para llevar a cabo la actividad de carrero. Actividad a la cual adhieren la mayoría de la población más vulnerable que habita los alrededores de los arroyos. Como consecuencia, se generan basurales clandestinos en sus márgenes, creándose así potenciales focos infecciosos que vulneran aún más la situación sanitaria de los vecinos.

4.1.1.3. Imágenes de los arroyos

Arroyo Las Piedras



Monitoreo *in situ* con sonda multiparamétrica



Estación de muestreo LP2



Arroyo Las Piedras con sus
aguas a punto de desbordar
(Diciembre 2014)



Arroyo Las Piedras desbordado
(Diciembre 2014)



Estación de muestreo LP3



Estación de muestreo LP3



Estación de muestreo LP3



Estación de muestreo LP3

Arroyo San Francisco



Estación de muestreo SF1
(efluente pluvial)



Estación de muestreo SF1
(niños jugando en el arroyo)

Confluencia



Estación de muestreo CONF
(basural y quemazones)

4.2 Parásitos

4.2.1 Evaluación de parásitos intestinales en Agua Superficial

Los parásitos que son patógenos para el hombre se clasifican en dos grupos: los protozoos y los helmintos. Los protozoos son organismos unicelulares cuyo ciclo de vida incluye una forma vegetativa (trofozoíto) y una forma resistente (quiste). El estado de quiste de estos organismos es relativamente resistente a la inactivación por medio de los sistemas de tratamiento convencional de agua residual (Navone *et al.*, 2006).

Los huevos de helminto son un grupo de organismos que incluye los nematodos, trematodos y cestodos.

Las características epidemiológicas que hacen de los helmintos patógenos entéricos causantes de infección por contacto con agua contaminada, son su alta persistencia en el medio ambiente, la mínima dosis infecciosa, la baja respuesta inmune y la capacidad de permanecer en el suelo por largos periodos de tiempo (Chan *et al.*, 1994).

El estudio de los huevos de helminto a nivel ambiental ha hecho necesaria la selección de un parásito indicador debido a las limitaciones en la detección a nivel de laboratorio. *Ascaris lumbricoides* se ha sugerido como un buen indicador del comportamiento de los huevos de helminto (Cooper *et al.*, 1993), sus ventajas son:

- Persiste en el medio ambiente por muchos meses, pero no se multiplica.
- Se puede identificar fácilmente.
- El índice de parasitismo a nivel mundial es muy alto.
- El riesgo de transmisión es alto, debido a la elevada concentración de huevos que se puede encontrar.

En los últimos años ha ganado gran importancia la contaminación por *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium parvum*, estos protozoos se consideran patógenos emergentes y la investigación se ha orientado básicamente a la detección a nivel de laboratorio y al estudio de procesos de desinfección que garanticen la eliminación de este tipo de quistes (EPA, 2005; Indelman *et al.*, 2011; Delfino *et al.*, 2013).

Desde 1981, los protozoos entéricos son reconocidos como causantes de brotes infecciosos transmitidos por el agua. Los protozoos más conocidos en las heces

humanas son: *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolítica* y *Balantidium coli*. Más recientemente han sido aisladas cepas de *Cryptosporidium*. La criptosporidiasis humana fue descrita por primera vez en 1974 y el primer brote de origen hídrico se registró en 1984, investigaciones recientes indican que este organismo ocupa el tercer lugar en importancia mundial entre todos los enteropatógenos de transmisión hídrica (Gamboa *et al.*, 1998; Gamboa *et al.*, 2009).

4.2.1.1 Antecedentes

El problema de la contaminación de las fuentes naturales de agua, tanto superficiales como subterráneas, ha cobrado importancia en los últimos años, siendo los organismos enteropatógenos uno de los principales contaminantes fecales (EPA, 2005). El desarrollo de la civilización e incremento desmedido de la población ha generado el vertido desordenado de residuos a los cursos de agua (Seoanez, 1999), contaminando con variados organismos patógenos intestinales procedentes de heces humanas y animales (Solarte *et al.*, 2006). La contaminación de los recursos hídricos con patógenos transmitidos por el agua, deben ser considerados por las comunidades de cada región, efectuando estrategias de conservación del recurso y de un ambiente saludable para sus habitantes. Los desechos humanos y de animales contienen a menudo patógenos intestinales, que entran al agua a partir de una gran variedad de fuentes como las plantas de tratamiento de aguas residuales, sistemas sépticos, las operaciones de ganado, la fauna, la escorrentía de las tierras rurales y urbanas, y actividades agrícolas (Minvielle *et al.*, 2004). El más grande impacto de la contaminación del agua sobre la salud humana es a través de la ingestión, al actuar como un vehículo importante para la transmisión de enfermedades intestinales. Sin embargo, vale destacar también el impacto que conlleva el contacto primario y secundario del agua superficial contaminada sobre la salud, durante la realización de actividades recreativas y episodios de inundación, cada vez más frecuentes debido probablemente al cambio climático, impactando directamente sobre las comunidades más vulnerables asentadas en planicies de inundación.

4.2.1.2 Monitoreo y Metodología

Se determinaron protozoos y helmintos intestinales indicadores de contaminación fecal en muestras de agua superficial de ambos arroyos. A tal fin, se filtraron *in situ* 800 litros de agua superficial utilizando un sistema de bomba/filtro desarrollado durante este trabajo con la colaboración y asistencia de la Prof. Leonora Kozubsky de la cátedra de Parasitología de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNLP. El sistema desarrollado se puede observar en la siguiente figura 4.9



Figura 4.9: Sistema de filtración desarrollado durante este trabajo.

Los filtros cargados con el material en suspensión (parásitos) obtenidos a partir de la filtración del agua de los arroyos se mantuvieron refrigerados (4-8°C) hasta su procesamiento (sin superar los 7 días). Posteriormente los filtros se desmenuzaron y se dejaron reposar overnight en 4 litros finales de una solución de Tween 80 al 0,2%. Se centrifugó el líquido procedente del paso anterior a 3000 rpm por 5 minutos con centrífuga PRESVAC MSP-4650 utilizando tubos de 250 ml (Carmena *et al.*, 2007).

Se descartó el sobrenadante y cada pellet se resuspendió en 10 ml de solución formolada al 10%. Se fraccionó el resuspendido en tubos cónicos y se centrifugaron nuevamente a 3000 rpm por 5 minutos, utilizando una centrífuga Presvac DCS-16RVy

se descartó el sobrenadante. Consecutivamente el pellet obtenido luego de la segunda centrifugación se analizó paralelamente utilizando dos metodologías, *Sedimentación* con observación directa del sedimento en microscopio y *Flotación mediante el Método de Willis* con solución saturada con NaCl para lo que se dejó 20 minutos en contacto con un cubreobjetos en la boca del tubo, luego se retiró y se observó en el microscopio a 10X y 40X. Se efectuaron coloraciones para parásitos ácido-alcohol-resistentes (Ziehl Neelsen) (Quintero-Betancourt *et al.*, 2002; Soller *et al.*, 2014).

4.2.1.3 Resultados

Hasta el momento, en las muestras analizadas de agua superficial (LP3, LP4 y SF3) se hallaron larvas de nematodos en diversos estadios (figura 4.10). Aún no se pudo establecer si corresponden a parásitos o a formas de vida libre. En todas también se observaron elementos compatibles con formas vacuolares o de cuerpo central de *Blastocystis* spp. (figura 4.11).

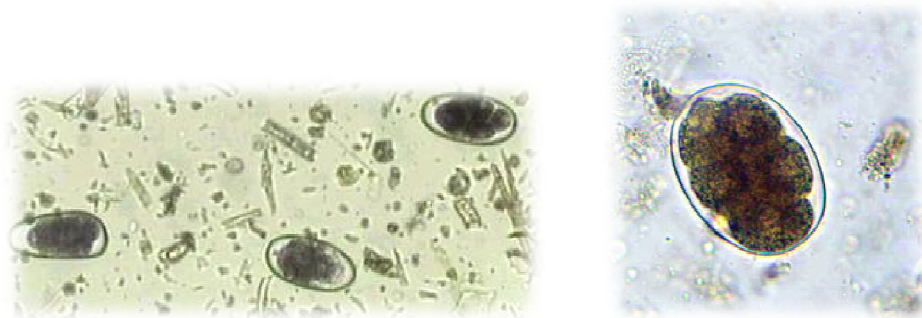


Figura 4.10. Huevos de nematodes hallados.

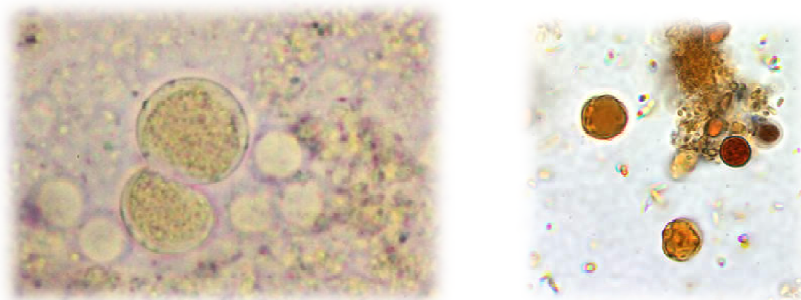


Figura 4.11. *Blastocystis* spp. con forma vacuolar.

4.2.1.4 Conclusiones Parciales

Los resultados preliminares concordarían con los resultados obtenidos en cuanto a la contaminación fecal del agua de los arroyos en estudio, ya que *Blastocystis* spp. resulta ser un buen indicador de contaminación fecal, parásito que en los últimos tiempos ha cobrado importancia en la región debido a su alta prevalencia en la población.

4.3 Investigación de bacterias patógenas en matrices ambientales

La contaminación de los recursos hídricos resulta uno de los problemas más importantes en los países en desarrollo debido a la gran variedad y al desconocimiento de las fuentes de contaminación, y también a la carencia de medios de las instituciones públicas para remediarla. La situación es dinámica y, muchas veces, difícilmente predecible. Lo principal, sin embargo, es saber en qué medida todos estos problemas de desarrollo afectan a las personas de bajos recursos y a los sectores más vulnerables. Regionalmente, los arroyos Las Piedras y San Francisco presentan graves problemas de contaminación, particularmente en las zonas media y baja de la cuenca, y una ocupación desordenada del suelo sobre sus márgenes inundables.

Se reconocen básicamente dos tipos de contaminación. La contaminación fecal, que se origina por el vertido de aguas de desecho de origen doméstico sin tratamiento, hecho usual en el conurbano bonaerense y particularmente en el área de estudio. Por otro lado, la contaminación química de las aguas superficiales se origina por vuelcos directos clandestinos, tratamiento inadecuado de efluentes industriales y mal diseño de los sitios de descarga de los parques industriales. Las aguas de inundación, que pueden contener bacterias patógenas provenientes de desechos humanos y animales suponen un importante riesgo sanitario, no sólo por su ingesta sino también por contacto directo a través de la piel (Kjellstrom *et al.*, 2006; OPS, 2007).

Por tanto, el control de la calidad microbiológica del agua requiere de análisis dirigidos a determinar la presencia de microorganismos patógenos. Estos agentes, involucrados en la transmisión hídrica son las bacterias, virus y parásitos, que pueden causar enfermedades con diferentes niveles de gravedad, desde gastroenteritis simples hasta casos fatales de diarrea, disentería, hepatitis o fiebre tifoidea. La

transmisión hídrica es solo una de las vías, pues estos agentes patógenos también pueden ser transmitidos a través de alimentos, de persona a persona debido a malos hábitos higiénicos y de animales al hombre, entre otras rutas de transmisión (Elordi ML. *et al.*, 2012; Elordi ML. *et al.*, 2013).

Uno de los objetivos de esta investigación fue determinar la presencia y abundancia de bacterias patógenas en muestras ambientales como agua superficial y sedimento de los arroyos en estudio. Además de explorar y evaluar la diversidad bacteriana presente en arroyos contaminados del conurbano bonaerense, aplicando técnicas moleculares de alta especificidad, considerando los factores que afectan la calidad de sus aguas, como los basurales clandestinos, las descargas de aguas residuales domiciliarias y/o de efluentes industriales.

El uso de las herramientas metagenómicas en el estudio del ambiente es sin dudas un campo rico a explorar, debido a su gran cantidad de aplicaciones. Entre ellas, la determinación de patógenos en matrices ambientales que impliquen riesgos asociados a eventos climáticos como pueden ser las inundaciones, tan frecuentes en los últimos años y que afectan en mayor medida a los más vulnerables que se hallan a la vera de estos arroyos contaminados.

4.3.1 Extracción de ADN y secuenciamiento de muestras ambientales

Para determinar la diversidad bacteriana presente en las muestras de agua y sedimento de los arroyos se llevó a cabo la extracción de ADN y la evaluación de la calidad del mismo para su posterior procesamiento y secuenciamiento.

Para la preparación de las muestras, se realizaron centrifugaciones seriadas a 15.344 g durante 15 min a 8°C de las muestras de agua utilizando una centrífuga Superspeed Sorvall™ RC 6 Plus, empleando un volumen total de 4,4 L de agua y obteniéndose 1,08 g ± 0,25 g de muestra, de dicha muestra se utilizaron 0,16 g ± 0,25 g para la extracción de ADN.

En el caso del sedimento se procedió directamente a partir del mismo, sin centrifugaciones previas, utilizando 0,51 ± 0,25 g para la extracción.

Posteriormente se realizó la extracción de ADN mediante la utilización de un kit comercial denominado FastDNA SPIN Kit for Soil, siguiendo las recomendaciones del fabricante.

La cuantificación y determinación de pureza fue llevada a cabo mediante la medición de absorbancia a 260/280nm en espectrofotómetro (NanoDrop ND-1000); simultáneamente se realizó un análisis cualitativo a través de una corrida electroforética de las muestras en un gel de agarosa 1%.

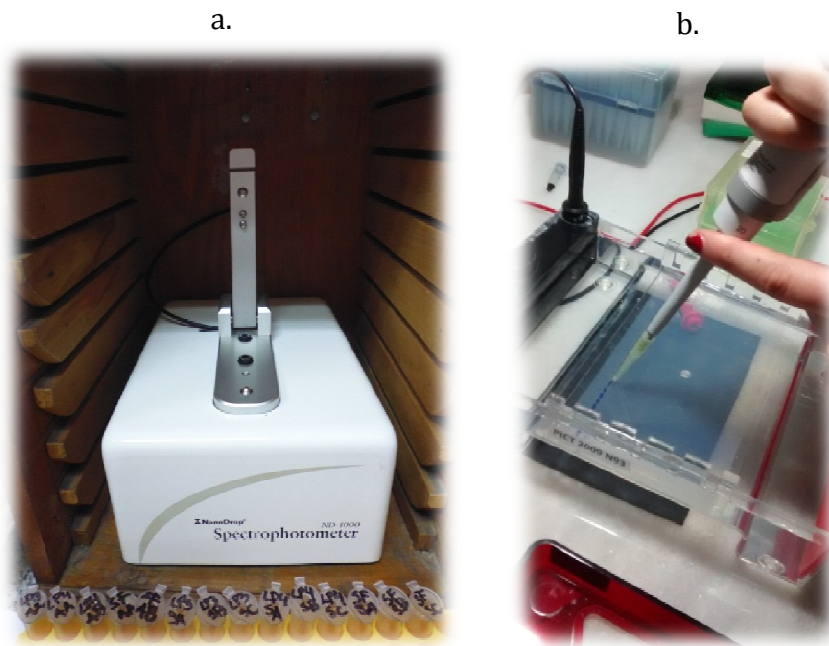


Figura 4.12: a. Espectrofotómetro NanoDrop ND-1000. b. Electroforesis en gel de agarosa 1%.

Usualmente, la extracción de ADN de muestras complejas puede, a su vez, dejar contaminaciones que interfieren con las posteriores técnicas moleculares. Para asegurarnos que el ADN obtenido tenía una calidad aceptable para el posterior secuenciamiento se procedió a realizar una amplificación del 16s mediante reacciones de polimerasa en cadena a partir tanto de las muestras de agua como de sedimento.

Para ello, se utilizó el siguiente ciclado para la mezcla de reacción: desnaturalización a 94°C durante 4 min seguido de 35 ciclos a 94°C durante 20 s, 54°C durante 20 s y 72°C durante 80 s, seguido por una elongación final de 3 min a 72°C. Empleando el *primer forward* universal 27F (5'- AGAGTTTGATCMTGGCTCAG-3'), M=A+C y el *primer*

reverse universal 1385R (5'-TACGGYTACCTTGTTACGACTT-3'), Y=C+T⁶. A partir del producto amplificado se realizó una corrida electroforética en gel de agarosa 1%.

Para la secuenciación por Illumina, la región variable V4 del 16S rRNA fue amplificada por PCR con los *primers* 515/806 modificados con una secuencia adicional en los *primer* para su posterior identificación (*barcode*). Se realizaron 30 ciclos de PCR utilizando HotStarTaq Plus Master Mix Kit (Qiagen, USA) bajo las siguientes condiciones: 94°C por 3 minutos, seguido por 28 ciclos de: 94°C por 30 segundos, 53°C por 40 segundos y 72°C por 1 minuto, finalmente, se realizó un paso final a 72°C por 5 minutos. Los productos de PCR fueron evaluados por electroforesis en geles de agarosa 2%. Las muestras fueron mezcladas en proporciones equimolares y purificadas utilizando "Ampure XP beads". Con estos productos purificados se realizaron las bibliotecas de ADN siguiendo el protocolo "*Illumina TruSeq DNA library preparation protocol*". La secuenciación fue realizada en un secuenciador IlluminaMiSeq (DeSantis *et al.*, 2006).

Las secuencias obtenidas fueron procesadas siguiendo procedimientos bioinformáticos estandarizados (*pipeline*) de MR DNA (MR DNA, Shallowater, TX, USA). Las mismas fueron unidas, se eliminaron los *barcodes* y fueron evaluadas en su calidad. Las secuencias cuya calidad no era satisfactoria fueron también removidas. Luego, se compararon las secuencias con base de datos de 16s para generar las unidades taxonómicas operativas (*Operational taxonomic units, OTUs*) y remover las quimeras. Las "OTUs" fueron definidas según un máximo de 3% de divergencia (97% de similitud). Las OTUs fueron clasificados taxonómicamente mediante BLASTn utilizando como base de datos la base de datos derivadas de "Green Genes", "RDPII" y "NCBI" (IvoneVaz-Moreira *et al.*, 2014).

4.3.2. Arroyos Las Piedras y San Francisco

Con respecto a la extracción de ADN a partir de las muestras de los tres sitios monitoreados con dicho fin (LP3, LP4 y SF3), la extracción a partir de los sedimentos se realizó por triplicado mientras que la extracción a partir de las muestras de agua se realizó por duplicado sólo en el sitio LP4 por motivos operativos. A continuación se

muestra el gel obtenido por electroforesis (Figura 4.12) así como también los resultados arrojados por el NanoDrop (Tabla 4.8) del sitio LP4.



Figura 4.12: Corrida electroforética a 105V, 0,07A y 7W. Patrón Fago λ cortado con HindIII.

Tabla 4.8: Resultados obtenidos en el NanoDrop.

Sample ID	ng/ul	260/280
LPA	279,42	1,35
LPS	300,17	1,84

A partir de los datos obtenidos en la corrida electroforética (Figura 4.12) puede observarse que la extracción de ADN resultó exitosa. Los valores obtenidos en la Tabla 4.8 revelan que la concentración y pureza del ADN es suficiente para continuar con su posterior secuenciamiento. Lo mismo ocurrió con la extracción de ADN en las muestras de los sitios LP3 y SF3.

Luego de confirmar cualitativamente la amplificación del gen del 16s, por la presencia de una banda de aproximadamente 1300-1400 pares de bases en una corrida electroforética realizada en un gel de agarosa 1%, las muestras fueron enviadas a MR DNA, donde procedieron a realizar las bibliotecas y su posterior pirosecuenciamiento como se detalla anteriormente (DeSantis *et al.*, 2006).

Según los resultados que arrojó tal secuenciación y la posterior clasificación de las lecturas, pudimos diferenciar bacterias patógenas asociadas a enfermedades en humanos, ya sean de origen hídrico, alimentario o respiratorio, de aquellas que no lo son. A continuación se detallan los porcentajes hallados de quince géneros de

bacterias/cianobacterias potencialmente patógenas seleccionados de un total de 861 géneros determinados por el método de Illumina:

LP3

AGUA (%)	Agentes patógenos	SEDIMENTO (%)
0	<i>Escherichia spp.</i>	0
0,0932	<i>Enterobacter spp.</i>	0,0236
0,0079	<i>Enterococcus spp.</i>	0,0076
0,0442	<i>Shigella spp.</i>	0,0051
0,0032	<i>Salmonella spp.</i>	0,0123
0,2510	<i>Clostridium spp.</i>	2,4317
0,0047	<i>Campylobacter spp.</i>	0
0,0095	<i>Vibrio spp.</i>	0,0030
0,0868	<i>Burkholderia spp.</i>	0,4128
10,1048	<i>Pseudomonasspp.</i>	2,3172
0,1089	<i>Mycobacterium spp.</i>	0,1849
2,5925	<i>Arcobacter spp.</i>	0,5936
0,0111	<i>Leptospira spp.</i>	1,0783
0,0016	<i>Legionella spp.</i>	0,0201
2,8451	<i>Microcystis spp.</i>	0,2099

Tabla 4.9: Porcentaje de agentes patógenos seleccionados hallados en agua y sedimento en el sitio LP3.

En la tabla 4.9 se observa que un 16% de las secuencias identificadas en agua corresponden a bacterias patógenas mientras que un 7% lo es en sedimentos.

Así mismo se evidencia que el porcentaje de bacterias patógenas en el agua resultó un 9% mayor que en el sedimento del arroyo Las Piedras en el sitio LP3.

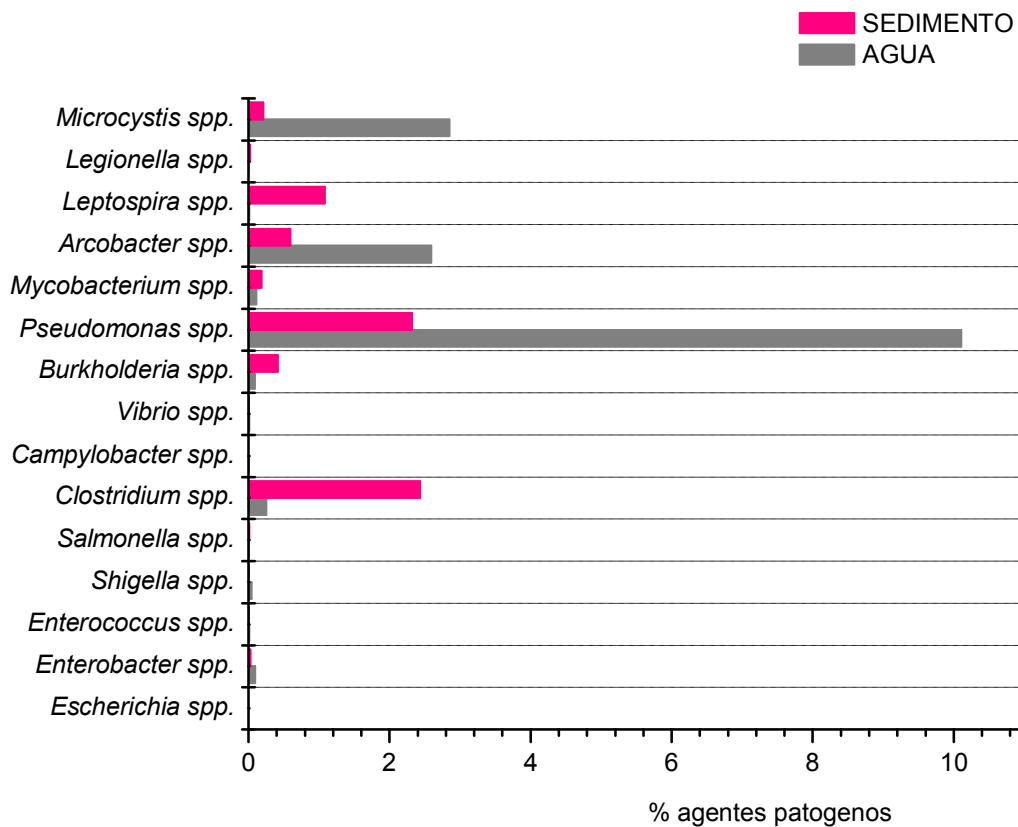


Figura 4.13: Agentes patógenos seleccionados hallados en agua y sedimento en el sitio LP3.

