



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS**  
**Licenciatura en Química y Tecnología Ambiental**

**Trabajo Final**

“Estudio de calidad de aguas del Arroyo Maldonado, Partido de La Plata – Incidencia de la contaminación en eventos de inundación”

**María Sol Martorell**

**Director:** Alicia Estela Ronco

**Co-Director:** Carina Diana Apartin

**Centro de Investigaciones del Medio Ambiente (CIMA)**  
**Facultad de Ciencias Exactas, UNLP**

**Diciembre, 2015**

# ÍNDICE

<b>CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
1.1 El agua y su distribución en la naturaleza	4
1.2 Distribución de los recursos hídricos en Argentina	5
1.2.1 Ecosistemas dulce-acuícolas	5
1.2.1.1 Humedales	5
1.2.1.2 Cuencas hidrográficas	6
1.2.2 Ecosistemas marino-costeros	8
1.2.3 La Cuenca del Plata	9
1.2.4 Región costera del Río de la Plata	10
1.3 Características de las aguas naturales y parámetros generales indicadores de contaminación	11
1.3.1 Parámetros Físicos	13
1.3.2 Parámetros Químicos	14
1.3.3 Parámetros Microbiológicos	16
1.4 Región de La Plata	17
1.5 Antecedentes de la calidad de cuerpos de agua de la región	20
1.6 Eventos de inundación y su incidencia en la contaminación de cuerpos de agua superficiales. Situación en la ciudad de La Plata	20
<b>CAPÍTULO 2: HIPÓTESIS Y OBJETIVOS</b>	<b>23</b>
2.1 Hipótesis de Trabajo	23
2.2 Objetivo General	23
2.3 Objetivos Específicos	23
<b>CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>24</b>
3.1 Área de Estudio	24
3.2 Muestreo	25
3.2.1 Diseño de muestreo	25
3.2.2 Toma, preservación y procesamiento de muestras	27
3.2.2.1 Recolección y preservación de muestras	27
3.2.2.2 Determinaciones fisicoquímicas <i>in situ</i>	30
3.2.2.3 Procesamiento de las muestras en laboratorio	30
3.3 Obtención e interpretación de resultados	40
3.3.1 Distribución temporal y espacial de las concentraciones	40
3.3.2 Comparación de los resultados obtenidos con niveles guía de calidad y antecedentes de cursos de agua superficiales de la región.	41
3.3.3 Análisis Estadístico	41
3.4 Índice de Calidad de Aguas (ICA)	41

<b>CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	43
4.1 Parámetros fisicoquímicos <i>in situ</i>	43
4.1.1 Presentación de resultados	43
4.1.2 Distribución temporal y espacial de los parámetros fisicoquímicos <i>in situ</i>	45
4.2 Parámetros químicos determinados en laboratorio	51
4.2.1 Presentación de resultados	51
4.2.2 Distribución temporal y espacial de los parámetros químicos	54
4.3 Parámetros Microbiológicos	66
4.3.1 Presentación de resultados	66
4.3.2 Distribución temporal y espacial de los parámetros microbiológicos	66
4.4 Análisis Multivariado	70
4.5 Índice de Calidad de Aguas (ICA)	73
4.5.1 Discusión sobre la aplicación del Índice de Calidad de Aguas (ICA)	74
4.6 Consideraciones generales	75
<b>CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	77
5.1 Conclusiones	77
5.2 Recomendaciones	77
<b>ANEXO MAPAS</b>	79
A- Cobertura Red de Cloacas	79
B- Usos del Suelo	80
C- Síntesis Peligro de Inundación	81
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	82
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	83

# CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

## 1.1 El agua y su distribución en la naturaleza

La disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1.386 millones de  $\text{km}^3$ , de los cuales el 97,5% es agua salada y sólo el 2,5%, es decir que sólo 35 millones de  $\text{km}^3$  es agua dulce. De esta cantidad casi el 70% no está fácilmente disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo. Del agua que técnicamente está disponible para consumo humano, sólo una pequeña porción se encuentra en lagos, ríos, humedad del suelo y depósitos subterráneos relativamente poco profundos, cuya renovación es producto de la infiltración. Mucha de esta agua teóricamente utilizable se encuentra lejos de las zonas pobladas, lo cual dificulta o encarece su utilización efectiva (CONAGUA, 2011). América del Sur tiene el 26% de agua de escorrentía mundial (UNESCO, 2003), donde el agua dulce abunda por doquier; la región posee las cuencas de los ríos Orinoco, Amazonas y del Plata. A estos hay que sumarles lagos, esteros, bañados, lagunas, reservorios de agua subterránea, entre ellos el Acuífero Guaraní, uno de los más grandes del mundo, el cual es compartido por Brasil, Paraguay, Uruguay y Argentina. Estos ambientes acuáticos no se distribuyen de manera uniforme, sino que se ven influenciados por el relieve y el clima (Bruzzone, 2009). El agua en la Tierra está en constante circulación por los distintos reservorios, y es impulsada por la energía solar, dando lugar al llamado ciclo del agua (figura 1.1). Las cantidades de agua almacenadas en los reservorios pueden considerarse globalmente constante, con flujos de entrada y salida iguales, estableciendo un estado estacionario (Domènech et al., 2006).

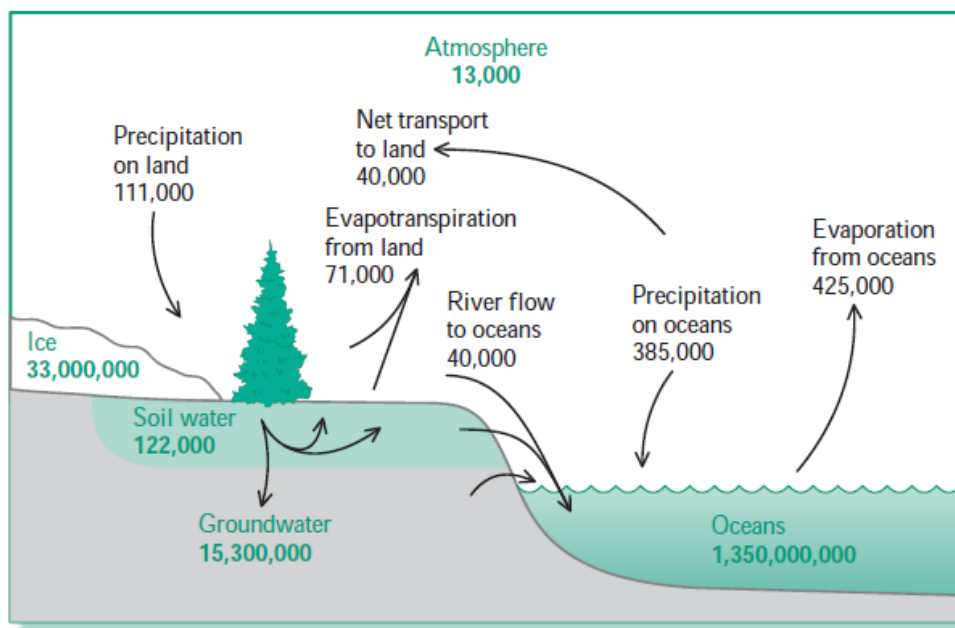


Figura 1.1: Reservorios globales y flujos de agua en la Tierra; cantidad de agua de los reservorios (verde) en  $\text{km}^3$  y cantidad de agua de los flujos en  $\text{km}^3/\text{año}$  (Fuente: Baird & Cann, 2012).

El agua contiene una gran variedad de sustancias tanto disueltas como en suspensión, y su composición depende de muchas variables como su localización en los compartimientos ambientales, región geográfica, influencia antrópica, estado de agregación, etc. No obstante, en cuanto a la composición influenciada principalmente por procesos químicos naturales, se pueden distinguir cuatro grupos de aguas: agua atmosférica, agua dulce superficial, agua subterránea y agua marina (*Domènech et al., 2006*).

## **1.2 Distribución de los recursos hídricos en Argentina**

Argentina posee una gran diversidad de relieve, clima y patrones de drenaje. A pesar de la amplia disponibilidad de recursos hídricos con los que cuenta, están distribuidos muy irregularmente en el territorio. Si bien la oferta hídrica superficial media anual por habitante es de aproximadamente 22.500m<sup>3</sup>/habitante/año, en las provincias de la región árida la disponibilidad de agua se ubica muy por debajo de ese valor. Esta distribución de los recursos hídricos superficiales ha dado como resultado que la ocupación del espacio sea más intensa en el litoral húmedo, asiento de una gran red fluvial (*Bruzzone, 2009*).

### **1.2.1 Ecosistemas dulce-acuícolas**

Los ecosistemas dulce-acuícolas son los humedales y todos los cursos y espejos de agua, los que cumplen una gran diversidad de funciones beneficiosas para la calidad ambiental, como por ejemplo, proveer de hábitat a numerosas formas de vida, la regulación de inundaciones y sequías, ser fuente de energía renovables a partir del aprovechamiento hidroeléctrico, etc. A continuación se indican los diferentes tipos de sistemas de acuerdo a la clasificación considerada por *PNUMA-SAyDS (2004)*.

#### **1.2.1.1 Humedales**

Argentina tiene 5 grandes ecoregiones de humedales: Cuenca del Plata, Chaco, Pampas, Patagonia y Andes del Sur.

- La Cuenca del Plata se desarrolla en una región predominantemente llana, de clima benigno y suelos fértiles, donde se encuentra la mayor concentración humana e industrial de América del Sur. En territorio argentino se destaca la mayor concentración en el llamado cordón urbano-industrial que se desarrolla entre Rosario y La Plata. La casi totalidad de los humedales de esta región están relacionadas al río Paraná y en menor medida al río Uruguay. Los principales humedales identificados en esta ecoregión son la Cuenca del Riachuelo, el Sistema del Iberá, el Río Uruguay, el Río Paraná, el Río Iguazú y sus cataratas, los Deltas Entrerriano y Bonaerense, y el Río de la Plata.

- La región del Gran Chaco incluye varias provincias del norte argentino, posee una gran abundancia y diversidad de humedales, y se caracteriza por la presencia de un gran número de depresiones naturales que originan lagunas temporarias y permanentes. Al sur de la región chaqueña se encuentra la cuenca cerrada de la laguna salobre de Mar Chiquita, que se destaca como un humedal de características particulares, y constituye el mayor ambiente acuático continental del país.
- Las lagunas pampeanas poseen una biodiversidad algo menor que los humedales antes mencionados, pero claramente distintiva en la región, donde se observa una avifauna acuática diversa y abundante. Los beneficios de las lagunas pampeanas incluyen la recarga y descarga de acuíferos, control de inundaciones, provisión de agua, usos recreacionales, caza y pesca.
- Entre los humedales de la Patagonia se destacan los enormes lagos oligotróficos de origen glaciario, los ríos y arroyos de deshielo y las lagunas de estepa. Los más importantes son: el Lago Musters y el Lago Colhue Huapi (en la provincia de Santa Cruz), los lagos y lagunas de los Parques Nacionales Los Alerces y Lago Puelo (en la provincia de Chubut), lagos y lagunas de los Parques Nacionales Nahuel Huapi, Arrayanes y Lanín, entre otros. La particular belleza de los lagos andino-patagónicos ha dado lugar a la creación de áreas protegidas y una creciente industria turística. Algunos lagos sufren problemas de eutrofización por el vertido de aguas servidas de ciudades localizadas en sus orillas, como el Lago Nahuel Huapi y la ciudad de Bariloche, y el Lago Lacar y la ciudad de San Martín de los Andes.
- Los Andes del Sur constituye una ecoregión que incluye la gran planicie del Altiplano que se extiende en el sur de Perú, el oeste de Bolivia, el noreste de Chile y el noroeste de Argentina, donde se encuentran sistemas como las Lagunas de Pozuelos y Guayatayoc, las Lagunas Grande, La Alumbreira y Purulla, entre otras. En general se destacan por su alta diversidad biológica, por ser refugio de especies silvestres.

#### 1.2.2.2 Cuencas hidrográficas

Entre los cursos de agua dulce superficiales se distinguen las siguientes cuencas hidrográficas: la Cuenca del Plata, las Cuencas de la Vertiente Atlántica, las Cuencas de la Vertiente del Pacífico y las Cuencas sin desagüe al océano (figura 1.2.2.2):

- Cuenca del Plata: es una de las principales cuencas hídricas del mundo. Muchos ríos que la conforman (de la Plata, Paraná, Paraguay, Uruguay, Iguazú, Pilcomayo, Grande de Tarija-Teuco-Bermejo) son compartidos total o parcialmente con los países que la conforman. En Argentina, todos los ríos que

la integran son de alimentación pluvial, con precipitaciones distribuidas a lo largo del año.

- Cuencas de la Vertiente Atlántica: las cuencas con desagüe al Océano Atlántico concentran un 9,3% del derrame total medido y se extienden en el oeste, centro y sur del País desde las divisorias de agua de los Andes hasta la costa Atlántica. Sus principales ríos son el San Juan, el Mendoza, el Tunuyán, el Diamante, el Atuel, el Colorado, el Negro, el Chubut, el Senguer, el Deseado, el Chico, el Santa Cruz, el Coig, el Gallegos y los de Tierra del Fuego. Los cinco primeros son de alimentación nival, el Santa Cruz, glacial, y el resto pluvionival. Todos los ríos nacen en la Cordillera de los Andes y aumentan su caudal con derretimiento de la nieve; en general atraviesan gran parte de la zona árida y semiárida sin recibir aportes de importancia.
- Cuencas de la Vertiente del Pacífico: las cuencas que integran este grupo se localizan en la cordillera andino patagónica en el límite internacional con Chile. A pesar de su reducida superficie, su riqueza hídrica es relevante. Los principales ríos, que nacen en los valles transversales son: el Manso, el Puelo, el Futaleufú, el Carrenleufú y el Pico. El principal aprovechamiento de los éstos ríos es el hidroenergético.
- Cuencas sin desagüe al océano: en el centro y noroeste de Argentina, y en grandes superficies de la meseta patagónica y de la llanura pampeana, existen extensas áreas sin derrame al océano. La superficie total de estas cuencas se estima en 800.000 Km<sup>2</sup>. Los ríos con mayor caudal son el Río Salí-Dulce, el Río Primero y el Río Segundo.



Figura 1.2.2.2: Distribución de las principales cuencas hidrográficas de Argentina  
(Fuente: PNUMA-SAyDS, 2004).

### 1.2.2 Ecosistemas marino-costeros

Las áreas costeras y marinas proveen a la población con servicios ambientales y recursos naturales estratégicos. Entre los servicios se incluyen la regulación del clima, protección de las costas, y el equilibrio de la composición química de la atmósfera, y entre las materias primas extraídas del mar se encuentra el petróleo, el gas y la sal. Estas áreas también son el hábitat de una flora y fauna que se explotan intensamente para la alimentación. Estos conceptos cobran especial importancia en Argentina,



donde la amplia extensión de las costas marinas y las suaves pendientes de las tierras sumergidas, hacen que la Plataforma Continental Argentina cubra aproximadamente 1.000.000 de Km<sup>2</sup> y tenga más de 5.000 Km de costa, ubicándose entre las más grandes del mundo. El Océano Atlántico Sur posee características de los ecosistemas templados fríos, los que sostienen una baja diversidad biológica pero con altas biomásas en muchas de sus especies, lo que permite un notable desarrollo de la actividad pesquera (*PNUMA-SAyDS, 2004*).

### 1.2.3 La Cuenca del Plata

La Cuenca del Plata, una de las más extensas del mundo, con sus 3,1 millones de km<sup>2</sup> ocupa el octavo lugar a escala internacional. Abarca todo el centro-sur de Brasil, el sudeste de Bolivia, una gran parte de Uruguay, todo Paraguay y una extensa zona del centro y norte de la Argentina. Sus ríos drenan aproximadamente un quinto del territorio del continente sudamericano. El clima de la cuenca presenta gradientes importantes que determinan su comportamiento hidrológico. En particular sus precipitaciones están condicionadas por los fenómenos de La Niña y de El Niño, convirtiéndola en una de las regiones más afectadas del mundo. Está compuesta por grandes sistemas hídricos, correspondientes a los ríos Paraná, Paraguay, Uruguay y el propio Río de la Plata. El mayor corredor de humedales de América del Sur vincula el Pantanal (en la cabecera del río Paraguay), con el Delta del Paraná, en su desembocadura en el Río de la Plata, constituyendo un sistema hídrico de gran diversidad y productividad en materia biológica. La cuenca es también rica en recursos hídricos subterráneos; coincide en gran parte con el Sistema Acuífero Guaraní, uno de los más grandes del mundo (*CIC, 2005*). Sobre la Cuenca del Plata se asientan el 75% de la población de Argentina, los mayores centros urbanos y las principales industrias. Los ríos Paraná, Uruguay, Paraguay y de la Plata se utilizan para navegación, abastecimiento de agua para uso humano, agrícola e industrial, pesca, recreación, y como receptores de efluentes domésticos e industriales. Sobre los ríos Paraná y Uruguay existen importantes aprovechamientos energéticos (*Bruzzone, 2009*).

Con respecto a los aportes de materiales al Río de la Plata provenientes a los ríos Paraná y Uruguay, es importante considerar que el Paraná tiene un caudal medio 3 veces mayor que el del Uruguay. Esto, sumado a las diferencias ambientales (cuenca sedimentaria vs. cristalina) y el grado de desarrollo económico, da lugar a que los aportes de carga sedimentaria y de potenciales contaminantes correspondientes al Paraná sean mucho más importantes que los del Río Uruguay. En términos generales, los principales aportes al cuerpo principal del Río de la Plata corresponden a metales pesados e hidrocarburos aportados por el Río Paraná, y en menor medida, el aporte de nutrientes como fósforo y nitrógeno (*FREPLATA, 2005*). Entre los impactos y amenazas a la integridad de la cuenca es necesario mencionar que en el tramo superior del Río

Paraná se han desarrollado numerosas represas, la mayor de ellas la de Itaipú. Algunos de los problemas ocasionados por las represas son la inundación de extensas áreas naturales, la reubicación de poblaciones humanas, la mezcla de fauna de peces y la extensión del área de enfermedades transmitidas por vectores. También la deforestación, principalmente en la cuenca alta del río ha producido graves problemas como el incremento de la erosión del suelo (PNUMA-SAyDS, 2004).

#### 1.2.4 Región costera del Río de la Plata

La costa del Río de la Plata alberga cerca de 20 millones de habitantes incluyendo la región Metropolitana de la ciudad de Buenos Aires. El Río de la Plata es un estuario de agua dulce con características únicas en el planeta; nace con un ancho de 50 Km, y se ensancha hasta alcanzar 90 Km en la sección Montevideo-Punta Piedras (figura 1.2.4). Hasta allí se lo denomina el Río de la Plata interior. El frente de salinidad está algo más afuera de esta sección. Aguas abajo de este frente, aunque la salinidad es menor que la del océano, aumenta gradualmente hasta que en la sección Punta del Este - Punta Rasa considerada el límite exterior del río alcanza valores oceánicos. En esa sección alcanza nada menos que un ancho de 200 Km. (Barros et al., 2005).



Figura 1.2.4: El Estuario del Río de la Plata (Fuente: Barros et al., 2005).

La marea es más alta en la costa argentina que en la uruguaya debido al efecto de la fuerza de Coriolis, pero a ello se suma que la costa argentina es además baja, por lo

que las sudestadas más intensas dan lugar a inundaciones en la Bahía de Samborombón, en las costas bajas del sur del Gran Buenos Aires, y en los tramos cercanos a la desembocaduras del Riachuelo y del Río Reconquista, así como en el frente del delta del Paraná. El nivel de la línea de la costa en el puerto de Buenos Aires está a 0.99 msnm (*Barros et al., 2005*).

La Franja Costera Sur del Río de la Plata se encuentra ubicada en la margen del Río de la Plata interior y medio, y se extiende entre San Fernando (desembocadura del Río Luján) y la Ciudad de Magdalena. Esta zona recibe principalmente los aportes de contaminantes como nutrientes, metales pesados, hidrocarburos, bacterias coliformes fecales, entre otros, correspondientes al área metropolitana de Buenos Aires y el Gran La Plata. Los mismos representan una amenaza significativa tanto para la biota como para la salud humana. Las zonas más problemáticas que se pueden identificar son el Río Luján que recibe los aportes del Río Reconquista (zona muy industrializada); el Riachuelo, con una fuerte influencia de 800 industrias incluyendo el Polo Petroquímico de Dock Sud y el Puerto de Buenos Aires; los Canales Santo Domingo y Sarandí que reciben efluentes tanto de origen industrial como cloacal; la Descarga de Berazategui, emisario que vuelca sin tratamiento previo, efluentes cloacales correspondientes a 5.000.000 personas; el Colector Mayor de Berisso que vuelca efluentes cloacales sin tratar de 200.000 personas; y el Río Santiago, que recibe aportes de contaminantes de origen industrial (ej. Polo petroquímico de la ciudad de La Plata), cloacal y derivados de la actividad portuaria del Puerto de La Plata (*Barros et al., 2005; CIC, 2005; CISAUA-CIC-CONICET-MIVSP, 2006; FREPLATA, 2005; PNUD, 2012; PNUMA-SAyDS, 2004*).

### **1.3 Características de las aguas naturales y parámetros generales indicadores de contaminación.**

En la composición de las aguas naturales influyen una serie de variables tales como el tipo de agua que se trate, es decir agua marina, lacustre, superficial, subterránea, hielo o lluvia; el tipo de terreno que se encuentre o atraviese, época del año, variables meteorológicas como la presión y la temperatura, etc. Además de las especies en solución, las aguas naturales contienen especies en estado coloidal como arenas, arcillas, macromoléculas orgánicas, algas, bacterias, virus, etc. (*Orozco Barrenetxea et al., 2003*). La mayoría de las reacciones químicas importantes que ocurren en el agua, particularmente las que involucran materia orgánica y los procesos de óxido-reducción, es llevada a cabo por bacterias. Los microorganismos son los responsables de la formación de algunos depósitos minerales, así como también juegan un papel importante en el tratamiento de desechos (*Manahan, 2007*).

La estratificación térmica de los reservorios de agua da lugar al establecimiento de un cálido y poco denso epilimnion, rico en oxígeno, y un hipolimnion más fresco, más

denso y pobre en oxígeno. Estas condiciones influyen fuertemente y de manera muy distinta en la composición química y biológica del agua. Generalmente, el epilimnion contiene una alta concentración de especies químicas oxidadas, como el dióxido de carbono y el bicarbonato, nitratos y sulfatos. El hipolimnion tiende a estar compuesto por especies reducidas como metano, amonio y sulfuro (Manahan, 2007).

Teniendo en cuenta la composición de las aguas naturales, se puede definir lo que se entiende como contaminación de la misma, que según organismos internacionales como las Naciones Unidas en 1961, “un agua está contaminada cuando se ve alterada en su composición o estado, directa o indirectamente, como consecuencia de la actividad humana, de tal modo que quede menos apta para uno o todos los usos a que va destinada, para los que sería apta en su calidad natural” (Orozco Barrenetxea et al., 2003). La contaminación del agua puede provenir de distintas fuentes (figura 1.3), ya sean puntuales como las descargas industriales, o de fuentes difusas como la escorrentía, tanto urbana como rural (Hill, 2010).

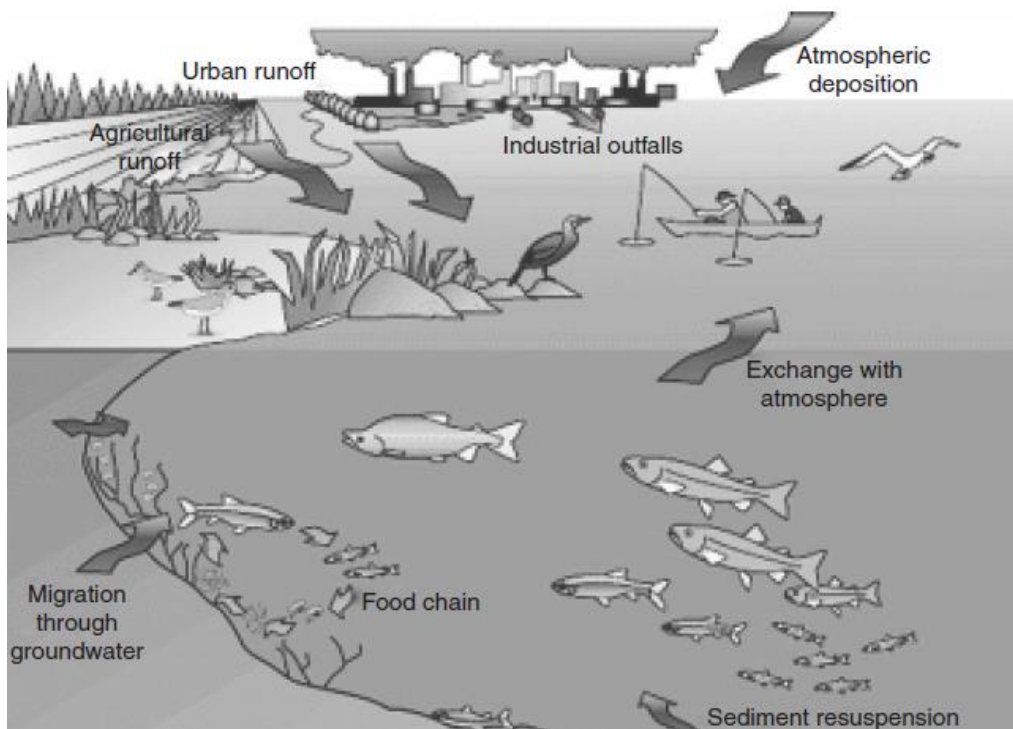


Figura 1.3: Fuentes y caminos de la contaminación del agua (Fuente: Hill, 2010).

Existen una variedad muy grande de posibles agentes contaminantes, e intentar medirlos a todos es un trabajo extremadamente complejo, por lo que se ha optado para este trabajo en definir una serie de *parámetros generales* indicadores de contaminación, y por lo tanto de la calidad de agua, que se pueden clasificar en parámetros físicos, químicos (orgánicos e inorgánicos) y microbiológicos (APHA, 1998; Rodier et al., 1998; Orozco Barrenetxea et al., 2003).

### 1.3.1 Parámetros Físicos:

- Temperatura: Es una variable física que influye notablemente en la calidad del agua afectando parámetros o características tales como la solubilidad de los gases y sales, la cinética de reacciones químicas y bioquímicas, el desplazamiento de equilibrios químicos, la tensión superficial del agua y el desarrollo de organismos presentes en el agua, entre otros. La influencia más significativa es la disminución de la solubilidad del oxígeno al aumentar la temperatura y la aceleración de los procesos de descomposición (*Orozco Barrenetxea et al., 2003*). Los cambios de la temperatura se puede deber a variaciones diarias de irradiancia, como también al vuelco de efluentes líquidos con temperaturas diferentes a las del cuerpo receptor.
- Sólidos: Se pueden encontrar sólidos en suspensión, coloidales, disueltos y sedimentables. Los materiales finos en suspensión presentan la propiedad de adsorber materia orgánica de diverso origen. Una alta concentración de sólidos en suspensión reduce la penetración de la luz disminuyendo la capacidad de fotosíntesis de las algas, afectando su crecimiento y alterando las comunidades biológicas acuáticas (*CENTA, 2006*).
- Conductividad: Es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transportar la corriente eléctrica, y depende de la presencia de iones, su concentración total, movilidad, estado de oxidación y temperatura de medición. La mayoría de los compuestos inorgánicos son buenos conductores, tales como ácidos, bases y sales. Por el contrario, los compuestos orgánicos que no se disocian en soluciones acuosas tienen una conductividad muy escasa o nula (*APHA, 1998*).

### 1.3.2 Parámetros Químicos:

- Componentes Orgánicos: Pueden ser de origen vegetal o animal, aunque los cuerpos de agua pueden contener compuestos orgánicos sintéticos por la existencia de vuelcos de aguas residuales urbanas. Los principales componentes son las proteínas, hidratos de carbono y lípidos (*Orozco, 2005*), y las sustancias húmicas (*Martin, 2011*).
  - Las proteínas suponen entre el 40 y el 60% de la materia orgánica del agua servida, y junto con la urea, son los principales responsables de la presencia de nitrógeno total en las aguas residuales urbanas. La existencia de grandes cantidades de proteínas en el agua residual puede ser origen de olores desagradables debido a los procesos de descomposición.
  - Los hidratos de carbono representan entre un 25 y 50% de la materia orgánica. Desde el punto de vista del volumen y la resistencia a la descomposición, la celulosa es el hidrato de carbono cuya presencia en el agua es la más importante.

- En las aguas superficiales naturales, la presencia de grasas y aceites suele ser baja, aunque igualmente puede interferir con los organismos existentes en el cuerpo de agua ya que se crean películas y acumulaciones de materia flotante, impidiendo en determinadas ocasiones la realización de actividades como la fotosíntesis y respiración.
- La existencia de pequeñas cantidades de compuestos orgánicos sintéticos, como los agentes tensoactivos, son responsables de la aparición de espumas en la superficie de los cuerpos de agua receptores de los vertidos. Estas sustancias son los principales componentes de los detergentes. La formación de estas espumas producen un incremento de contaminación por materia orgánica disuelta al emulsionar y/o solubilizar las grasas y los aceites presentes en el agua.
- Las sustancias húmicas son los principales componentes de la materia orgánica en las aguas superficiales, y se pueden dividir en dos fracciones principales, en función de su solubilidad: ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. Se forman por reacciones bioquímicas y químicas durante la descomposición y transformación de materiales vegetales y restos microbianos (humificación). En sistemas acuáticos como ríos, constituyen alrededor del 50% de la materia orgánica disuelta controlando el pH de estos medios, por su capacidad reguladora del pH. También afectan la química y la biodisponibilidad de los elementos químicos, así como el transporte y la degradación de xenobióticos y compuestos orgánicos naturales, e intervienen en la productividad biológica de los ecosistemas acuáticos.

➤ Compuestos Inorgánicos:

- Oxígeno Disuelto: La cantidad de oxígeno disuelto es un indicador importante de la calidad del agua, ya que es un elemento indispensable para la vida acuática. Es necesario para los peces en niveles altos, así como para otras formas de vida aerobia y las bacterias en niveles reducidos. Su solubilidad en agua es limitada, y depende de la presión parcial del oxígeno en la atmósfera y principalmente de la temperatura de acuerdo con la Ley de Henry. Para que un agua se considere poco contaminada la concentración de oxígeno debe ser al menos superior al 50% del valor de saturación a esa presión y temperatura. Este parámetro está íntimamente relacionada con la cantidad de materia orgánica presente, ya que su oxidación requiere consumo de oxígeno disuelto (*Orozco Barrenetxea et al., 2003*).
- pH: La medición de este parámetro es una de las más importantes y frecuentes en la química del agua. La concentración del ión hidrógeno es un indicador de calidad tanto de las aguas residuales como de las naturales. A una determinada temperatura la intensidad del carácter ácido o básico de una solución es

indicada por el pH. El intervalo de pH en los cuerpos de agua naturales generalmente es de 4-9, y la mayoría tienen ligero carácter básico debido a la presencia de bicarbonatos y carbonatos (APHA, 1998).

- Alcalinidad: Es la capacidad del agua de neutralizar ácidos. La alcalinidad de las aguas naturales se debe principalmente a las sales de ácidos débiles, aunque las bases débiles o fuertes también pueden contribuir. (Sawyer et al., 2001).
- Dureza: La dureza es causada por cationes metálicos polivalentes, los que pueden reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar costras. Los principales cationes causantes de dureza son los iones bivalentes de calcio y magnesio. En general, las aguas duras se originan en áreas donde la capa superior del suelo es gruesa y contiene formaciones de piedra caliza, y los valores de dureza se encuentran en el intervalo de 150-300 mgCaCO<sub>3</sub>/L (Sawyer et al., 2001).
- Nitrógeno: Las fuentes de la contaminación nitrogenada de las aguas superficiales son muy variadas, de origen natural o antrópico. Los compuestos orgánicos de nitrógeno están presentes en los desechos domésticos y agrícolas, y los inorgánicos se encuentran en ciertos desechos industriales y fertilizantes agrícolas. El amoníaco es el producto característico de la materia orgánica presente y se puede oxidar a nitritos y nitratos por la acción de microorganismos degradadores, procesos que ocurren naturalmente en el agua y contribuyen a la autodepuración de la misma. Las altas concentraciones de compuestos sin embargo son causa de preocupación, y son en general consecuencia de las actividades humanas. El amoníaco libre (NH<sub>3</sub>) o amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) es el contaminante nitrogenado que se encuentra con mayor frecuencia, porque además de ser un producto de descomposición natural, es un producto industrial clave. Tiene la característica de presentar olor desagradable y en solución acuosa es tóxico para la fauna acuática en concentraciones del orden de las ppm. Su concentración depende del pH y la temperatura del agua: a medida que estos parámetros aumentan, la concentración de NH<sub>3</sub> disminuye (Winkler, 1995). El amonio tiende a ser oxidado a nitratos en el proceso de nitrificación que es realizado en dos pasos: NH<sub>4</sub><sup>+</sup> → NO<sub>2</sub><sup>-</sup> por bacterias del género Nitrosomonas; NO<sub>2</sub><sup>-</sup> → NO<sub>3</sub><sup>-</sup> por bacterias del género Nitrobacter (Madigan et al., 2004). Este proceso puede ocurrir aún cuando los niveles de oxígeno disuelto son de 1 mgO<sub>2</sub>/L. En consecuencia, este proceso biogeoquímico natural colabora con el incremento de los niveles de nitratos en los ecosistemas de agua dulce y marinos (Camargo et al., 2005). Elevadas concentraciones de nitratos, además de contribuir a la eutrofización de las aguas, originan un problema de salud en niños conocida como metahemoglobinemia o “síndrome del bebé azul”, que puede ser fatal (Winkler, 1995).

- Fósforo: Las fuentes principales de compuestos de fósforo en el agua son de los residuos humanos y animales, y de aguas residuales procedentes de industrias que procesan materiales biológicos. Los detergentes y fertilizantes contribuyen al contenido de fósforo en el agua. En solución acuosa, los compuestos de fósforo se encuentran principalmente como ortofosfatos y polifosfatos. Los ortofosfatos están disponibles de manera directa para el metabolismo biológico, y sus formas existen en equilibrio unas con otras según el pH, entre las que se encuentran el fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), fosfato monoácido ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ), fosfato ácido ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) y ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Los polifosfatos incluyen las moléculas con dos o más átomos de fósforo, átomos de oxígeno y, en algunos casos, átomos de hidrógeno combinados en una molécula compleja. Los polifosfatos por acción de los microorganismos se convierten en ortofosfatos (*Winkler, 1995*).

### 1.3.3 Parámetros Microbiológicos

Los microorganismos más importantes que podemos encontrar en las aguas son las bacterias, virus, y algas. La contaminación de tipo bacteriológico es debida a los desechos humanos y animales principalmente, ya que los agentes patógenos se encuentran en las heces, orina y sangre, causantes de muchas enfermedades y epidemias. Se utilizan organismos indicadores como base para determinar el tipo de contaminación, siendo los más utilizados las bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal del hombre y son eliminadas a través de la materia fecal. Suelen determinarse las bacterias coliformes totales y fecales (*Orozco Barrenetxea et al., 2003*). Estas bacterias no se multiplican en las aguas naturales sino que mueren a las pocas horas, por lo que su concentración en el agua puede disminuir por dilución y por distanciamiento de la fuente donde se generan. Por ello, su presencia demuestra una contaminación “reciente” con excretas humanas y/o animales (*Pulido et al., 2005*).

- **Bacterias Coliformes Totales**: los géneros que conforman este grupo son: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella*, *Serratia*, *Edwardsiella* y *Citrobacter*. Estos viven como saprófitos independientes o como bacterias intestinales. Todos pertenecen a la familia *Enterobacteriaceae*, son bacilos Gram negativos, anaerobios facultativos, no esporulantes, fermentadores de lactosa con producción de gas; las bacterias del tracto intestinal no suelen sobrevivir en el medio acuático ya que están sometidas a un estrés fisiológico y pierden gradualmente la capacidad de producir colonias en medios diferenciales y selectivos (*Prescott et al., 2004*). Su capacidad de supervivencia en el medio 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 en cuerpos de agua (*Fernandez et al., 2001*).



- Bacterias Coliformes Fecales: Estos son sólo de origen intestinal y se denominan termotolerantes por su capacidad de soportar temperaturas más elevadas. Esta denominación los diferencia por la característica de crecer a una temperatura superior que los coliformes totales. 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. (Prescott et al., 2004). Estas bacterias son de interés clínico ya que puede ser capaces de generar infecciones oportunistas en el tracto respiratorio superior e inferior, además de infecciones de piel y tejidos blandos, enfermedad diarreica aguda y otras enfermedades severas (Moore et al., 2002).

#### 1.4 Región de La Plata

El Partido de La Plata ocupa una superficie de 893 km<sup>2</sup>, y se ubica en el noreste de la provincia de Buenos Aires, limitando al noreste con los partidos de Ensenada y Berisso, al noroeste con los de Berazategui y Florencio Varela, al sudoeste y sur con San Vicente y Coronel Brandsen y al sudeste con el partido de Magdalena (figura 1.4.a). La población del partido es de 654.324 habitantes (INDEC, 2010), la que está distribuida en el casco urbano fundacional y en las delegaciones municipales que integran al partido: Villa Elisa, Arturo Seguí, El Peligro, City Bell, Gonnet, Ringuelet, Tolosa, Hernandez-Gorina, San Carlos, Melchor Romero, Abasto, Olmos, Los Hornos, Etcheverry, Altos de San Lorenzo y Villa Elvira. La distribución de la población muestra una concentración del 98% en las áreas urbanas, mientras que el resto se localiza en las zonas rurales (CISAUA-CIC-CONICET-MIVSP, 2006).

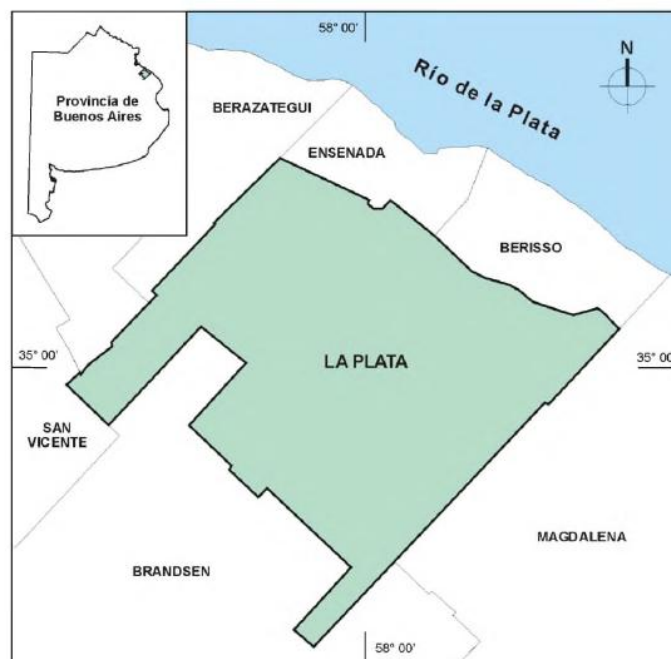


Figura 1.4.a: Ubicación geográfica del Partido de La Plata (Fuente: CISAUA-CIC-CONICET-MIVSP, 2006).

Es posible diferenciar dos zonas de topografía totalmente diferentes que responden a su caracterización geomórfica, la llanura costera y la llanura alta (figura 1.4.b). La llanura costera ocupa dentro del partido de La Plata solo pequeños sectores hacia el norte, en su límite con el partido de Ensenada, y hacia el este cerca del límite con los partidos de Berisso y Magdalena, donde se encuentran las cotas más bajas del partido, aproximadamente entre 2 y 2,5 msnm. La llanura alta comprende casi la totalidad del Partido, por encima de los 5 msnm, y en ella se destaca un interfluvio principal donde se encuentran las cotas más altas del Partido (20-30 msnm) que actúa como divisoria de aguas entre las dos vertientes principales del partido: Río de la Plata hacia el norte y Río Samborombón hacia el sur, las cuales tienen características bien diferenciadas en cuanto al relieve (CISAUA-CIC-CONICET-MIVSP, 2006).

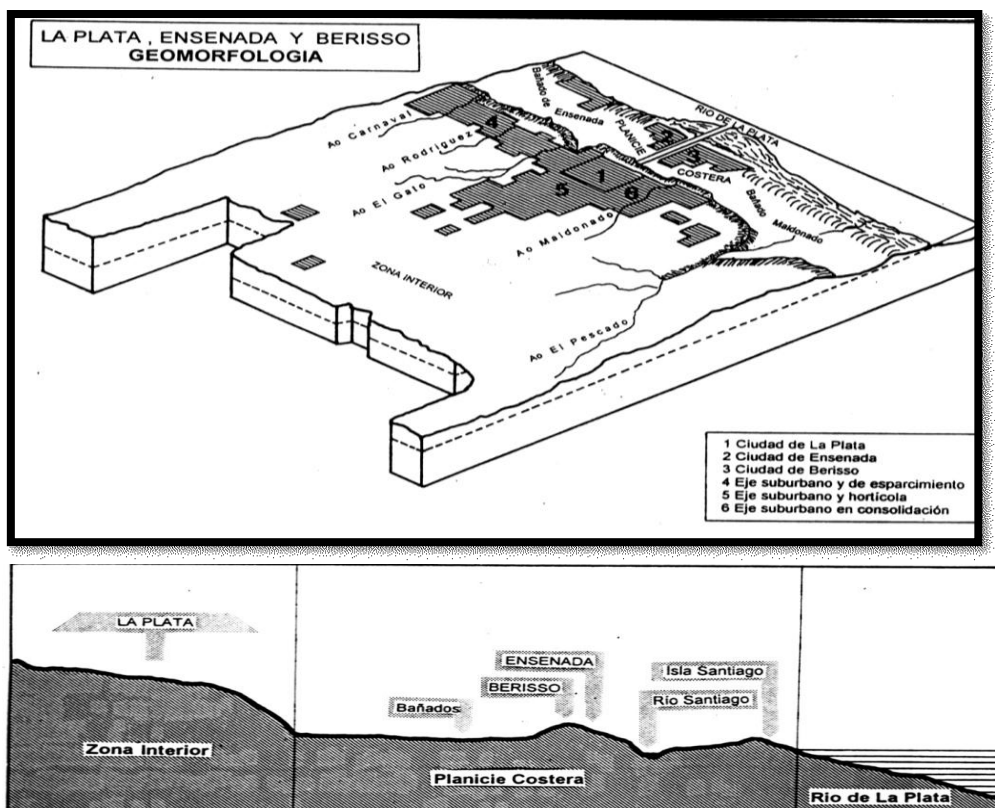


Figura 1.4.b: Geomorfología de La Plata, Ensenada y Berisso (Fuente: UNLP-FAHCE, 1997).

La vertiente del Río de la Plata está integrada parcialmente por la cuenca del arroyo Pereyra, y totalmente por las cuencas de los arroyos Carnaval, Martín, Rodríguez, Don Carlos, del Gato, Pérez, Regimiento, Jardín Zoológico, Circunvalación, Maldonado, Garibaldi y El Pescado (figura 1.4.c). Tienen un rumbo general de escurrimiento SO-NE, desaguando en la planicie costera y no en el río ya que se produce un cambio de pendiente regional, la cual se hace mínima entre los 5 msnm y la costa, lo que provoca que los arroyos pierdan energía y sus cursos se hagan divagantes, insumiéndose y generando bañados (CISAUA-CIC-CONICET-MIVSP, 2006).

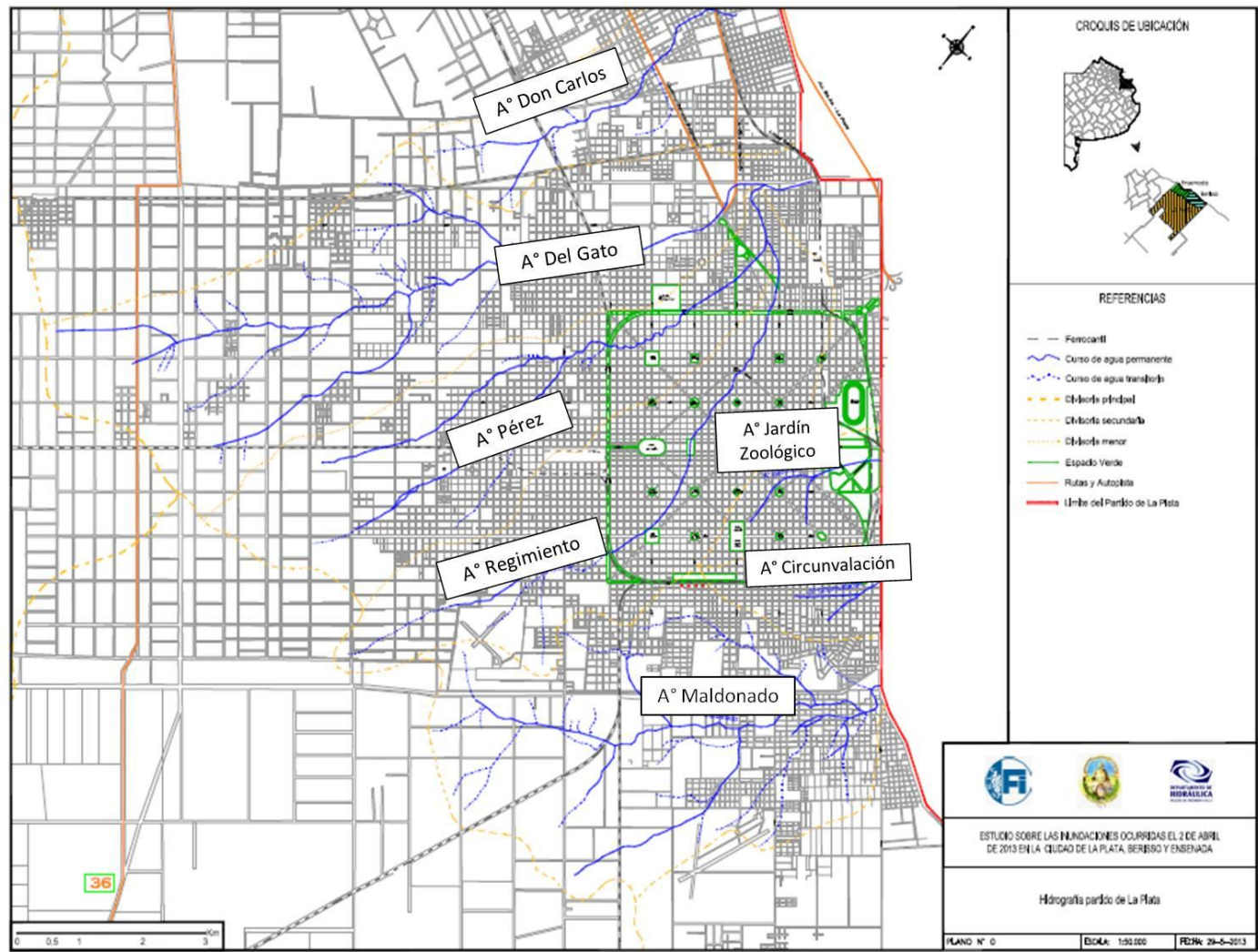


Figura 1.4.c: Hidrología del Partido de La Plata (Fuente: Facultad de Ingeniería UNLP, 2013).

### **1.5 Antecedentes de la calidad de cuerpos de agua de la región**

Los cursos de agua de la Provincia de Buenos Aires, afluentes del Río de la Plata, son algunos de los más contaminados del país. Cabe destacar en la lista a los ríos Luján-Reconquista y Matanza-Riachuelo, y los arroyos Sarandí, Santo Domingo, las Conchitas y del Gato, entre otros. La elevada contaminación y alteración ambiental que sufren estos cursos de agua se debe en gran medida a la falta de gestión integral de sus cuencas y a la falta de ordenamiento territorial y social en las mismas (PNUD, 2012).