Aquí (Figura 4.13) se destacan los mayores porcentajes hallados en cada matriz, dentro de los cuales se encuentran los siguientes géneros: *Clostridium spp.*, *Pseudomonas spp.*, *Arcobacter spp.*, *Leptospira spp.* y *Microcystis spp.* (cianobacterias), siendo las *Pseudomonas spp.* las de mayor porcentaje (10,1048).

LP4

AGUA (%)	Agentes patógenos	SEDIMENTO (%)
0,0007	<i>Escherichia spp.</i>	0,0018
0,0949	<i>Enterobacter spp.</i>	0,0230
0,0049	<i>Enterococcus spp.</i>	0,0066
0,0291	<i>Shigella spp.</i>	0,0029
0,0118	<i>Salmonella spp.</i>	0,0049
0,2160	<i>Clostridium spp.</i>	2,4637
0,0013	<i>Campylobacter spp.</i>	0,0036
0,0054	<i>Vibrio spp.</i>	0,0023
0,0776	<i>Burkholderia spp.</i>	0,1704
22,5167	<i>Pseudomonasspp.</i>	1,4577
0,0220	<i>Mycobacterium spp.</i>	0,6872
17,7681	<i>Arcobacter spp.</i>	0,6183
0,0194	<i>Leptospira spp.</i>	3,7081
0,0035	<i>Legionella spp.</i>	0,0220
0,0679	<i>Microcystis spp.</i>	0,1395

Tabla 4.10: Porcentaje de agentes patógenos seleccionados hallados en agua y sedimento en el sitio LP4.

En la tabla 4.10 se observa que un 40,8% de las secuencias identificadas en agua corresponden a bacterias patógenas mientras que un 9,3% lo es en sedimentos. Claramente hay una diferencia importante en el valor hallado de agentes patógenos en agua respecto al sitio aguas arriba LP3, siendo esta diferencia menor en el caso de los sedimentos.

A su vez podemos destacar que el porcentaje de bacterias patógenas en el agua resultó un 31,5% mayor que en el sedimento del arroyo Las Piedras en el sitio LP4.

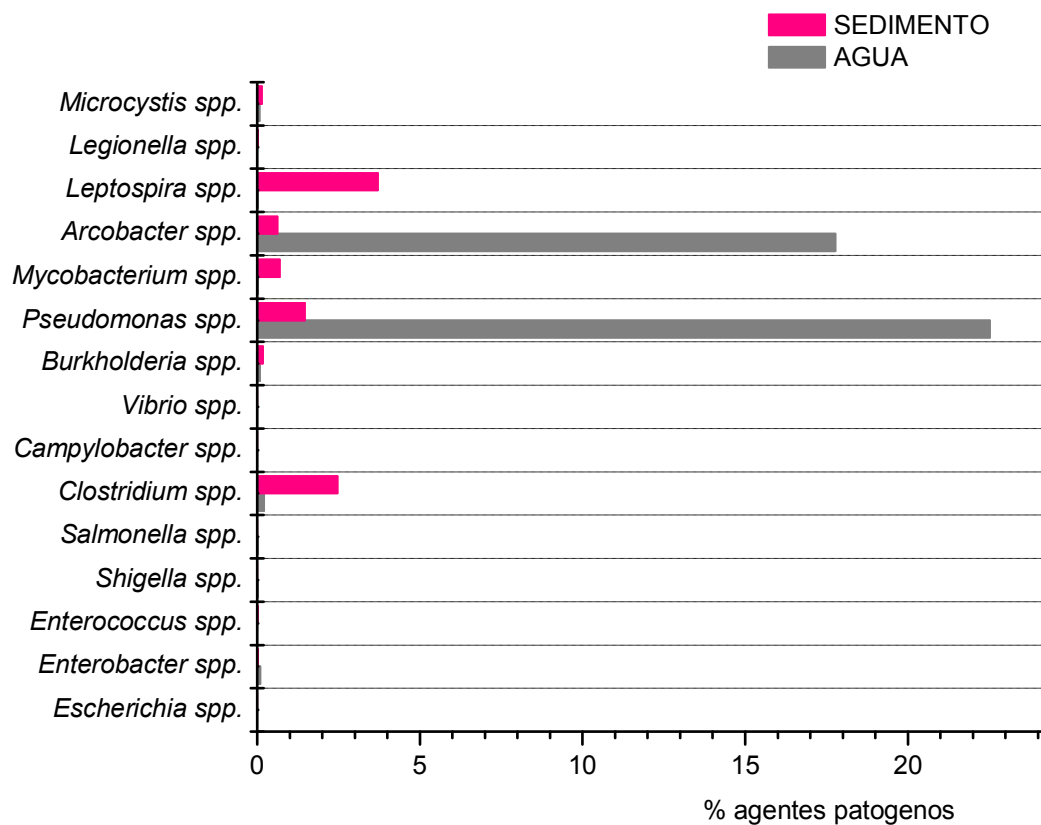


Figura 4.14: Agentes patógenos seleccionados hallados en agua y sedimento en el sitio LP4.

En la Figura 4.14 se resaltan los mayores porcentajes hallados en cada matriz, dentro de los cuales se encuentran también los géneros *Clostridium*, *Pseudomonas*, *Arcobacter*, *Leptospira* y *Microcystis* (cianobacteria). Al igual que en el sitio LP3 las *Pseudomonas* se presentan en mayor porcentaje (22,5167) y las secundan bacterias del género *Arcobacter* (17,7681) en las muestras de agua del sitio LP4.

SF3

AGUA (%)	Agentes patógenos	SEDIMENTO (%)
0	<i>Escherichia spp.</i>	0,0008
0,0802	<i>Enterobacter spp.</i>	0,0092
0	<i>Enterococcus spp.</i>	0,0091
0,0209	<i>Shigella spp.</i>	0,0031
0,0070	<i>Salmonella spp.</i>	0,1367
2,2379	<i>Clostridium spp.</i>	4,3410
0	<i>Campylobacter spp.</i>	0,0045
0	<i>Vibrio spp.</i>	0,0007
0,0976	<i>Burkholderia spp.</i>	0,1904
10,4713	<i>Pseudomonasspp.</i>	0,8515
0,1011	<i>Mycobacterium spp.</i>	0,6848
3,3359	<i>Arcobacter spp.</i>	0,1364
0,2789	<i>Leptospira spp.</i>	1,4071
0,0139	<i>Legionella spp.</i>	0,0439
0,3311	<i>Microcystis spp.</i>	0,1617

Tabla 4.11: Porcentaje de agentes patógenos seleccionados hallados en agua y sedimento en el sitio SF3.

En el arroyo San Francisco (SF3) tabla 4.11 se encontró que un 17% de las secuencias identificadas en agua corresponden a bacterias patógenas mientras que un 8% lo es en sedimentos. Estos resultados se asemejan a los hallados en el sitio LP3 del arroyo Las Piedras, donde el porcentaje de agentes potencialmente patógenos en el agua supera al observado en el sedimento en un 9%.

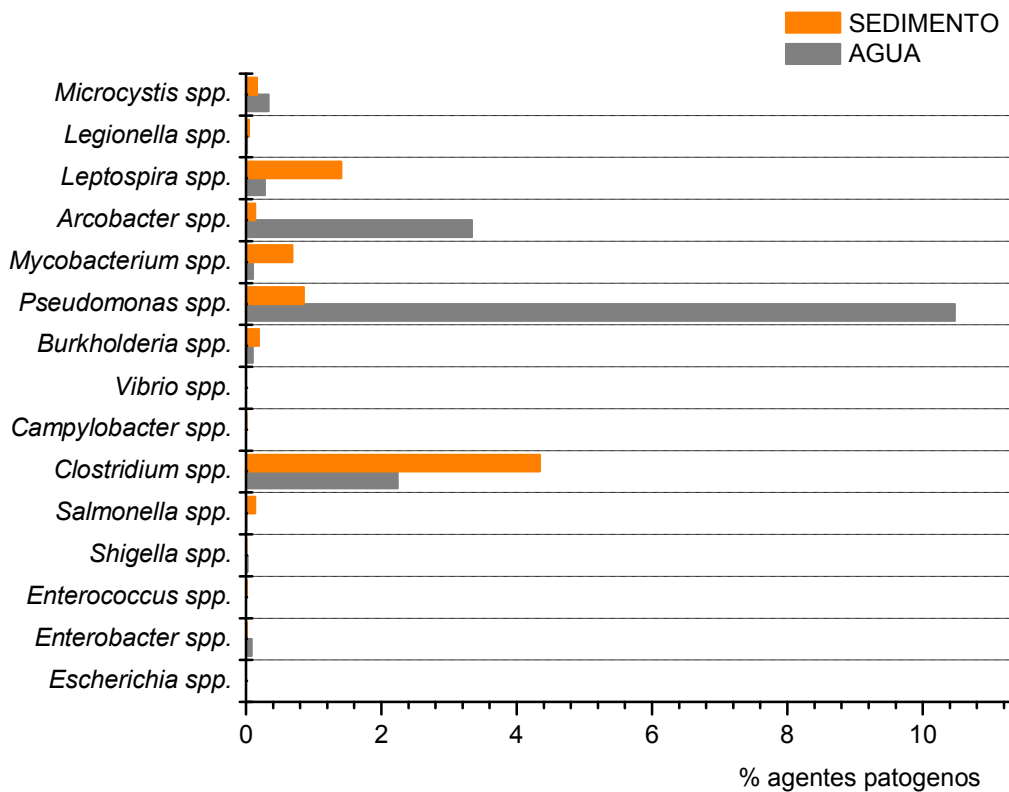


Figura 4.15: Agentes patógenos seleccionados hallados en agua y sedimento en el sitio SF3.

En la figura anterior (Figura 4.15) se destacan los mayores porcentajes de agentes patógenos hallados en cada matriz, los cuales coinciden con los observados en ambos puntos muestreados del arroyo Las Piedras.

De esta manera los géneros predominantes dentro de esta selección de agentes patógenos, en el arroyo San Francisco fueron *Pseudomonas*, *Arcobacter* y *Microcystis* en agua y *Clostridium* y *Leptospira* en sedimento.

Si bien se han detallado hasta el momento los valores hallados de los quince agentes patógenos seleccionados siguiendo referencias bibliográficas (Fischetti *et al.*, 2000; Kjelstrom *et al.*, 2006), cabe analizar particularmente cada uno de ellos.

Como se puede observar en los resultados antes mencionados (Tabla 1-3) los porcentajes detectados de enterobacterias (***Escherichia spp.***, ***Enterobacter spp.***, ***Shigella spp.*** y ***Salmonella spp.***) resultaron bajos con valores que varían entre 0 y 0,14%. Estos resultados sin embargo, no deberían subestimarse ya que se debe tener en cuenta que la metodología utilizada refleja el porcentaje de los microorganismos

presentes dependiendo del ADN hallado en la muestra, siendo éste sensible a su procesamiento y a la metodología de secuenciamiento y análisis aplicado.

Es importante destacar en esta instancia, que a diferencia de la metodología molecular aplicada para determinar mediante el ADN la presencia y proporción de una bacteria respecto al resto de las bacterias presentes en el ambiente; las metodologías clásicas utilizadas en microbiología proveen a los microorganismos condiciones óptimas de crecimiento selectivo que permiten su cultivo y reproducción, aumentando su número y recuperando aquellos microorganismos que estuvieron bajo estrés.

En este contexto, es importante aclarar que ambas metodologías no son comparables entre sí. Sino que cada una de ellas realiza diferentes aportes respecto a un mismo ambiente.

Los porcentajes de *Enterococcus spp.* también resultaron bajos, menor a 1%. Como se ha mencionado anteriormente en este trabajo, las bacterias de este género se utilizan como indicadoras de contaminación fecal que poseen una supervivencia en el ambiente mayor a la de *E. coli*. Estas bacterias pueden causar infecciones oportunistas en el hombre y adquirir resistencia a antibióticos.

Uno de los géneros que se destacan también, particularmente en el sedimento de ambos arroyos es *Clostridium*, presentando valores de 2,4317 y 2,4637% en el arroyo Las Piedras y duplicando su porcentaje en el sedimento del arroyo San Francisco (4,3410). El género *Clostridium* está formado por más de cien especies con limitada relación genética y propiedades bioquímicas diversas. Comprende a bacilos gran positivos, anaerobios, esporulados, los cuales son ubicuos pudiendo ser encontrados en el suelo y aguas residuales así como también en la flora intestinal de hombres y animales. En su mayoría son saprofitos, pero los patógenos pueden causar graves enfermedades como gangrena gaseosa, botulismo, tétanos, infecciones de piel y partes blandas, colitis asociada a antibióticos e intoxicaciones alimentarias. La capacidad para provocar enfermedad está vinculada a la posibilidad de sobrevivir en condiciones ambientales adversas mediante la formación de esporas, crecer rápidamente y producir toxinas histolíticas, enterotoxinas y neurotoxinas (Ryan *et al.*, 2004).

Según las características del género y los resultados físico químicos hallados en los sedimentos de ambos arroyos, cabe considerar lógica su aparición en el sedimento anóxico de los mismos. Entre las especies halladas se encuentran *Clostridium perfringens*, *Clostridium intestinale* entre otras, además de algunas especies que mediante la técnica de Illumina no pudieron ser diferenciadas genéticamente. (<http://www.bvsops.org.uy/>)

Otro de los agentes potencialmente patógenos que surgió con un elevado porcentaje, especialmente en las muestras de agua fue el género *Pseudomonas* que se presentó con valores superiores al 10% en todos los casos y superior al 20% en el sitio LP4.

Pseudomonas spp. suele encontrarse en muchos entornos diferentes, tales como en suelo, agua, plantas y tejidos animales. Muchas especies diferentes de esta bacteria se comportan como patógenos oportunistas que afectan a seres humanos, animales, y plantas. *Pseudomonas aeruginosa*, conocida como el "arquetipo" de patógenos oportunistas, dado que puede infectar prácticamente cualquier tipo de tejido si el hospedador tiene las defensas comprometidas. Si bien, según la metodología de pirosecuenciación utilizada no se distinguió genéticamente la especie *aeruginosa*, si surgieron en alto porcentaje *P. pseudoalcaligenes* y *P. putida* y otras nueve especies con valores menos significativos (De Vicente *et al.*, 1991).

El género *Arcobacter* ha tomado cada vez más importancia en los últimos años debido a que sus miembros se han considerado enteropatógenos emergentes y potenciales agentes zoonóticos. Este género es un grupo atípico dentro de la subdivisión épsilon de las proteobacterias, debido a su gran diversidad de hábitats y hospedadores. Se han detectado algunas especies de *Arcobacter* a partir de heces de pacientes con y sin diarrea y, ocasionalmente, en asociación con bacteremia, endocarditis, y peritonitis (Woo *et al.*, 2001; Vandenberg *et al.*, 2004; Snelling *et al.*, 2006; Wesley y Miller, 2010). En animales, *Arcobacter* ha sido implicada en abortos, mastitis y trastornos gastrointestinales, pero también han sido recuperadas de animales asintomáticos. A pesar de eso, la incidencia de especies *Arcobacter* es probablemente subestimada, principalmente debido a las limitaciones en la detección e identificación con los métodos clásicos (Ho *et al.*, 2006).

Por este motivo y debido al alto porcentaje de *Arcobacter* hallado principalmente en el agua de los arroyos, especialmente en el sitio LP4 (17,7681), se hace énfasis en este grupo. El sitio en cuestión se caracteriza por presentar una gran grasería a la vera del arroyo, grandes basurales y quemazones en sus márgenes donde conviven animales domésticos y vecinos que habitan un humilde asentamiento establecido frente a la grasería.

Otro de los agentes patógenos que surgió en las muestras de los arroyos y que es de importancia clínica debido a su patogenicidad es *Leptospira*. Los diferentes serotipos patógenos de *Leptospira interrogans* son los causantes de la leptospirosis, zoonosis bacteriana de distribución mundial. Esta enfermedad en humanos resulta del contacto con agua, suelo o alimentos contaminados con la orina de ratas, perros, cerdos y otros animales leptospirúricos. Las leptospiras móviles penetran por la piel rota o a través de las superficies mucosas, y generan una enfermedad aguda y sistémica. La mayoría de los casos humanos son leves y anictéricos; sin embargo, de 5 a 30% de los casos ictericos pueden ser mortales (síndrome de Weil), tal es el caso que ocurrió en el partido de Quilmes luego de una inundación que data del mes de febrero del año 2014, cobrándose cuatro vidas. Si consideramos las características necesarias que aportan al riesgo de contraer esta bacteria, debemos resaltar que éstas concuerdan con las características del área de estudio. Todos los sitios monitoreados presentan amplios y constantes basurales en sus márgenes, donde se reúnen animales domésticos, animales de corral, roedores y hasta niños jugando con el riesgo sanitario que eso implica (Teodoro Carrada-Bravo, 2005).

Otro grupo de bacterias que surgió en este estudio fue *Campylobacter spp.* aunque en muy bajos porcentajes tanto en agua como en sedimento. Sin embargo, fue incluida en los quince agentes seleccionados debido a que las especies de *Campylobacter* están ampliamente distribuidas en la mayoría de los animales de sangre caliente. Tienen prevalencia en los animales destinados al consumo como aves de corral, vacunos, porcinos, ovinos; y en los animales de compañía como perros y gatos, los cuales abundan en la zona de muestreo.

Por lo general, se cree que la vía principal de transmisión son los alimentos, a través de la carne y los productos cárnicos poco cocidos, así como la leche cruda o

contaminada. El agua o el hielo contaminados son también una fuente de infección. Algunos casos ocurren tras el contacto con agua contaminada durante actividades recreativas (Debruyne *et al.*, 2008).

La mayoría de estos agentes patógenos en general se determinan mediante métodos estándares para el análisis de aguas y aguas residuales, que permiten el aislamiento, la detección e identificación de los patógenos bacterianos de interés para las aguas recreativas como lo son: *Campylobacter*, *E. coli* O157: H7, *Salmonella*, *Shigella*, *Aeromonas*, *Legionella*, *Mycobacterium*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus aureus* y *Leptospira* (APHA *et al.*, 2005). Estas metodologías clásicas, en algunos casos, están siendo reemplazadas por tecnologías más rápidas y eficientes que conllevan a su vez, un mayor costo operativo.

Dentro de estas nuevas tecnologías se encuentra la metodología utilizada en esta instancia del trabajo, donde a partir de la extracción del ADN de la muestra se pueden identificar cualitativamente una gran cantidad de microorganismos de interés. Como en este caso, donde se logró determinar quince géneros de potenciales agentes patógenos, entre otros. Cada uno de ellos implica, como se ha descrito anteriormente un riesgo a la población que estuviese en contacto con el agua o sedimento que los contiene.

Si bien actualmente, los métodos de PCR han sido descritos para la detección de todos los patógenos bacterianos considerados de preocupación (Ashbolt *et al.*, 2001; Noble y Weisberg, 2006; Savichtcheva y Okabe, 2006), los métodos de PCR cuantitativa en tiempo real no se han descrito aún para una serie de importantes patógenos bacterianos entéricos, incluyendo *Salmonella*, *Campylobacter* y *E. coli* O157: H7. Por lo tanto, resulta necesario más trabajo en esta área para desarrollar métodos estandarizados que pueden ser precisos, confiables y asequibles.

4.3.2. Diversidad bacteriana

El concepto de diversidad específica en ecología de comunidades ha sido durante años intensamente discutido por los ecólogos, derivándose de su utilización algunos problemas de tipo semántico, conceptual, y técnico (Hurlbert, 1971). Sin embargo, a

pesar de los debates y de las precauciones a tener en cuenta al aplicarlos, los índices de diversidad continúan siendo populares entre los ecólogos.

Distintos autores (Krebs 1999, Gove *et al.*, 1994, Ludwig y Reynolds 1988, Pielou 1977) coinciden en señalar que el índice de diversidad está formado por dos componentes: el número de especies o riqueza de especie y la abundancia o equilibrio de especies.

En el presente estudio se determinaron dos de los índices de diversidad más reconocidos:

4.3.2.1. Índice de Shannon

Este índice se expresa con un número positivo, que en la mayoría de los ecosistemas naturales varía entre 0,5 y 5, aunque su valor normal está entre 2 y 3; valores inferiores a 2 se consideran bajos y superiores a 3 son altos. La fórmula del índice de Shannon es la siguiente:

$$H' = - \sum_{i=1}^S (p_i \times \log_2 p_i)$$

S: Número de especies (riqueza de especies)

p_i: Proporción de individuos de la especie *i* respecto al total de individuos (es decir la

abundancia relativa de la especie *i*): $\frac{n_i}{N}$

n_i: Número de individuos de la especie *i*

N: Número de todos los individuos de todas las especies

De esta forma, el índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (*riqueza de especies*), y la cantidad relativa de individuos de cada una de esas especies (*abundancia*).

4.3.2.2. Índice de Simpson

El índice de diversidad de Simpson indica la probabilidad de encontrar dos individuos de especies diferentes en dos 'extracciones' sucesivas al azar sin 'reposición'. Este índice le da un peso mayor a las especies abundantes subestimando las especies raras,

tomando valores entre '0' (baja diversidad) hasta un máximo de $[1 - 1/S]$. La fórmula para el índice de Simpson es:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

S : es el número de especies

N : es el total de organismos presentes (o unidades cuadradas)

n_i : es el número de ejemplares por especie

4.3.2.2. Aplicación de los índices de diversidad

En la siguiente tabla (Tabla 4. 12) se pueden observar los resultados obtenidos, tanto para el agua como para el sedimento de los arroyos, de diversidad según el índice de Shannon.

Índice de Shannon	LP3	LP4	SF3
AGUA	3,72	3,50	4,11
SEDIMENTO	5,73	5,66	5,76

Tabla 4. 12: Diversidad bacteriana (Índice de Shannon) en el agua y sedimento de los arroyos

Aquí (Figura 4.16) se observan claramente que ambas matrices presentan un grado de diversidad bacteriana muy elevado (mayor a 3), siendo en el sedimento mayor que en el agua de los arroyos; y en las aguas del arroyo San Francisco mayor que en Las Piedras.

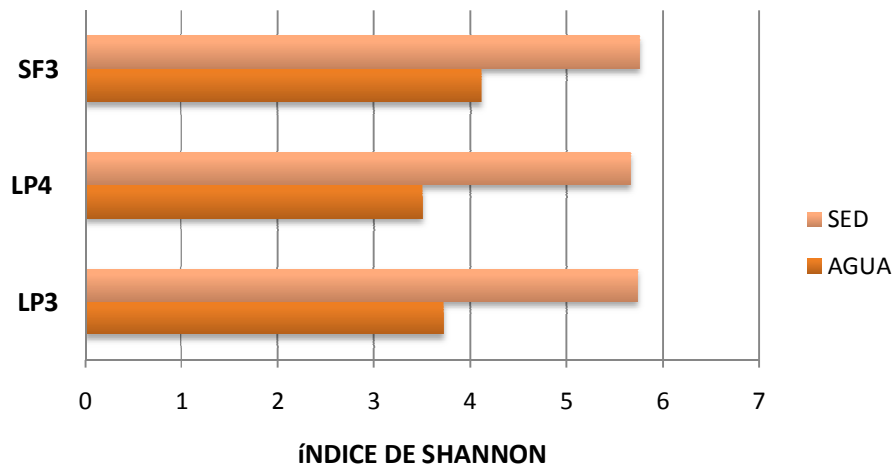


Figura 4.16: Diversidad bacteriana (Índice de Shannon) en el agua y sedimento de los arroyos

Los resultados obtenidos con el Índice de Simpson (Tabla 4.13) reflejan las mismas características que el índice de Shannon, siendo la diversidad muy alta en todos los casos (cercana a 1), mayor en el sedimento respecto al agua; prácticamente sin diferencias de diversidad entre los arroyos (Figura 4.17).