Dentro de los arroyos de la región de La Plata, uno de los más importantes es el arroyo del Gato, cuya cuenca abarca una superficie total de aproximadamente 98 km<sup>2</sup> y el recorrido de su cauce principal es de 15 km, en su mayoría a cielo abierto (ADA, 2012). Es el receptor de las descargas de efluentes líquidos industriales y cloacales del sector oeste de las localidades de La Plata y Ensenada, por lo que transporta aguas residuales de la industria papelera, textil, siderúrgica, metalúrgica, además del lixiviado de residuos provenientes de rellenos sanitarios y aportes contaminantes vinculados a la actividad agro-ganadera desarrollada en sus márgenes. Las plantas de tratamiento, las cuales estarían subdimensionadas o no operan en las condiciones adecuadas, son poco eficientes para alcanzar los parámetros fisicoquímicos legislados para el vuelco de efluentes líquidos. Asimismo, en las descargas de colectores pluviales probablemente existan vertidos clandestinos de efluentes líquidos cloacales, situación muy probable en los sectores de la cuenca que no cuentan con sistema de red cloacal. Todo lo expuesto ha conducido a que la calidad ambiental de la cuenca se haya deteriorado significativamente, estando evidenciado en particular por la caracterización fisicoquímica, microbiológica y ecotoxicológica de las aguas y sedimentos del lecho del arroyo, donde el mayor grado de afectación se detecta en la cuenca media, sector más antropizado tanto por industrialización como por urbanización (PNUD, 2012).

### **1.6 Eventos de inundación y su incidencia en la contaminación de cuerpos de agua superficiales. Situación en la ciudad de La Plata.**

Las inundaciones pueden afectar a los asentamientos humanos, los sectores productivos, la infraestructura física y de servicios, entre otros. Constituyen un riesgo para la sociedad por ser eventos periódicos, siendo este riesgo aún mayor si no se conoce bien la magnitud y frecuencia de ocurrencia de la inundación, situación en la que la población no tiene capacidad de preparación frente al hecho (Andrade, 2003; Antico et al., 2010). Se debe analizar a las inundaciones desde una perspectiva integral, en la cual el factor climático no es la única explicación posible, sino que éste es simplemente un suceso que detona una posible situación de desastre, dependiendo de las acciones humanas desarrolladas previo, durante y posteriormente a su ocurrencia y de la situación socioeconómica preponderante en el área en cuestión (Andrade, 2003).

Si bien estos eventos no suelen provocar brotes masivos de enfermedades infecciosas, en algunas circunstancias aumentan las posibilidades de transmisión. A corto plazo, el aumento de la incidencia de enfermedades que se observa con mayor frecuencia, obedece a la contaminación fecal del agua y los alimentos, lo cual ocasiona mayormente enfermedades entéricas. Los sistemas de abastecimiento de agua potable y los de alcantarillado son especialmente vulnerables frente a una inundación, y su destrucción o la interrupción de los servicios conllevan graves riesgos sanitarios. Las deficiencias en la cantidad y calidad del agua potable y los problemas de eliminación de excretas y otros desechos traen como consecuencia un deterioro de los servicios de saneamiento que contribuye a crear las condiciones favorables para la propagación de enfermedades entéricas y de otro tipo (*OPS, 2000*).

La identificación y cuantificación del riesgo hídrico adquiere mayor interés en la actualidad, debido al pronóstico mundial de cambios en el régimen de precipitaciones por efecto del calentamiento atmosférico global. El agravamiento de los problemas de inundaciones queda ejemplificado para la región de La Plata, en los anegamientos producidos en enero de 2002, febrero del 2008 y abril del 2013 que demuestran la falta de una planificación integral. Desde el punto de vista meteorológico, el evento de precipitación del 2 de abril en las ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada fue extraordinario, y su magnitud se ubicó por encima del máximo histórico registrado. A consecuencia de ello, se excedieron las capacidades de los arroyos en cuyas cuencas se asienta fundamentalmente la ciudad de La Plata. Las aguas, al extenderse hacia sus propias planicies de inundación y reocupar las huellas de sus antiguos cauces, produjeron el anegamiento de amplias zonas de la ciudad. Resultaron inundadas en el orden de las 2.100 hectáreas ubicadas en la zona urbana de la cuenca del arroyo del Gato y 1.000 hectáreas en la zona urbana de la cuenca del arroyo Maldonado y un total del orden de 3.500 hectáreas, considerando las subcuencas complementarias. A consecuencia de esta inundación fallecieron más de medio centenar de personas, hubo más de 190.000 afectados y cuantiosos daños materiales (*Facultad de Ingeniería UNLP, 2013*).

Los asentamientos de La Plata se encuentran en la unidad geomórfica de terraza y escalón. Por lo tanto, con la ausencia de conducción por desagües artificiales el agua cae superficialmente por gravedad y se dirige hacia el bañado, que ya presenta una fuerte presión urbana, arrastrando por la pendiente todo lo que oficie de obstáculo al escurrimiento (*IGS, 2005*). En el último desastre de abril de 2013, se pudo comprobar que las muertes denunciadas están localizadas sobre el cauce (entubado o no) de los arroyos de la región y que las planicies de inundación oportunamente delimitadas en los mapas, coinciden con las áreas más intensamente afectadas. La propia urbanización junto a sectores productivos asentados en el territorio ha venido y continúa generando conflictos por problemas de contaminación de diversa índole, afectando la calidad de aguas, sedimentos, suelos y el aire por múltiples fuentes y

tipos de contaminantes, situación agravada en escenarios críticos como los anteriormente mencionados. Estudios previos son ejemplo de la complejidad del problema en cuencas superficiales a lo largo de las últimas décadas, que muestran un extremo grado de deterioro, al igual que la franja costera sur aledaña a los Partidos de Berisso y Ensenada (AA, AGOSBA, ILPLA, SHN, 1997; Catoggio, 1990; Colombo et al., 1990; Ronco et al., 1992, 1993, 2001, 2008). Adicionalmente, la fragmentación de las cuencas por diversas obras civiles, como por ejemplo el entubamiento, dragado inadecuado, entre otros, aniquila los humedales y transforma los cursos en meros conductos, destruyendo el ecosistema y sus funciones (Hernández et al., 2003; Dangavs, 2005).

En el caso de cuencas en las que se ha desarrollado un grado avanzado de urbanización, las redes naturales de desagüe son reemplazadas por los sistemas de desagües pluviales. Al ser un sistema subterráneo, la población pierde la noción de existencia del curso, creándose una falsa sensación de seguridad. Los desbordes que se producen al excederse la capacidad de los conductos toman por sorpresa a la población, disminuyendo su capacidad de respuesta frente al evento. Los excedentes se desplazan en superficie siguiendo las depresiones topográficas, que son las trazas de los antiguos cauces (entubados), hoy urbanizadas. Esta situación queda en evidencia en la cuenca del arroyo Maldonado, que conserva aún algunas de las características de escurrimiento eminentemente naturales: tanto el propio arroyo Maldonado como su principal tributario, el arroyo Monasterio, escurren a cielo abierto, salvo por un tramo de aproximadamente 500 metros del arroyo Monasterio que cruza, entubado, un barrio de viviendas. De esta forma, en ocasión de eventos de crecidas, la población que se asienta en la zona cercana al cauce (en buena parte en viviendas precarias) no pierde la noción del riesgo que ello implica, nacida de la experiencia adquirida a causa de las inundaciones anteriores (Facultad de Ingeniería UNLP, 2013).

## **CAPÍTULO 2: HIPÓTESIS Y OBJETIVOS**

Por lo desarrollado en el capítulo introductorio, y en el marco del proyecto titulado: “Las inundaciones en La Plata, Berisso y Ensenada: Análisis de riesgos, estrategias de intervención. Hacia la construcción de un observatorio ambiental” (Convocatoria UNLP y CONICET-2013 para el desarrollo de Proyectos de Investigación Orientados PIO), se plantean los objetivos generales y específicos a continuación, que tienen en cuenta la necesidad de realizar un monitoreo continuo de calidad de aguas superficiales de la región, tomando como modelo de estudio al arroyo Maldonado, situado al nordeste de la Ciudad de La Plata, del cual se cuenta con escasa información de su situación ambiental.

### **2.1. Hipótesis de Trabajo**

La existencia de fuentes de contaminación urbanas no controladas incrementan los impactos adversos de inundaciones.

### **2.2. Objetivo General**

Estudiar la dinámica de un curso de agua típicamente urbano como el arroyo Maldonado, evaluando la influencia e impacto de las descargas producidas en el mismo y su asociación con el uso del suelo y las condiciones meteorológicas relevantes, en el marco del proyecto arriba mencionado.

### **2.3. Objetivos Específicos**

- ✓ Entrenamiento en la realización de muestreos ambientales: diseño de muestreo, conservación y almacenamiento de muestras, y determinación de parámetros de calidad de aguas.
- ✓ Familiarización con metodologías analíticas para la determinación de parámetros y el manejo de técnicas estandarizadas aplicadas al análisis químico y microbiológico.
- ✓ Aplicación de metodologías validadas para determinar las concentraciones de compuestos inorgánicos (nutrientes) y parámetros generales físicos, químicos y microbiológicos en muestras de agua.
- ✓ Interpretación de los resultados y comparación a niveles guía nacionales e internacionales.

## CAPÍTULO 3: MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Área de Estudio

El arroyo Maldonado es un curso de agua situado al nordeste de la ciudad de La Plata. Forma parte de la cuenca del Río Santiago, desemboca en el Río de La Plata, y se extiende en una superficie de aproximadamente 3.800 hectáreas. La cuenca comprende principalmente las localidades de San Lorenzo y Villa Elvira en el partido de la Plata y desagua sus excedentes en el partido de Berisso (figura 3.1).

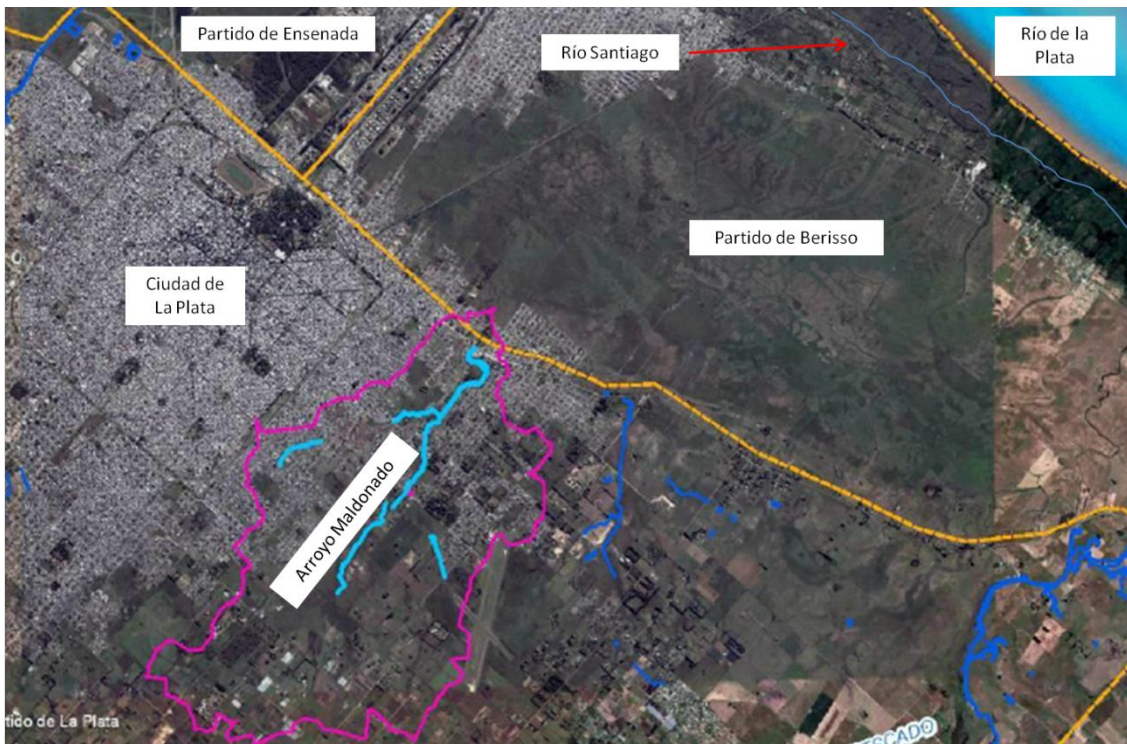


Figura 3.1: Ubicación de la cuenca del arroyo Maldonado respecto a los partidos de Ensenada y Berisso, y de la ciudad de La Plata (Fuente: Facultad de Ingeniería UNLP, 2013)

Los excedentes hídricos generados en la cuenca y subcuencas de aporte son conducidos hacia una zona de bañados naturales por una red no muy densificada de conductos y canales naturales y artificiales; un canal lateral colecta las aguas y las conduce a su destino final en el cauce del Río de la Plata. La cuenca cuenta con un curso principal, el arroyo Maldonado; y un afluente, el arroyo Monasterio, que nace en cota de alrededor de 20 msnm y está parcialmente entubado. Una superficie de 2.500 hectáreas aporta directamente al curso principal del arroyo Maldonado, cuyas nacientes se ubican en el entorno de las calles 90 y 143, y discurre hacia el noreste a lo largo de aproximadamente 7,7 kilómetros. La cuenca conserva aún características semi-rurales y rurales, con una importante actividad florihortícola, en su parte alta; aguas abajo la zona ha experimentado un progresivo proceso de urbanización, en la



que se asientan alrededor de 67.406 habitantes (INDEC, 2010) de acuerdo con los datos del último censo (CISAUA-CIC-CONICET-MIVSP, 2006; Facultad de Ingeniería UNLP, 2013).

### 3.2 Muestreo

#### 3.2.1 Diseño de muestreo

Se realizaron cuatro campañas con frecuencia mensual (tabla 3.2.1.a) para el monitoreo de la calidad del agua del arroyo Maldonado en tres sectores de su cauce a cielo abierto, cuyas ubicaciones se detallan en la tabla 3.2.1.b y muestran en la figura 3.2.1.a.

Campañas	Fecha	Abreviatura
1	24 de Agosto de 2015	Ago15
2	28 de Septiembre de 2015	Sept15
3	2 de Noviembre de 2015	Nov15
4	1 de Diciembre de 2015	Dic15

Sitio	Lugar	Latitud	Longitud
M1	19 e/ 77 y 78	34°56'47,11" S	57°56'5,99" O
M2	7 e/ 93 y 94	34°56'48,74" S	57°54'27,01" O
M3	122 e/ 89 y 90	34°55'47,41" S	57°53'50,43" O

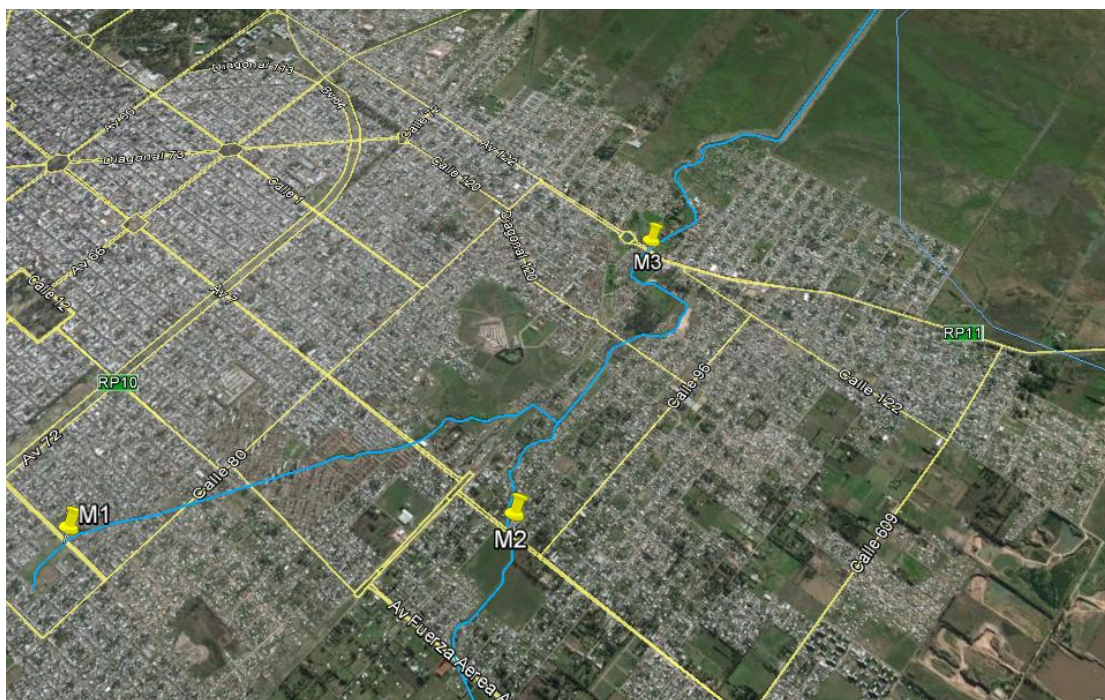


Figura 3.2.1.a: Localización geográfica de los tres sitios de muestreo (Fuente: elaboración propia).

Se realizó una recorrida visual por las zonas accesibles de la cuenca. Con ello se pudieron seleccionar los sitios de muestreo que fueran más representativos para este estudio (figura 3.2.1.b).

El sitio denominado M1 se encuentra ubicado en la calle 19 entre 77 y 78 en el barrio de San Lorenzo, y es la zona de la naciente del arroyo Monasterio, afluente del Maldonado. Muestra una alta urbanización y desarrollo agrario, por lo que es un sitio de interés para evaluar la calidad del arroyo, el cual podría estar recibiendo aportes de contaminantes por descargas cloacales clandestinas y agroquímicos por escorrentía superficial. Esto quedaría evidenciado con la presencia de bacterias coliformes y nutrientes como nitritos, nitratos, amonio y fosfatos, éstos últimos asociados al uso de fertilizantes en el sector productivo.

El sitio de muestro M2 se encuentra sobre la Avenida 7 entre las calles 93 y 94, y está ubicado sobre el curso principal del arroyo Maldonado. Es una zona muy urbanizada, de alto tránsito vehicular, que además cuenta con la presencia de algunas industrias. La presencia de asentamientos en la margen del arroyo sugiere potencial contaminación bacteriológica principalmente de las descargas directas de desechos humanos asociados a la ausencia de red de servicio cloacal.

Por último el sitio M3, que se ubica en la Avenida 122 entre 89 y 90, tiene características similares a los anteriores en cuanto a urbanización y ausencia de red cloacal. Interesa conocer la calidad del agua en este sitio ya que tiene influencia de ambos tramos superiores y su potencial influencia en el tramo inferior que desemboca en el Río de la Plata.



Figura 3.2.1.b: Fotos del recorrido visual para la elección de los sitios de muestreo.

### 3.2.2 Toma, preservación y procesamiento de muestras

#### 3.2.2.1 Recolección y preservación de muestras

La tarea en campo en los tres sitios previstos y en todas las fechas de muestreo consistió en:

- I. Medición de parámetros fisicoquímicos *in situ*: se registró temperatura, pH, conductividad y oxígeno disuelto utilizando un instrumento multiparamétrico (Digital Instruments, marca Lutron y serie WA- 2017SD) (figura 3.2.2.1.a).
- II. Recolección de muestras: con un balde de plástico se tomaron las muestras de agua a aproximadamente 0,5 metros de profundidad en todos los sitios (figura 3.2.2.1.b), para posteriormente determinar en laboratorio los siguientes parámetros:
  - a. Químicos: demanda biológica de oxígeno, alcalinidad, dureza, calcio, magnesio, sólidos totales, sólidos totales fijos, nitritos, nitratos, amonio, fósforo total, fósforo reactivo soluble y pérdida por ignición.
  - b. Microbiológicos: bacterias coliformes totales y bacterias coliformes fecales.

En la campaña de muestreo Dic15 sólo se midieron los parámetros fisicoquímicos *in situ*.



Figura 3.2.2.1.a: Medición de parámetros fisicoquímicos *in situ*.



Figura 3.2.2.1.b: Recolección de muestras.

Todo el proceso de manipulación y preservación de muestras siguió la normas internacionales de la USEPA descritas en los manuales de estudio de efluentes (*USEPA, 2002a; USEPA, 2002b*) y según lo propuesto en metodología estandarizada para aguas (*APHA, 1998*).

Las muestras destinadas para determinar los parámetros químicos se recolectaron en bidones plásticos de 2 litros. El procedimiento general fue el enjuague de la botella con agua del lugar, posterior descarte y recolección final, rebalsando la botella y cerrándola herméticamente.

En el caso de las muestras destinadas a la determinación de bacterias coliformes fecales y totales, éstas se recolectaron en envases plásticos estériles de 125 ml, tomando las precauciones necesarias para evitar su contaminación: se utilizaron guantes de látex, y los envases estériles se abrieron al momento de la toma de muestra, cerrándolos herméticamente una vez realizado el muestreo.

Las muestras de agua para la determinación de la DBO se recolectaron en botellas de vidrio con cierre hidráulico de 300 ml, evitando que queden burbujas de aire en su interior.

Todas las muestras de agua se mantuvieron en conservadora de campo hasta llegar al laboratorio.

Las muestras destinadas a la determinación de nutrientes se filtraron en el laboratorio con filtro de acetato de celulosa de poro 0,45  $\mu\text{m}$  y se almacenaron en frío en botellas de plásticas de 125 ml hasta su posterior análisis.

La figura 3.2.2.1.c. muestra un esquema general de la toma de muestra y las distintas determinaciones.

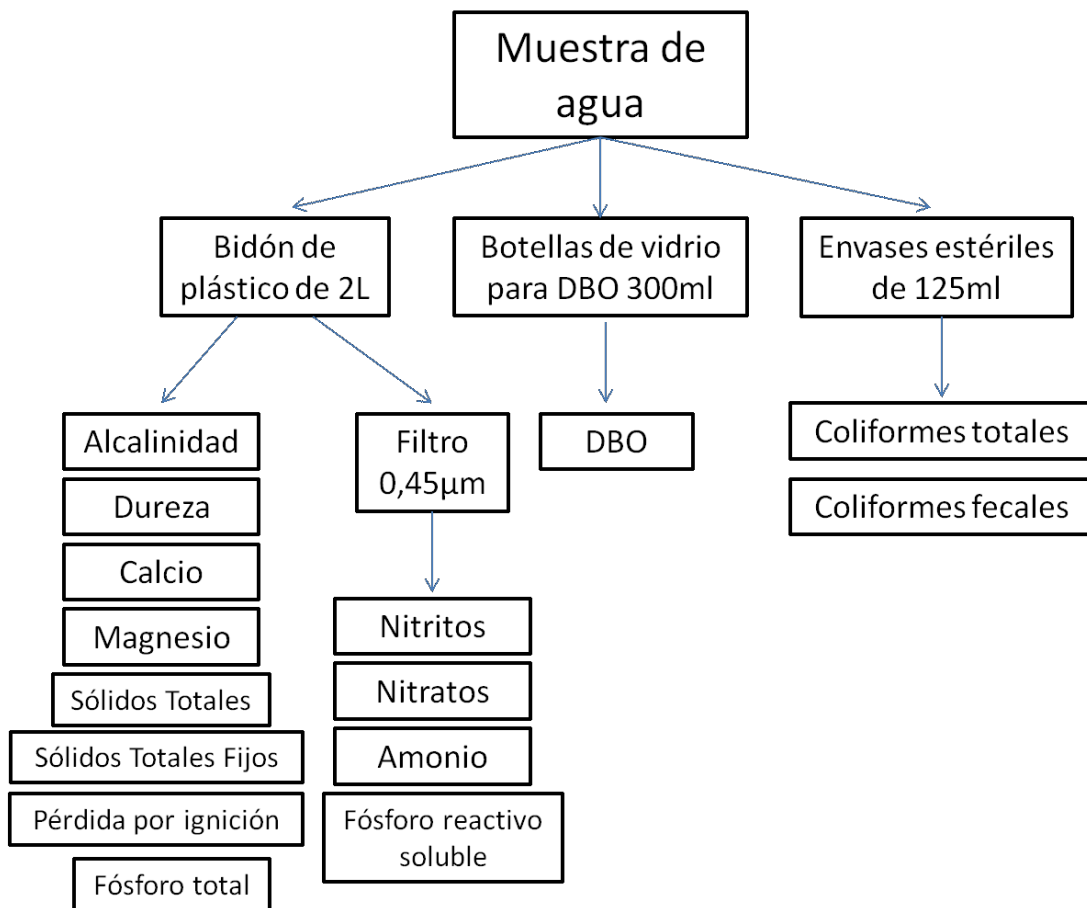


Figura 3.2.2.1.c: Esquema de toma de muestra y determinaciones correspondientes. (Fuente: elaboración propia).