Índice de Simpson	LP3	LP4	SF3
AGUA	0,96	0,94	0,96
SEDIMENTO	0,99	0,99	0,99

Tabla 4.13: Diversidad bacteriana (Índice de Shannon) en el agua y sedimento de los arroyos.

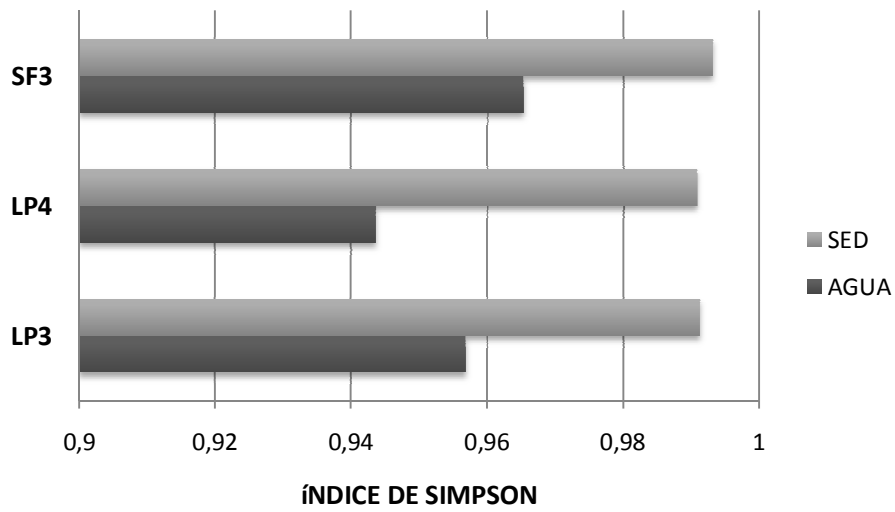
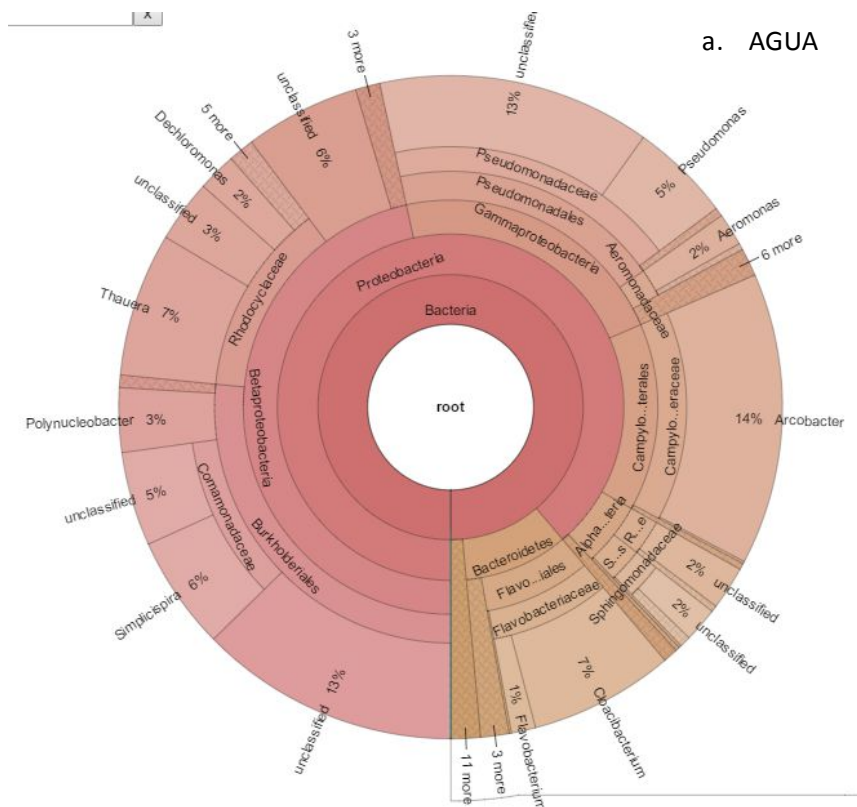


Figura 4.17: Diversidad bacteriana (Índice de Simpson) en el agua y sedimento de los arroyos.



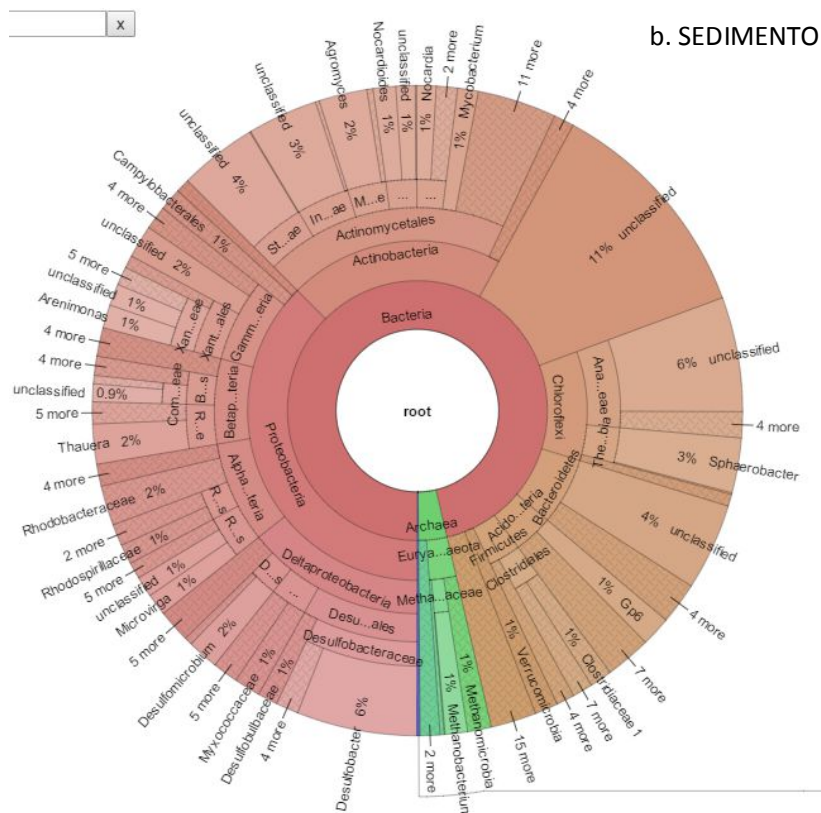


Figura 4.18: Diversidad bacteriana en a. agua y b. sedimento de los arroyos.

Las Figuras 4.18 a. y b. muestran la distribución de la diversidad bacteriana hallada en ambas matrices del sitio LP4, observándose una mayor diversidad en el sedimento respecto del agua, sin embargo, vale considerar que la concentración bacteriana también resultó superior en el sedimento.

4.3.3. Conclusiones Parciales

El uso de herramientas metagenómicas en estudios ambientales proporciona información que contribuye a definir ecosistemas, conocer el potencial que tienen a nivel biotecnológico los microorganismos presentes, establecer perfiles de ambientes impactados y, como hemos visto, identificar posibles agentes causales de enfermedades. Mediante el uso de tales herramientas se determinó que en un rango de 16 a 40,8 % de las bacterias en agua superficial y entre 7 – 9,3% en sedimento, podrían ser agentes causales de enfermedades en la población que habita los márgenes del arroyo.

La aplicación de los índices de diversidad de Shannon y Simpson reflejan un alto grado de diversidad en ambas matrices de los arroyos estudiados, sin embargo desde el punto de vista del estudio de abundancia, deberían realizarse estudios complementarios considerando que, el número de copias genómicas del gen 16S varía en gran medida de uno en muchas especies a un máximo de 15 en algunas bacterias.

Los elevados porcentajes hallados de potenciales agentes patógenos se corresponden con el contexto ambiental de los sitios monitoreados, donde se ubican una importante grasera y un frigorífico, ambos a la vera de los arroyos que descargan sus efluentes con tratamiento inadecuado, así como asentamientos que fueron creciendo exponencialmente en los últimos años y que vierten sus desechos domésticos (aguas blancas y negras) a estos cuerpos de agua.

Otro factor relevante son los basurales de gran envergadura que se ubican en sus márgenes, además de los animales domésticos y de corral sin control sanitario que conviven generando constantemente potenciales focos infecciosos.

Este estudio preliminar sobre dos arroyos del conurbano bonaerenses (Las Piedras y San Francisco), manifiesta el grado de contaminación que éstos presentan, sobre todo de tipo orgánica y microbiológica que aportan al riesgo sanitario al cual está expuesta gran parte de la población del partido de Quilmes, entre ellos, los más vulnerables.

[TESIS DOCTORAL- LIC. ELORDI M. LUCILA]

[CAPÍTULO V:]

**[Índices de Calidad y Contaminación del
Agua Superficial]**

[2016]

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

5. Índices de calidad y contaminación de aguas superficiales - Riesgo asociado a eventos de inundación

Las fuentes de agua superficial son un eje fundamental en el desarrollo de los seres humanos, que permiten el abastecimiento para las diferentes actividades socioeconómicas llevadas a cabo en la sociedad; no obstante, de forma paradójica muchas de estas actividades causan alteración y deterioro de las mismas. En general, las aguas superficiales están sometidas a contaminación natural (arrastre de material particulado y disuelto y presencia de materia orgánica natural) y de origen antrópico, tales como descargas de aguas residuales domésticas, escorrentía agrícola, efluentes de procesos industriales, entre otros (WHO, 2003; WHO, 2008).

Tanto el desarrollo humano como el crecimiento de la población a nivel mundial, ejercen permanentemente presiones múltiples y diversas sobre la calidad y cantidad de los recursos hídricos y sobre el acceso a ellos.

Estas incluyen: aumento de la urbanización que incrementa la vulnerabilidad a las enfermedades transmitidas por el agua, la creciente demanda de agua por las ciudades, la industria y la agricultura, a menudo junto con escasas oportunidades de nuevas fuentes; la variabilidad del clima que altera tanto la disponibilidad y calidad del agua, como los ciclos inundación/sequía y el calendario de lluvias; las obras de infraestructura asociadas con el desarrollo, tales como presas, carreteras, y la agricultura de riego; además de la deforestación, el colapso de los sistemas cloacales y de aguas servidas, y de recolección y conducción de aguas pluviales urbanas, la incorrecta gestión de los residuos sólidos urbanos; acciones todas que conducen a un aumento de la prevalencia de las enfermedades asociadas al agua.

Estos factores pueden interactuar de manera que afecten negativamente tanto a la cantidad y calidad del agua, como a su autodepuración y a la salud humana (Hutton y Haller, 2004; Batterman *et al.*, 2009).

El marcado deterioro de los cuerpos de agua superficial hace prioritaria su evaluación para la toma de decisiones, que incluyen acciones de control y mitigación del nivel de contaminación y riesgo sanitario asociado. Estas decisiones serán determinantes en la complejidad y costos del tratamiento del agua para consumo humano, así como para una adecuada gestión del recurso.

Particularmente el área comprendida por los arroyos Las Piedras y San Francisco, ha sido históricamente estudiada desde diferentes enfoques, dando cuenta en todos los casos de una situación crítica en cuanto a la calidad de sus aguas superficiales [Elordi *et al.*, 2013].

Detectar el grado de contaminación presente en un cuerpo de agua a través de monitoreos conduce a obtener una inmensa cantidad de datos de diversos parámetros, incluso dimensionalmente diferentes, sin embargo no permite establecer una clara perspectiva de posibles patrones de contaminación.

Ante la necesidad de resolver diferentes tipos de conflictos asociados con el uso del agua y la conservación de la integridad ecológica de los sistemas acuáticos, los cuales involucran también aspectos socioeconómicos, surgen los índices de calidad del agua como una herramienta simple para la evaluación del recurso hídrico fundamental en procesos decisorios de políticas públicas y en el seguimiento de sus impactos (EPA, 1994; WHO 2008).

5.1 Descripción del Índice de Calidad de Agua ICA-NSF

Los índices pueden generarse utilizando ciertos elementos básicos en función de los usos del agua, el “ICA”, define la aptitud del cuerpo de agua respecto a los usos prioritarios que este pueda tener. Estos Índices son llamados de “Usos Específicos”. El Índice de calidad de agua fue desarrollado por la National Sanitation Foundation(NSF, USA), que en un esfuerzo por idear un sistema para comparar ríos en varios lugares del país, creó y diseñó un índice estándar llamado WQI (Water Quality Index) que en español se conoce como: INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA).

Este índice es ampliamente utilizado entre todos los índices de calidad de agua existentes siendo diseñado en 1970, y puede ser utilizado para medir los cambios en la calidad del agua en tramos particulares de los ríos/arroyos a través del tiempo, comparando la calidad del agua de diferentes tramos del mismo río además de compararlo con la calidad de agua de diferentes ríos alrededor del mundo. Los resultados pueden ser utilizados para determinar si un tramo particular de dicho río es saludable o no. Para la determinación del “ICA” interviene 9 parámetros, los cuales son:

- Coliformes Fecales (NMP/100 mL)
- pH (unidades de pH)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en 5 días (mg.L⁻¹)
- Nitratos (mg.L⁻¹)
- Fosfatos (mg.L⁻¹)
- Cambio de la Temperatura (°C)
- Turbidez (NTU)
- Sólidos Totales (mg.L⁻¹)
- Oxígeno disuelto (% saturación)

Para desarrollar el "ICA", la NSF seleccionó 142 personas quienes representaron un amplio rango a nivel local, estatal y nacional en los Estados Unidos. El proceso para el desarrollo del Índice de Calidad del agua se llevó a cabo en las siguientes etapas:

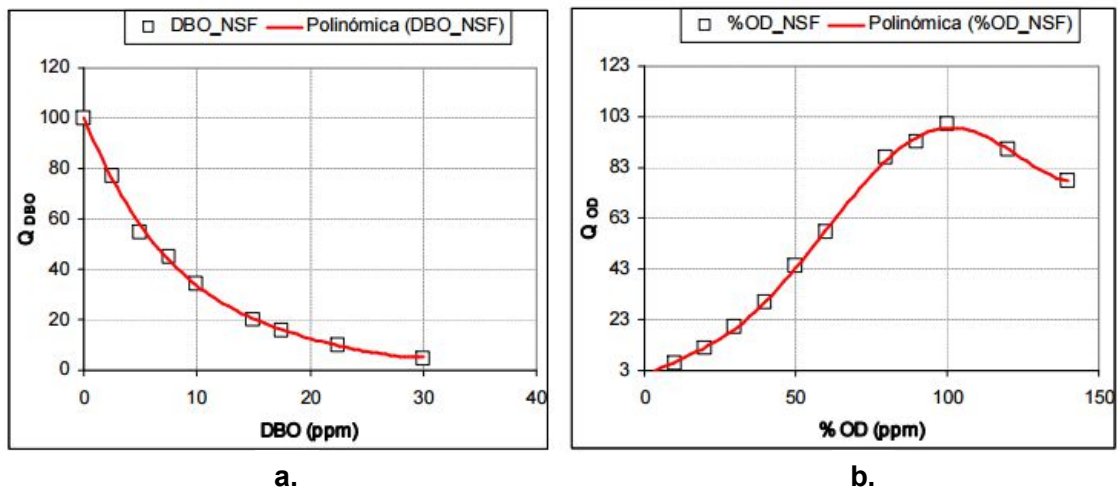
I. La identificación de factores claves (parámetros biológicos, químicos o físicos) que pueden utilizarse como indicadores de la calidad del agua, basados en el criterio profesional colectivo de personas con conocimientos relativos al medio acuático o al foco de contaminación. Mediante una serie de cuestionarios, a cada panelista se le preguntó que considerara 35 parámetros de calidad de agua para una posible inclusión en dicho índice. Este número se redujo finalmente a 9 parámetros, los cuales fueron mencionados anteriormente.

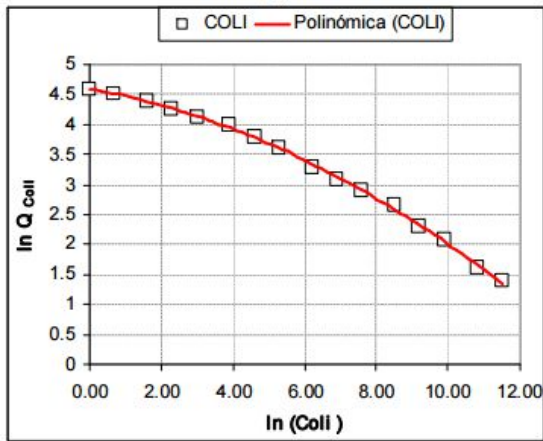
II. Asignación de los Pesos Relativos o Peso de importancia del Parámetro (W_i) correspondientes a los factores de contaminación en aguas. En esta fase se corre el riesgo de introducir cierto grado de subjetividad en la evaluación, pero por otro lado sugiere que es importante una asignación racional y unificada de dichos pesos de acuerdo al uso del agua y de la importancia de los parámetros en relación al riesgo

que implique el aumento o disminución de su concentración. En el caso de asignaciones de Pesos Relativos se identifican cuatro fases:

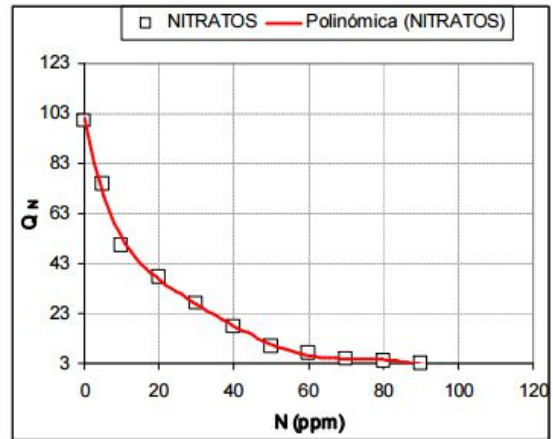
- El panel de expertos procede a la generación de las ideas que determinan los Pesos Relativos, escribiéndolas en un papel.
- Recolección de las ideas generadas por los participantes en un gráfico, mediante una discusión en serie.
- Discusión de cada idea recogida por el grupo con el fin de proceder a su clarificación y evaluación.
- Votación independiente sobre la prioridad de las ideas, es decir los Pesos Relativos, la decisión del grupo se determina mediante orientación matemática.

Para esto se pueden establecer varias metodologías de índices como lo son las curvas funcionales. Estos datos se promediaron dando origen a curvas que reflejan el criterio profesional de respuestas en una escala (Sub_i) de 0-100. (Figura 5.1, Tabla 5.1)

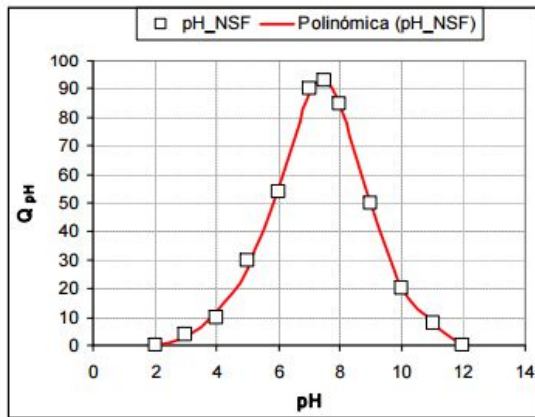




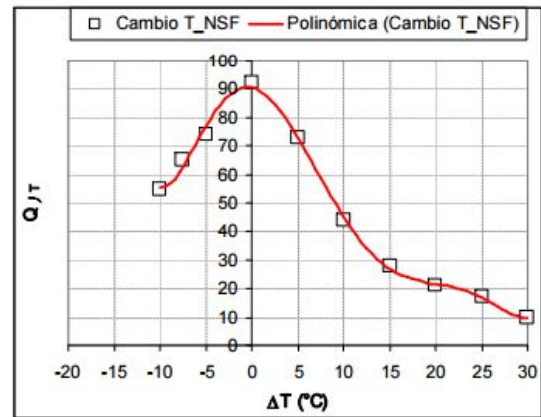
c.



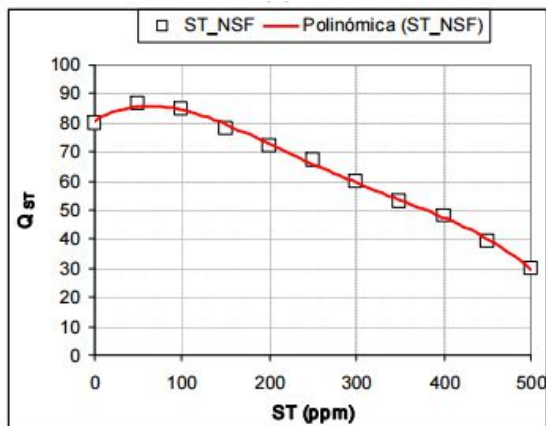
d.



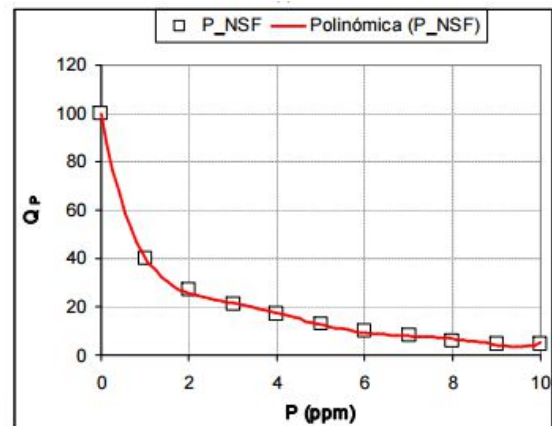
e.



f.



g.



h.

i.

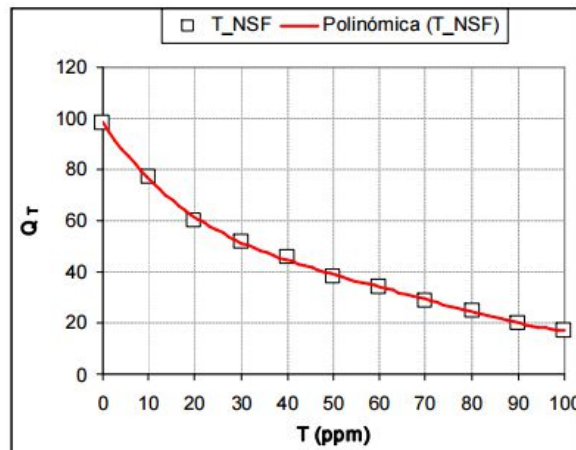


Figura 5.1: Factores de escala Q_i para los parámetros involucrados en el ICA-NSF. **a.** Demanda bioquímica de oxígeno. **b.** Porcentaje de saturación de oxígeno. **c.** Coliformes fecales. **d.** Nitratos. **e.** pH. **f.** Cambio de temperatura. **g.** Sólidos totales. **h.** Fosfatos. **i.** Turbidez.