En cada campaña de muestreo se registró la información meteorológica correspondiente a la fecha: temperatura, humedad, presión, e intensidad y dirección del viento (Fuente: Servicio Meteorológico Nacional).

### 3.2.2.2 Determinaciones fisicoquímicas *in situ*

- Temperatura: La sonda antes mencionada utiliza un sensor con resistencia térmica de alta tecnología para medir la temperatura en °C.
- Conductividad: Se mide la resistencia eléctrica (inversa de la conductancia) que ejerce una solución entre dos electrodos espacialmente fijos y químicamente inertes. La conductancia (G) de una solución directamente proporcional al área de superficie del electrodo (A) e inversamente proporcional a la distancia (l) entre los electrodos. La constante de proporcionalidad k es la conductividad, equivale a  $k = G \cdot (A/l)$  y se mide en mS/cm. (APHA, 1998).
- pH: Se utiliza el método potenciométrico con electrodo de vidrio en unidades de pH. La diferencia de potencial existente entre un electrodo de vidrio y el electrodo de referencia (calomel) sumergidos en una misma solución, es función del pH de la misma. Según la ley de Nernst, el potencial del electrodo está ligado a la actividad de los protones (Rodier et al., 1998).
- Oxígeno disuelto: La determinación de la concentración de oxígeno disuelto en agua está basada en la medición de la diferencia de potencial que se establece entre el ánodo de referencia de plata/cloruro en un electrolito de KCl y el cátodo de platino, la que es proporcional a la concentración del oxígeno disuelto en la muestra. El oxígeno disuelto se mide en unidades de mgO<sub>2</sub>/L (APHA, 1998).

### 3.2.2.3 Procesamiento de las muestras en laboratorio

- Determinación de Parámetros Químicos
  - Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>): Se mide el oxígeno disuelto al inicio y cumplidos los 5 días, a las muestras y a los controles. Como medio se utiliza una solución de sales (solución buffer de fosfatos, sulfato de magnesio, cloruro de calcio y cloruro férrico). Se realiza un control negativo (medio) y uno positivo (glucosa y ácido glutámico), y dos diluciones por muestra. Los resultados se expresan como mgO<sub>2</sub> consumido/L. El procedimiento es análogo al método 5210 B (APHA, 1998). Las figuras 3.2.2.3 a y b muestran la determinación de la DBO<sub>5</sub> en el laboratorio.



Figura 3.2.2.3.a: Medida del oxígeno disuelto para la DBO<sub>5</sub>.



Figura 3.2.2.3.b: Incubación de las muestras para la DBO<sub>5</sub>.

- Alcalinidad: El método de determinación es por titulación con una solución estándar de ácido clorhídrico de título conocido validado contra una solución de carbonato de sodio. Para la detección del punto final se utiliza el indicador verde de bromocresol, hasta el viraje del color azul al amarillo. Los resultados se expresan como mgCaCO<sub>3</sub>/L. El procedimiento es análogo al método 2320 B (APHA, 1998). La figura 3.2.2.3.c muestra la determinación de la alcalinidad en el laboratorio.



Figura 3.2.2.3.c: Titulación para la determinación de la alcalinidad.

- Dureza: El método de determinación es por titulación con ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) en presencia de un buffer creando un pH del medio entre 10,0 y 10,1. Previamente se estandariza el título del EDTA con una solución patrón de calcio. Los iones calcio y magnesio forman complejos estables con etilendiaminotetra-acetato disódico, siendo esto el punto final de la titulación, que es detectado por el indicador Negro de Eriocromo-T con el viraje de color rosa al azul. Los resultados se expresan como  $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$ . El procedimiento es análogo al método 2340 C (APHA, 1998). La figura 3.2.2.3.d muestra la determinación de la dureza en el laboratorio.





Figura 3.2.2.3.d: Titulación para la determinación de la dureza.

- Calcio: Las muestras fueron tituladas con EDTA en medio alcalino, utilizando una solución de hidróxido de sodio. Con esto se logra un pH de solución lo suficientemente alto para que el magnesio precipite como hidróxido y se pueda determinar solo el calcio. El punto final de la titulación es detectado por el indicador Calcón, el que vira de fucsia a azul. Los resultados se expresan como  $\text{mgCaCO}_3/\text{L}$  (dureza de calcio) y como  $\text{mgCa}/\text{L}$ . El procedimiento es análogo al método 3500-Ca B (APHA, 1998).
- Magnesio: Se estimó la concentración de magnesio por un método de cálculo, como la diferencia entre la dureza total y la dureza de calcio. El procedimiento es análogo al método 3500-Mg B (APHA, 1998).

- **Sólidos Totales (ST):** Una porción de las muestras, apropiadamente homogeneizadas, se evaporaron en una cápsula de porcelana previamente pesada y se secaron durante 1 hora hasta peso constante en una estufa a 103-105°C. Al residuo remanente después de secar las muestras se le llama sólidos totales. El procedimiento es análogo al método 2540 B (APHA, 1998). La figura 3.2.2.3.e muestra la balanza analítica utilizada en la determinación.
- **Sólidos Totales Fijos (STF):** Luego de la determinación de los ST, se queman las muestras a 550°C en mufla y se vuelve a pesar, obteniendo por diferencia de pesos los sólidos totales fijos y volátiles. El procedimiento es análogo al método 2540 E (APHA, 1998).



Figura 3.2.2.3.e: Balanza analítica para la pesada de sólidos.

- **Nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ):** La determinación se realizó por el método diazotación con sulfanilamida. Se tomó una alícuota de cada muestra, y se le agregó un reactivo colorimétrico, compuesto de ácido sulfanílico, con el cual los nitritos reaccionan para formar una sal de diazonio. Esta sal reacciona con diclorhidrato de N-(1-naftil)-etilendiamina (contenido junto con el ácido sulfanílico) dando un producto de coloración violeta rosado, que se determina espectrofotométricamente a 525 nm. Paralelamente se realizó la curva de calibración con una solución estándar de 2,5 ppm  $\text{NO}_2^-$  (figura 3.2.2.3.f). Para todo el procedimiento se utilizó agua nanopura (libre de nitritos). El intervalo de aplicación para este método es de 0,005-1,000  $\text{mgNO}_2^-$ -N/L. Los resultados se expresan como  $\text{mgNO}_2^-$ /L. El procedimiento es análogo al método 4500- $\text{NO}_2^-$  B (APHA, 1998).



Figura 3.2.2.3.f: Curva de calibración para la determinación de nitritos.

➤ Nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ):

La determinación se realizó con unos sobres reactivos que contienen cadmio, llamados NitraVer 6 (nitrate reagent) de la marca Hach. El cadmio reduce los nitratos cuantitativamente a nitritos. Los nitritos producidos se determinaron por la diazotación con sulfanilamida por espectrofotometría anteriormente mencionada (figura 3.2.2.3.g). Paralelamente se realizó la curva de calibración utilizando una solución patrón de nitratos  $1\text{ml}=100\mu\text{g}$ . Con este procedimiento se determinan conjuntamente nitratos y nitritos, por lo que los nitratos se obtienen por diferencia con el resultado obtenido para los nitritos. El intervalo de aplicación de este método es de  $0,01-1,00\text{ mgNO}_3^-/\text{L}$ . Los resultados se expresan como  $\text{mgNO}_3^-/\text{L}$ . El procedimiento es análogo al método 4500- $\text{NO}_3^- \text{E}$  (APHA, 1998).



Figura 3.2.2.3.g: Espectrofotómetro utilizado para las determinaciones de nutrientes.

- Amonio: Las muestras de agua se trataron con un kit para la determinación de amonio marca Wiener lab. (figura 3.2.2.3.h) compuesto por dos reactivos, el reactivo A (fenol y nitroferrocianuro de sodio) y el reactivo B (hipoclorito de sodio e hidróxido de sodio). Se forma azul de indofenol, un complejo de intensa coloración azul que se determinó espectrofotométricamente a 630 nm. Se realizó paralelamente la curva de calibración con una solución patrón de amonio de 1000  $\mu\text{g/ml}$  (figura 3.2.2.3.i). El método es lineal hasta 0,6  $\text{mgNH}_3/\text{L}$ . Los resultados se expresan como  $\text{mgNH}_3/\text{L}$ . El procedimiento es análogo al método 4500- $\text{NH}_3$  F (APHA, 1998).



Figura 3.2.2.3.h: Kit para la determinación de amonio.



Figura 3.2.2.3.i: Curva de calibración para la determinación de amonio.

- Fósforo total: El método utilizado para esta determinación es el del ácido ascórbico. Primero se digirieron las muestras de agua sin filtrar con persulfato de potasio en medio ácido, en autoclave abierta (100°C) durante 30 min (figura 3.2.2.3.j). La hidrólisis ácida a dicha temperatura convierte los fosfatos disueltos y suspendidos en ortofosfato disuelto. Luego, se trataron con un reactivo combinado, compuesto de ácido sulfúrico, tartrato de potasio y antimonio,

molibdato de amonio y ácido ascórbico. En solución sulfúrica los iones ortofosfato forman con los iones molibdato el ácido molibdofosfórico, y este último, con ácido ascórbico, se reduce a azul de fosfomolibdeno, el que se determinó fotométricamente a 880 nm. Se realizó también la curva de calibración con una solución patrón de fosfato 1ml=50 $\mu$ g (figura 3.2.2.3.k). El intervalo de aplicación de este método es de 0,01–1,30 mg P/L. Los resultados se expresan como mgPO<sub>4</sub><sup>-3</sup>/L. El procedimiento es análogo al método 4500-P E (APHA, 1998).

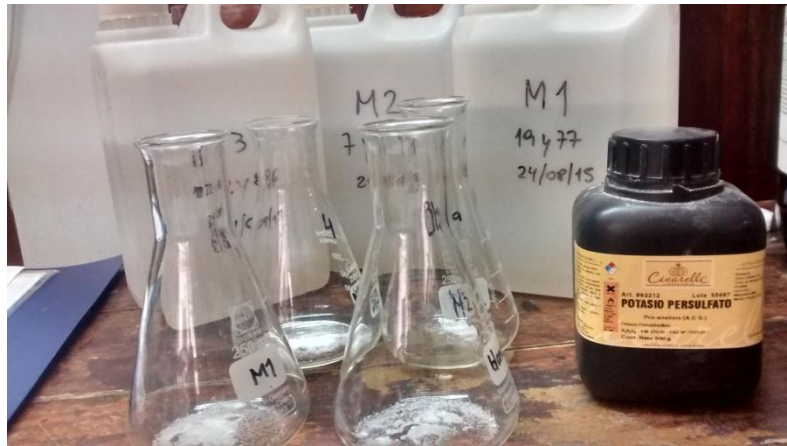


Figura 3.2.2.3.j: Digestión ácida para fosfatos.



Figura 3.2.2.3.k: Curva de calibración para la determinación de fosfatos.

- Fósforo Reactivo Soluble: La determinación se realiza con el método del ácido ascórbico por colorimetría mencionado en el punto anterior (figura 3.2.2.3.l). El intervalo de aplicación de este método es de 0,01–1,30 mgP/L. El procedimiento análogo al método 4500-P E (APHA, 1998).

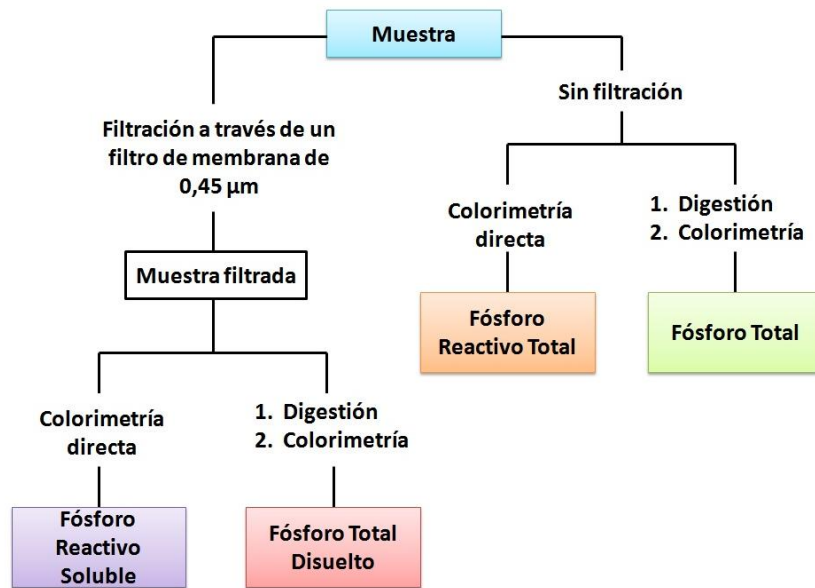


Figura 3.2.2.3.l: Pasos de análisis para la determinación de las diferentes formas de fósforo.  
(Fuente: APHA, 2008).

- Pérdida por Ignición (LOI): Este método determina indirectamente el contenido de materia orgánica ya que compuestos inorgánicos como carbonatos se eliminan durante el calentamiento. El contenido orgánico se oxida a 500-550°C y produce dióxido de carbono y cenizas. La pérdida de peso durante las reacciones se mide pesando las muestras antes y después del calentamiento y se determina como porcentaje respecto de la masa seca inicial (Heiri et al., 1999).
- Determinaciones Microbiológicas
- Coliformes Totales (CT): La determinación de microorganismos coliformes totales se realizó por el método estandarizado de fermentación en tubo múltiple o Número Más Probable (NMP), que se fundamenta en la capacidad de este grupo microbiano de fermentar la lactosa con producción de ácido y gas al incubarlos durante 48 horas a  $35 \pm 1^\circ\text{C}$ , utilizando un medio de cultivo que contiene sales biliares. Esta determinación constó de dos fases, la fase presuntiva y la fase confirmativa: en la fase presuntiva se utilizó el medio de cultivo MacConkey (figura 3.2.2.3.m), que permite la recuperación de los microorganismos dañados que se encuentran presentes en la muestra y que son capaces de utilizar la lactosa como fuente de carbono; durante la fase confirmativa se utilizó como medio de cultivo el caldo lactosado bilis Verde Brillante (figura 3.2.2.3.n), el cual es selectivo y sólo permite el desarrollo de aquellos microorganismos capaces de tolerar tanto las sales biliares como el verde brillante. En todos los tubos, y para ambas fases, se introdujo una campana de Durham invertida, de manera que la presencia de gas dentro de la campana indica un resultado positivo. La cantidad de coliformes totales presentes en las muestras se determinan en función de los tubos positivos

mediante una tabulación estadística, expresando el resultado en NMP/100ml. El procedimiento es análogo al método 9221 B (APHA, 1998).



Figura 3.2.2.3.m: Preparación de los tubos con medio MacConkey.



Figura 3.2.2.3.n: Preparación de los tubos con medio Verde Brillante.

- Coliformes Fecales (CF): La determinación del NMP de microorganismos coliformes fecales se realizó a partir de los tubos positivos de la prueba presuntiva para coliformes totales y se fundamenta en la capacidad de las bacterias para fermentar la lactosa y producir gas cuando son incubados en medio EC a  $44,5 \pm 0,1^\circ\text{C}$  por un periodo de 24 horas. El procedimiento es análogo al método 9221 E (APHA, 1998).

Las figuras 3.2.2.3.o y p muestran la determinación microbiológica en el laboratorio.



Figura 3.2.2.3.o: Preparación de los medios de cultivo para las determinaciones microbiológicas.

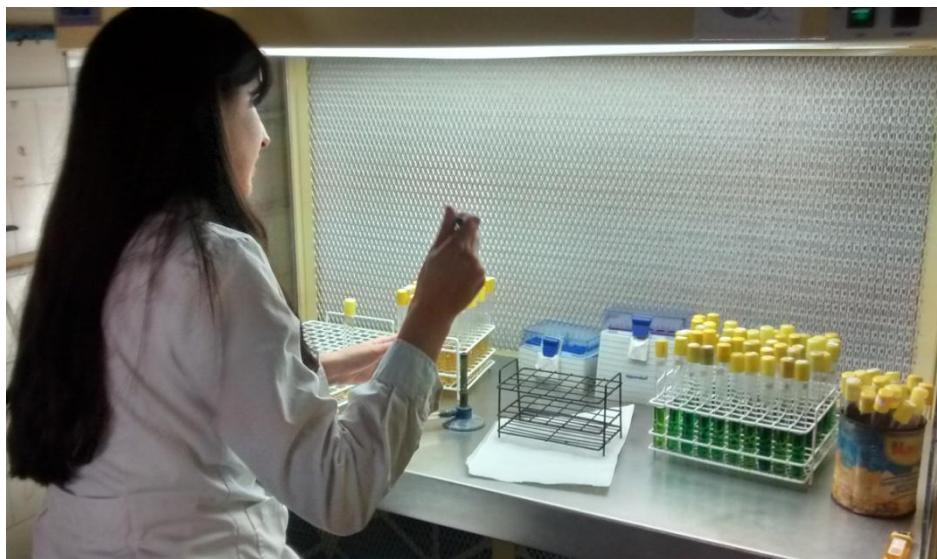


Figura 3.2.2.3.p: Repique microbiológico.

### 3.3 Obtención e interpretación de resultados

#### 3.3.1 Distribución temporal y espacial de las concentraciones

La distribución temporal (variación entre campañas) y espacial (variación entre sitios de muestreo) de los parámetros determinados en la zona de estudio se representó mediante gráficos de puntos, y la variabilidad del arroyo mediante gráficos de cajas para cada parámetro.



### 3.3.2 Comparación de los resultados obtenidos con niveles guía de calidad y antecedentes de cursos de agua superficiales de la región.

Los resultados obtenidos se compararon con las normas o niveles guías vigentes de estos parámetros para distintos usos del agua (nacionales y de aquellos organismos internacionales que los tuvieran).

A su vez, se comparan los resultados obtenidos con valores de los parámetros de estudios realizados recientemente en cuerpos de agua de la región, como los casos de los arroyos del Gato y Pereyra, y los ríos Reconquista y Luján.

### 3.3.3 Análisis Estadístico

Se realizó un cálculo estadístico descriptivo de los datos obtenidos para algunos de los parámetros estudiados: se determinó la media, máximos, mínimos y desviación estándar de los mismos. Además se realizaron los respectivos gráficos de caja, utilizando el software Statistica (StatSoft Inc. 2014, versión 12).

Adicionalmente, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) sobre las concentraciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos determinados. Con el objetivo de analizar la variación entre las campañas de muestreo, se analizaron todos los sitios en forma diferencial. En primer lugar se comprobó mediante la prueba Shapiro-Wilk que a un umbral de significación de  $\alpha=0,05$ , las variables no ajustan a la normalidad. Luego se realizó el análisis PCA con coeficiente de correlación Spearman ( $\alpha=0,05$  prueba bilateral), seguido de rotación Varimax para una mejor interpretación. Los factores fueron tomados como significativos con valores propios mayores a 1. El análisis fue realizado con el software XL-STAT (Addinsoft 2005, version 7.5.3).

## 3.4 Índice de Calidad de Aguas (ICA)

El Índice de Calidad del Agua (ICA) es un número adimensional que permite comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua, y es una agrupación algunos parámetros físicos, químicos y microbiológicos. La construcción del ICA requiere primero de un paso de normalización, donde el parámetro es transformado en una escala de 0 a 100, donde 100 representa la calidad más alta (tabla 3.4.a). Luego se aplican factores de peso que reflejen la importancia de cada parámetro como un indicador de la calidad del agua. De esta manera, el ICA provee un número que puede ser asociado con un porcentaje de calidad, fácil de interpretar y basado en criterios científicos.

Tabla 3.4.a: Índices de calidad de agua	
Calidad del agua	Valor del índice
Excelente	90-100
Buena	70-90
Media	50-70
Mala	25-50
Muy Mala	0-25
<i>Fuente: NFS, 2007</i>	

El ICA que se empleó en el presente estudio corresponde al índice de Brown modificado por la Fundación de Sanidad Nacional de EEUU (*NSF, 2007*) llamado “**Water Quality Index**” (**WQI**). En este índice se consideran 9 parámetros: coliformes fecales, pH, DBO<sub>5</sub>, nitratos, fosfatos, cambio de temperatura, sólidos disueltos y turbidez. La importancia de estos parámetros como indicadores de calidad de agua se ve reflejada a través de factores que poseen diferentes valores de influencia (peso) al momento de calcular el índice (tabla 3.4.b). Para el cálculo final del índice se utilizó una plantilla de cálculo disponible en internet (*WRC, 2012*), donde se tuvieron en cuenta 8 parámetros (ya que no se pudieron realizar mediciones de turbidez). El cálculo se realizó para todos los sitios en las tres campañas. Una vez obtenido el valor para cada sitio, los mismos fueron asignados dentro de una categoría de acuerdo al nivel de calidad de agua (excelente, buena, media, mala y muy mala).

Tabla 3.4.b: Influencia de los Factores de Calidad de Agua para calcular el ICA.	
Factor	Peso
Oxígeno Disuelto	0,17
Coliformes Fecales	0,16
pH	0,11
DBO <sub>5</sub>	0,11
Cambio de Temperatura	0,10
Fósforo Total	0,10
Nitratos	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos Totales	0,07
<i>Fuente: NFS, 2007</i>	

## CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presentan a continuación los resultados que corresponden a todos los parámetros estudiados y medidos en el presente trabajo. Se realizó un cálculo estadístico descriptivo de los datos obtenidos para los parámetros estudiados. También se presenta la distribución espacial y temporal de los mismos, la variación temporal y espacial en el curso de agua. A partir de lo analizado, se comparan los resultados obtenidos con niveles guía de calidad para diferentes usos del recurso, y con valores de los parámetros de estudios realizados recientemente en arroyos y ríos de la región. Adicionalmente, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) sobre los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos determinados, con el fin de lograr una mejor interpretación de los resultados obtenidos. Por último, se aplica un índice de calidad de aguas para clasificar los sitios de estudio de las campañas de muestreo Ago15, Sept15 y Nov15, y su relación con la actividad y uso del suelo en la zona en función de mapeos existentes, cedidos por el Centro de Investigaciones Urbanas y Territoriales (CIUT) de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de La Plata. Dichos mapas se encuentran en el Anexo del presente trabajo.

### 4.1 Parámetros fisicoquímicos *in situ*

#### 4.1.1 Presentación de resultados

En la tabla 4.1.a se presentan los datos meteorológicos de las 4 campañas de muestreo, consultados en la página web del Servicio Meteorológico Nacional. En la tabla 4.1.b se presentan los datos de los parámetros que se registraron *in situ*: temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad. Por otro lado, en la tabla 4.1.d se presentan los datos estadísticos descriptivos de estos parámetros para cada campaña.