PARÁMETRO	AJUSTE
% Saturación de oxígeno	$Q_{O_2} = 3,1615E-08(OD\%)^5 - 1,0304E-05(OD\%)^4 + 1,0076E-03(OD\%)^3 - 2,7883E-02(OD\%)^2 + 8,4068E-01(OD\%) - 1,6120E-01$ $R^2 = 0,9995$ donde Q_{O_2} : Factor de escala Oxígeno disuelto - OD%: Oxígeno disuelto expresado como porcentaje de saturación
Demanda bioquímica de oxígeno ó Demanda química de oxígeno	$Q_{DBO} = 1,8677E-04(DBO)^4 - 1,6615E-02(DBO)^3 + 5,9636E-01(DBO)^2 - 1,1152E+01(DBO) + 1,0019E+02$ $R^2 = 0,9989$ donde Q_{DBO} : Factor de escala demanda bioquímica de oxígeno - DBO: demanda bioquímica de oxígeno en mg/l
Coliformes fecales	$\ln(Q_{Col}) = -0,0152(\ln C)^2 - 0,1063(\ln C) + 4,5922$ $R^2 = 0,999$ donde Q_{Col} : Factor de escala coliformes fecales - C: Coliformes fecales como NMP
Nitratos	$Q_{Nitra} = 3,5603E-09N^5 - 1,2183E-06N^4 + 1,6238E-04N^3 - 1,0693E-02N^2 + 3,7304E-01N - 7,5210N + 1,0095E+02$ $R^2 = 0,9972$ donde: Q_{Nitra} : Factor de escala Nitratos - N: Concentración de Nitratos en mg/l
pH	Para pH $\leq 7,5$ $Q_{pH} = -0,1789pH^5 + 3,7932pH^4 - 30,517pH^3 + 119,75pH^2 - 224,58pH + 159,46$ $R^2 = 0,9981$ Para pH $> 7,5$ $Q_{pH} = -1,11429pH^4 + 44,50952pH^3 - 656,60000pH^2 + 4215,34762pH - 9840,14286$ $R^2 = 1,0000$ donde Q_{pH} : Factor de escala pH - pH: Nivel de pH
Cambio de temperatura	$Q_{\Delta T} = 1,9619E-06\Delta T^5 - 1,3964E-04\Delta T^4 + 2,5908E-03\Delta T^3 + 1,5398E-02\Delta T^2 - 6,7204E-01\Delta T + 9,0392E+01$ $R^2 = 0,9972$ donde: $Q_{\Delta T}$: Factor de escala Cambio de Temperatura - ΔT : Cambio de temperatura en °C
Sólidos totales	$Q_{ST} = -4,4289E-09ST^4 + 4,650E-06ST^3 - 1,9591E-03ST^2 + 1,8973E-01ST + 8,0608E+01$ $R^2 = 0,9977$ donde: Q_{ST} : Factor de escala Sólidos Totales - ST: Sólidos totales en mg/l
Fosfatos	$Q_P = 4,67320E-03P^5 - 1,61670E-01P^4 + 2,20595P^3 - 1,50504E+01P^2 + 5,38893E+01P - 9,98933E+01P + 9,98311E+01$ $R^2 = 0,9994$ donde: Q_P : Factor de escala Fosfatos - P: Fosfatos en mg/l
Turbiedad	$Q_T = 1,8939E-06T^4 - 4,9942E-04T^3 + 4,9181E-02T^2 - 2,6284T + 9,8098E+01$ $R^2 = 0,9990$ donde: Q_T : Factor de escala Turbiedad - T: Turbiedad en mg/l

Tabla 5.1: Ajustes de curvas para determinación de factores de escala Q_i

El "ICA" adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación del curso de agua en estudio. Posteriormente al cálculo del índice de calidad de agua, se clasifica la calidad del agua con base a la siguiente tabla:

<i>Valor del Índice</i>	<i>Clasificación</i>	<i>Leyenda</i>
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

Tabla 5.2: Clasificación de la calidad del agua.

En este estudio se utilizó la versión aditiva del ICA-NSF, la cual se describe a continuación:

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

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

Para el cálculo de los índices por este método, se utilizaron factores de ponderación propuestos por NSF para cada parámetro (Tabla 5.3) y factores de escala Q_i que se calcularon por medio de ajustes polinómicos a las curvas de estandarización asociadas a cada variable formulados por la NSF (Brown *et al.* 1970; Krenkel *et al.*, 1980; Fernández y Solano, 2003; Fernández *et al.*, 2004; WUCEQEEEEES, 2007; Carrillo Castro y Villalobos Alcázar, 2010).

<i>Parámetros</i>	<i>Factor W_i</i>
Oxígeno Disuelto	0.17
Coliformes Fecales	0.16
pH	0.11
Demanda Biológica de Oxígeno	0.11
Nitratos	0.10
Fosfatos	0.10
Desviación Temperatura	0.10
Turbiedad	0.08
Sólidos Totales	0.07

Tabla 5.3: Factores de ponderación propuestos por NSF para cada parámetro.

5.1.1 Aplicación del Índice de Calidad del Agua ICA-NSF

El ICA-NSF se aplicó en este estudio de la calidad del agua de los arroyos Las Piedras (LP) y San Francisco (SF) en cada una de las campañas realizadas, incluyendo una última del mes de marzo de 2015 con sólo 3 sitios de muestreo.

A continuación se pueden observar los resultados obtenidos del ICA-NSF aditivo en cada campaña realizada y posteriormente, la variación estacional del mismo en cada sitio monitoreado.

5.1.1.1 Arroyo Las Piedras

Campaña I (Abril)

En la Tabla 5.4 se presentan los valores de Q_i calculados con el ajuste polinómico en los cinco puntos de muestreo realizados sobre el arroyo Las Piedras y la confluencia.

Aº LAS PIEDRAS	Q_{DBO}	Q_{pH}	Q_{OD}	Q_{NO3}	Q_{CF}	$Q_{\Delta T}$	Q_T	Q_{ST}	Q_{PO4}
LP1	3	72,32	7,39	85,74	2	90,23	91,59	20	39,33
LP2	12,66	71,96	0	89,51	2	90,20	92,31	20	30,74
LP3	3	65,75	0	92,04	2	89,93	92,07	20	55,24
LP4	3	84,71	0	93,05	2	84,97	92,07	20	45,52
CONFL	3	93,41	0	96,00	2	85,40	83,37	20	26,94

Tabla 5.4: Valores de Q_i calculados con el ajuste polinómico en el arroyo Las Piedras durante el mes de abril.

En estos resultados se puede destacar el impacto de la DBO_5 , de los Coliformes fecales y de la concentración de Sólidos Totales ya que sus valores de Q corresponden al valor límite superado según los niveles de corte para cada parámetro adoptados por la National Sanitation Foundation.

En la siguiente figura (Figura 5.2) se puede observar que la calidad del agua del arroyo Las Piedras a lo largo de todo su curso es, según la clasificación de la NSF, "Mala" ya que los valores registrados se encuentran entre el rango 26-50, sin demasiados cambios en la calidad entre los puntos monitoreados.

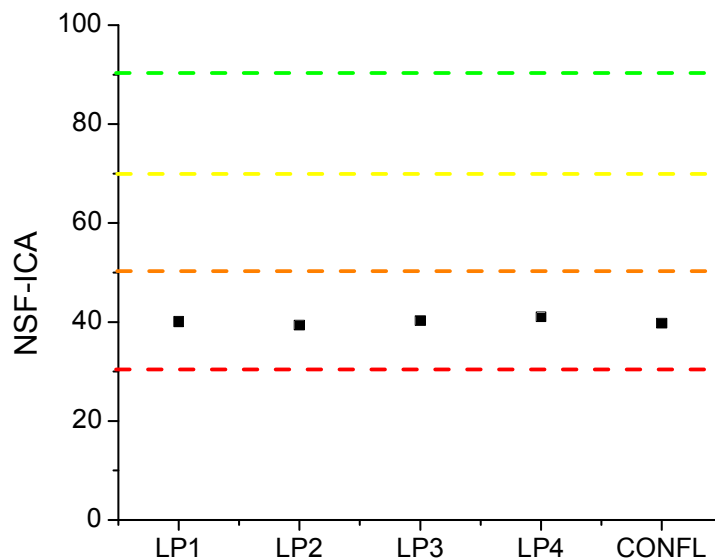


Figura 5.2: Valores de ICA-NSF del mes de abril del arroyo Las Piedras.

Campaña II (Junio)

Los valores de Q_i calculados con el ajuste polinómico para el mes de junio se pueden observar en la siguiente tabla (Tabla 5.5):

Aº LAS PIEDRAS	Q_{DBO}	Q_{pH}	Q_{OD}	Q_{NO3}	Q_{CF}	$Q_{\Delta T}$	Q_T	Q_{ST}	Q_{PO4}
LP1	3	53,69	42,87	78,86	31,45	87,35	92,79	20	31,55
LP2	3	79,42	6,53	85,87	2	84,12	91,83	20	32,09
LP3	3	80,05	4,26	93,54	28,31	83,54	92,31	20	38,82
LP4	3	84,17	6,58	85,71	2	71,37	92,07	20	33,20

CONFL	3	84,98	0	94,15	2	82,85	84,41	20	25,94
--------------	----------	-------	---	-------	----------	-------	-------	-----------	-------

Tabla 5.5: Valores de Q_i calculados con el ajuste polinómico en el arroyo Las Piedras durante el mes de junio.

La tabla anterior refleja, como en la campaña I del mes de abril, que los parámetros más afectados son también la DBO_5 , los Coliformes fecales en algunos sitios muestreados y la concentración de Sólidos Totales. Esto significa que el arroyo Las Piedras presenta una grave contaminación por materia orgánica, muy probablemente proveniente del desagüe directo de efluentes cloacales al arroyo. La siguiente figura (Figura 5.3) muestra la distribución de la calidad del agua del arroyo desde aguas arriba (LP1) hasta su confluencia con el arroyo San Francisco.

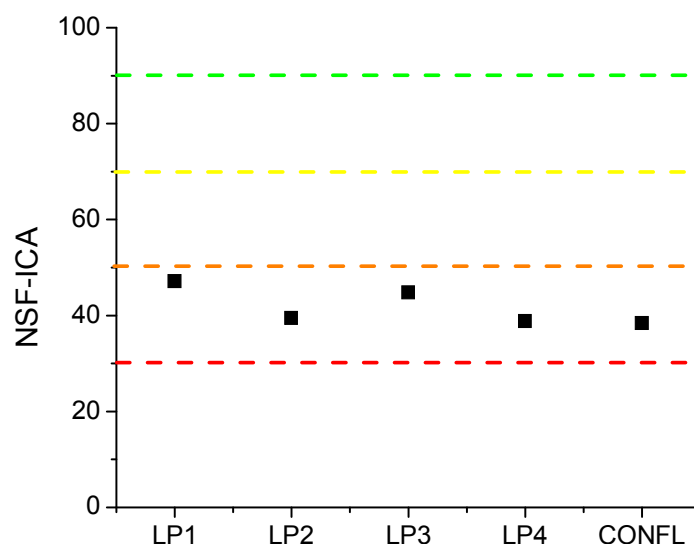


Figura 5.3: Valores de ICA-NSF del mes de junio del arroyo Las Piedras.

Si bien se registraron pequeñas variaciones en los valores de los NSF-ICA durante el mes de junio respecto de abril, la calidad del agua continua siendo “Mala”, ya que el rango se mantuvo entre 26-50.

Campaña III (Febrero)

Durante la campaña del mes de febrero a diferencia de las anteriores se puede observar (Tabla 5.6) una leve mejoría en cuanto a los valores Q obtenidos para el sitio LP3 en los parámetros de DBO_5 y Coliformes fecales; mientras que respecto a los Sólidos Totales, los valores de Q_{ST} se mantuvieron superando los niveles de corte.

Aº LAS PIEDRAS	Q_{DBO}	Q_{pH}	Q_{OD}	Q_{NO3}	Q_{CF}	$Q_{\Delta T}$	Q_T	Q_{ST}	Q_{PO4}
LP2	3	92,0	34,4	89,9	2	87,7	91,8	20	51,7
LP3	73,3	91,9	22,9	83,1	20,7	78,3	92,5	20	47,6
LP4	3	93,4	8,9	76,9	21,2	84,0	92,1	20	51,7
CONFL	3	92,1	9,9	94,1	2	78,3	83,8	20	38,1

Tabla 5.6: Valores de Q_i calculados con el ajuste polinómico en el arroyo Las Piedras durante el mes de febrero.

Dicha mejoría se refleja en el valor final del ICA-NSF (Figura 5.4), ya que el mismo cambió de rango según la clasificación de NSF de calidad de agua “Mala” a “Media o Regular” sólo en el punto LP3.

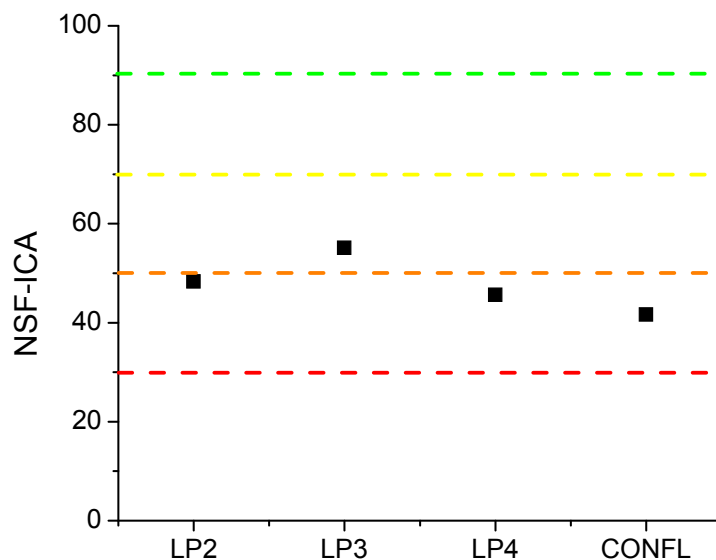


Figura 5.4: Valores de ICA-NSF del mes de febrero del arroyo Las Piedras.

5.1.1.2 Arroyo San Francisco

Campaña I (Abril)

En la siguiente tabla (Tabla 5.7) se pueden observar los resultados del factor de escala Q_i para los sitios monitoreados sobre el arroyo San Francisco y su confluencia con el arroyo Las Piedras.

Aº SAN FRANCISCO	Q_{DBO}	Q_{pH}	Q_{OD}	Q_{NO3}	Q_{CF}	Q_{AT}	Q_T	Q_{ST}	Q_{PO4}
SF1	3	74,08	0	88,25	2	89,87	89,25	20	37,48
SF2	3	82,76	0	79,88	2	90,35	89,71	20	41,54
SF3	3	80,67	0	94,75	2	86,07	82,55	20	33,04
CONFL	3	93,41	0	96,00	2	85,40	83,37	20	26,94

Tabla 5.7: Valores de Q_i calculados con el ajuste polinómico en el arroyo San Francisco durante el mes de abril.

Aquí se puede apreciar, al igual que en el arroyo Las Piedras, que los parámetros más afectados en todos los puntos del arroyo San Francisco fueron la Demanda Bioquímica de Oxígeno, los Coliformes fecales y la concentración de Sólidos Totales; además del Oxígeno Disuelto que resultó nulo en todos los sitios restringiendo así fuertemente el desarrollo y crecimiento de la vida acuática.

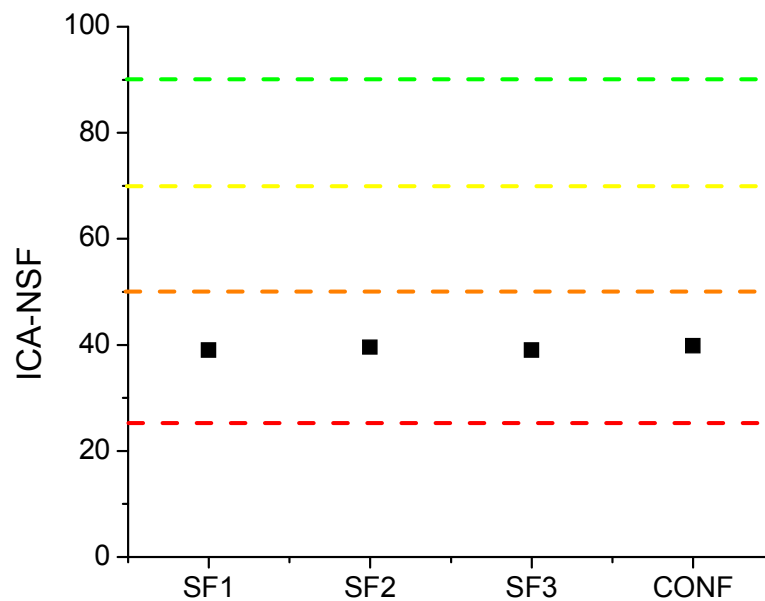


Figura 5.5: Valores de ICA-NSF del mes de abril del arroyo San Francisco.

Según el resultado final del ICA-NSF para el arroyo San Francisco, la calidad del agua superficial en todos los puntos muestreados fue "Mala" ya que los valores caen dentro del rango 26-50.

Campaña II (Junio)

Los valores de Q_i calculados con el ajuste polinómico para el mes de junio se pueden observar en la siguiente tabla (Tabla 5.8):

Aº SAN FRANCISCO	Q_{DBO}	Q_{pH}	Q_{OD}	Q_{NO3}	Q_{CF}	$Q_{\Delta T}$	Q_T	Q_{ST}	Q_{PO4}
SF1'	3	68,34	98,19	92,48	20,66	88,41	90,64	20	35,67
SF2	3	78,13	33,71	87,83	2	81,14	90,41	20	37,53
SF3	3	78,13	0	94,68	2	83,97	83,58	20	30,74
CONFL	3	84,98	0	94,15	2	82,85	84,41	20	25,94

Tabla 5.8: Valores de Q_i calculados con el ajuste polinómico en el arroyo San Francisco durante el mes de junio.

En los valores de Q_i se destaca la importancia de los Coliformes fecales, ya que el no haber sobrepasado el nivel de corte establecido por la NSF en el sitio SF1', posiciona a este punto dentro de un rango de calidad del agua mejor (51-70).

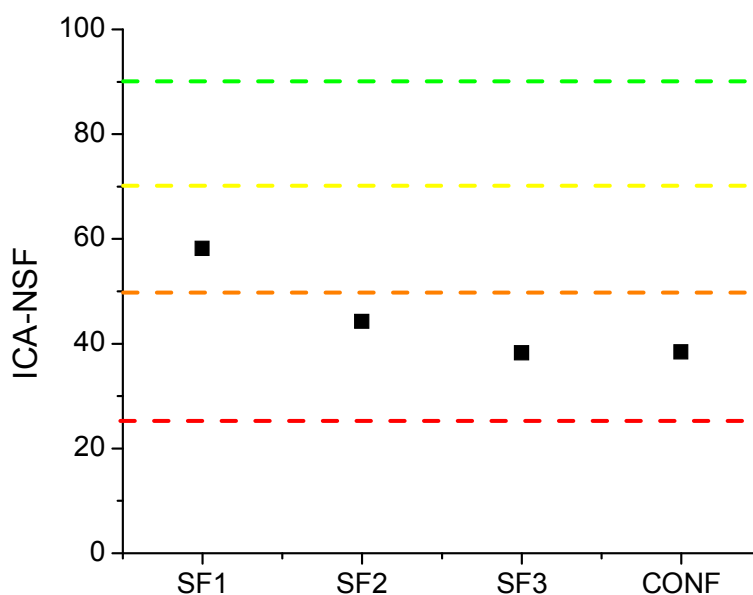


Figura 5.6: Valores de ICA-NSF del mes de junio del arroyo San Francisco.

Esto se ve claramente en la figura anterior (Figura 5.6), donde el único punto que presenta una calidad "Media o Regular" es el SF1', mientras que el resto de los puntos aguas abajo del arroyo presentan una calidad del agua "Mala".

Campaña III (Febrero)

Durante la campaña de febrero no se vieron grandes cambios, ya que si bien el Q_{CF} de los sitios SF2 y SF3 no superó el nivel de corte, los factores de escala para la demanda bioquímica de oxígeno y para los sólidos totales si lo hicieron en todos los puntos muestreados (Tabla 5.9).

Aº SAN FRANCISCO	Q_{DBO}	Q_{pH}	Q_{OD}	Q_{NO3}	Q_{CF}	Q_{AT}	Q_T	Q_{ST}	Q_{PO4}
SF1´	3	93,4	98,4	92,3	2,0	84,8	89,7	20	47,6
SF2	3	92,6	13,8	87,0	23,0	82,4	89,9	20	51,7
SF3	3	92,5	18,4	89,2	23,5	79,3	83,0	20	28,1
CONFL	3	92,1	9,9	94,1	2,0	78,3	83,8	20	38,1

Tabla5.9: Valores de Q_i calculados con el ajuste polinómico en el arroyo San Francisco durante el mes de febrero.

En la siguiente figura (Figura 5.7) se observa que la calidad del arroyo San Francisco no presenta cambios respecto al mes de junio, siendo el punto SF1´ el que muestra el menor grado de contaminación, según la clasificación de la NSF como calidad del agua “Media o Regular”, mientras que el resto de los sitios presenta una calidad “Mala” de su agua.

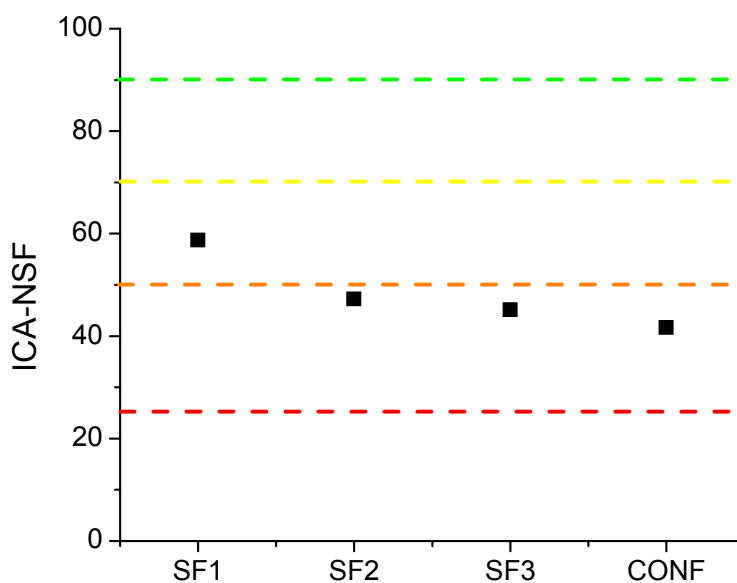


Figura 5.7: Valores de ICA-NSF del mes de febrero del arroyo San Francisco.

5.1.2 Evaluación del papel de los Coliformes fecales en el ICA-NSF

A continuación se presenta el análisis realizado para evaluar el papel de los Coliformes fecales como parámetro determinante en la clasificación de la calidad del agua utilizando el ICA-NSF en los arroyos antes mencionados.

En la Tabla 5.10 se presentan los valores de Q_i calculados con el ajuste polinómico en los diez puntos de muestreo.

	Q_{DBO}	Q_{pH}	Q_{OD}	Q_{NO3}	$Q_{\Delta T}$	Q_T	Q_{ST}	Q_{PO4}	Q_{CF}
LP1	3	53,7	42,9	78,9	86,5	80,9	20	15,8	31,5
LP1`	3	72,3	7,4	85,7	87,9	80,9	20	20,8	2
LP2	3	89,6	6,5	35,4	86,5	80,9	20	16,4	2
LP3	24,8	87,5	4,3	41,7	86,5	89,5	20	20,6	2
LP4	10,3	87,5	6,6	87,9	86,5	78,1	20	17,3	2
SF1	3	68,3	98,2	92,5	87,9	80,9	16,9	19	20,7
SF1`	3	74,1	0	88,2	86,5	80	20	20	2
SF2	16,9	87,5	33,7	49	86,5	79	20	20	2
SF3	3	91,2	0	81,5	87,9	61,5	20	15,1	2
CONF	3	88,5	0	87,9	88,4	5	20	9,5	2

Tabla 5.10. Valores de los Q_i en cada estación de muestreo.

Aquí se puede observar que los parámetros que superan el valor de corte establecido por los polinomios utilizados por el ICA-NSF, prácticamente en todos los sitios monitoreados fueron: DBO, CF y ST. En éste sentido se podría pensar que dichas variables serían determinantes en el valor final del índice ya que sus valores elevados reflejarían una situación crítica en cuanto a una contaminación marcada por materia orgánica, principalmente de tipo fecal en los arroyos. Para evaluar si éstos parámetros poseen gran influencia sobre el resultado final del ICA-NSF, posteriormente se presenta un análisis de sensibilidad que revelará las características a las cuales el índice es funcional.