Campaña	Temperatura ambiente (°C)	Humedad Relativa Ambiente (%)	Viento		Presión (hPa)	Estado
			Velocidad (km/h)	Dirección		
Ago15	7,5	79	11	Este	1021,3	Nublado
Sept15	17,0	64	16	Noroeste	1007,2	Nublado con lluvias
Nov15	17,2	68	13	Norte	1017,2	Soleado
Dic15	19,4	70	18	Este	1012,6	Soleado con nubes

Tabla 4.1.b. Parámetros Físicoquímicos determinados <i>in situ</i> .						
Campaña	Sitios	T H <sub>2</sub> O (°C)	Conductividad (mS/cm)	pH	Oxígeno Disuelto	
					%Sat *	mgO <sub>2</sub> /L
Ago15	M1	11,2	1,095	7,22	60	6,7
	M2	11,0	0,886	7,75	70	7,8
	M3	13,6	1,099	6,00	72	7,6
Sept15	M1	16,3	1,060	7,86	53	5,2
	M2	16,4	0,887	8,02	68	6,6
	M3	16,9	1,105	7,80	33	3,2
Nov15	M1	16,0	1,029	8,25	63	6,2
	M2	17,2	0,905	8,33	66	6,5
	M3	19,3	1,105	8,32	63	6,1
Dic15	M1	20,7	1,110	7,68	24	2,2
	M2	21,2	0,887	8,00	78	7,0
	M3	22,6	1,291	7,80	34	3,0

\* Se calculó con la siguiente tabla a la temperatura indicada (tabla 4.1.c)

Tabla 4.1.c: Capacidad de Oxígeno Disuelto (mg/L) (Fuente: Vernier Software & Technology, 2015).

	770 mm	760 mm	750 mm	740 mm	730 mm	720 mm	710 mm	700 mm	690 mm	680 mm	670 mm	660 mm
0°C	14.76	14.57	14.38	14.19	13.99	13.80	13.61	13.42	13.23	13.04	12.84	12.65
1°C	14.38	14.19	14.00	13.82	13.63	13.44	13.26	13.07	12.88	12.70	12.51	12.32
2°C	14.01	13.82	13.64	13.46	13.28	13.10	12.92	12.73	12.55	12.37	12.19	12.01
3°C	13.65	13.47	13.29	13.12	12.94	12.76	12.59	12.41	12.23	12.05	11.88	11.70
4°C	13.31	13.13	12.96	12.79	12.61	12.44	12.27	12.10	11.92	11.75	11.58	11.40
5°C	12.97	12.81	12.64	12.47	12.30	12.13	11.96	11.80	11.63	11.46	11.29	11.12
6°C	12.66	12.49	12.33	12.16	12.00	11.83	11.67	11.51	11.34	11.18	11.01	10.85
7°C	12.35	12.19	12.03	11.87	11.71	11.55	11.39	11.23	11.07	10.91	10.75	10.59
8°C	12.05	11.90	11.74	11.58	11.43	11.27	11.11	10.96	10.80	10.65	10.49	10.33
9°C	11.77	11.62	11.46	11.31	11.16	11.01	10.85	10.70	10.55	10.39	10.24	10.09
10°C	11.50	11.35	11.20	11.05	10.90	10.75	10.60	10.45	10.30	10.15	10.00	9.86
11°C	11.24	11.09	10.94	10.80	10.65	10.51	10.36	10.21	10.07	9.92	9.78	9.63
12°C	10.98	10.84	10.70	10.56	10.41	10.27	10.13	9.99	9.84	9.70	9.56	9.41
13°C	10.74	10.60	10.46	10.32	10.18	10.04	9.90	9.77	9.63	9.49	9.35	9.21
14°C	10.51	10.37	10.24	10.10	9.96	9.83	9.69	9.55	9.42	9.28	9.14	9.01
15°C	10.29	10.15	10.02	9.88	9.75	9.62	9.48	9.35	9.22	9.08	8.95	8.82
16°C	10.07	9.94	9.81	9.68	9.55	9.42	9.29	9.15	9.02	8.89	8.76	8.63
17°C	9.86	9.74	9.61	9.48	9.35	9.22	9.10	8.97	8.84	8.71	8.58	8.45
18°C	9.67	9.54	9.41	9.29	9.16	9.04	8.91	8.79	8.66	8.54	8.41	8.28
19°C	9.47	9.35	9.23	9.11	8.98	8.86	8.74	8.61	8.49	8.37	8.24	8.12
20°C	9.29	9.17	9.05	8.93	8.81	8.69	8.57	8.45	8.33	8.20	8.08	7.96
21°C	9.11	9.00	8.88	8.76	8.64	8.52	8.40	8.28	8.17	8.05	7.93	7.81
22°C	8.94	8.83	8.71	8.59	8.48	8.36	8.25	8.13	8.01	7.90	7.78	7.67
23°C	8.78	8.66	8.55	8.44	8.32	8.21	8.09	7.98	7.87	7.75	7.64	7.52
24°C	8.62	8.51	8.40	8.28	8.17	8.06	7.95	7.84	7.72	7.61	7.50	7.39
25°C	8.47	8.36	8.25	8.14	8.03	7.92	7.81	7.70	7.59	7.48	7.37	7.26
26°C	8.32	8.21	8.10	7.99	7.89	7.78	7.67	7.56	7.45	7.35	7.24	7.13
27°C	8.17	8.07	7.96	7.86	7.75	7.64	7.54	7.43	7.33	7.22	7.11	7.01
28°C	8.04	7.93	7.83	7.72	7.62	7.51	7.41	7.30	7.20	7.10	6.99	6.89
29°C	7.90	7.80	7.69	7.59	7.49	7.39	7.28	7.18	7.08	6.98	6.87	6.77
30°C	7.77	7.67	7.57	7.47	7.38	7.28	7.18	7.08	6.98	6.88	6.78	6.68
31°C	7.64	7.54	7.44	7.34	7.24	7.14	7.04	6.94	6.85	6.75	6.65	6.55

Tabla 4.1.d. Media, mínimo, máximo y desviación estándar de los parámetros fisicoquímicos <i>in situ</i> registrados para las tres campañas de muestreo.						
Campaña	Temperatura (°C)			Conductividad (mS/cm)		
	Media	Mín - Máx	Desv. Est.	Media	Mín - Máx	Desv. Est.
Ago15	11,9	11,0 – 13,6	1,4	1,027	0,886 – 1,099	0,122
Sept15	16,5	16,3 – 16,9	0,3	1,017	0,887 – 1,105	0,115
Nov15	17,5	16,0 – 19,3	1,7	1,013	0,905 – 1,105	0,101
Dic15	21,5	20,7 – 22,6	1,0	1,096	0,887 – 1,291	0,202
Campaña	pH			Oxígeno Disuelto (%Sat)		
	Media	Mín - Máx	Desv. Est.	Media	Mín - Máx	Desv. Est.
Ago15	6,99	6,00 – 7,75	0,90	67,3	60 – 72	6,4
Sept15	7,89	7,80 – 8,02	0,11	51,3	33 – 68	17,5
Nov15	8,30	8,25 – 8,33	0,04	64,0	63 – 66	1,7
Dic15	7,83	7,68 – 8,00	0,16	45,3	24 – 78	28,7

#### 4.1.2 Distribución temporal y espacial de los parámetros fisicoquímicos *in situ*

La distribución de los parámetros fisicoquímicos *in situ* se muestra con gráfico de puntos en las figura 4.1.2.a (1-4) correspondientes a cada sitio para distintos muestreos y con gráfico de cajas en la figura 4.1.2.b (1-4) para observar la variabilidad de los parámetros con todos los datos obtenidos.

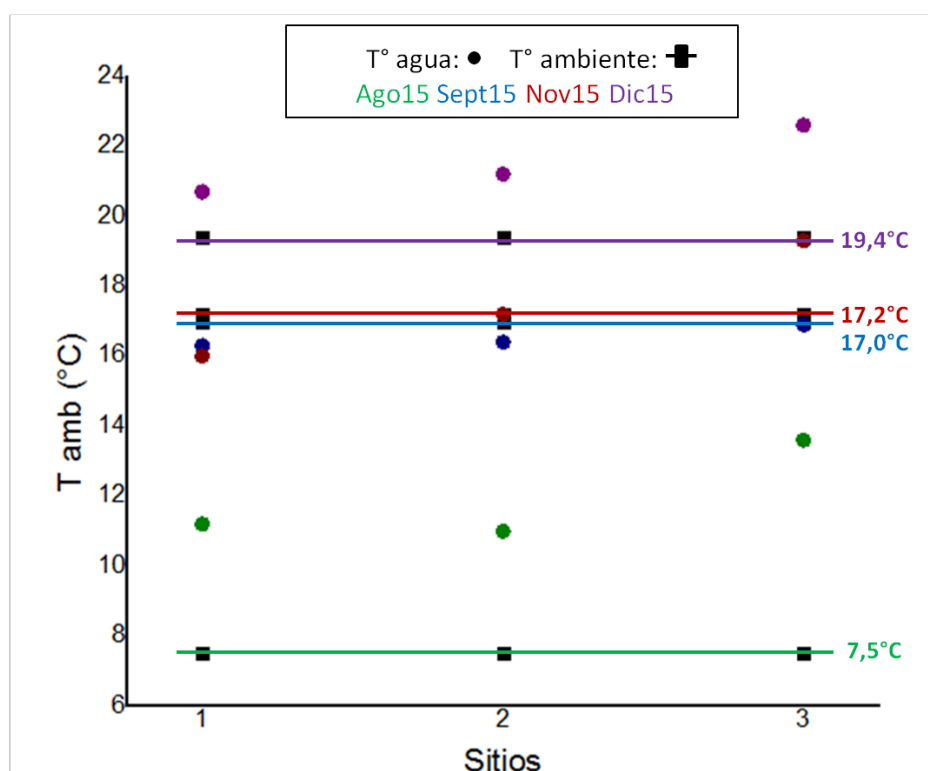


Figura 4.1.2.a (1): Distribución de la temperatura del agua y temperatura ambiente

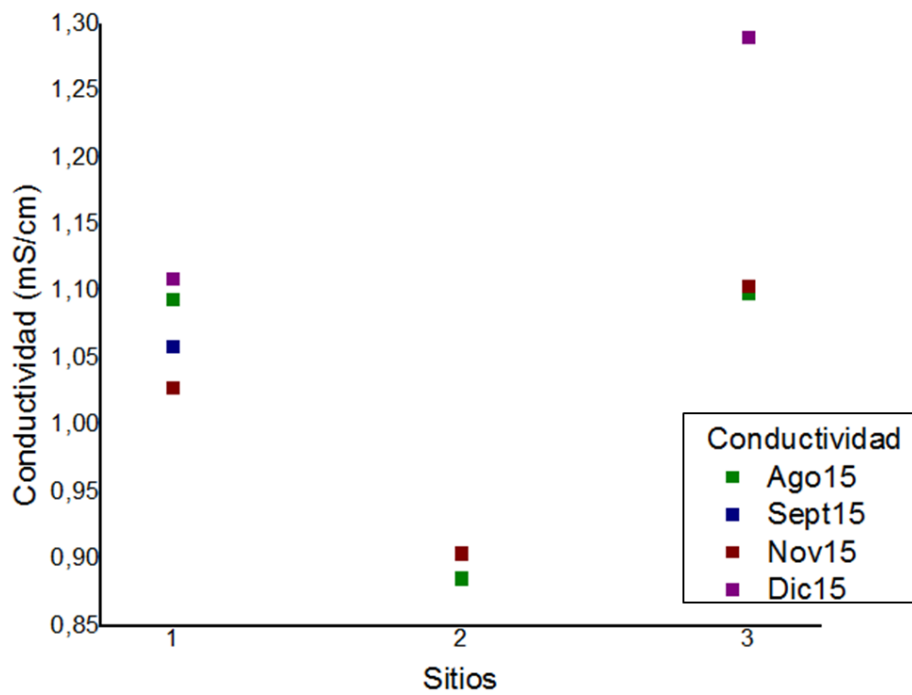


Figura 4.1.2.a (2): Distribución de la conductividad

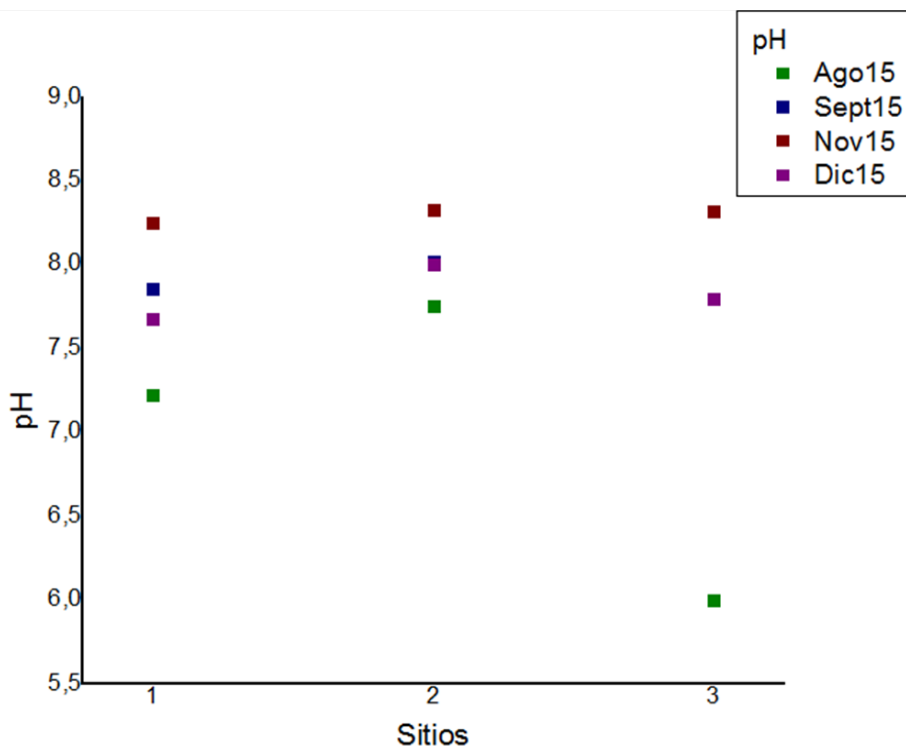


Figura 4.1.2.a (3): Distribución del pH

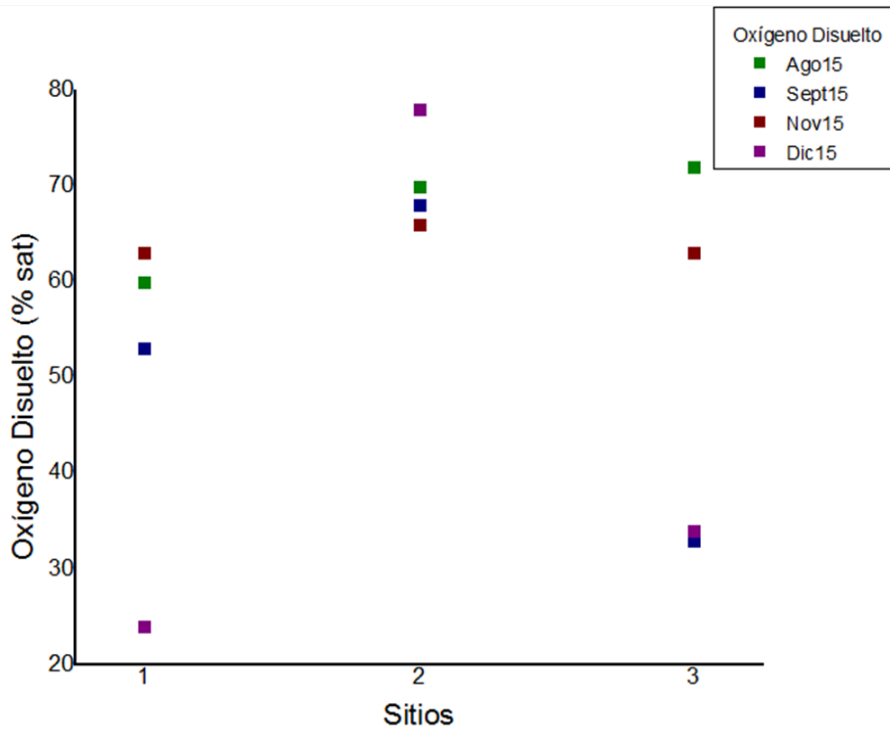


Figura 4.1.2.a (4): Distribución del oxígeno disuelto

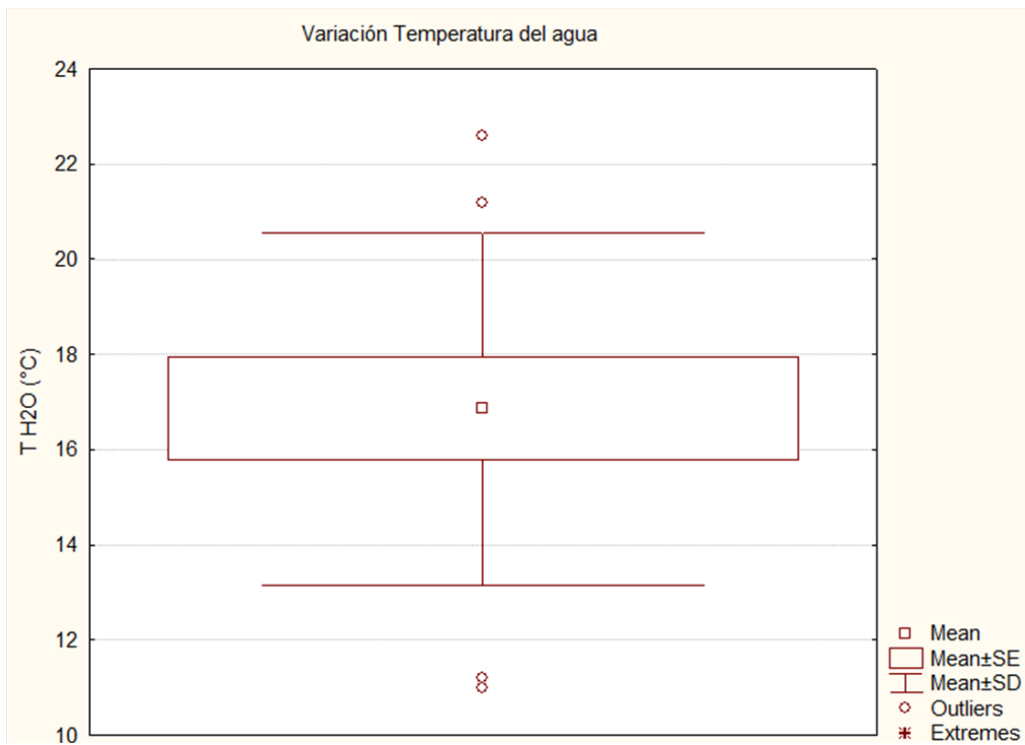


Figura 4.1.2.b (1): Variación de la temperatura del agua

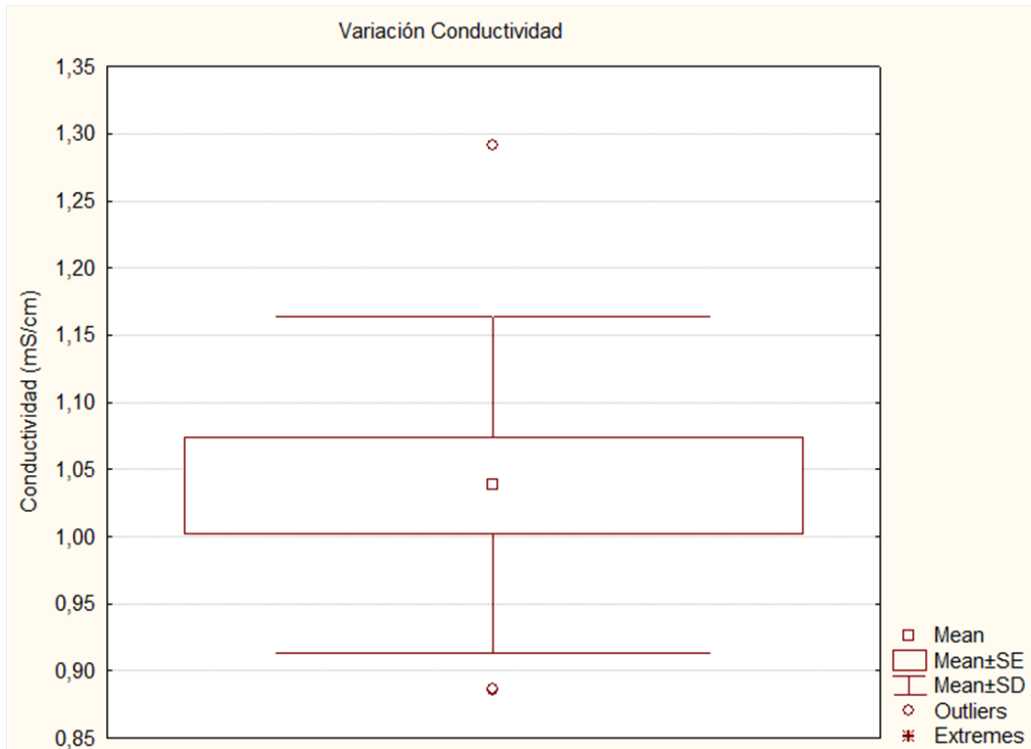


Figura 4.1.2.b (2): Variación de la conductividad

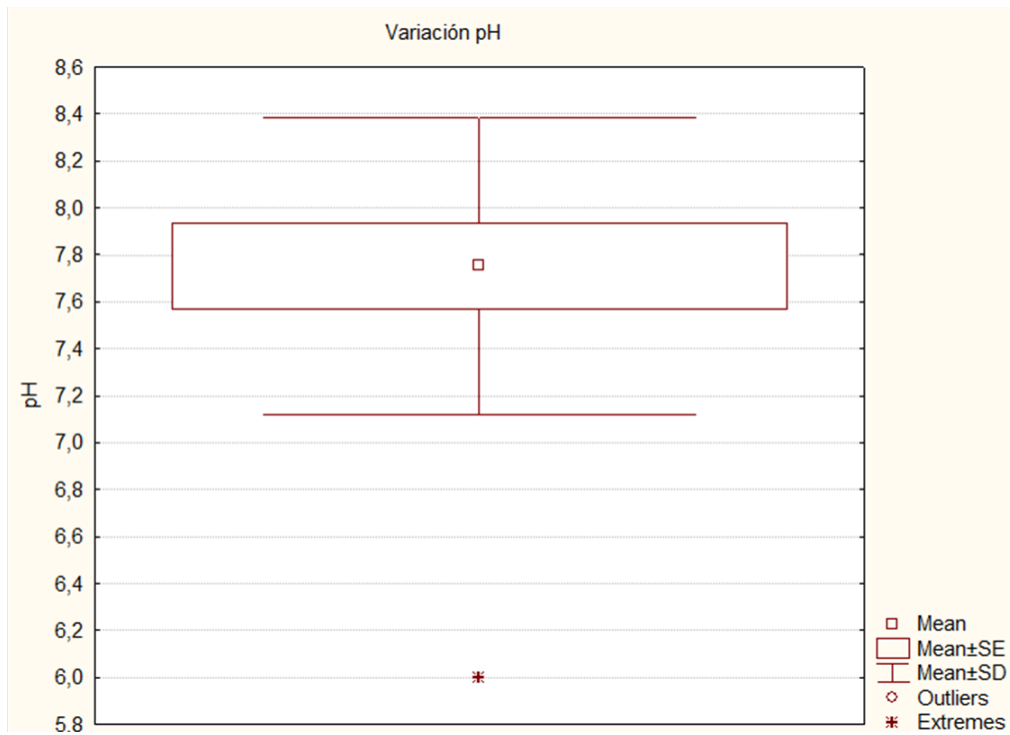


Figura 4.1.2.b (3): Variación del pH



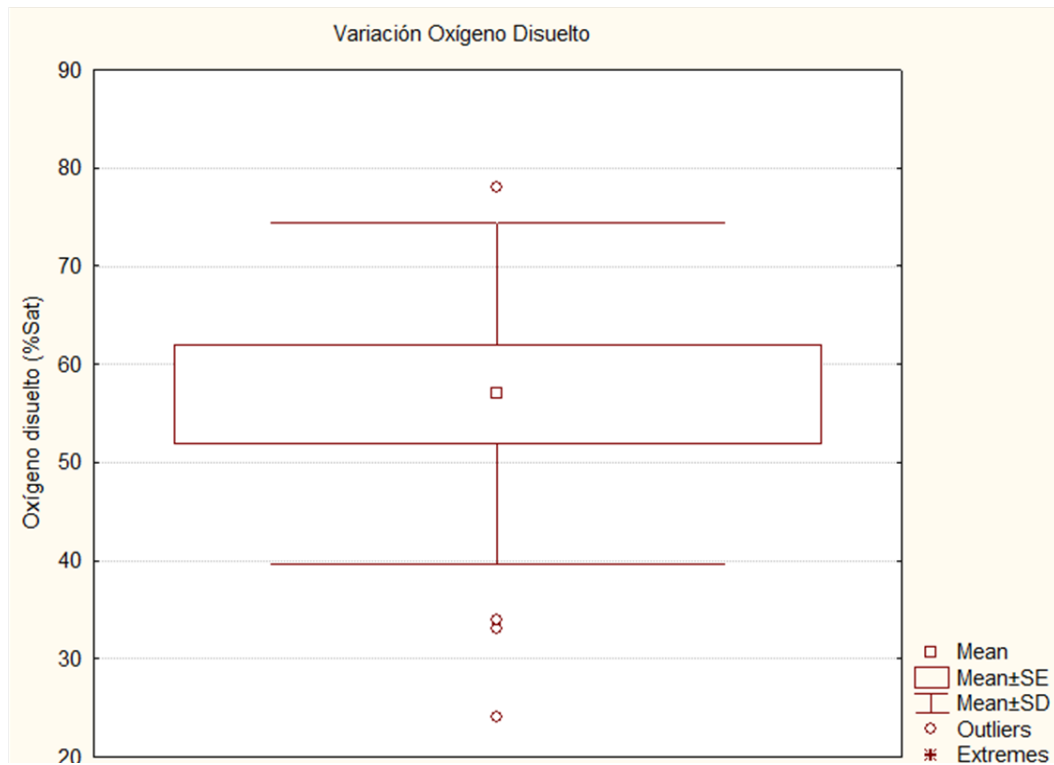


Figura 4.1.2.b (4): Variación del oxígeno disuelto

- Temperatura

La temperatura siguió comportamiento espacial similar a lo largo de todos los sitios en las cuatro campañas de muestreo, siendo registrados los mayores valores en el sitio M3 (ver figura 4.1.2.a (1)). Los valores máximos registrados fueron en la campaña de diciembre (Dic15) y los mínimos en la campaña de agosto (Ago15), como es de esperar por la estacionalidad, oscilando entre un mínimo de 11,0°C (M2, Ago15) y un máximo de 22,6°C (M3, Dic15). Todos los valores de temperatura del agua registrados se encuentran por encima de la temperatura ambiente.

Como se indicó en el capítulo introductorio (ver Capítulo 1), la temperatura es una variable de gran importancia ya que afecta los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en el agua. Este parámetro varía de acuerdo a la estacionalidad climática, aunque puede estar influenciada además por la latitud, altitud, el flujo de agua, las corrientes, entre otros. La variación de la temperatura del agua superficial en el arroyo se encuentra entre 13-21°C (figura 4.1.2.b (1)).

Cabe mencionar que el sitio M3 registró los valores más altos de temperatura en todas las campañas. Esto último resulta de gran interés, ya que es indicio del aporte de aguas servidas es el aumento de temperatura en el cuerpo de agua receptor, dado que los efluentes cloacales tienen habitualmente una temperatura más elevada que el cuerpo de agua receptor (*Metcalfe & Eddy, 2013*). Por lo que éstos resultados indicarían que en la zona aledaña y/o inmediatamente aguas arriba al sitio M3 puede haber conexiones clandestinas de efluentes cloacales a los pluviales que vuelcan al arroyo.

- Conductividad

El valor máximo de conductividad registrado fue de 1,291 mS/cm (M3 de Dic15) y el mínimo fue de 0,886 mS/cm (M2, Ago15) (figura 4.1.2.a (2)). En vista de este parámetro en todo el cuerpo de agua estudiado, el valor máximo resulta fuera del intervalo de variación como lo muestra su gráfico de cajas (figura 4.1.2.b (2)).

La conductividad está relacionada con el contenido de iones disueltos, con la concentración de los sólidos totales en solución y con la temperatura del medio (APHA, 1998). La variación estacional de este parámetro se correlaciona directamente con la variación estacional de la temperatura, presentando los mayores valores de conductividad en la campaña de mayor temperatura (Dic15). Por lo tanto, este comportamiento es el esperado de acuerdo a la diferencias de temperaturas entre campañas de muestreo, dado que se estima un aumento del 2% en la conductividad con el aumento de 1°C en la temperatura del agua (Barron and Ashton, 2005). Generalmente en los ambientes dulceacuícolas, la conductividad presenta un intervalo entre 0,01 y 1 mS/cm (Chapman, 1996), el cuál abarca la mayoría de los valores de conductividad registrados en las cuatro campañas de muestreo. De manera que los valores registrados que están por encima de por encima de 1 mS/cm estarían indicando la existencia de descargas de diferente origen.

Los arroyos del Gato y Pereyra tienen valores promedio de conductividad de 0,166 y 0,121 mS/cm respectivamente (PNUD, 2012), y los ríos Luján y Reconquista 0,350 y 0,780 mS/cm respectivamente (Pizarro y Alemanni, 2005; Rigacci et al., 2013). El arroyo estudiado tiene valores de conductividad en el intervalo de 0,886–1,291 mS/cm, valores más altos que los de los cuerpos de agua antes mencionados.

- pH

Los valores de pH estuvieron dentro del intervalo de 6,00 a 8,33 upH, siendo el menor (ver figura 4.1.2.a (3)). El valor de pH 6,00 resulta fuera del intervalo de variación esperado para el arroyo como se observa en el respectivo gráfico de cajas (figura 4.1.2.b (3)).

Los valores del nivel guía para la protección de la vida acuática para agua dulce superficial de la Provincia de Buenos Aires están entre 6,5 y 9 upH (ADA, 2006). En general, todos los sitios en todas las campañas de muestreo registraron valores de pH aceptables, con excepción del sitio M3 en la campaña de agosto (Ago15), el cual se encontró fuera del intervalo mencionado. Este valor de pH levemente ácido podría deberse al aumento en la descomposición como consecuencia de importantes descargas de materia orgánica en ese sector de la cuenca (Del Giorgio et al. 1991).

En comparación con otros cuerpos de agua superficiales de la región, como los arroyos del Gato y Pereyra, cuyos valores de pH promedio son 7,77 y 8,24 upH respectivamente (PNUD, 2012), el arroyo Maldonado tiene valores similares, así como

también en los casos de los ríos Luján y Reconquista cuyos valores promedio son 7,06 y 7,80 upH respectivamente (*Pizarro y Alemanni, 2005; Rigacci et al., 2013*).

- Oxígeno Disuelto

En general, los valores de oxígeno disuelto fueron mayores durante la campaña de invierno (Ago15). El menor valor se encontró en la campaña de diciembre (M1, Dic15), con un valor de 2,2 mgO<sub>2</sub>/L (24 % Sat.) (figura 4.1.2.a (4)). Dado que mayores temperaturas asocian a la disminución de la solubilidad del oxígeno disuelto (*Orozco Barrenetxea et al., 2003*), se justifica que las concentraciones fueron mayores en todos los sitios de la campaña de agosto (Ago15), donde se registraron las menores temperaturas. En el caso de los sitios M1 y M3 de Dic15, los valores observados resultaron anómalos en relación a la concentración de oxígeno disuelto y la temperatura.

El nivel guía de oxígeno disuelto aceptable para uso recreativo es de 10 mgO<sub>2</sub>/L (*ADA, 2006*). Según los resultados obtenidos, todos los sitios en las 4 campañas de muestreo se ubican por debajo de este valor guía, lo que puede estar relacionado con la concentración de materia orgánica presente, ya que su oxidación requiere consumo de oxígeno disuelto. Sin embargo, como se mencionó anteriormente (ver Sección 1.3.2), para que un agua se considere poco contaminada la concentración de oxígeno debe ser al menos superior al 50% del valor de saturación (*Orozco Barrenetxea et al., 2003*).

Los resultados del arroyo Maldonado indican que la concentración de oxígeno disuelto varía entre 2,2–7,8 mgO<sub>2</sub>/L. Los rangos de concentraciones de los arroyos del Gato y Pereyra, cuyos valores son 1,7-4,6 y 0,8-8,3 mgO<sub>2</sub>/L respectivamente (*PNUD, 2012*), por lo que el arroyo estudiado está en la zona media del intervalo mencionado para el parámetro.

## **4.2 Parámetros químicos determinados en laboratorio**

### **4.2.1 Presentación de resultados**

En la tabla 4.2.1.a se presentan los datos de los siguientes parámetros químicos determinados en laboratorio: demanda biológica de oxígeno, alcalinidad total, dureza total, calcio, magnesio, sólidos totales, sólidos totales fijos y pérdida por ignición. En la tabla 4.2.1.b. se presentan los datos estadísticos descriptivos de estos parámetros para cada campaña.

En la tabla 4.2.1.c se presentan las concentraciones de nutrientes inorgánicos determinados mediante la aplicación de los métodos analíticos correspondientes. En la tabla 4.2.1.d se presentan los datos estadísticos descriptivos de estos parámetros para cada campaña.

Campaña	Sitios	DBO (mgO <sub>2</sub> /L)	Alcalinidad (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Dureza (mgCaCO <sub>3</sub> /L)	Calcio (mgCa/L)	Magnesio (mgMg/L)	ST (mg/L)	STF (mg/L)	LOI (%)
Ago15	M1	20	763	109	40	2	803	617	23
	M2	25	632	71	26	1	694	483	30
	M3	40	707	109	32	7	767	575	25
Sept15	M1	40	744	77	36	< 1	1658	1533	8
	M2	40	468	53	25	< 1	620	475	23
	M3	56	532	73	32	< 1	706	385	46
Nov15	M1	26	568	97	30	6	209	152	30
	M2	15	481	72	23	4	705	76	89
	M3	39	612	106	31	7	370	160	57

Campaña	DBO (mgO <sub>2</sub> /L)			Alcalinidad Total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)			Dureza Total (mgCaCO <sub>3</sub> /L)			Calcio (mgCa/L)		
	Media	Mín - Máx	Desv. Est.	Media	Mín - Máx	Desv. Est.	Media	Mín - Máx	Desv. Est.	Media	Mín - Máx	Desv. Est.
Ago15	28	20 - 40	10	701	632 - 763	65	96	71 - 109	22	33	26 - 40	7
Sept15	46	40 - 56	9	581	468 - 744	145	67	53 - 77	13	31	25 - 36	5
Nov15	27	15 - 39	12	554	481 - 612	67	92	72 - 106	18	28	23 - 31	4
Campaña	Magnesio (mgMg/L)			Sólidos Totales (mg/L)			Sólidos Totales Fijos (mg/L)			LOI (%)		
	Media	Mín - Máx	Desv. Est.	Media	Mín - Máx	Desv. Est.	Media	Mín - Máx	Desv. Est.	Media	Mín - Máx	Desv. Est.
Ago15	3	42187	3	755	694 - 803	55	558	483 - 617	69	26	23 - 30	4
Sept15	NC	NC	NC	994	620 - 1658	576	797	385 - 1533	581	25	8 - 46	19
Nov15	5	4 - 7	2	428	209 - 705	253	129	76 - 160	584	59	30 - 89	29

NC: No calculado, debido a que todos los valores estuvieron por debajo del límite de detección.

Campaña	Sitios	FT (mgP/L)	FRS (mgP/L)	Nitritos (mgNO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)	Nitratos (mgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)	Amonio (mgNH <sub>3</sub> /L)
Ago15	M1	0,24	-	0,671	1,56	0,3
	M2	0,16	-	0,242	1,32	0,3
	M3	0,75	-	0,504	1,06	5,2
Sept15	M1	0,30	0,27	0,822	4,70	0,8
	M2	0,25	0,19	0,226	15,14	0,9
	M3	1,11	0,91	0,510	4,47	6,0
Nov15	M1	0,37	0,20	0,800	11,53	2,3
	M2	< 0,01	< 0,01	0,066	7,00	0,6
	M3	1,20	0,73	0,330	4,49	5,8

- : No determinado

Campaña	FT (mgP/L)			FRS (mgP/L)			Nitritos (mgNO <sub>2</sub> <sup>-</sup> /L)		
	Media	Mín – Máx	Desv. Est.	Media	Mín – Máx	Desv. Est.	Media	Mín – Máx	Desv. Est.
Ago15	0,38	0,16 – 0,75	0,32	-	-	-	0,472	0,242 – 0,671	0,216
Sept15	0,55	0,25 – 1,11	0,49	0,46	0,19 - 1,9	0,40	0,519	0,226 – 0,822	0,298
Nov15	0,79	0,37 - 1,20	0,59	0,47	0,20 - 0,73	0,38	0,399	0,066 – 0,800	0,372
Campaña	Nitratos (mgNO <sub>3</sub> <sup>-</sup> /L)			Amonio (mgNH <sub>3</sub> /L)					
	Media	Mín – Máx	Desv. Est.	Media	Mín – Máx	Desv. Est.			
Ago15	1,31	1,06 – 1,56	0,25	1,9	0,3 – 5,2	2,8			
Sept15	8,10	4,47 – 15,14	6,10	2,6	0,8 – 6,0	3,0			
Nov15	7,67	4,49 - 11,53	3,57	2,9	0,6 - 5,8	2,7			

#### 4.2.2 Distribución temporal y espacial de los parámetros químicos

##### ❖ Parámetros químicos generales

La distribución de los parámetros químicos generales se muestra con gráfico de puntos en las figuras 4.2.2.a (1-4), correspondientes a cada sitio para distintos muestreos, y con gráfico de cajas en las figuras 4.2.2.b (1-4), para observar la variabilidad de los parámetros con todos los datos obtenidos.