En la siguiente tabla (Tabla 5.11) se representan los valores de los índices de calidad del agua ICA-NSF obtenidos en cada uno de los sitios de muestreo monitoreados, contraponiendo dos escenarios. El primero, incluye el parámetro Coliformes Fecales en la determinación del valor global del índice (nueve parámetros totales) y el

segundo en ausencia de dicho parámetro, con un total de ocho parámetros considerados.



	<i>CON CF</i>	<i>SIN CF</i>
<i>LP1</i>	44,4	46,9
<i>LP1'</i>	37,1	43,8
<i>LP2</i>	33,2	39,1
<i>LP3</i>	36,8	43,5
<i>LP4</i>	39	46,1
<i>SF1</i>	55,3	61,9
<i>SF1'</i>	35,9	42,4
<i>SF2</i>	40,8	48,2
<i>SF3</i>	35,3	41,7
<i>CONF</i>	30,6	36,1

Tabla 5.11. Valores de ICA-NSF obtenidos de ambos arroyos en presencia y ausencia de CF entre sus parámetros.

Aquí se observa que en ambos escenarios, todas las estaciones de muestreo presentan una calidad “Mala” de sus aguas, es decir un valor de ICA-NSF comprendido entre 26-50; excepto el sitio denominado SF1 que presenta una calidad del agua “Media o Regular”, correspondiente a la naciente del arroyo San Francisco y su valor de ICA-NSF queda incluido entre 51 y 70.

Si bien con ambos escenarios planteados la calidad del agua de los arroyos según la clasificación propuesta por NSF no varía; la diferencia en los valores del índice es notable. El ICA-NSF disminuye entre 5-15% cuando se consideran los Coliformes Fecales en el cálculo del índice global.

En las siguientes figuras (Figura 5.8 a y b) se puede observar mediante la disminución del índice ICA-NSF, que la calidad del agua va disminuyendo desde las nacientes de cada uno de los arroyos hacia la confluencia de los mismos.

<i>Clasificación de la Calidad del Agua</i>	
Muy mala	
Mala	
Media	
Buena	

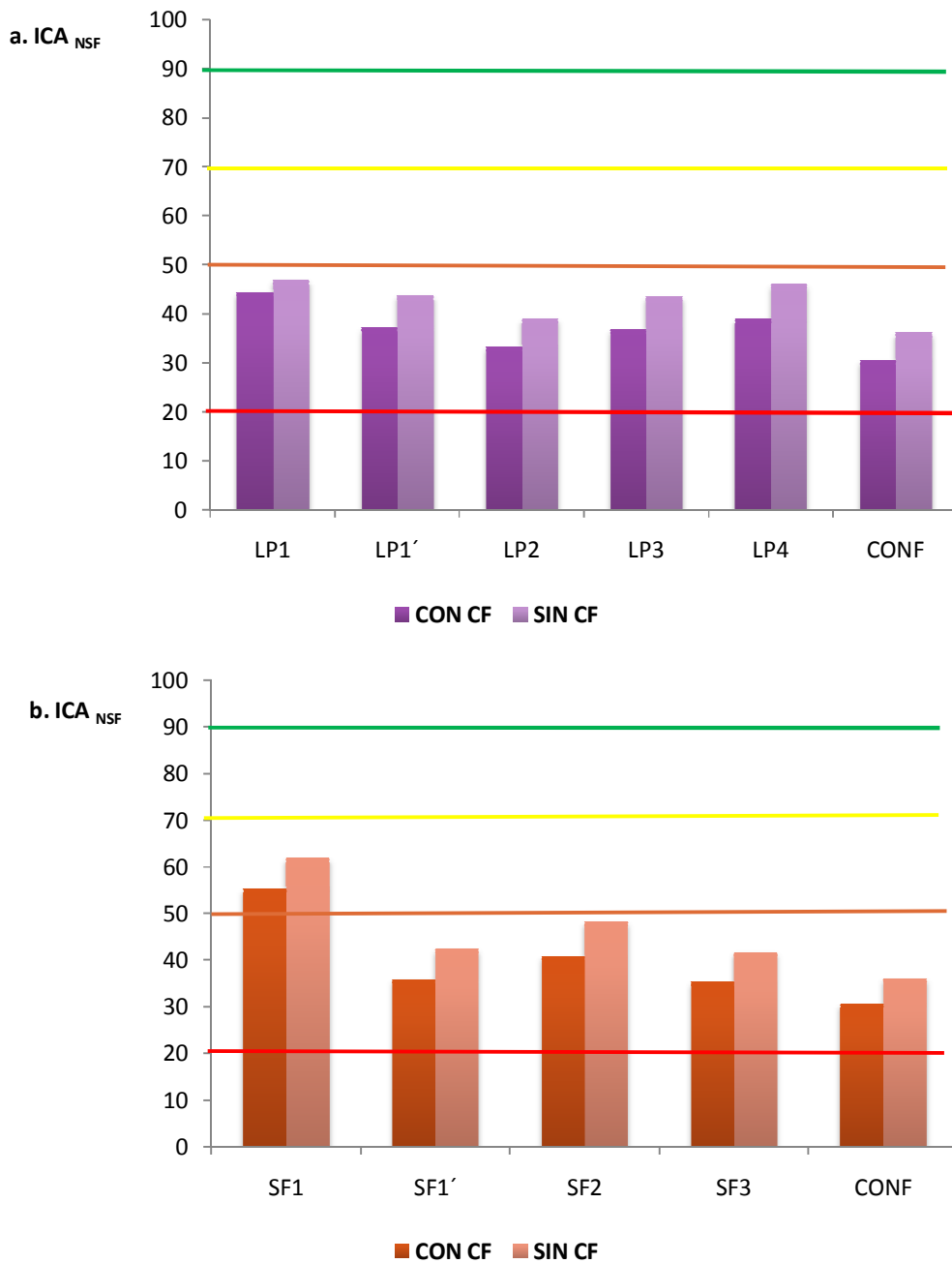


Figura 5.8. a. Valores de ICA-NSF del arroyo Las Piedras b. Valores de ICA-NSF del arroyo San Francisco, obtenidos en ambos escenarios.

5.1.3 Análisis de Sensibilidad del ICA-NSF

El análisis de sensibilidad determina la influencia concreta que cada parámetro de entrada tiene en las variables de salida de una determinada función o modelo. Para un

determinado incremento de los valores que se ingresan para un dado parámetro podremos conocer cuál es el efecto relativo que tiene dicha variación en cada una de las variables de salida. Los resultados de un análisis de sensibilidad pueden ser utilizados para validar un modelo, advertir sobre el comportamiento del modelo realista, señalar supuestos importantes, ayudar a formular la estructura del modelo, simplificar el modelo, sugerir nuevos experimentos, guiar los esfuerzos de recopilación de datos futuros, sugerir la precisión en los cálculos del parámetros, ajustar los valores numéricos de los parámetros, elegir la extensión del análisis, asignar recursos, detectar criterios críticos, sugerir tolerancia para la fabricación de piezas e identificar factores de costo.

En esta sección se realizó un análisis de sensibilidad sobre la ecuación del ICA-NSF, tomando en consideración los parámetros constituyentes escogidos, con el propósito de precisar cuán influenciado podría estar el resultado final de ICA con respecto a alguno de los constituyentes.

El conocimiento de la sensibilidad relativa es consecuencia de un análisis de sensibilidad de primer orden.

Para este análisis de sensibilidad inicialmente, se calculó la sensibilidad relativa de cada constituyente con respecto al ICA. La ecuación 2 ilustra cómo se computó la sensibilidad relativa. El método usado se conoce como “método de perturbación”. Generalmente el valor del constituyente es perturbado $\pm 10\%$, sin embargo en este estudio se utilizó como valor del constituyente perturbado al hallado en el ambiente, y el resultado en el valor del ICA es comparado con el ICA-NSF estándar calculado con niveles de referencia de cada parámetro constituyente.

$$S_r = \frac{\Delta ICA}{\Delta Constituyente} * \frac{Estandar_{Constituyente}}{ICA_{Estandar}}$$

donde:

ICA Estándar = ICA obtenido por los estándares de calidad mínimos.

ΔICA = la diferencia entre el *ICA Estándar* y el ICA obtenido al modificar el valor del constituyente.

$\Delta Constituyente$ = la diferencia entre el estándar del constituyente y el valor modificado del constituyente.

Estándar Constituyente = valor estándar de cada constituyente, ilustrados en la Tabla 5.12.

Constituyentes	Nivel guía	Unidad
DBO₅*	3	mg.L ⁻¹
pH*	7	U de pH
OD*	54,52	% saturación
Nitratos*	10	mg.L ⁻¹
Coliformes Fecales*	200	NMP/100mL
Temperatura*	20	°C
Turbiedad**	50	NTU
Sólidos Totales**	500	mg.L ⁻¹
Fosfatos*	1	mg.L ⁻¹

Tabla 5.12. Valores de referencia utilizados para calcular el ICA-NSF estándar.

* Niveles guía adoptados por ACUMAR (apta para actividades recreativas con contacto directo/primario)/ WHO (2003) Guidelines for Safe Recreational Water Environments. Volume 1 - Coastal and Fresh Waters.

** Guidelines for Canadian Recreational Water Quality (Health Canada, 2012).

La tabla siguiente (Tabla 5.13) muestra los valores de sensibilidad relativa obtenidos para cada constituyente en orden descendiente. Es decir, del constituyente con mayor influencia al de menor influencia en el ICA.

Los valores negativos indican que el efecto en el ICA es inverso, es decir, si el valor del constituyente aumenta, el ICA disminuye y viceversa.

Constituyente	Sensibilidad relativa (Sr)	
	Aº Las Piedras	Aº San Francisco
OD	0,1660	0,1648
pH	-0,1507	-0,1140
Temperatura	-0,1376	-0,1380
Nitratos	-0,0851	-0,0824
Sólidos Totales	0,0584	0,0918
Fosfatos	-0,0479	-0,0398
Turbiedad	-0,0188	-0,0225
DBO	-0,0055	-0,0066
Coliformes Fecales	-0,0001	0,0000

Tabla 5.13: Valores de sensibilidad relativa.

De esta manera la sensibilidad relativa (Sr) representa la influencia de los parámetros de entrada sobre los de salida y sirve como indicador para una ordenación de los parámetros según estas influencias. Los parámetros que más afecten a los resultados deberán ser evaluados con mayor dedicación de recursos.

A la vista de los resultados obtenidos, se puede observar que los parámetros que más influencia tienen sobre el resultado final del ICA-NSF son: OD, pH y Temperatura y no así los parámetros CF y DBO.

Estos últimos, probablemente no influyen en gran medida en el valor final del ICA-NSF debido a que las funciones polinómicas diseñadas para este índice presentan un valor de corte límite que dejan fuera los altos niveles que ambos parámetros presentan en ambientes regionales.

5.2 Índices de Contaminación del Agua Superficial

Si bien el desarrollo de los ICA ha jugado un papel muy importante en el contexto ecológico y medio ambiental, sus debilidades constituyen un obstáculo importante para su aplicación, ya que al concentrarse en un único número la calidad de un cuerpo de agua, se produce una inmensa pérdida de información (en concordancia con Behar et al. 1997), y con ello, se enmascara la condición real y los cambios que se suceden sobre un curso hídrico. Como hemos señalado anteriormente, es importante recalcar que se pretende relacionar estos índices con indicadores biológicos de contaminación (Prat et al., 1986, Zúñiga et al., 1994). En razón de las limitaciones manifiestas en los

ICA, se presentan en este documento las formulaciones y fundamentaciones para el empleo de dos índices de contaminación (ICO), los cuales son complementarios en sentido ecológico y, por lo tanto, permiten precisar problemas ambientales, así como profundizar en la identificación de especies con potencial indicador.

El procedimiento seguido en la formulación de los ICO fue similar al empleado en el desarrollo de los ICA:

- Selección de variables físicas y químicas.
- Asignación de valores de calidad (0 a 1) a diferentes concentraciones de las variables, o establecimiento de una relación (ecuación) entre índice - variable, con base en legislaciones o parámetros definidos por diversos autores para diferentes usos del agua. Las variables fisicoquímicas que se involucraron en el cálculo de los ICO, al igual que los ICA, recayeron en condiciones generales de la calidad del agua y no en contaminantes específicos.

Sobre las coordenadas resultantes para cada variable, se llevó a cabo un análisis de regresión por cuadrados mínimos mediante modelos lineal, exponencial, logarítmico, parabólico, de potencia y recíproco, seleccionándose en cada caso aquella relación estadísticamente válida (95% de confiabilidad), que además de exhibir alto coeficiente de determinación (r^2), se ajustase a una relación esperada. Para dicho modelo se estableció la ecuación de regresión, es decir, entre índice y concentración de la variable. Después, aquellas variables que denotaron un mismo criterio de contaminación, fueron agrupadas en un único índice de contaminación. Si bien es posible construir cada índice con numerosas variables, los mismos por simplicidad y economía, deben recoger tan sólo unas pocas, sin ser conducentes a pérdida de información (Ramírez *et al.*, 1997; Álvarez *et al.*, 2006).

Cabe aclarar que los ICOS, a diferencia de los ICA, reflejan nula o baja contaminación cuando son próximos a cero y alta polución en la medida que se aproximan a uno. Sus rangos están asociados a los valores consignados en la tabla 5.13.

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

Tabla 5.13: Significancia de los índices de contaminación (ICO)

La escala de color acorde con los ICOS determinados, permite una rápida lectura de los resultados tanto sobre tablas como sobre figuras (Ramírez *et al.*, 1997).

Con base en las correlaciones referidas, se definieron los siguientes índices de contaminación:

5.2.1 Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO)

El índice de contaminación por materia orgánica se expresa en diferentes variables fisicoquímicas de las cuales se seleccionaron: 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.

El ICOMO es el valor promedio de los índices de cada una de las tres variables elegidas. En las tablas siguientes (Tabla 5.7 a, b, c) se exponen los parámetros tomados como referencia, cuyas variables individuales se grafican en las figuras 5.3-5.5.

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

- ✓ I_{DBO} : se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$I_{DBO} = -0,05 + 0,70 \log_{10} DBO(mg.L^{-1})$$

DBO mayores a 30 $mg.L^{-1}$ tienen $I_{DBO} = 1$

DBO menores a 2 $mg.L^{-1}$ tienen $I_{DBO} = 0$

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

$$I_{CT} = -1,44 + 0,56 \log_{10} CT (NMP/100mL)$$

CT mayores a 20.000 NMP/100mL tienen $I_{CT} = 1$

CT menores a 500 NMP/100mL tienen $I_{CT} = 0$

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

$$I_{OD\%} = 1 - 0,01 * OD\%$$

$OD\%$ mayores a 100% tienen $I_{OD\%} = 0$

Es importante señalar, que de manera general en los sistemas lóticos porcentajes de saturación mayores a 100% son ventajosos o indicativos de una muy buena capacidad de reaeración de los cursos hídricos. Para sistemas lénticos pueden reflejar graves problemas de eutrofización, por lo que sería aconsejable realizar determinaciones tanto en el día como en la noche.

a.

DBO ($g \cdot m^{-3}$)		
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

b.

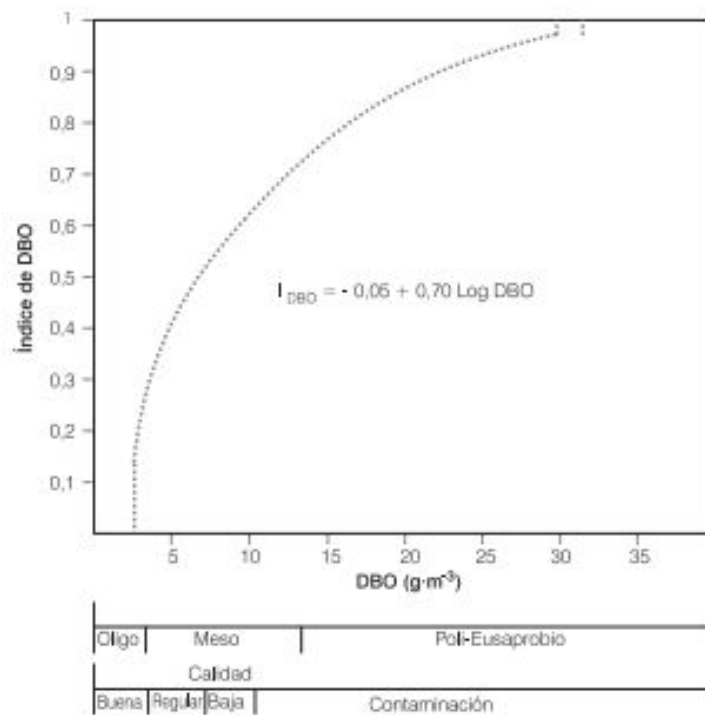
COLIFORMES TOTALES ($NMP \cdot 100 \text{ cm}^{-3}$)		
Concentración	Fuente	Calidad
50 - 100	TVA	Recreación
100 - 1.000	TVA	Recreo, pesca
0	RD	Potable
1.000	MS	Potable (desinfección). Contacto primario
5.000	MS	Agrícola. Contacto secundario
20.000	MS	Potable (tratamiento convencional)

C.

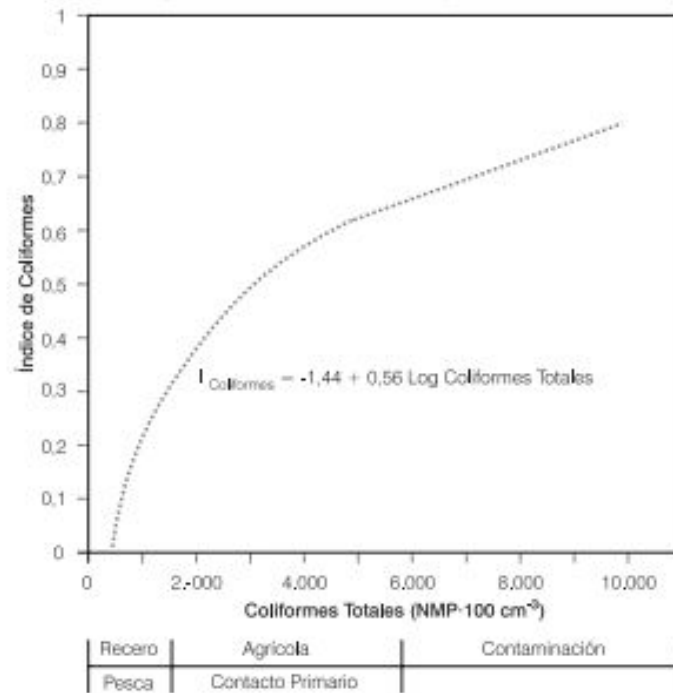
OXÍGENO (g·m ⁻³)		
Concentración	Fuente	Calidad
6,5 - 7,5	TVA	Recreación
5 - 7	TVA	Recreo, pesca
> 3	USA	Abastecimiento humano
> 4	USA	Vida piscícola
>4	MS	Preservación flora y fauna. Aguas cálidas
> 5	MS	Aguas frías
>75 %	CEE	Consumo humano
>70 %	MS	Contacto primario y secundario (recreación)

Tabla 5.14: Concentraciones de referencia de a. DBO, b. Coliformes Totales y c. Oxígeno disuelto.

a.



b.



c.

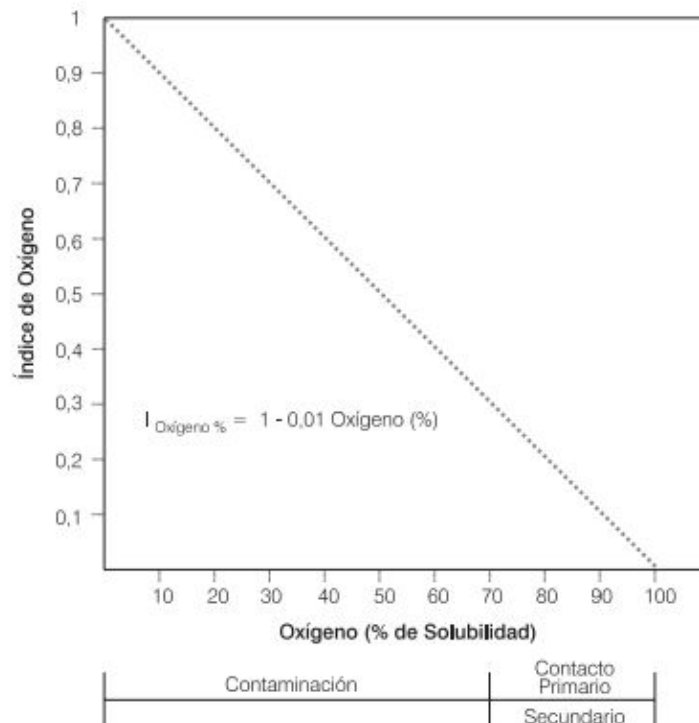


Figura 5.9: Índice de contaminación para a. DBO, b. Coliformes Totales y c. Oxígeno disuelto.

5.2.1.1 Aplicación del Índice de Contaminación por Materia Orgánica (ICOMO)

Utilizando los resultados obtenidos en el monitoreo físico-químico correspondientes a la campaña II de los arroyos Las Piedras y San Francisco, se aplicó el ICOMO consiguiendo una descripción de los mismos en cuanto a su contaminación por materia orgánica.

En los gráficos siguientes (Figuras 5.10 y 5.11) se puede observar el grado de contaminación de cada arroyo:

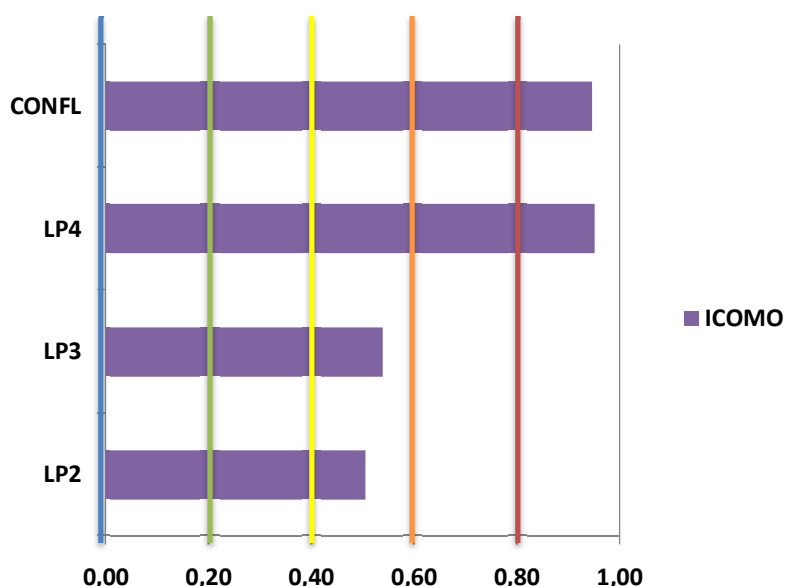


Figura 5.10. Resultados del ICOMO para el arroyo Las Piedras.

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

El caso del arroyo San Francisco resulta levemente mejor, ya que en todos sus sitios muestreados la contaminación por materia orgánica es MEDIA, a excepción de la

confluencia de ambos arroyos donde el grado de contaminación orgánica es MUY ALTO.