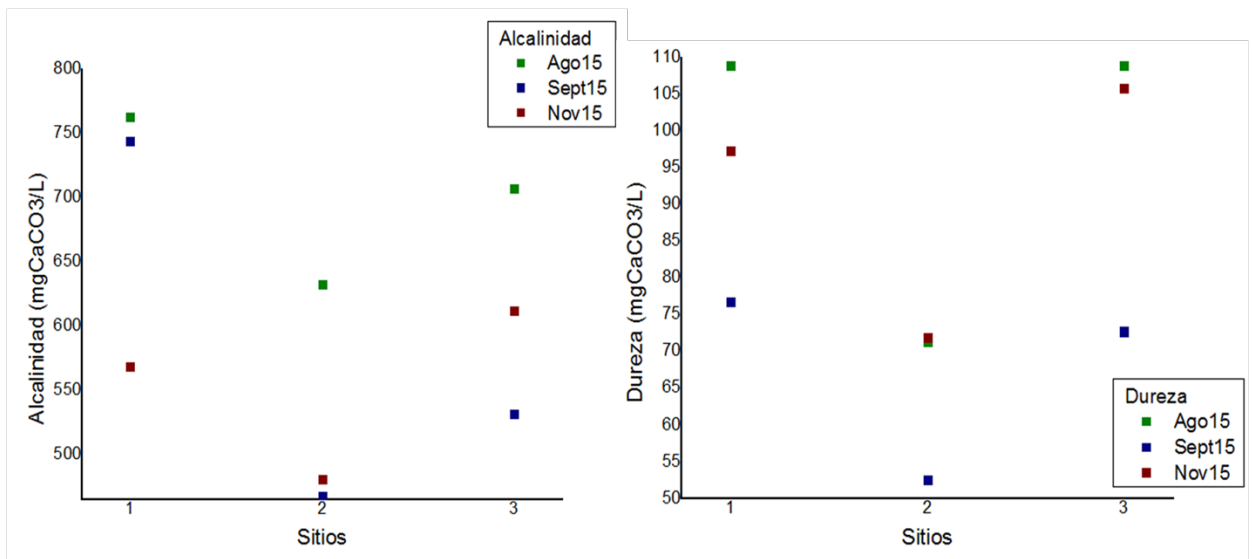


figura 4.2.2.a (1): Distribución de alcalinidad y dureza

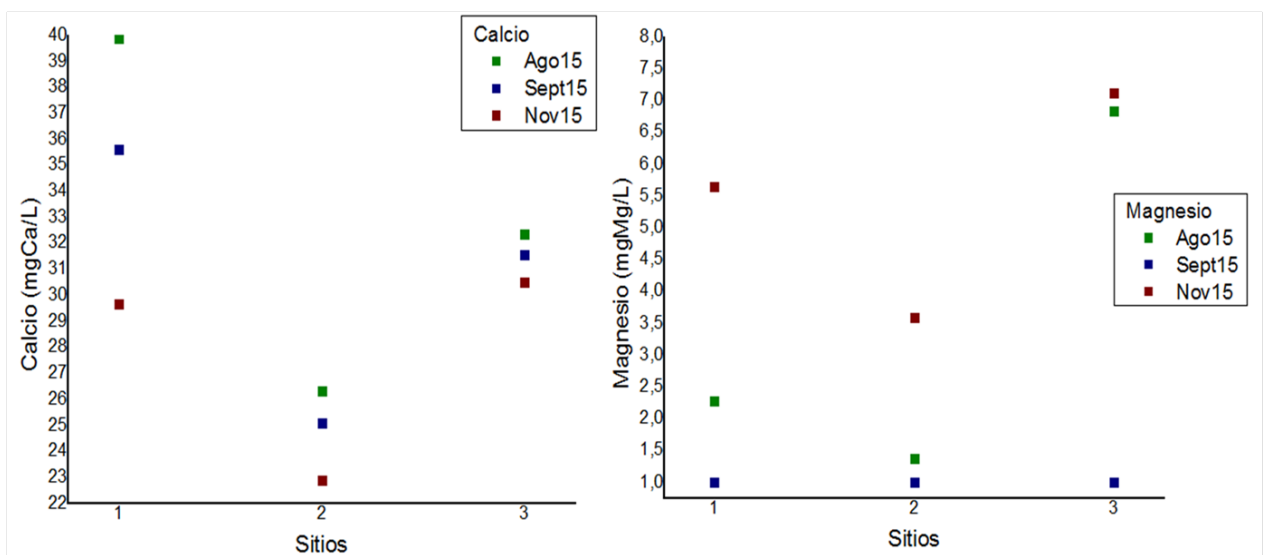


Figura 4.2.2.a (2): Distribución de calcio y magnesio

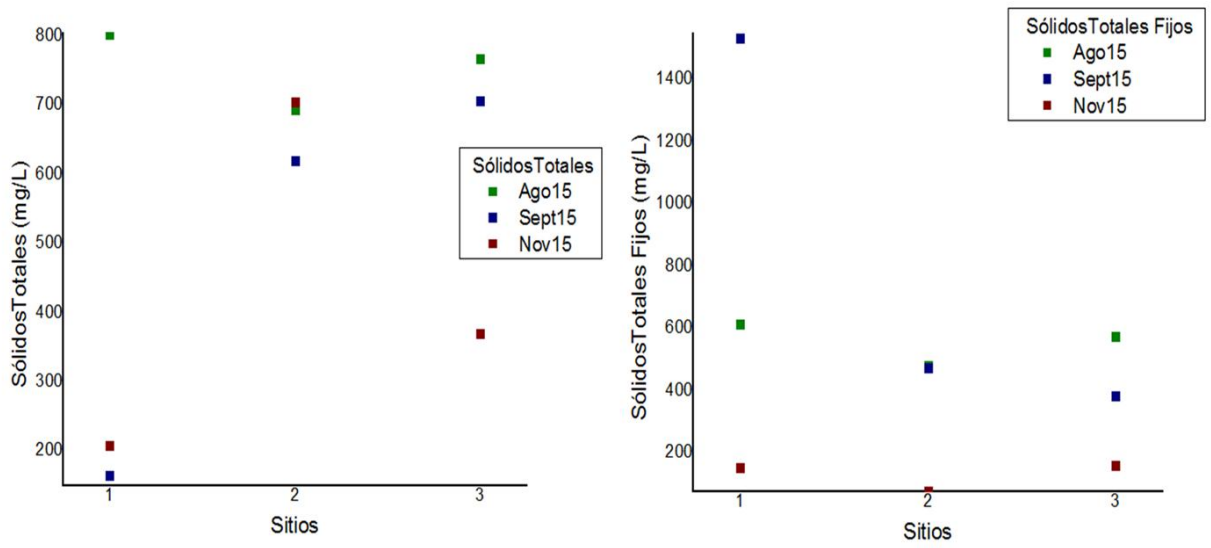


Figura 4.2.2.a (3): Distribución de sólidos totales y sólidos totales fijos

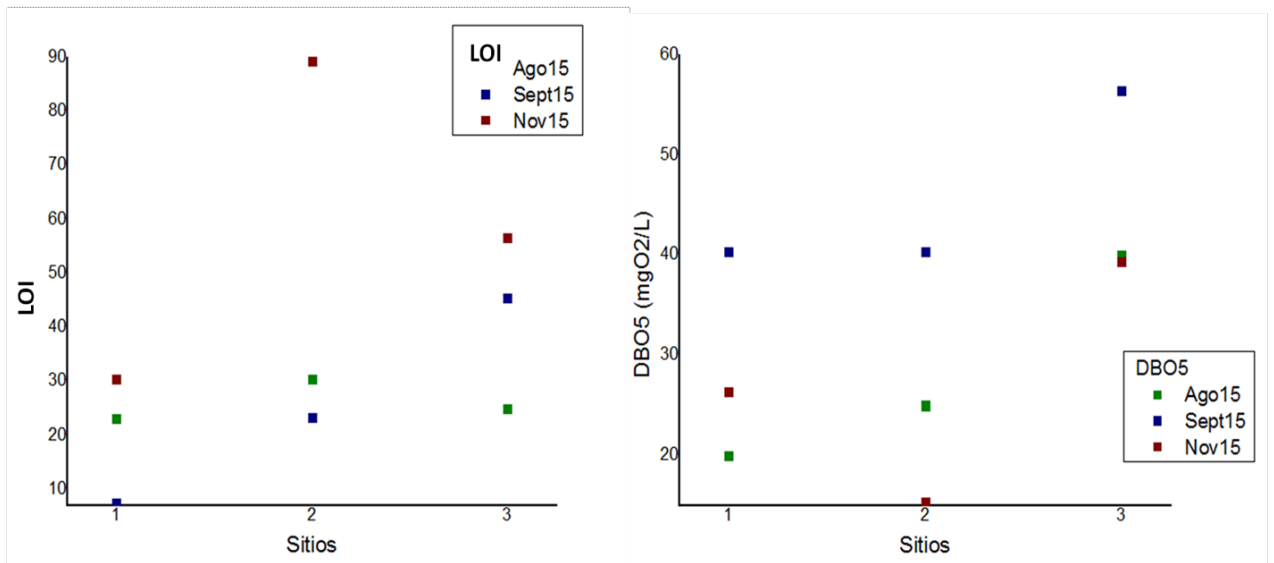


Figura 4.2.2.a (4): Distribución de LOI y DBO<sub>5</sub>

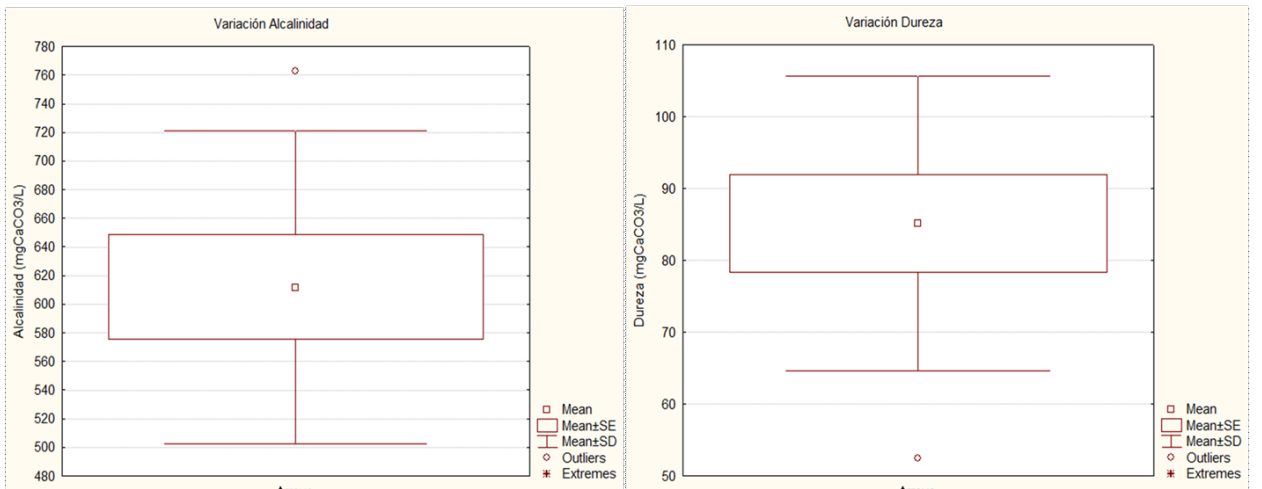


Figura 4.2.2.b (1): Variación de alcalinidad y dureza

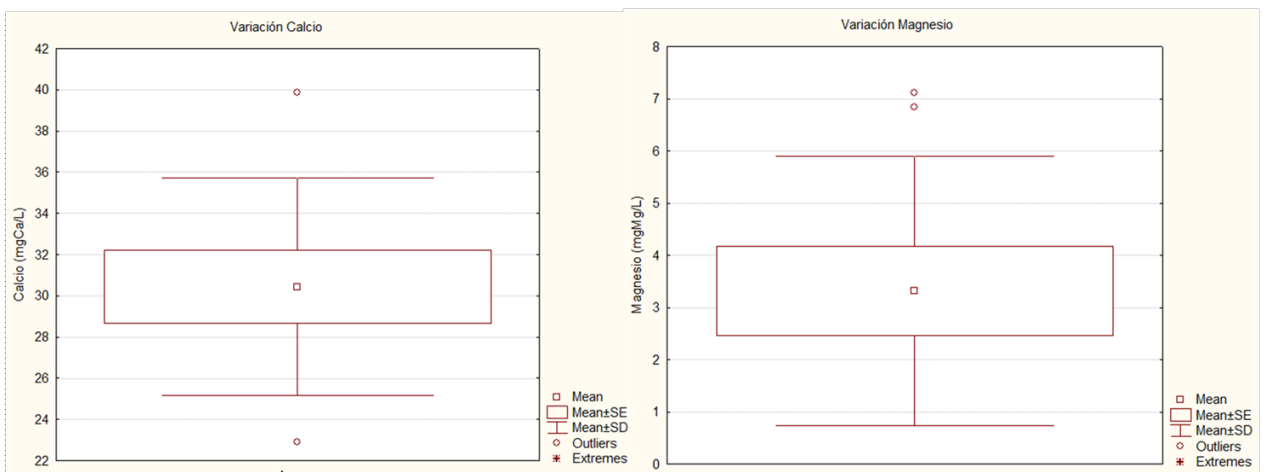


Figura 4.2.2.b (2): Variación de calcio y magnesio

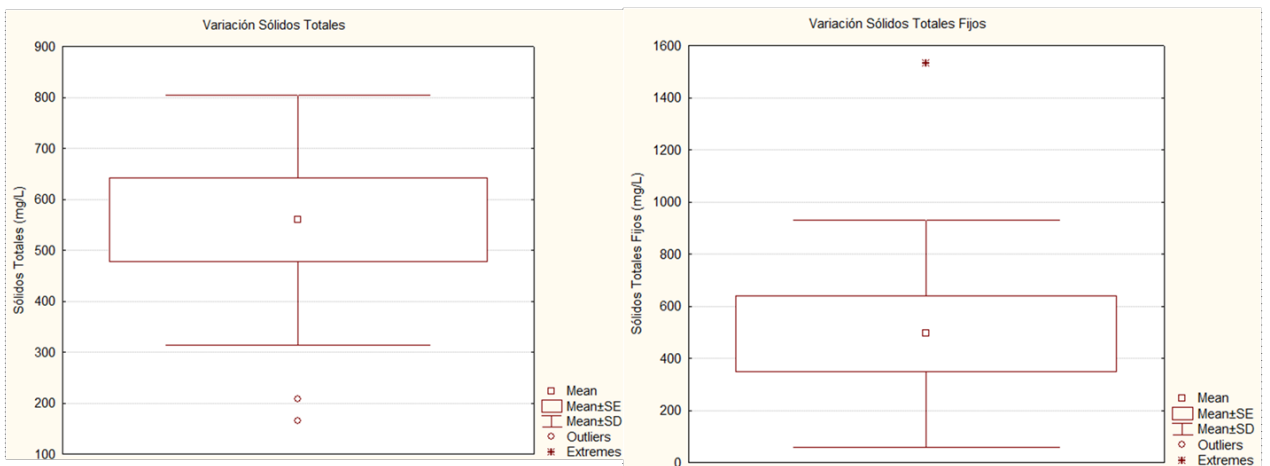


Figura 4.2.2.b (3): Variación de sólidos totales y sólidos totales fijos



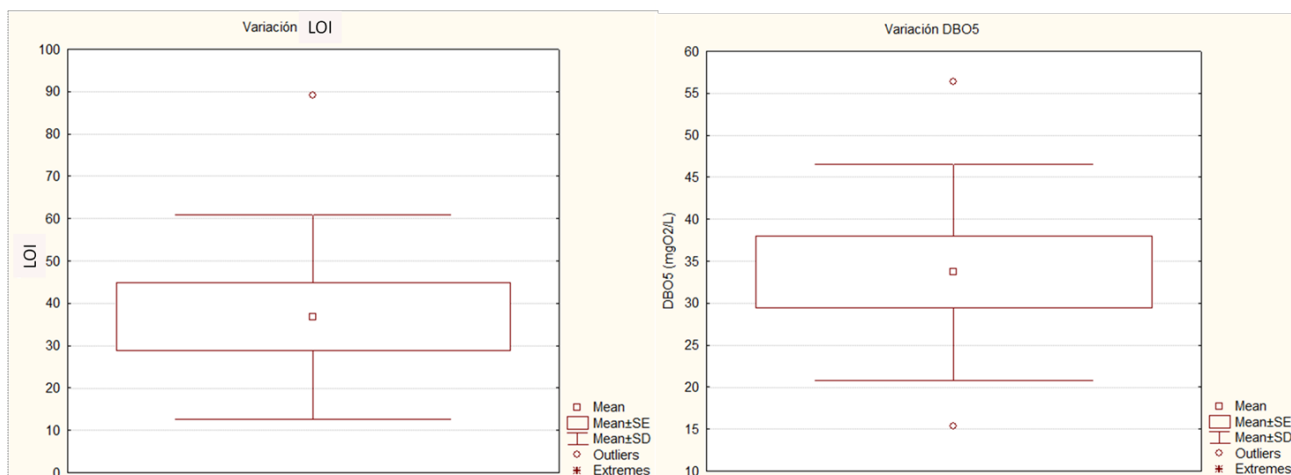


Figura 4.2.2.b (4): Variación de LOI y DBO<sub>5</sub>

#### ▪ Alcalinidad

Los valores de alcalinidad fueron muy variados entre los sitios y entre las campañas (ver figura 4.2.2.a (1)). El máximo valor fue de 763 mgCaCO<sub>3</sub>/L correspondiente al sitio M1 de la campaña Ago15; el valor mínimo se registró en la campaña Sept15 en M2 con un valor de 468 mgCaCO<sub>3</sub>/L. En la Provincia de Buenos Aires, el valor de referencia basado en las normas mínimas de calidad de agua producida y distribuida de AySA para esta variable es de 400 mgCaCO<sub>3</sub>/L (AySA, 2011). Los arroyos del Gato y Pereyra tienen valores promedio de alcalinidad de 534 y 797 mgCaCO<sub>3</sub>/L respectivamente (PNUD, 2012), muy similares a los del arroyo Maldonado.

#### ▪ Dureza

El valor máximo de dureza resultó en la campaña de agosto (Ago15) con un valor de 109 mgCaCO<sub>3</sub>/L para M1 y M3. El valor mínimo se registró en la campaña Sept15 en M2 con un valor de 53 mgCaCO<sub>3</sub>/L (ver figura 4.2.2.a (1)). Como se mencionó en la Introducción (ver Sección 1.3.2), las aguas duras se encuentran en el intervalo de 150-300 mgCaCO<sub>3</sub>/L (Sawyer et al., 2001), por lo que la dureza registrada para el arroyo Maldonado se corresponde a la de aguas blandas.

#### ▪ Calcio y Magnesio

El valor máximo de calcio se obtuvo en la campaña de agosto (Ago15) con un valor de 40 mgCa/L en M1 y el valor mínimo en la campaña Nov15 en el sitio M2 con un valor de 23 mgCa/L (ver figura 4.2.2.a (2)). Por otro lado, el valor máximo de magnesio se obtuvo en la campaña Nov15 con un valor de 7 mgMg/L en M3 y el valor mínimo en la campaña Sept15 en la cual para los 3 sitios resultó por debajo del límite de detección del método (< 1mgMg/L), lo que indica que toda la dureza en esta campaña es atribuida al calcio presente en el agua (ver figura 4.2.2.a (2)). En comparación con los

arroyos del Gato y Pereyra, el arroyo Maldonado tiene concentraciones de calcio más elevadas, aunque menores de magnesio (PNUD, 2012).

- **Sólidos Totales y Sólidos Totales Fijos**

Los sólidos totales fueron muy variantes tanto a lo largo de las distintas campañas, como de los sitios de muestreo. El mínimo se registró en la campaña Nov15 con un valor de 209 mg/L (M1) y el máximo en la campaña Sept15 con un valor de 1658 mg/L para M1 (ver figura 4.2.2.a (3)). Para los sólidos totales fijos, el valor mínimo se registró en la campaña Nov15 con un valor de 76 mg/L (M2) y el máximo en la campaña Sept15 con un valor de 1533 mg/L para M1 (ver figura 4.2.2.a (3)).

- **Pérdida por Ignición (LOI)**

Los porcentajes de pérdida por ignición a 550°C, asociables a la descomposición de la materia orgánica, fueron variables en todos los muestreos. El valor mínimo se obtuvo en la campaña Sept15 con un valor de 8% (M1) y el máximo en la campaña Nov15 con un valor de 89% para M2 (ver figura 4.2.2.a (4)). Estos resultados están directamente relacionados con los sólidos totales.

- **DBO<sub>5</sub>**

Los valores de DBO<sub>5</sub> resultaron mayores en la campaña de Sept15, siendo el máximo el del sitio M3, con 56 mgO<sub>2</sub>/L. El valor mínimo se registró en la campaña Nov15 con un valor de 15 mgO<sub>2</sub>/L (M2) (ver figura 4.2.2.a (4)).

La Resolución ADA 336/03 fija un límite para la DBO<sub>5</sub> de 50 mgO<sub>2</sub>/L para descarga a cuerpo de agua superficial (ADA, 2003), y 10 mgO<sub>2</sub>/L en la Resolución ADA 42/06 como valor establecido para agua dulce de uso recreativo (ADA, 2006). En todos los casos, se superan ambos valores. El promedio de DBO<sub>5</sub> del arroyo Maldonado en este estudio resultó de 33 mgO<sub>2</sub>/L, valor un poco más alto que los encontrados en la bibliografía para otros cuerpos de agua superficiales de la región, tales como el arroyo del Gato (12 mgO<sub>2</sub>/L), el arroyo Pereyra (15 mgO<sub>2</sub>/L) y el río Reconquista (14 mgO<sub>2</sub>/L) (PNUD, 2012; Rigacci et al., 2013).

- ❖ Nutrientes inorgánicos

La distribución de los nutrientes inorgánicos se muestra con gráfico de puntos en las figuras 4.2.2.c (1-5), correspondientes a cada sitio para distintos muestreos, y con gráfico de cajas en las figuras 4.2.2.d (1-5) para observar la variabilidad de los parámetros con todos los datos obtenidos.