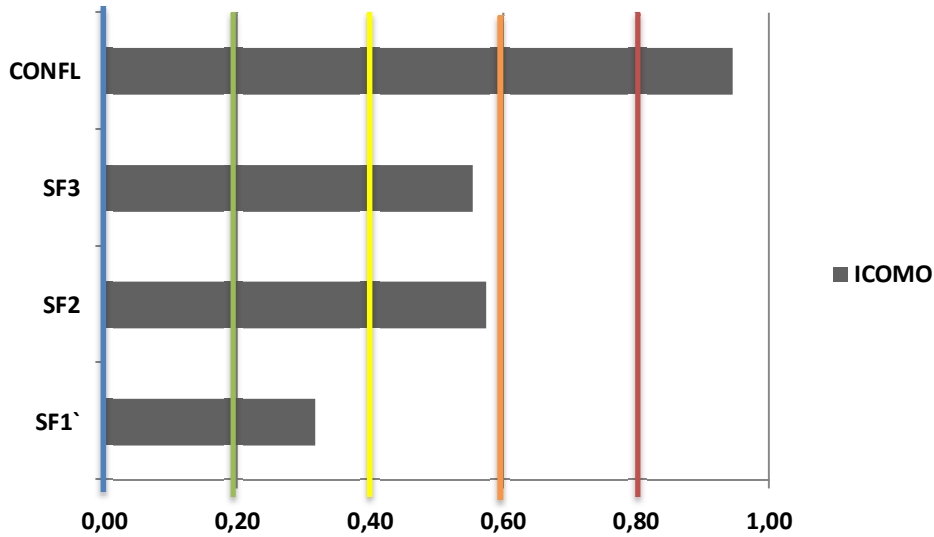


Figura 5.11. Resultados del ICOMO para el arroyo San Francisco.

5.2.2 Índice de Contaminación Trófica (ICOTRO)

El ICOTRO se fundamenta en la concentración del fósforo total. A diferencia de los índices anteriores, en los cuales se determina un valor particular entre 0 y 1, la concentración del fósforo total define por sí misma una categoría discreta a saber: Oligotrófico < 0,01 (mg.L⁻¹) Mesotrófico 0,01 - 0,02 (mg.L⁻¹) Eutrófico 0,02 - 1 (mg.L⁻¹) Hipereutrófico >1 (mg.L⁻¹) Las concentraciones de referencia empleadas se exhiben en la Tabla 5.9.

FOSFORO TOTAL (g·m ⁻³)		
Concentración	Fuente	Calidad
0,17	RD	Deseable potable
< 0,01	USEPA	Oligotrófica
0,01 - 0,02	USEPA	Mesotrófica
> 0,02	USEPA	Eutrófica

Tabla 5.9: Concentraciones de referencia de fósforo para el ICOTRO.

5.2.2.1 Aplicación del Índice de Contaminación Trófica (ICOTRO)

A partir de los valores hallados en ambos arroyos de fósforo total se calculó el ICOTRO, el cual como se puede observar en la figuras siguientes (Figuras 5.12 y 5.13) refleja que en el arroyo Las Piedras, la contaminación trófica es de tipo “Hipertrófica” en todos los sitios muestreados, mientras que el arroyo San Francisco resultó “Eutrófico” en los sitios medios de la cuenca (SF1 y SF2) e “Hipertrófico” en los sitios aguas abajo (SF3 y CONF).

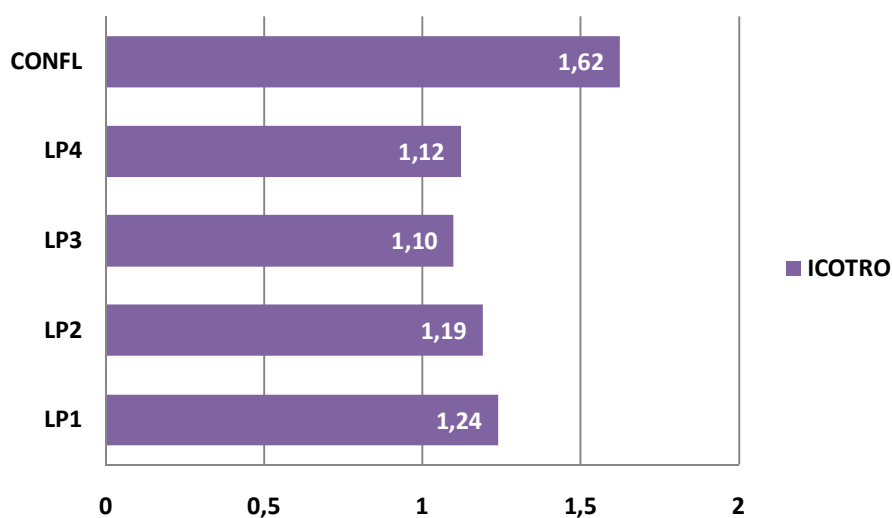


Figura 5.12: Resultados del ICOTRO para el arroyo Las Piedras.

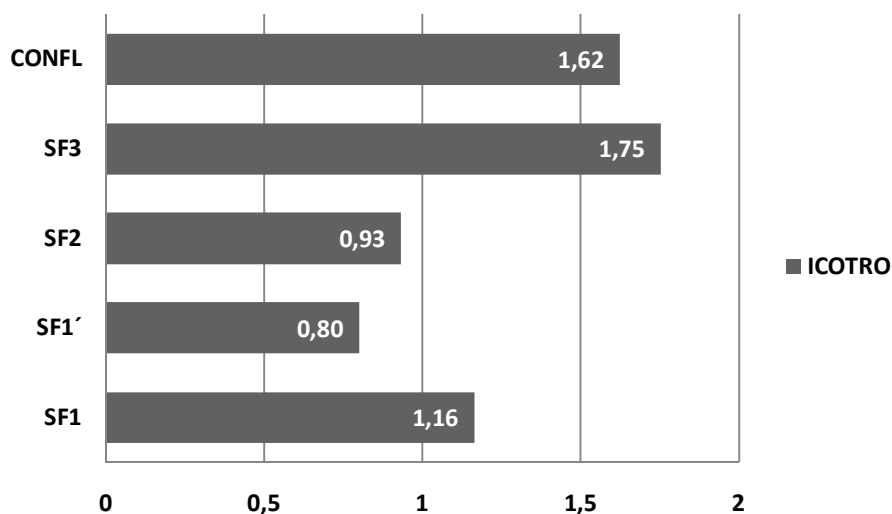


Figura 5.13: Resultados del ICOTRO para el arroyo San Francisco.

5.3 Evaluación de riesgo asociado a eventos de inundación en el área de estudio

Dadas las características relevadas en este estudio de la calidad del agua de los arroyos Las Piedras y San Francisco, de sus elevados niveles de contaminación en materia orgánica particularmente en Coliformes fecales, y de su complejo entorno con numerosos asentamientos instalados en sus márgenes con evidente ausencia de servicios básicos y por lo tanto de alta vulnerabilidad se propone analizar el riesgo al cual están sujetos en la actualidad y considerando eventos de inundación de recurrencia creciente en el marco del cambio climático.

5.3.1 Análisis de población afectada

Como valoración inicial de la posible cantidad de población que pudiera verse afectada por las condiciones de calidad del agua de los dos cursos en estudio ante un evento de desborde de los cauces (inundación), se propone el análisis de la cuenca a través del uso de imágenes satelitales combinadas con los datos de población del censo 2010 para el partido de Quilmes, utilizando para ello las herramientas informáticas asociadas a un Sistema de Información Geográfica (GIS por sus siglas en

inglés). Para este análisis se recurrió a la metodología propuesta por ERDAS Field Guide (1999) y se contó con la asistencia técnica específica en sistemas GIS por parte del Técnico Santiago Castellano.

En primera instancia se seleccionó el área de trabajo y se obtuvieron las imágenes satelitales de uso libre a partir de resolución 45 m x 45 m para la zona de estudio. Sobre esta información se procedió a elaborar el Modelo Digital del Terreno (MDT), que representa los puntos de igual cota sobre el terreno (Figura 5.14).

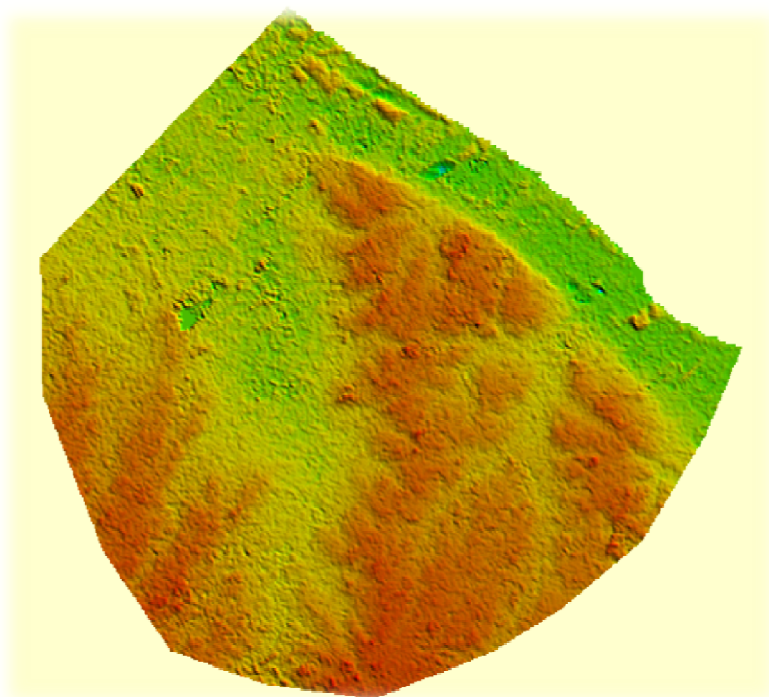


Figura 5.14. Modelo Digital del Terreno (MDT)

Sobre este modelo se cargó la cartografía digital con los polígonos de radios censales de la totalidad del Partido de Quilmes, correspondiente al censo nacional 2010 (Figura 5.15).

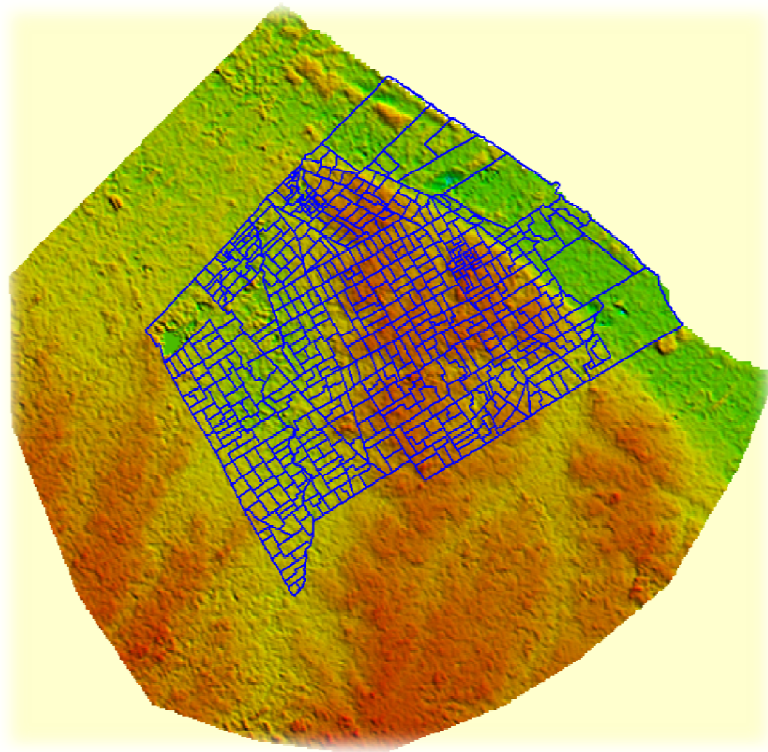


Figura 5.15. Modelo Digital del Terreno con superposición de Radios Censales

Atento a que esa escala incorpora la totalidad del partido, y lo que se busca puntualmente es analizar la posible afectación de la población asentada en la cuenca de los arroyos San Francisco y Las Piedras en el partido de Quilmes (Figura 5.16) por contacto con el agua de los mismos ante eventos de crecidas de distinta magnitud, se reduce la zona de análisis a dicha cuenca, la cual ha sido muestreada en relación a parámetros representativos de calidad.

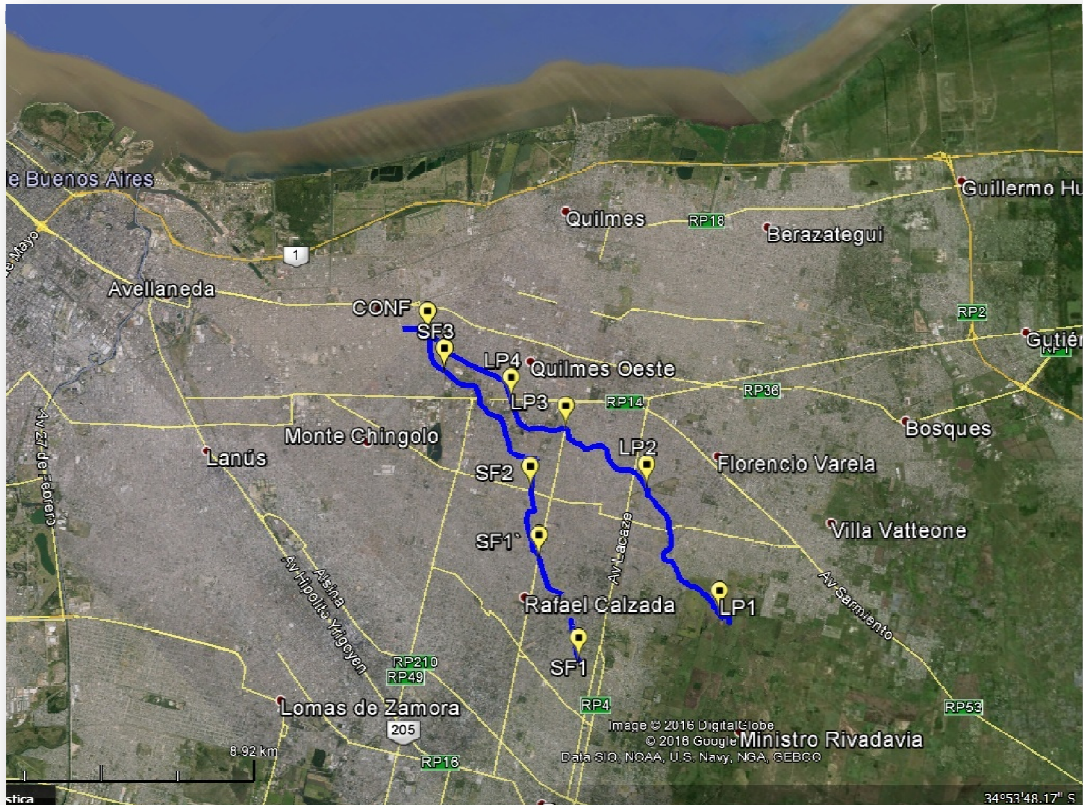


Figura 5.16. Zona de análisis (fuente Google Earth™)

Sobre el área de estudio y a partir del MDT, se obtiene el plano de curvas de nivel para la cuenca, el cual se presenta en la Figura 5.17.

El mismo ha sido confeccionado para una equidistancia (separación entre curvas de nivel) de 2 metros. Se probó una equidistancia menor a efectos de tener mayor detalle de curvas (1 metro) pero dada la topografía del terreno, donde las bajas pendientes predominan en la región, el resultado arrojó un modelo de curvas muy compacto y con gran dificultad de análisis y pobre calidad de imágenes.

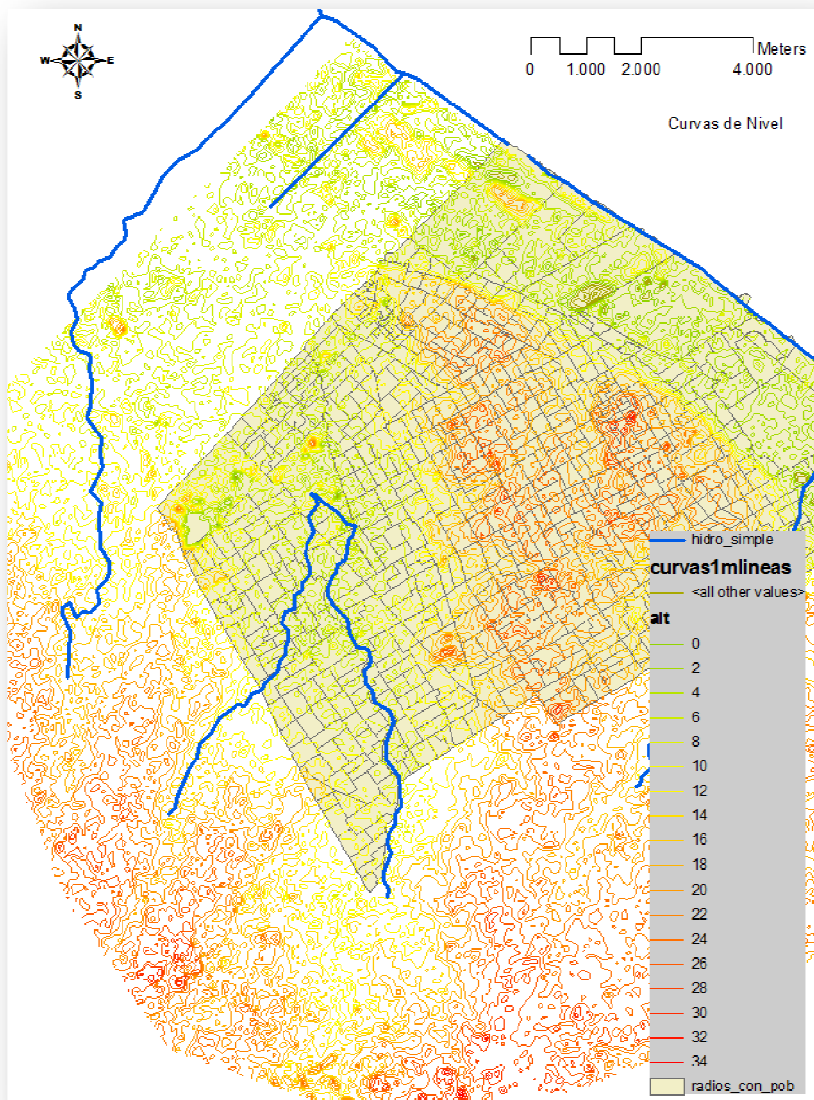


Figura 5.17. Plano de curvas de nivel

En segunda instancia se procedió a trabajar con los radios censales y los datos del Censo 2010 sobre los registros del partido de Quilmes, a partir de base de datos Excel.

Para ello se identificó la información censal requerida en esta instancia (población) presente en los registros en Excel y se la convirtió exportándola a formato .dbf del sistema de información geográfico (GIS) mediante el programa informático

desarrollado por el grupo ERDAS (ERDAS Software Engineers, www.erdas.com) como se aprecia en las tablas 5.15.

Población mayor e igual a 14 años por condición de actividad económica.

Partido de Quilmes. Año 2010.

CLAVERA	COD PART	COD LOC	FRACCION	RADIO	TIPO	N2	n1	OID	N1 1	N2 1	N3
066586582004	658	658	20	04	URBAN	4	20	3	20	4	964
066586582009	658	658	20	09	URBAN	9	20	8	20	9	1504
066586582008	658	658	20	08	URBAN	8	20	7	20	8	1125
066586581908	658	658	19	08	URBAN	8	19	7	19	8	649

Fracción	Radio Censal	Población Total	Total PEA	PEA		PNEA Inactivo
				Ocupado	Desocupado	
01	01	5	2	2	0	3
01	02	930	582	548	34	348
01	03	803	564	532	32	239
01	04	573	367	352	15	206
01	05	718	475	446	29	243
01	06	798	511	468	43	287
01	07	580	360	340	20	220
01	08	584	390	373	17	194
01	09	777	501	460	41	276
01	10	1.419	993	932	61	426
01	11	7	5	4	1	2
01	12	81	58	58	0	23
01	13	60	44	44	0	16
Fracción 01		7.335	4.852	4.559	293	2.483
02	01	234	169	153	16	65
02	02	607	441	419	22	166
02	03	666	470	416	54	196
02	04	747	510	476	34	237

Tablas 5.15. Selección de registros censales de Quilmes en Excel y exportación a .dbf del GIS.

De esta forma se obtiene la tabla 5.16 y la información poligonal de radios censales con población (Figura 5.18):

radios_con_pob													
FID	Shape	CLAVERA	COD PART	COD LOC	FRACCION	RADIO	TIPO	N2	n1	OID	N1 1	N2 1	N3
319	Polygon	066586582004	658	658	20	04	URBAN	4	20	3	20	4	964
320	Polygon	066586582009	658	658	20	09	URBAN	9	20	8	20	9	1504
321	Polygon	066586582008	658	658	20	08	URBAN	8	20	7	20	8	1125
322	Polygon	066586581908	658	658	19	08	URBAN	8	19	7	19	8	649

Tabla 5.16: Información poligonal de los radios censales, Quilmes.

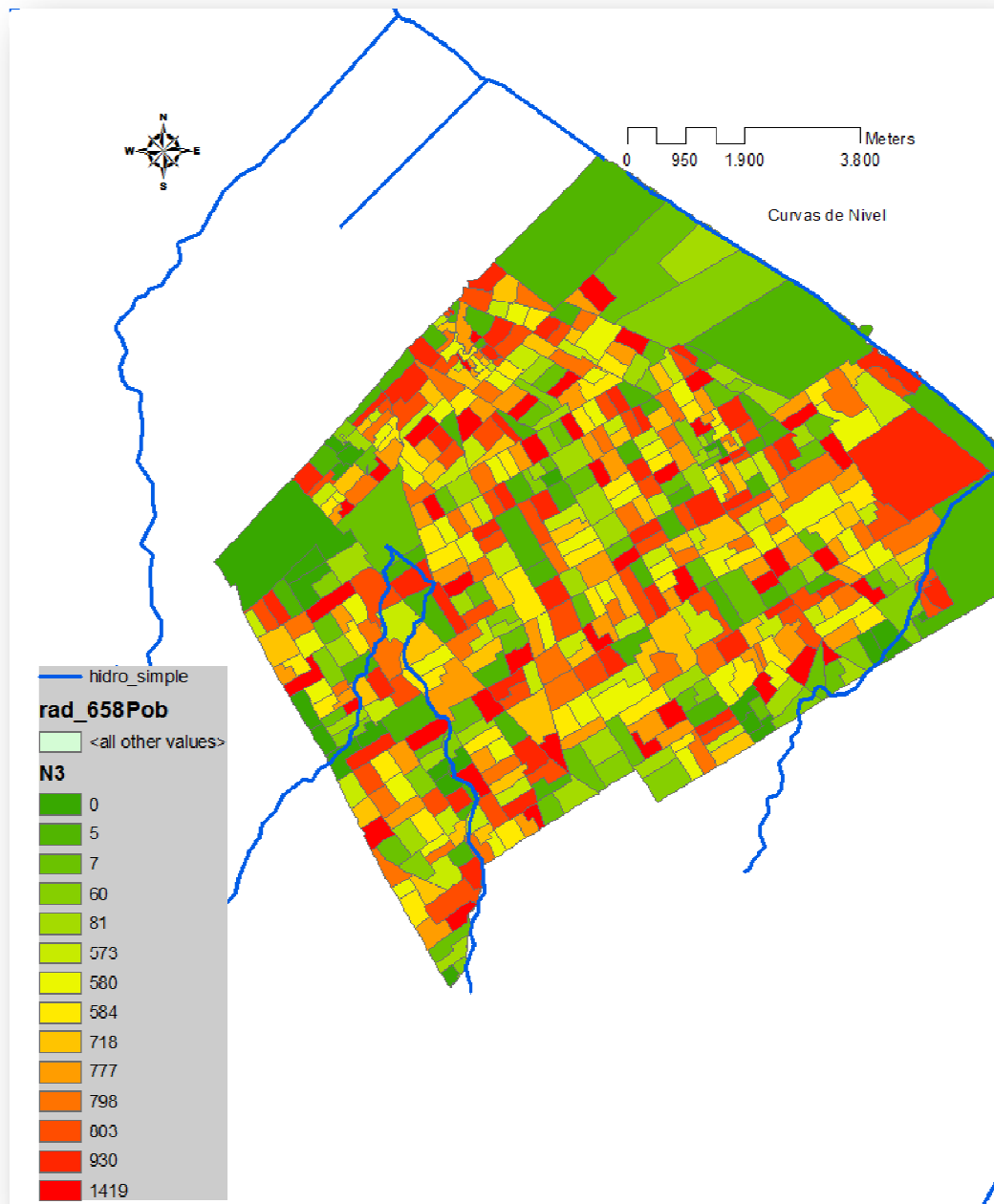


Figura 5.18. Información poligonal de radios censales con población.

El siguiente paso fue calcular la superficie total de cada uno de los radios censales, tal como se ejemplifica en la tabla 5.17, extraída de una captura del programa de cálculo.

CLAVERA	COD PART	COD LOC	FRACCION	RADIO	TIPO	N2	n1	OID	N1 1	N2 1	N3	suptot
066586584414	658	658	44	14	URBAN	14	44	13	44	14	504	59330.1
066586584404	658	658	44	04	URBAN	4	44	3	44	4	1591	199650
066586584408	658	658	44	08	URBAN	8	44	7	44	8	1122	164166
066586584412	658	658	44	12	URBAN	12	44	11	44	12	1100	121707
066586584401	658	658	44	01	URBAN	1	44	0	44	1	918	103981

Tabla 5.17. Superficie total de cada radio censal.

Luego a partir de la imagen raster (Figura 5.19) se extraen las alturas desde la menor a la mayor cada dos metros, y se las transforma en polígonos cerrados (Figura 5.20) para finalmente cortar con cada uno de estos polígonos de curva a los polígonos de radios censales con población (Figura 5.21).

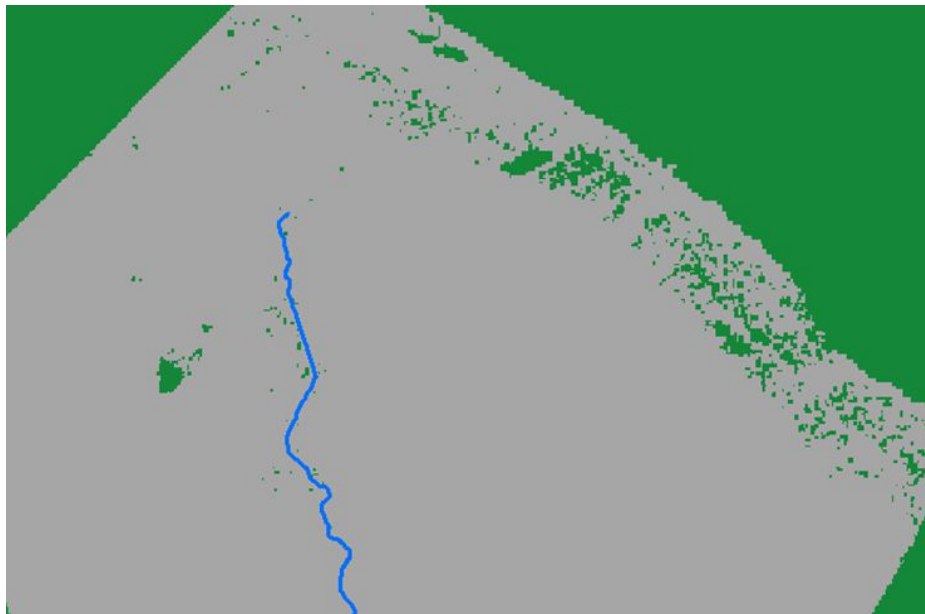


Figura 5.19. Ejemplo imagen raster con pixeles cada 2 metros de altura.

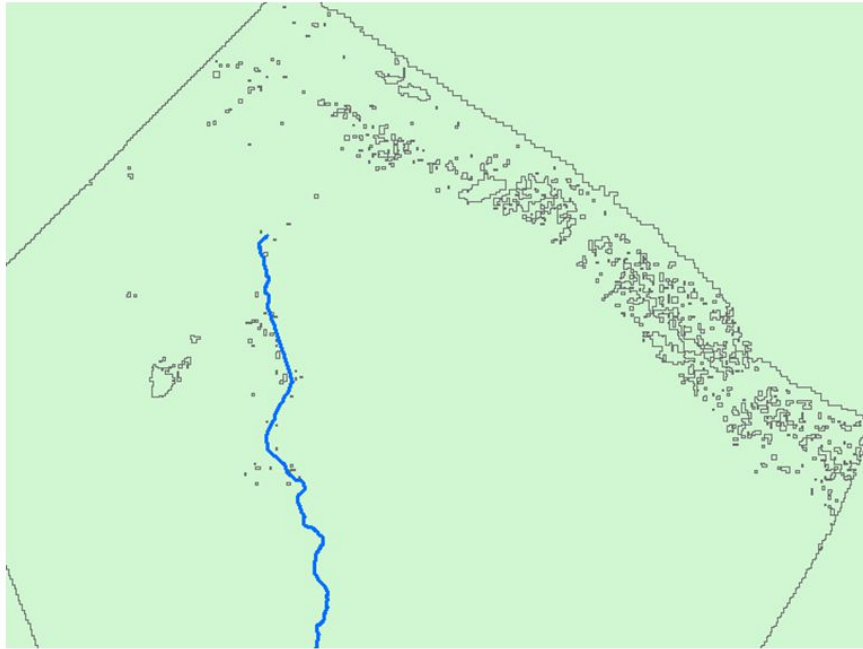


Figura 5.20. Alturas transformadas en polígonos cerrados.

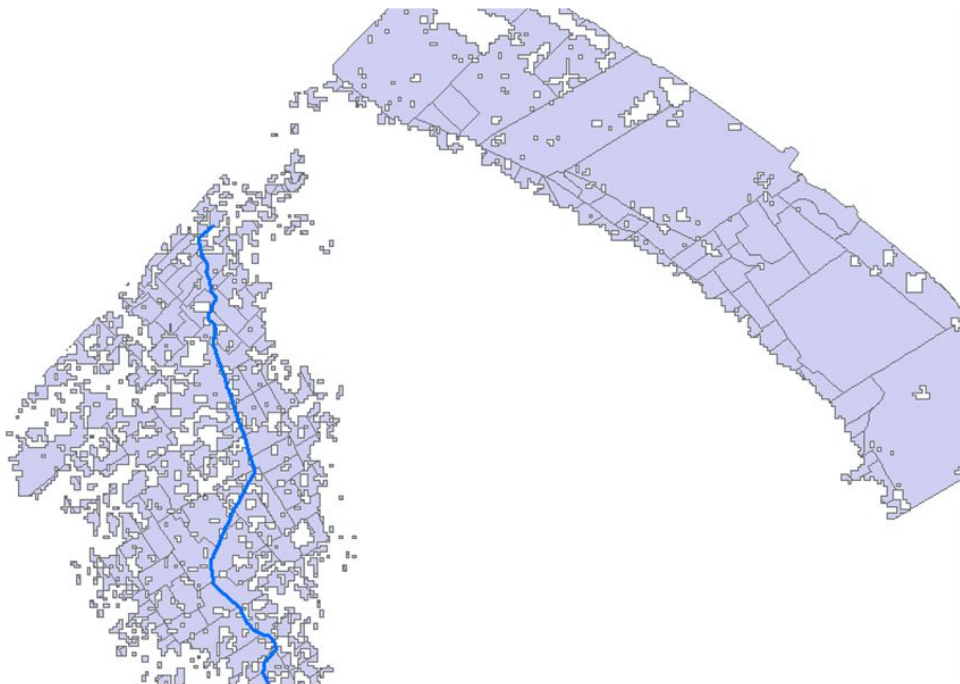


Figura 5.21. Cruce de polígonos de curvas de altura con los de radios censales (ejemplo curva 8 m).

Se recalculó entonces la superficie obtenida de cada radio censal cortado por cada polígono de curva obteniéndose el porcentaje de radio censal cortado por la curva, y se correlacionó luego con la información total de población de ese radio censal, resultando la cantidad de población comprendida en esa curva de nivel (tabla 5.18)

	Superficie total	Superficie cortada por la curva		
N3	suptot	suppar	gente	curva
159	199650	1806,81	14	8
918	103981	9865,63	87	8
104	116248	3885,73	35	8
113	305044	11735,7	44	8
957	136079	16049	113	8
877	64454.3	32722.8	445	8

Poblacion total

Poblacion relacionada a la superficie cortada Por la curva

Tabla 5.18. Población comprendida en la curva de nivel de 8 m.

Cuando se unen todos los subconjuntos de cortes de radios censales mediante las curvas se crea una única capa GIS con la información de la población comprendida en cada curva de nivel en el área afectada por los dos arroyos en estudio.

Si consideramos que dichas curvas de nivel serán los niveles a donde alcance el agua para diferentes crecidas de los arroyos, es factible suponer que esa población comprendida en la curva de nivel alcanzada por la inundación será la que se verá en contacto con el agua, sufriendo las consecuencias no sólo de pérdidas materiales y efectos sobre su integridad física producto de la crecida, sino también efectos sobre su salud debido a la mala calidad del recurso hídrico con el que estarán en contacto.

Los colores del mapa (Figura 5.22) representan un índice de riesgo basado en la altura de la curva afectada (altura del agua) y la cantidad de población involucrada dentro de

esa curva. El color verde representa menor cantidad de población afectada y el rojo mayor cantidad.

No obstante es de destacar que las zonas cercanas a los cauces son las de mayor afectación, aun cuando figure en verde, atento a que se dan dos condiciones que no pueden obviarse en absoluto.

Por un lado las tablas de población no reflejan la real cantidad de habitantes en las zonas marginales de los arroyos ya que no han sido censados por el INDEC y debido a que desde el año 2010 hasta la actualidad existe un proceso creciente de asentamiento de viviendas precarias que ocupan estas áreas vulnerables, como fuera señalado en el capítulo introductorio y puesto en evidencia mediante imágenes fotográficas.

Por otro, la *recurrencia* de las inundaciones (término técnico utilizado en hidráulica para referirse al período de tiempo medio en que un evento de crecida es igualado o superado) es mucho más baja, es decir son mucho más frecuentes para cotas bajas que para aquellas de mayor nivel (la recurrencia de una crecida que llegue a los 6 metros de altura es muchísimo mayor que una que llegue a los 2 metros).

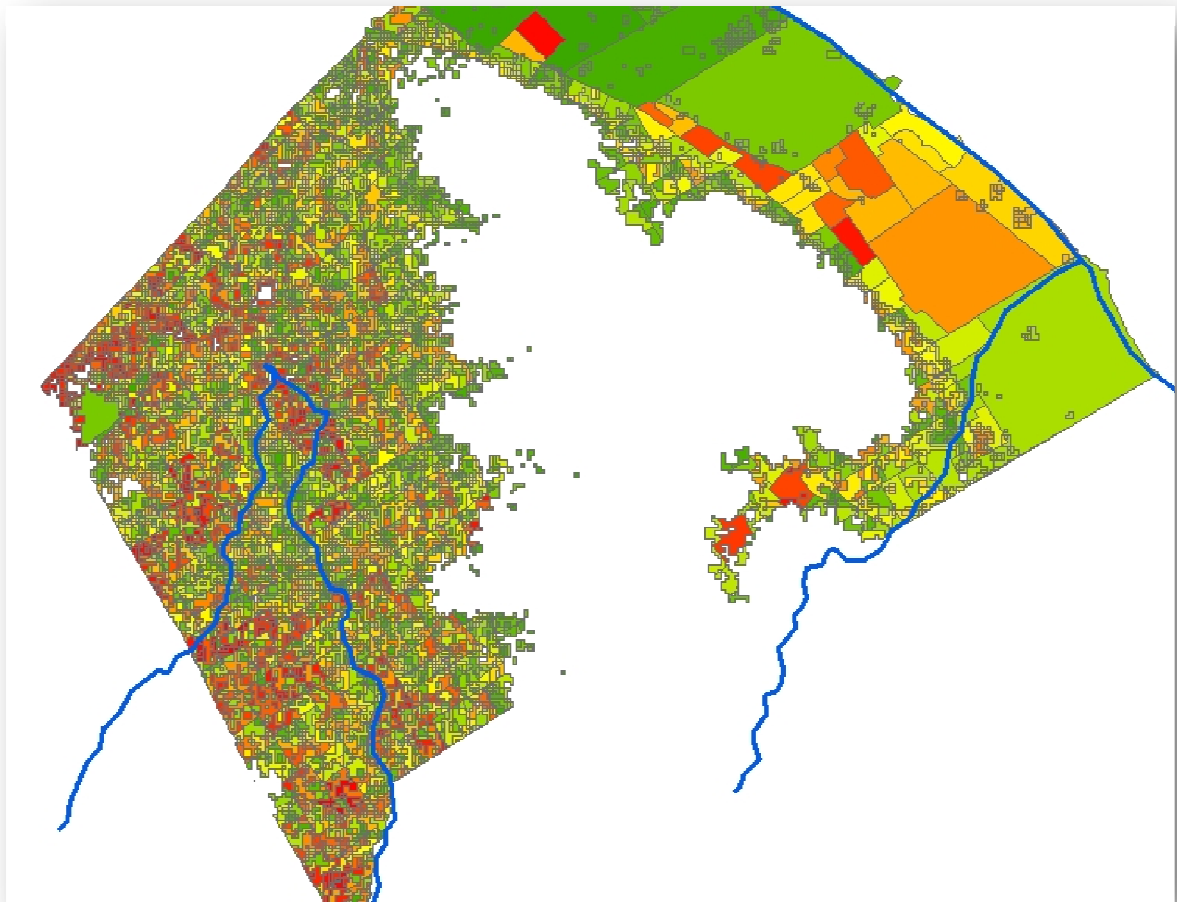


Figura 5.22. Población alcanzada en cada curva de nivel. El análisis contempló hasta una altura de 15 metros (7 curvas de nivel de equidistancia 2 metros).

Finalmente en la Figura 5.23 se observa el gráfico acumulado de población afectada a medida que la inundación va superando las distintas curvas de nivel.



Figura 5.23. Población afectada a medida que se supera cada curva de nivel.

Como se puede observar en el gráfico, para niveles de inundación bajos, menores a 5 m, lo cual sucede frecuentemente en la zona, la población afectada sería de 9.275 habitantes. Prácticamente un 10% de la población vulnerable censada por la Municipalidad de Quilmes en el Censo Social 2010. De todas maneras, es importante destacar nuevamente que la base de datos utilizada para desarrollar este índice de riesgo corresponde al censo nacional 2010 (INDEC), subestimando de esta manera a aquella población que surgió posteriormente y que se ubicó en las áreas más vulnerables de la cuenca.

5.4 Conclusiones parciales

Según los resultados obtenidos en este estudio y en consonancia con informes realizados por entidades provinciales, e incluso por la COLCIC que pone de manifiesto la percepción de quienes habitan en la cuenca; ambos cuerpos de agua presentan un grado de deterioro importante con 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 y a la descarga de efluentes con elevada carga orgánica.

La consideración del parámetro “Coliformes fecales” en el cálculo del ICA-NSF, puso de manifiesto su influencia en el valor total del Índice de Calidad del Agua de estos

arroyos, variando éste entre un 5-15%. Sin embargo, los resultados hallados en el análisis de sensibilidad relativa demuestran que las variables CF y DBO no influirían en gran medida en el valor final del ICA-NSF. Por este motivo podríamos asumir que las ecuaciones polinómicas utilizadas en el cálculo del ICA-NSF y las variables que comprende, no se ajustan a las características de calidad de éstos arroyos. Ya que por otro lado, tanto los valores de los parámetros (CF, OD y DBO) como los resultados obtenidos por la aplicación del ICOMO, evidencian una importante contaminación por materia orgánica.

El Índice de Calidad del Agua ICA-NSF resultó una herramienta relativamente sencilla de aplicar, que refleja una situación crítica respecto a la calidad de los cuerpos de agua analizados, calificándola como “mala” en la mayoría de los casos. Sin embargo, es importante destacar que dicho índice no se ajusta al grado y tipo de contaminación que presentan en general los arroyos del conurbano bonaerense.

A diferencia del ICA, los ICOS presentan una descripción más adecuada y dirigida al tipo de contaminación que presentan los arroyos estudiados. En efecto utilizan funciones matemáticas sencillas que contemplan situaciones de contaminación elevadas, tal como ocurre en estos cuerpos de agua.

Para realizar un diagnóstico de calidad que se aplique a la situación regional evidentemente el índice de calidad de agua evaluado en este trabajo, ICA-NSF no logra representar la situación adecuadamente. Por otro lado, los ICOS resultaron de gran utilidad para representar la contaminación de los arroyos aludidos, con la ventaja adicional de requerir menor cantidad de parámetros a evaluar.

Respecto al análisis del riesgo de inundación y la población afectada, queda en evidencia que mediante la metodología aplicada se logra identificar la cantidad de población vulnerable no sólo a los eventos de inundación, sino también a la mala calidad del agua y las amenazas que esta situación supone para su salud.

Se pone de manifiesto que este tipo de evaluación de riesgo resulta una herramienta útil y debería ser aplicada de manera regular en estudios regionales por parte de los organismos de gestión para establecer límites de urbanización, zonas de riesgo de inundación, áreas de conservación de recursos entre sus aplicaciones más destacadas.

[TESIS DOCTORAL- LIC. ELORDI M. LUCILA]

[CAPÍTULO VI:]

[Conclusiones]

[2016]

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

[180]

6. Conclusiones

Conscientes de la situación ambiental de los cursos de agua superficiales del conurbano bonaerense, los cuales presentan alta carga de materia orgánica sumado a niveles bajos de oxígeno disuelto, niveles microbiológicos elevados, alta densidad poblacional en sus márgenes y vuelcos industriales directos; este trabajo de tesis se propuso estudiar la situación antes planteada y analizar posibles relaciones entre los distintos elementos, haciendo énfasis en el riesgo asociado a la salud de la población involucrada, mediante indicadores microbiológicos.

En tal sentido, dada la degradación ambiental que presenta la zona (contaminación visual, anoxia en los cursos de agua, olores desagradables e irritantes, presencia de basura y vectores asociados, asentamientos precarios sin servicios básicos), fueron seleccionados los arroyos Las Piedras y San Francisco en su tramo correspondiente al partido de Quilmes.

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

Este crecimiento de la urbanización desordenada se suma a la condición sanitaria precaria preexistente que se puede caracterizar por la ausencia de sistemas de desagües cloacales en un 21,52% y en provisión de agua un 7,92%. Dado que una actividad muy frecuente en esta población es la recuperación de elementos vendibles a partir de los residuos urbanos la condición sanitaria se agrava.

El análisis de las muestras de agua recogidas en las distintas campañas de monitoreo pone de manifiesto un potencial y grave problema ambiental, en cuanto a la mala calidad microbiológica (superando en general los 150.000 NMP/100mL de CF) y preocupantes valores de parámetros físico-químicos de sus aguas, a las cuales más de 100.000 habitantes se encuentran expuestos diariamente, de acuerdo con el censo

social realizado por la Municipalidad de Quilmes en el año 2010. Por otro lado, los resultados parasitológicos preliminares permitieron identificar a *Blastocystis* spp., un buen indicador de contaminación fecal. Con respecto a los sedimentos, la situación se agrava considerando el alto contenido de metales pesados presentes en éstos, probablemente formando sulfuros metálicos de muy baja solubilidad. Comparando los valores de los parámetros evaluados en cada estación de monitoreo se evidencia un deterioro progresivo, e incluso histórico, aguas abajo en ambos cuerpos de agua.

Se lograron identificar posibles agentes causales de enfermedades mediante el uso de herramientas metagenómicas con un rango de 16 a 40,8 % de las bacterias en agua superficial y entre 7 – 9,3% en sedimento. La aplicación de los índices de diversidad de Shannon y Simpson reflejan un alto grado de diversidad en ambas matrices de los arroyos estudiados, sin embargo desde el punto de vista del estudio de abundancia, deberían realizarse estudios complementarios considerando que, el número de copias genómicas del gen 16S varía en gran medida de uno en muchas especies a un máximo de 15 en algunas bacterias.

Respecto a la aplicación del índice de calidad ICA-NSF, la consideración del parámetro “Coliformes fecales”, puso de manifiesto su influencia en el valor total del ICA de estos arroyos, variando éste entre un 5-15%. Por otro lado, los valores de los parámetros (CF, OD y DBO) indican una situación crítica respecto a la calidad de los cuerpos de agua analizados, calificándola como “mala” en la mayoría de los casos.

Sin embargo, los resultados hallados en el análisis de sensibilidad relativa demuestran que las variables CF y DBO no influirían en gran medida en el valor final del ICA-NSF. Esto podría explicarse debido a los altos niveles ambientales de CF y DBO superando en varios órdenes de magnitud al nivel de corte de las ecuaciones polinómicas utilizadas por el ICA-NSF.

A diferencia del ICA, los ICOS presentan una descripción más adecuada y dirigida al tipo de contaminación que presentan los arroyos estudiados. En efecto utilizan funciones matemáticas sencillas que contemplan situaciones de contaminación elevadas, tal como ocurre en estos cuerpos de agua. Para realizar un diagnóstico de

calidad que se aplique a la situación regional evidentemente el índice de calidad de agua evaluado en este trabajo, ICA-NSF no logra representar la situación adecuadamente. Por otro lado, los ICOS resultaron de gran utilidad para representar la contaminación de los arroyos aludidos, con la ventaja adicional de requerir menor cantidad de parámetros a evaluar.

Respecto al análisis del riesgo de inundación y la población afectada se logró identificar la cantidad de población vulnerable no sólo referida a eventos de inundación, sino también en relación a la mala calidad del agua y las amenazas que esta situación conllevan para su salud. Por tal motivo se propone la aplicación de este tipo de evaluación de riesgo en estudios regionales para establecer límites de urbanización, zonas de riesgo de inundación, áreas de conservación de recursos, entre otras circunstancias.

[TESIS DOCTORAL- LIC. ELORDI M. LUCILA]

[CAPÍTULO VII:]

[Referencias]

[2016]

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

[184]

7. Referencias

Acosta V., Lodeiros C., Senior W. y Martínez G., Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia*, 27(12): 686-690, 2002.

ADA (Autoridad del Agua), Resolución 336/2003. ANEXO II: Parámetros de Calidad de las Descargas Límite Admisibles, 2003.

Albert L. Curso Básico de Toxicología Ambiental, Noriega Editores, México, 310 Pp., 1999.

Álvarez A., Rubiños Panta JE., Gavi Reyes F., Alarcón Cabañero JJ., Hernández Acosta E., Ramírez Ayala C., Mejía Sáenz E., Pedrero Salcedo F., En: Nicolás, Salazar Sosa E., "Water quality in the basin of the Amajac river, Hidalgo, Mexico: Diagnosis and prediction". *Phyton. International Journal of Experimental Botany*, 75: 71-83, 2006.

Asanoa T. y Cotruvo JA., Groundwater recharge with reclaimed municipal wastewater: health and regulatory considerations, *Water Research*. 38:1941-1951, 2004.

Ashbolt NJ., Grabow WOK., Snozzi M., Indicators of microbial water quality. In: Fewtrell L., Bartram J. (Eds.), *Water Quality: Guidelines, Standards and Health. Risk assessment and management for water-related infectious disease*. IWA Publishing, London (Chapter 13), pp. 289-315, 2001.

Batterman S., Eisenberg J., Hardin R., Kruk ME., Lemos MC., Michalak AM., Mukherjee B., Renne E., Stein H., Watkins C. y Wilson ML., "Sustainable Control of Water-Related Infectious Diseases: A Review and Proposal for Interdisciplinary Health-Based Systems Research", *Environmental Health Perspectives*. 117 (7): 1023-1032, 2009.

Behar R., Zúñiga M del C y Rojas O., Análisis y valoración del Índice de calidad del agua (ICA) de la NSF: El caso de los ríos Cali y Meléndez (Cali - Colombia). Seminario Internacional sobre Macroinvertebrados Bentónicos como Bioindicadores de la Calidad del agua, Cali - Colombia, 1997.

Blázquez Rodea G., Fotodegradación de naftaleno en agua catalizada por óxido de titanio de tamaño nanométrico, Proyecto Fin de Carrera, Departamento de Ingeniería Química y Combustibles. E.T.S.I. de Minas de Madrid, 2003.

Bohn H., McNeal B. y O'Connor G. *Soil Chemistry*, 2da ed. Canadá: John Wiley & Sons, Inc, pp. 341, 2001.

Borrego J., Moriño M., De Vicente A., Córnaux R. y Romero P., Coliphages as an indicator of faecal pollution in water. Its relationship with indicator and pathogenic microorganisms. *Water Research*; 21: 1473-1480, 1987.

Botello A., Rojas J., Benítez J. y Zárata D., Contaminación e Impacto Ambiental: Diagnóstico y tendencias, EPOMEX Serie Científica 5, Golfo de México, Universidad Autónoma de Campeche, 666 Pp., 1996.

Brock D., Madigan M., Martinko J. y Parker J., Biology of microorganisms. Prentice-Hall international, Inc., 2000.

Brown RM., McClelland NI., Deininger RA. Y Tozer RG., A water quality index- do we dare?. Water and Sewage Works, 339-343, 1970.

Burkholder J., Eutrophication and oligotrophication. En: ASHER S. (ed.) Encyclopedia of biodiversity. Academic Press USA, 649-670, 2001.

Campos C., Indicadores de contaminación fecal en la reutilización de aguas residuales para riego agrícola. Tesis doctoral. Facultad de Biología. Universidad de Barcelona, 250 Pp., 1999.

Canosa A., Indicadores bacteriológicos de eutrofización en los embalses de Chuza, Neusa y Tominé, y en la laguna de Chingaza. Bogotá, Colombia: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Centro de Investigaciones Científicas, 1995.

Carmena D., Aguinagalde X., Zigorruga C., Fernandez-Crespo JC. And Ocio JA., Presence of Giardia cysts and Cryptosporidium oocysts in drinking water supplies in northern Spain. Journal of Applied Microbiology 102: 619-629, 2007.

Carrillo Castro AG. y Villalobos Alcázar R., Tesis: "Análisis Comparativo de los Índices de Calidad del Agua (Ica) de los Ríos Tecolutla y Cazonas en el período Marzo-Diciembre 2010". Universidad Veracruzana, Facultad De Ciencias Químicas, Región: Poza Rica – Tuxpam, 2011.

CCME (Canadian Environmental Quality Guidelines), Niveles Guía de Calidad de Sedimento, Protección de la Vida Acuática, 2002.

Censo Social Quilmes, Municipalidad de Quilmes, Subsecretaria de Desarrollo Social, 2010.

Chan L., Bundy DA., Kan SP., Trans R Soc Trop Med Hyg. 88 (1): 46-48, 1994.

Cooper PJ., Guevara A., Guderian RH., Rev Soc Bras Med Trop. 26(3): 175-180, 1993.

Craun G., Berger P., Calderón R., Coliform bacteria and waterborne disease outbreaks. J. Am. Water Works Ass, 89: 96-104, 1997.

De Vicente A., Codina J., Borrego C., Romero P., Relationship between Pseudomonas aeruginosa and bacteria indicators in polluted natural waters. Wat. Sc. Tech, 24: 121-24, 1991.

Debruyne L., Gevers D. y Vandamme P., Taxonomy of the family *Campylobacteraceae*. In: Nachamkin I., Szymanski C., and Blaser M., *Campylobacter*, 3rd ed. ASM Press, Washington, DC. 3-25, 2008.

Delfino V., Herlein T., Costas M., Kozubsky L., Rivera A., Vicente F., Magistrello P., Cardozo R., Parasitosis intestinales y contaminación ambiental parasitaria en un barrio periférico. M. XXI Congreso Latinoamericano de Parasitología. Guayaquil. Ecuador, 2013.

DeSantis T., Hugenholtz P., Larsen N., Rojas M., Brodie EL., Keller K., Huber T., Dalevi D., Hu P., Andersen GL., Green genes, a chimera-checked 16S rRNA gene database and workbench compatible with ARB Appl. Environ Microbiol., 72: 5069-5072, 2006.

Elordi ML., Colman Lerner JE y Porta AA., Estimación y evaluación de la calidad del agua de los arroyos Las Piedras y San Francisco mediante el Índice de Calidad del Agua WQI-NSF, Contaminación atmosférica e hídrica en Argentina: contribuciones de la IV Reunión Anual PROIMCA y II Reunión Anual PRODECA. Universidad Tecnológica Nacional, 207- 216, 2013.

Elordi ML., Digirónimo MC. y Porta AA. 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. Actas 7mo Congreso de Medio Ambiente AUGM UNLP, 2012.

EPA (Environmental Protection Agency). "The quality of our nation's water": Washington, D.C., 209 Pp., 1994.

EPA (Environmental Protection Agency). Office of Environmental Information, Emergency Planning and Community Right-to Know Act- Section 313: Guidance for Reporting Toxic Chemicals: Polycyclic Aromatic Compounds Category, EPA 260-B-01-03, 2008.

EPA (Environmental Protection Agency). Standing Committee of Analysts, The Microbiology of Drinking Water - Part 1 - Water Quality and Public Health, Methods for the Examination of Waters and Associated Materials. United States: Environment Agency, 2002.

EPA (Environmental Protection Agency). United States Environmental Protection Agency Method 1623: *Cryptosporidium* and *Giardia* in water by filtration/IMS/IFA, 2005.

ERDAS Software Engineers, www.erdas.com

Esrey SA. y Habicht JP., Epidemiologic evidence for health benefits from improved water and sanitation in developing countries. *Epidemiologic Reviews* 8: 117-128, 1986.

Esrey SA., Potash JB., Roberts L., y Shiff C., Effects of improved water supply and sanitation on ascariasis, diarrhoea, dracunculiasis, hookworm infection, schistosomiasis, and trachoma". Bulletin of the World Health Organization, 69(5), 609-621, 1991.

Esteves J., Gil M. y Harvey M., Evaluación de la contaminación por metales en sedimentos y materiales en suspensión de la cuenca Turbio-Gallegos, Informe Técnico N°12 del Plan de Manejo Integrado de la Zona Costera Patagónica. Puerto Madryn, Argentina, 21 Pp., 1996.

Fernández A., Molina M., Alvarez A., Alcántara M., Espigares A., Transmisión fecohídrica y virus de la hepatitis A. Higiene y Sanidad Ambiental, 1: 8-24, 2001.

Fernández N. y Solano F., Índices de Calidad de Agua e Índices de Contaminación. Aportes a su conocimiento y Análisis. Vicerrectoría de Investigaciones. Universidad de Pamplona, 2003.

Fernández N., Ramos G., Solano F., Icatest V 1.0 una herramienta para la valoración de la calidad del agua", Bistua, 2 (2): 88-97, 2004.

Fidel CH., Territorio, condiciones de vida y exclusión: el Partido de Quilmes, Provincia de Buenos Aires, Argentina / Carlos Hugo Fidel ; Raúl Di Tomaso ; Cristina Farías. - 1a ed. - Buenos Aires: Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales - CLACSO, 208 Pp., 2008.

Fischetti VA., Novick RP., Ferretti JJ., Portnoy DA., Rood JL., (editors) Gram-Positive Pathogens. ASM Press. ISBN 1-55581-166-3, 2000.

Flanagan SV., Johnston RB. and Zheng Y., Arsenic in tube well water in Bangladesh: health and economic impacts and implications for arsenic mitigation. Bull World Health Organ, 90:839-846, 2012.

Galárraga E., Algunos Aspectos relacionados con microorganismos en agua potable. Revista Politécnica de información técnica científica, 9: 135-43, 1984.

Gamboa MI., Basualdo JA., Kozubsky L., Costas E., Cueto Rua E. and Lahitte HB., European Journal of Epidemiology 14: 55-61, 1998.

Gamboa MI., Navone GT., Kozubsky L., Costas ME., Cardozo M., Magistrello P., Acta Bioquím Clín Latinoam., 43 (2): 213-8, 2009.

Godfree A., Kay D., Wyer M., Faecal streptococci as indicator of fecal contamination in water. Journal of Applied microbiology. Symposium Supplement., 83:110-119, 1997.

Gove JH., Patil GP., Swindel BF. y Taille C., Ecological diversity and Forest management. Handbook of statistics, 12, (eds G. P. Patil and C. R. Rao, Elsevier Science B. V.), 1994.

Guha-Sapir D., Vos F., Below R. and Ponserre S., Annual Disaster Statistical Review 2010: The Numbers and Trends. Brussels: CRED; 2011. http://www.cred.be/sites/default/files/ADSR_2010.pdf

Hart C. y Fuller S., Pollution Ecology of Freshwater invertebrates, Academic Press Inc., pp.389, 1974.

Harwood V., Levine A., Scott T., Chivukula V., Lukasik J, Farrah S, Rose J. Validity of the indicator organism paradigm for pathogen reduction in reclaimed water and public health protection. *Appl Environ Microbiol* 2005; 71:316-70.

Herrera J., Rodríguez J., Coto J., Salgado V., Borbón H., "Evaluación de metales pesados en los sedimentos superficiales del río Pirro", *Tecnología en Marcha*, 26 (1), pp. 27-36, (2012).

Ho HT., Lipman LJ. y Gastra W., *Arcobacter*, what is known and unknown about a potential foodborne zoonotic agent. *Vet. Microbiol.* 115:1-13, 2006.

Hurlbert SH., The Nonconcept of Species Diversity: a Critique and Alternative Parameters. *Ecology*, 52 (4): 577-586, 1971.

Hutton G. y Haller L., Evaluation of the Costs and Benefits of Water and Sanitation. Improvements at the Global Level. Water, Sanitation and Health, Protection of the Human Environment. World Health Organization, 2004.

INDEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos), 2010. <http://www.censo2010.indec.gov.ar/>

Indelman P., Echenique C., Bertorini G., Racca L., Gomez C., Luque A., Magaró H., Parasitosis intestinales en una población pediátrica de la ciudad de Rosario, Santa Fe, Argentina. *Acta Bioquím Clín Latinoam.* 45:329-34, 2011.

Ivanova E., Zhukova V., Gorshkova N., Chaikina E., Characterization of *Aeromonas* and *Vibrio* species isolated from a drinking water reservoir. *J. Appl. Microbiol.*, 90: 919-927, 2001.

Ivone Vaz-Moreira, Olga C. Nunes y Celia M. Manaia, Bacterial diversity and antibiotic resistance in water habitats: searching the links with the human microbiome. *FEMS Microbiol Rev.*, 1-18, 2014.

Janda J. y Abbott S. Human Pathogens. In: Austin B et al, eds. *The genus Aeromonas*. London: Wiley, 151-173, 1996.

Kjellstrom T., Lodh M., McMichael T., Ranmuthugala G., Shrestha R., Kingsland S. Air and Water Pollution: Burden and Strategies for Control. *Disease Control Priorities in Developing Countries*, 2nd edition, 43: 817-832, 2006.

Klohn, W. y Wolter, W. "Perspectives on food and water. Presented at the International Conference of Water and Sustainable Development", 1-6, 1998.

Krebs C., Ecological Methodology, 2da. Edition, Adison Wesley, London, 1999.

Krenkel, PA. y Novotny V., Water Quality Management, Academic Press, Inc. , 46-59, 1980.

Leclerc, H.; Edberg, S.; Pierzo, V. y Delattre, JM., Bacteriophages as indicators of enteric viruses and public health risk in groundwater. J. Appl. Microbiol. 85, 5-21, 2000.

Leclerc, H.; Mossel, D.; Edberg, S. y Struijk, C., Advances in the bacteriology of the coliform group: Their suitability as markers of microbial water safety. Annu. Rev. Microbiol., 55: 201-234, 2001.

Liu L., Johnson HL., Cousens S., Perin J., Scott S., Lawn JE., Rudan I., Campbell H., Cibulskis R., Li M., Mathers M., Black RE., for the Child Health Epidemiology Reference Group of WHO and UNICEF, "Global, regional, and national causes of child mortality: an updated systematic analysis for 2010 with time trends since 2000". Lancet 379: 2151-61, 2012.

Ludwig, J. y Reynolds F., Statistical ecology. A Primer on Methods and Computing. John Wiley & Sons, 337 Pp., 1988.

Mariani C. y PompêoM., "La calidad del sedimento: La contaminación por metales puede ser una amenaza para los seres vivos", Revista Ciencia Hoy, 18(107): 48-53, 2008.

Martínez-Tabche L., Gómez-Oliván L., Martínez M., Castillo C, y Santiago A., "Toxicity of nickel in artificial sediment on acetylcholinesterase activity and hemoglobin concentration of the aquatic flea, moinamacrocopa", Journal of Environmental Hidrology, 8(4): 1-10, 2000.

Masciadri V., Ciudadanía y salud ambiental en la población de Quilmes residente en la cuenca1 de los arroyos San Francisco y Las Piedras. X Jornadas Argentinas de Estudios de Población San Fernando del Valle de Catamarca: Sesión Mortalidad, morbilidad y condiciones de vida: 1-28, 2009.

Messer J., Dufour A. A Rapid, Specific membrane Filtration Procedure for Enumeration of Enterococci in recreational Water. Appl. Environ. Microbiol., 64: 678-80, 1998.

Minvielle MC., Pezzani BC., Cordoba MA., De Luca MM., Apezteguia MC., Basualdo JA., Epidemiological survey of *Giardia* spp. and *Blastocystishominis* in an Argentinian rural community. Korean J Parasitol., 42:121-7, 2004.

Mondaca MA., Campos VA. Agua potable para comunidades rurales, reuso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas, Riesgo de enfermedades transmitidas por el agua en zonas rurales. Cap. 13: 155-167, 1996.

Moore J, Heaney N, Millar B, Crowe M, Elborn J. Incidence of *Pseudomonas aeruginosa* in recreational and hydrotherapy pools. *CommunDisPublicHealth*, 5: 23-26, 2002.

Moreno M., *Toxicología Ambiental "Evaluación de riegos para la salud humana"*, Mc Graw-Hill/Interamericana de España. Madrid-España, 2003.

Navone GT, Gamboa MI, Oyhenart EE, Orden A B., *Cad SaudePública*. 22:1089-100, 2006.

Noble RT. y Weisberg SB., A review of technologies for rapid detection of bacteria in recreational waters. *Journal Water Health*, 3(4):381-92, 2005.

Olivieri V. Bacterial indicators of pollution. En: Pipes W.O (ed.). 1982. *Bacterial Indicators of Pollution*. Boca Raton, Florida: CRP. Press, inc., 21-41, 1982.

ONU (Organización de las Naciones Unidas), Departamento de Economía y Asuntos Sociales: División para el Desarrollo Sostenible. 1992. Agenda 21.

OPS (Organización Panamericana de la Salud). Desarrollo sostenible y salud ambiental. En: *Salud en las Américas* 2007, 3, 2007.

Pielou EC., *An Introduction to Mathematical Ecology*. Wiley-Interscience John Wiley & Sons, 285 Pp., 1969.

Prat N.; Gonzalez G.; Millet X., Comparación crítica de dos índices de calidad del agua: ISQA y BILL. *Tecnología del Agua*, 31: 33-49, 1986.

Prescott L., Harley J. y Klein D., *Microbiología*. Editorial McGraw-Hill. Madrid, España; 1996.

Prieto Díaz V. y Martínez de Villa Pérez A., La contaminación de las aguas por hidrocarburos: un enfoque para abordar su estudio, *Rev Cubana Hig Epidemiol*, 37(1): 13-20, 1999.

Quintero-Betancourt W., Peele ER., Rose JB., *Cryptosporidium parvum* and *Cyclospora cayentanensis*: a review of laboratory methods for detection of the seawaterborne parasites. *Journal of Microbiological Methods* 49: 209-224, 2002.

Rahman M., Impact of environmental sanitation and crowding on infant mortality in rural Bangladesh. *Lancet* 8445(2): 28-31, 1985.

Ramírez A., Restrepo R. y Viña G., Cuatro Índices De Contaminación Para Caracterización De Aguas Continentales. *Formulaciones Y Aplicación*. CT&F - Ciencia, Tecnología y Futuro, 1 (3), 1997.

Ramírez A., Viña G. *Limnología colombiana, aportes a su conocimiento*. Colombia. Fundación Universidad Jorge Tadeo Lozano; 293Pp., 2000.

Rodríguez D. Enfermedades emergentes y reemergentes: amenaza permanente. RESUMED; 14: 37-40, 2001.

Rose J. Environmental ecology of Cryptosporidium and public health implications. Ann. Rev. Publ. Health, 18: 135-161, 1997.

Ruiz E.; Echenandía A. y Romero F., *Relaciones entre agua y sedimento en río de origen torrencial*. Limnética, 10(1):101-107, 1994.

Ryan KJ. y Ray CG., Sherris Medical Microbiology (4th ed.). McGraw Hill. ISBN 0-8385-8529-9, 2004.

Savichtcheva O. y Okabe S., Alternative indicators of fecal pollution: relations with pathogens and conventional indicators, current methodologies for direct pathogen monitoring and future application perspectives. Water Res. Jul; 40(13):2463-76, 2006.

Seoanez, M. Aguas residuales urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Colección Ingeniería Medioambiental. Mundimedia. Madrid, España, 1999.

Serageldin, I., Water supply, sanitation, and environmental sustainability: The financing challenge. Washington, D.C., World Bank. 1-35 Pp., 1994.

Serageldin, I., Water resources management: New policies for a sustainable future". Stockholm Water Front, 2-3 Pp., 1995.

Shuval, H., Estimating the global burden of thalassogenic diseases: human infectious diseases caused by wastewater pollution of the marine environment, Journal of Water and Health 01(2): 53-64, 2003.

SM (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater), 20th Edition, 1998. American Water Works Association, American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation.

Snelling, W. J., M. Matsuda, J. E. Moore, and J. S. Dooley., Under the microscope: Arcobacter. Lett. Appl. Microbiol., 42:7-14, 2006.

Solarte, Y., M. Peña y C. Madera., Transmisión de protozoarios patógenos a través del agua para consumo humano. Col. Med. 37: 74-82, 2006.

Soller J, Bartrand T, Molina M, Whelan G, Schoen M and Ashbolt N., International Environmental Modelling and Software Society. 2014.

Spiro T. y Stigliani W., Química medioambiental, 2ª edición, 438- 458, 2006.

Steiner T, Thielman N, Guerrant R. Protozoal agents. What are the dangers for the public water-supply. Annu. Rev. Med 1997; 48: 329-340.

Steinmann, P., Keise, R. J., Bos, R., Tanner, M. and Utzinger, J.(2006).Schistosomiasis and water resources development: systematic review, meta-analysis, and estimates of people at risk. *Lancet. Infect. Dis.*, 6: 411–425, 2006.

Suarez C, Berdasquera D. Enfermedades Emergentes Y Reemergentes: Factores Causales Y Vigilancia. *Rev Cubana Med Gen Integr.*, 16:593-7, 2000.

Teodoro Carrada-Bravo*Leptospirosis humana. Historia natural, diagnóstico y tratamiento *RevMex Patol Clin*, 52 (4):246-256, 2005.

Torres P., Cruz CH. y PatiñoPJ., "Water quality index in surface sources used in water production for human consumption. A critical review", *Revista Ingeniería Universidad de Medellín*, 8 (15): 79-94, 2009.

Vandenberg O., Dediste A., Houf K., Ibekwem S., Souayah H., Cadranel S., Douat N., Zisis G., Butzler JP. y Vandamme P., *Arcobacter* species in humans.*Emerg. Infect. Dis.* 10:1863–1867, 2004.

Vanderslice, J. and Briscoe, J. "Environment interventions in developing countries: Interactions and their implications". *American Journal of Epidemiology*, 141(2):135-144.

Vargas C, Rojas R, Joseli J. Control y Vigilancia de la Calidad del Agua de Consumo humano. *Textos Completos.CEPIS*; 27 Pp., 1996.

Wesley, I. V., and Miller, G. W. *Arcobacter*: an opportunistic human food-borne pathogen?, In W. M. Scheld, M. L. Grayson, and J. M. Hughes (ed.), *Emerging infections* 9. 185-211, 2010.

WHO (World Health Organization). "Global health situation and projections". A biennial survey of infectious diseases in the entire world, 1992.

WHO (World Health Organization). *Guías para la calidad del agua potable*. OMS. Ginebra; 1995.

WHO (World Health Organization). "The world health report 1996: Fighting disease, fostering development". 143 Pp., 1996.

WHO (World Health Organization). *Guías para la Calidad del Agua de Bebida*. Publicación Científica OPS, 481 Pp., 1996.

WHO (World Health Organization). "Rich-poor gap remains in death". *Reuters News Service*, 1998.

WHO (World Health Organization). *Water, Sanitation and Health. Emerging Issues in Water and Infectious Disease*, 2003.

WHO (World Health Organization). Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater, Volume 2: Wastewater Use in Agriculture, 2006.

WHO (World Health Organization). "Guidelines for drinking-water quality. 3rd Edition". 1 (7): 105-126, 2008.

WHO (World Health Organization). "Cause-specific mortality: regional estimates for 2008", 2011.

WHO (World Health Organization). "Action against dengue. South-East Asia and Western Pacific Regions", 2011.

WHO (World Health Organization). "Cholera, 2011. Weekly Epidemiological Report", 2012.

Woo PC., Chong KT., Leung K., Que T., y Yuen K., Identification of *Arcobacter cryaerophilus* isolated from a traffic accident victim with bacteremia by 16S ribosomal RNA gene sequencing. *Diagn. Microbiol. Infect. Dis.* 40:125–127, 2001.

WUCEQEEEEES (Wilkes University Center for Environmental Quality Environmental Engineering and Earth Sciences), "Calculating NSF Water Quality Index", 2007.

Zúñiga de Cardozo MC., Rojas AM. y Caicedo G., Indicadores ambientales de calidad de agua en la cuenca del Río Cauca. *Memorias segundo Seminario Nacional de limnología. Asociación Colombiana de Limnología*, 125-135, 1994.

[Agradecimientos]

Este espacio es para expresar mi más sincero agradecimiento a todas aquellas personas e instituciones que colaboraron de alguna u otra manera con la realización de esta tesis, en especial:

A Andrés Porta, por su dirección y guía durante esta investigación y brindar claridad en los temas abordados.

A Esteban Colman Lerner que si bien oficialmente no fue mi codirector, claramente actuó como tal además de como amigo y compañero. Gracias infinitas por tu apoyo y aliento.

A las Prof. Leonora Kozubsky y Malena Costa por su gran colaboración y aporte en parasitología.

A los Dres. Antonio Lagares y Gonzalo Torres Tejerizo por recibirnos, guiarnos, trabajar y confiar en nosotros. Al Instituto de Biotecnología y Biología Molecular (IBBM-CONICET) de la Fac. de Cs. Exactas, UNLP.

Al Tec. Santiago Castellano por toda su paciencia y colaboración.

A los compañeros del CIMA que me hicieron un lugar y me regalaron consejos.

A mis compañeros- amigos (Yani, Marcos, Esteban) de la casita que sin su colaboración constante, sus consejos y momentos de ocio compartidos, esto no hubiese sido posible.

A toda mi familia por su apoyo y amor incondicional, especialmente a mi Madre que estando lejos, siempre estuvo muy cerca y a mi Padre por la confianza absoluta.

A Marcos, mi compañero de vida por su apoyo incondicional, su paciencia y su amor, que me hacen feliz cada día.

A todos los compañeros-amigos del PAEU que siempre me regalaron buena onda, consejos y discusiones (Marita, Leo, Santi, Flor, Kari, Italia)

A Darío Andrinolo por su confianza y permitirme formar parte del PAEU.

A la gente de la COLCIC, que sin su colaboración los monitoreos se hubiesen podido realizar, especialmente al dirigente social Hector Taborda y al Arquitecto Luis Jorge Oxman.

A la gente del ex LIS, que siempre estuvieron a mi disposición y trabajaron mucho en los análisis.

Al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas (CONICET) por posibilitar mi formación con el otorgamiento de becas.

A mis amigos de siempre, los de Mar del Plata, los de La Plata, los de Ayacucho, los de por ahí, por aguantarme, sostenerme y alentarme en este camino.