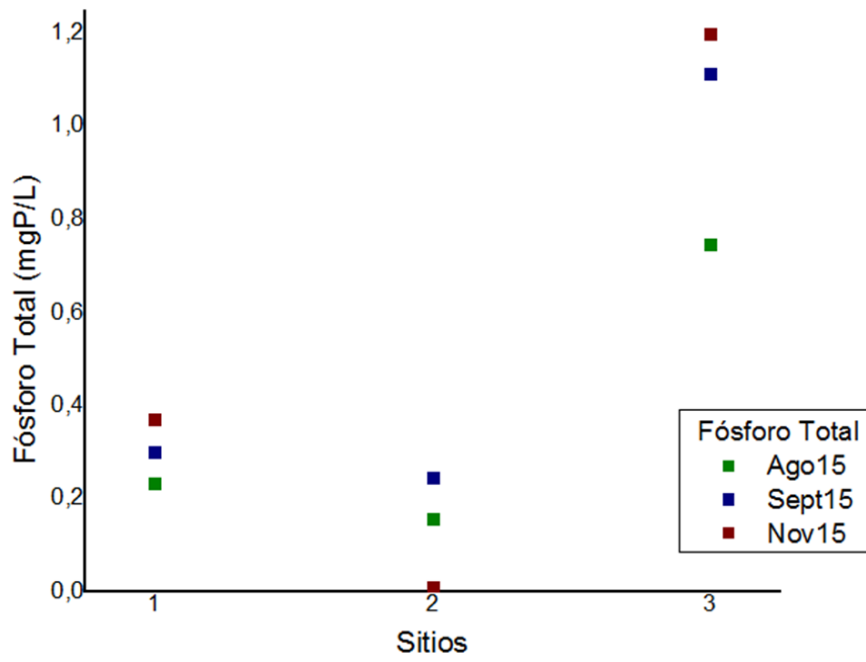


Figura 4.2.2.c (1): Distribución de fósforo total

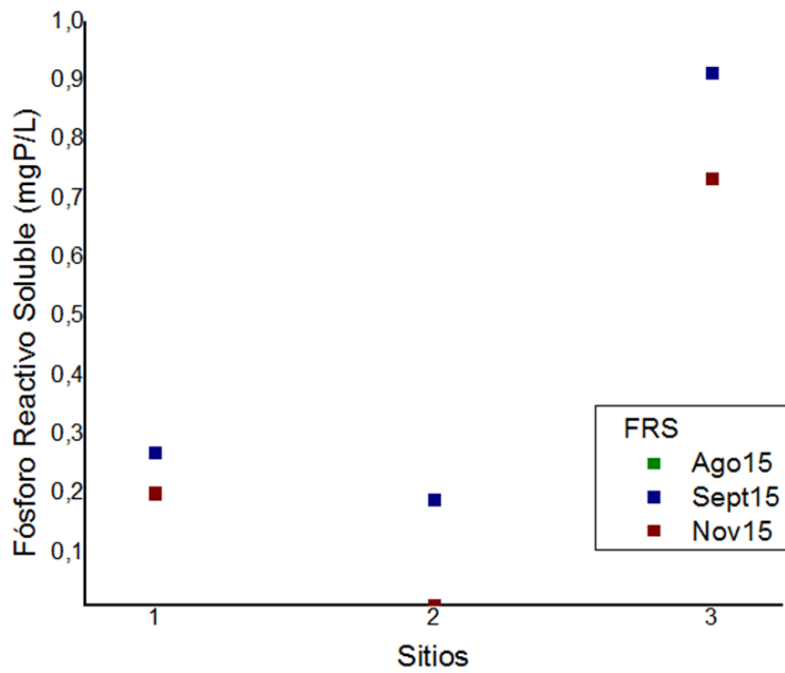


Figura 4.2.2.c (2): Distribución de fósforo reactivo soluble

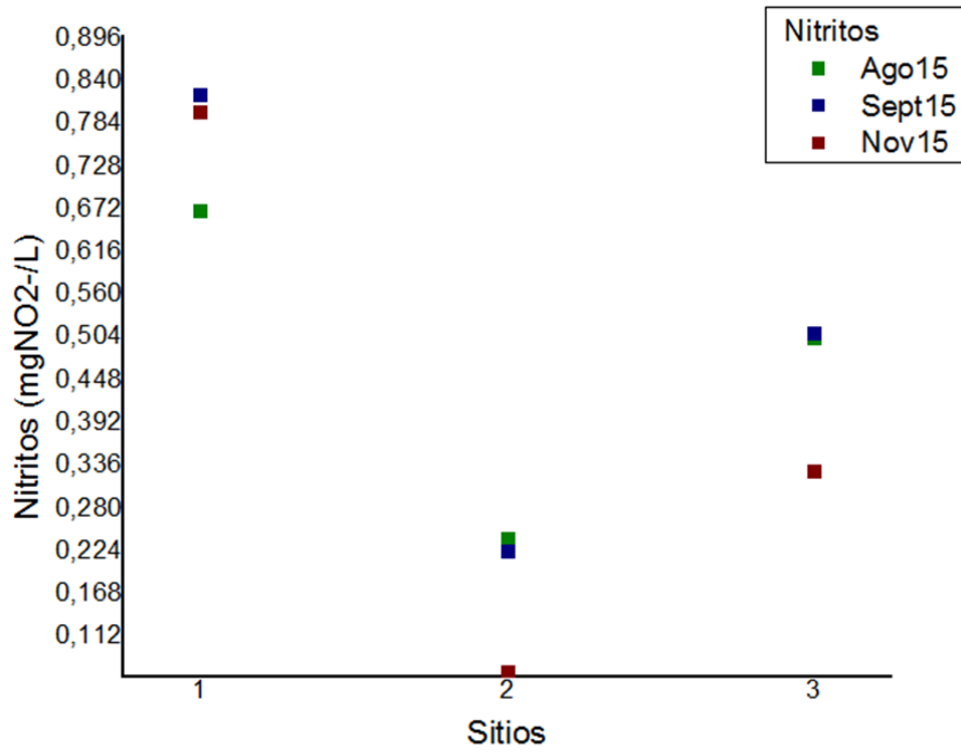


Figura 4.2.2.c (3): Distribución de nitritos

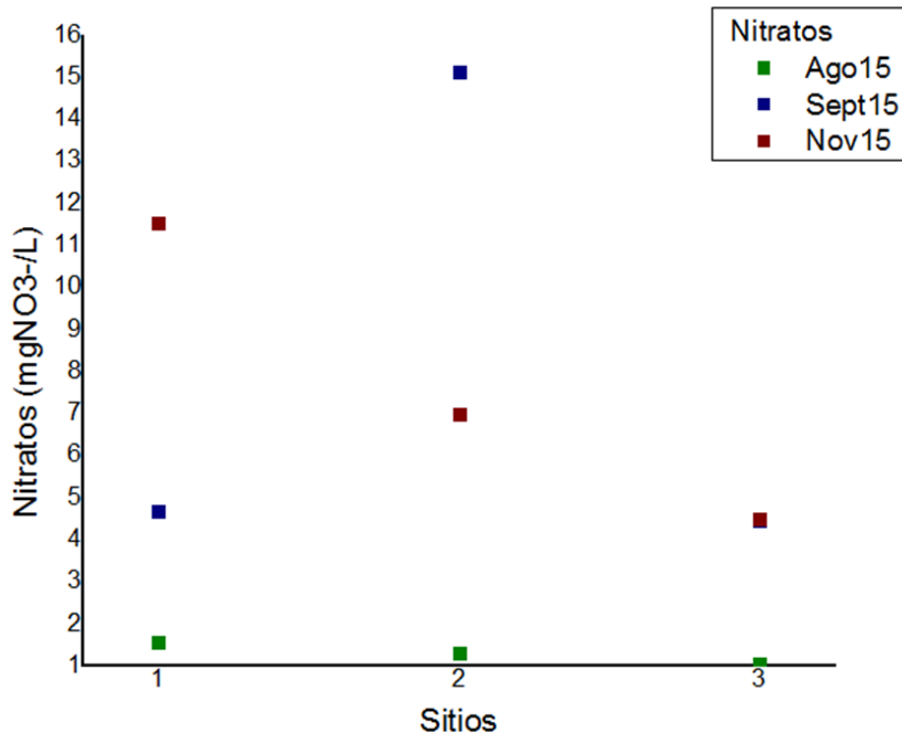


Figura 4.2.2.c (4): Distribución de nitratos

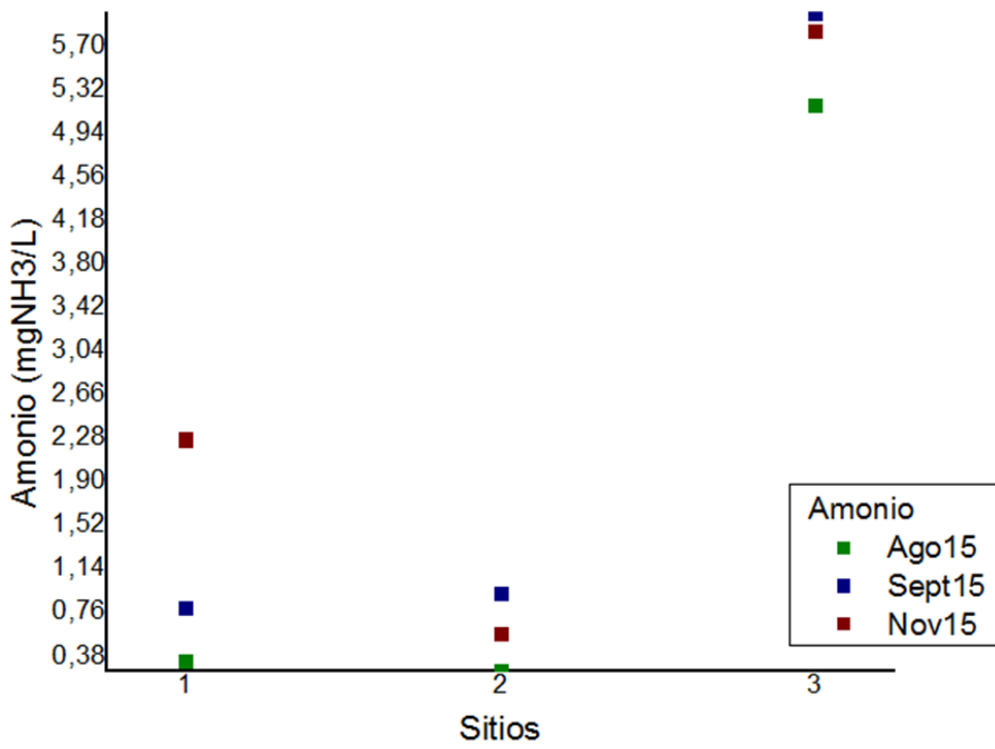


Figura 4.2.2.c (5): Distribución de amonio

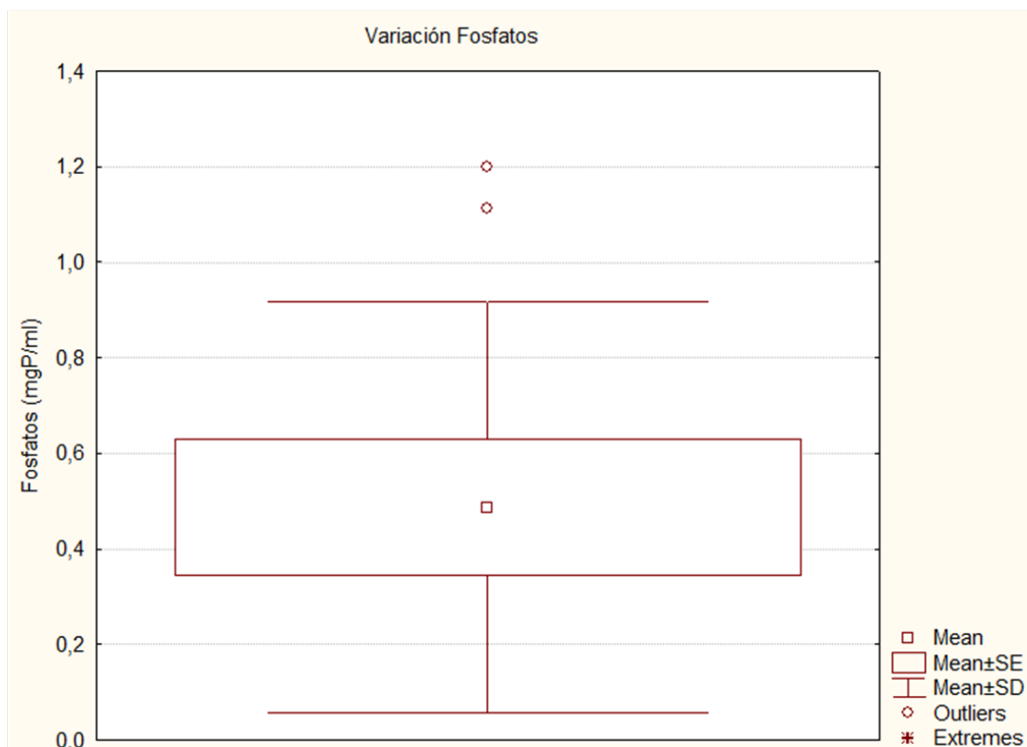


Figura 4.2.2.d (1): Variación de fósforo total

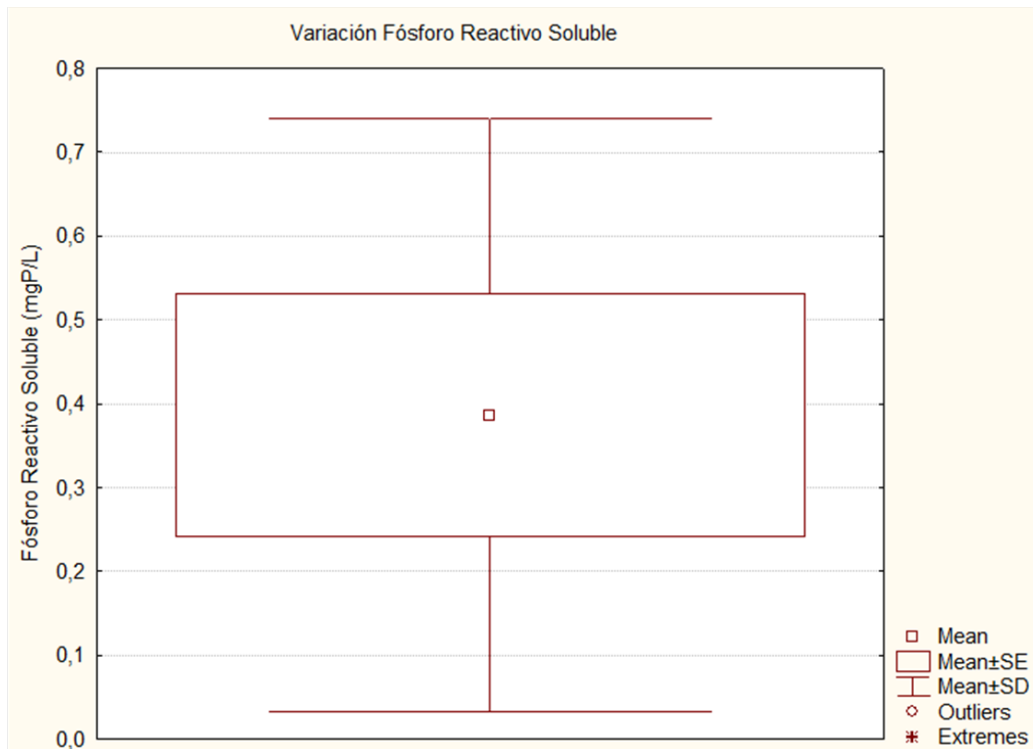


Figura 4.2.2.d (2): Variación de fósforo reactivo soluble

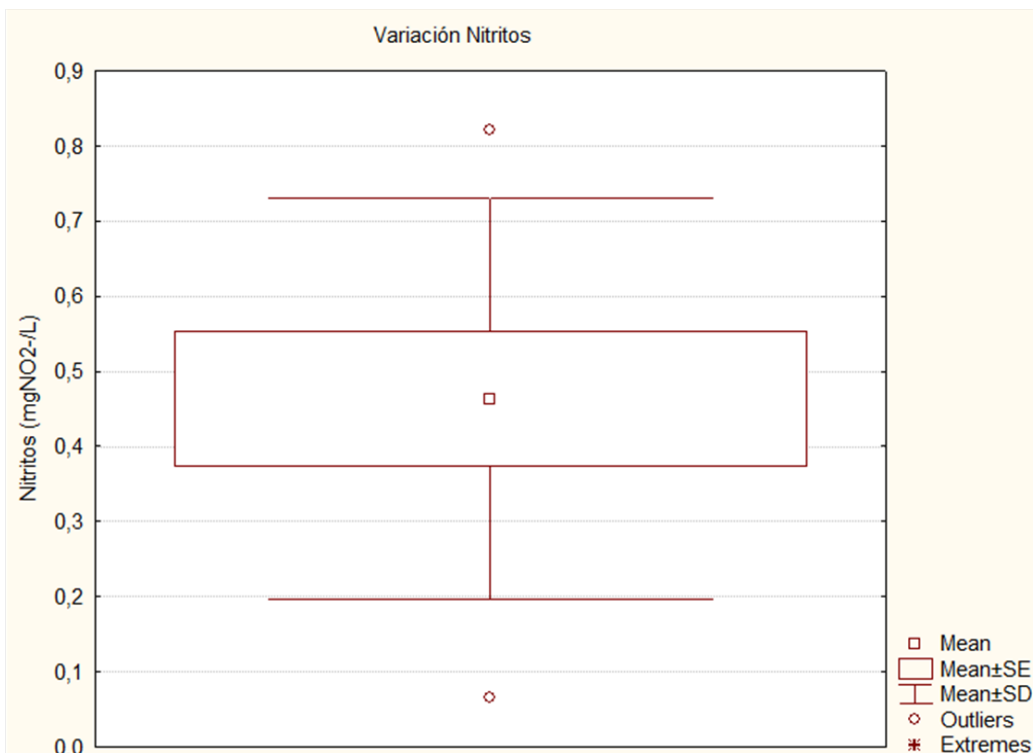


Figura 4.2.2.d (3): Variación de nitritos

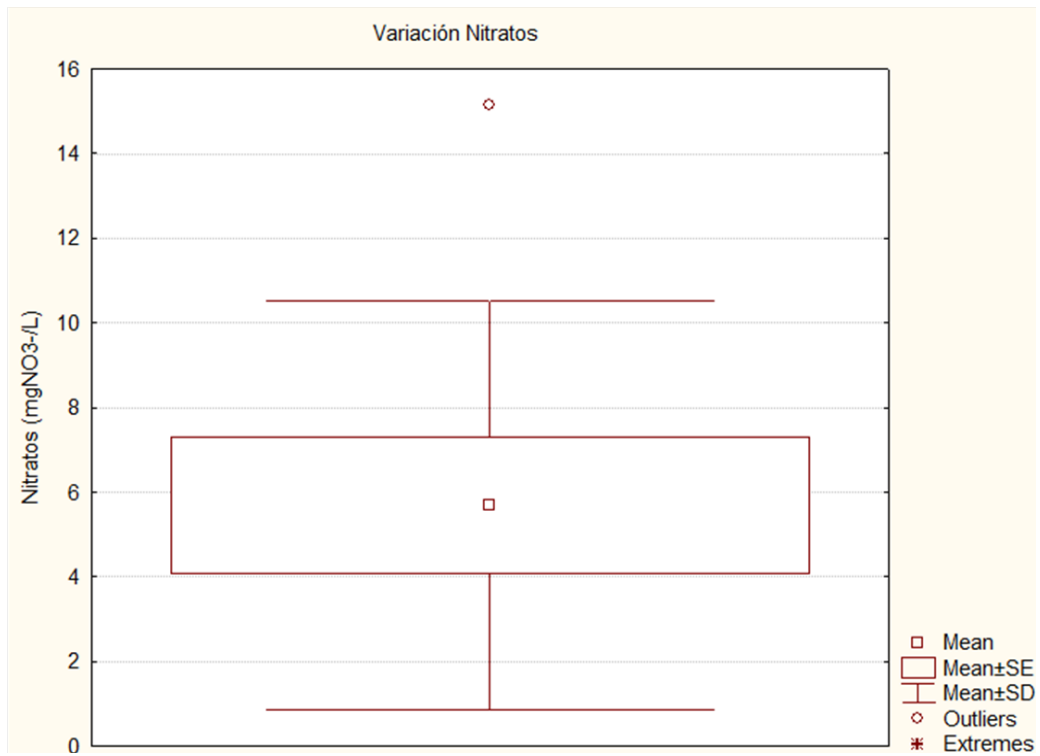


Figura 4.2.2.d (4): Variación de nitratos

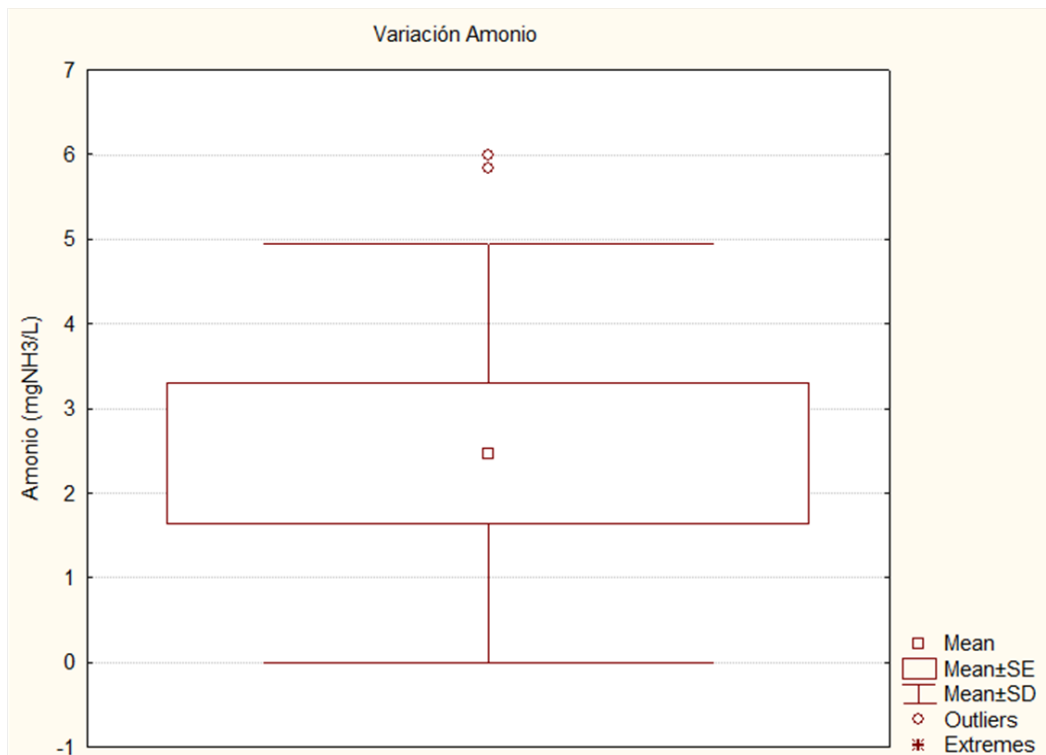


Figura 4.2.2.d (5): Variación de amonio

### ▪ **Fósforo Total**

Los valores de concentración de fósforo total fueron mayores para el sitio M3 en todas las campañas, siendo el máximo de 1,20 mgP/L (Nov15). Por otro lado, los valores mínimos se registraron en el sitio M2 (Nov15) (ver figura 4.2.2.c (1)).

Todos los valores detectados de fósforo se encuentran por encima del nivel guía nacional e internacional propuesto para aguas de uso recreativo (<0,100 mgP/L) (*SSRH, 2007; WHO, 2009*). Según la clasificación trófica, los valores encontrados en el arroyo corresponden a la categoría hipereutrófico (> 0,1 mgP/L) (*OECD, 1982*). Por otro lado, en comparación con arroyos como el del Gato y el Pereyra, las concentraciones de fósforo son mucho menores (*PNUD, 2012*).

### ▪ **Fósforo Reactivo Soluble**

El valor máximo de concentración de fósforo reactivo soluble se registró para el sitio M3 con un valor de 0,91 mgP/L (Sept15). Por otro lado, los valores mínimos se dieron en el sitio M2, no habiéndose detectado en Nov15 y 0,19 mgP/L en Sept15 (ver figura 4.2.2.c (2)).

### ▪ **Nitritos**

Los niveles de nitritos en el agua resultaron mayores en el sitio M1 para las tres campañas, registrándose el valor máximo de 0,822 mgNO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L en la campaña de septiembre (Sept15) (ver figura 4.2.2.c (3)).

Las concentraciones naturales de nitritos en cuerpos de agua dulce son por lo general muy bajas (0,001-0,003 mgNO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L) (*APHA, 1998*). Los valores de nitritos registrados en este estudio se encontraron en su totalidad por encima de dicho intervalo, pero ninguno superó el nivel guía propuesto por el Decreto N° 831/1993 de la Ley Nacional N° 24.051 de Residuos Peligrosos (1,0 mgNO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L) para fuentes de agua de bebida humana con tratamiento convencional. Por otro lado, las concentraciones de nitritos siempre fueron mucho menores que las de nitratos, esperable teniendo en cuenta que el ion nitrito es menos estable que el ion nitrato en aguas oxigenadas (*Albert, 1997*).

Los arroyos del Gato y Pereyra han registrado valores máximos de nitritos de 1,78 y 1,37 mgNO<sub>2</sub><sup>-</sup>/L respectivamente (*PNUD, 2012*), valores un poco más altos de los encontrados en para el arroyo Maldonado.

### ▪ **Nitratos**

La concentración de nitratos fue muy elevada, sobre todo en la campaña de noviembre (Nov15) en los tres sitios, registrándose valores entre 4,49–11,53 mgNO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, siendo el mayor valor el correspondiente al sitio M1. El valor máximo de todas las campañas se



registró en Sept15 para el sitio M2 con una concentración de 15,14 mgNO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L, y el valor mínimo fue de 1,06 mgNO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L en M3 (Ago15) (ver figura 4.2.2.c (4)).

Todas las concentraciones de nitratos superaron el valor de 0,1 mgNO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L esperado para aguas superficiales naturales (*Chapman, 1996*). Sin embargo, solo algunas de ellas (M2 en Sept15 y M1 en Nov15) superaron el límite aceptable de 10 mgNO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L establecido por la legislación nacional (*SSRH, 2003*) e internacional (*WHO, 2009*) para fuentes de provisión de agua para consumo humano. Los sitios M1 y M2 arrojaron los mayores valores de nitratos, lo que puede deberse a que las zonas donde se encuentran tengan un uso parcial agrícola, ya que el uso de fertilizantes nitrogenados puede causar la contaminación del arroyo con nitratos por escorrentía.

Los valores promedio de nitratos en los ríos Luján y Reconquista son 1,55 y 0,78 mgNO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L respectivamente (*Pizarro y Alemanni, 2005; Rigacci et al., 2013*), cercanos a los mínimos registrados para el arroyo Maldonado. Sin embargo, en los arroyos del Gato y Pereyra se han detectado valores mayores a 20 mgNO<sub>3</sub><sup>-</sup>/L en muchos sitios de muestreo, por lo que tienen una fuerte influencia del tipo agrícola (*PNUD, 2012*).

#### ▪ **Nitrógeno Amoniacal**

La concentración de amoníaco fue mayor para el sitio M3 en todas las campañas, siendo la mayor de estas en septiembre (Sept15) con un valor de 6,0 mgNH<sub>3</sub>/L. El mínimo valor de concentración registrado fue de 0,3 mgNH<sub>3</sub>/L (M1y M2, Ago15) (ver figura 4.2.2.c (5)).

El amoníaco está presente en el ambiente acuático debido al aporte de aguas residuales domésticas, industriales y fertilizantes, siendo la concentración de este nutriente en aguas no contaminadas generalmente menor a 0,1 mgNH<sub>3</sub>/L (*Chapman, 1996*). Todas las concentraciones resultaron mayores a dicho valor, por lo que se ve una fuerte influencia antrópica en el arroyo.

Adicionalmente, casi todos los datos registrados superan el nivel guía aceptable por la legislación nacional para protección de vida acuática de <0,4 mgNH<sub>3</sub>/L (*SSRH, 2004*), con excepción de M1 y M2 en Ago15, y el nivel guía internacional propuesto por la Organización Mundial de la Salud para aguas de uso recreativo de <0,6 mgNH<sub>3</sub>/L (*WHO, 2009*), con excepción de M1 y M2 en Ago15, y M2 en Nov15. Como se mencionó, se obtuvieron valores entre 0,3-6,0 mgNH<sub>3</sub>/L, concentraciones del orden a las que presenta el río Reconquista (*Rigacci et al., 2013*), aunque es mucho menor a los de los arroyos del Gato y Pereyra, 0,5-26,4 y 10,1-39,5 mgNH<sub>3</sub>/L, respectivamente (*PNUD, 2012*).

### 4.3 Parámetros Microbiológicos

#### 4.3.1 Presentación de resultados

En la tabla 4.3.1.a se presentan las concentraciones de bacterias coliformes totales y fecales determinadas en laboratorio mediante la aplicación de los métodos analíticos correspondientes. En la tabla 4.3.1.b se presentan los datos estadísticos descriptivos de estos parámetros para cada campaña.

<b>Campaña</b>	<b>Sitios</b>	<b>Coliformes Fecales (NMP/100ml)</b>	<b>Coliformes Totales (NMP/100ml)</b>
<b>Ago15</b>	<b>M1</b>	300	1300
	<b>M2</b>	9000	9000
	<b>M3</b>	16000	500000
<b>Sept15</b>	<b>M1</b>	2400	2400
	<b>M2</b>	90000	90000
	<b>M3</b>	160000	160000
<b>Nov15</b>	<b>M1</b>	800	800
	<b>M2</b>	5000	5000
	<b>M3</b>	700000	700000

<b>Campaña</b>	<b>Coliformes Fecales (NMP/100ml)</b>			<b>Coliformes Totales (NMP/100ml)</b>		
	<b>Media</b>	<b>Mín – Máx</b>	<b>Desv. Est.</b>	<b>Media</b>	<b>Mín – Máx</b>	<b>Desv. Est.</b>
<b>Ago15</b>	8433	300 – 16000	7865	170100	1300 – 500000	285728
<b>Sept15</b>	84133	2400 – 160000	78964	84133	2400 – 160000	78964
<b>Nov15</b>	235267	800 – 700000	402476	235267	800 – 700000	402476

#### 4.3.2 Distribución temporal y espacial de los parámetros microbiológicos

La distribución de los parámetros microbiológicos se muestra con gráfico de puntos en la figura 4.3.2.a (1-2) (en escala logarítmica) correspondientes a cada sitio para distintos muestreos, y con gráfico de cajas en la figura 4.3.2.b (1-2) para observar la variabilidad de los parámetros con todos los datos obtenidos.

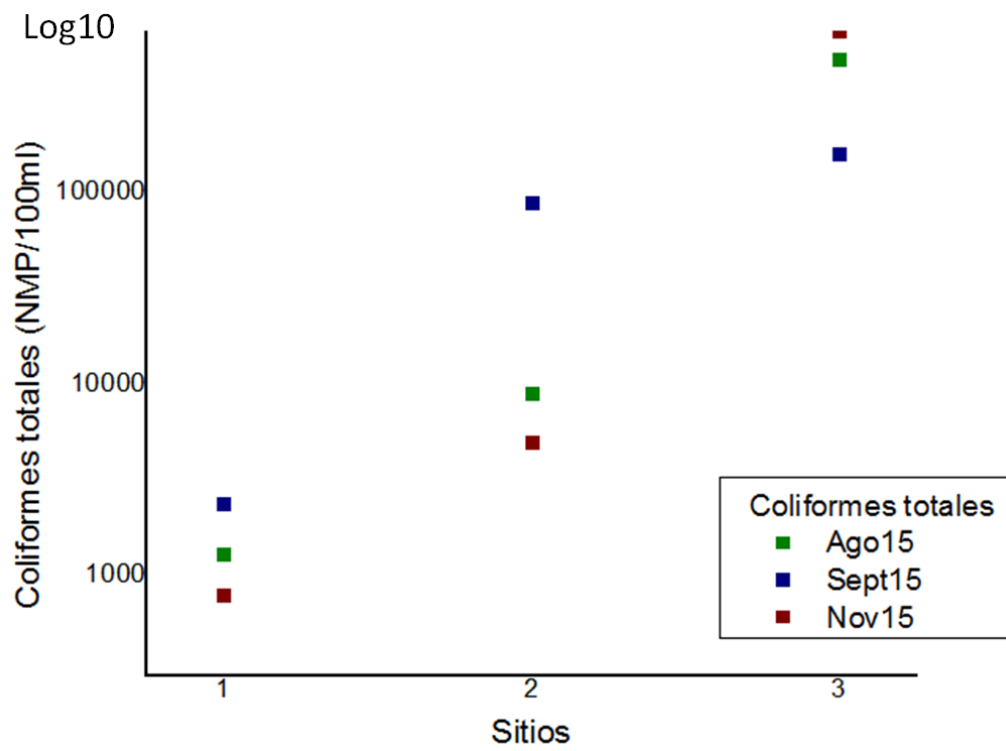


Figura 4.3.2.a (1): Distribución de coliformes totales

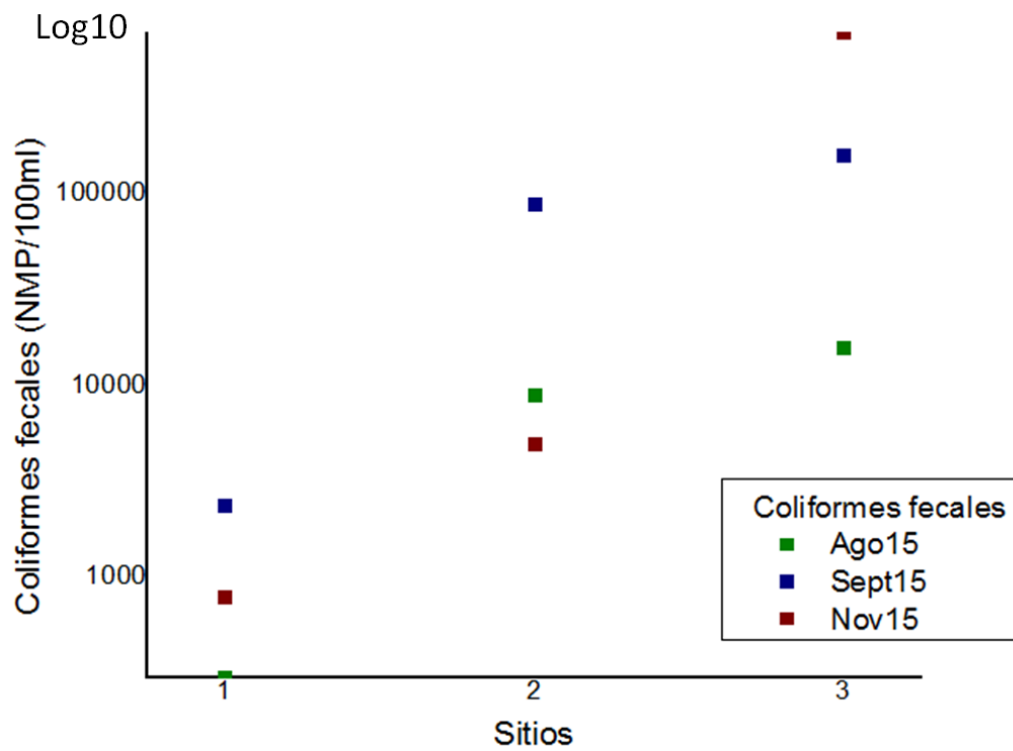


Figura 4.3.2.a (2): Distribución de coliformes fecales

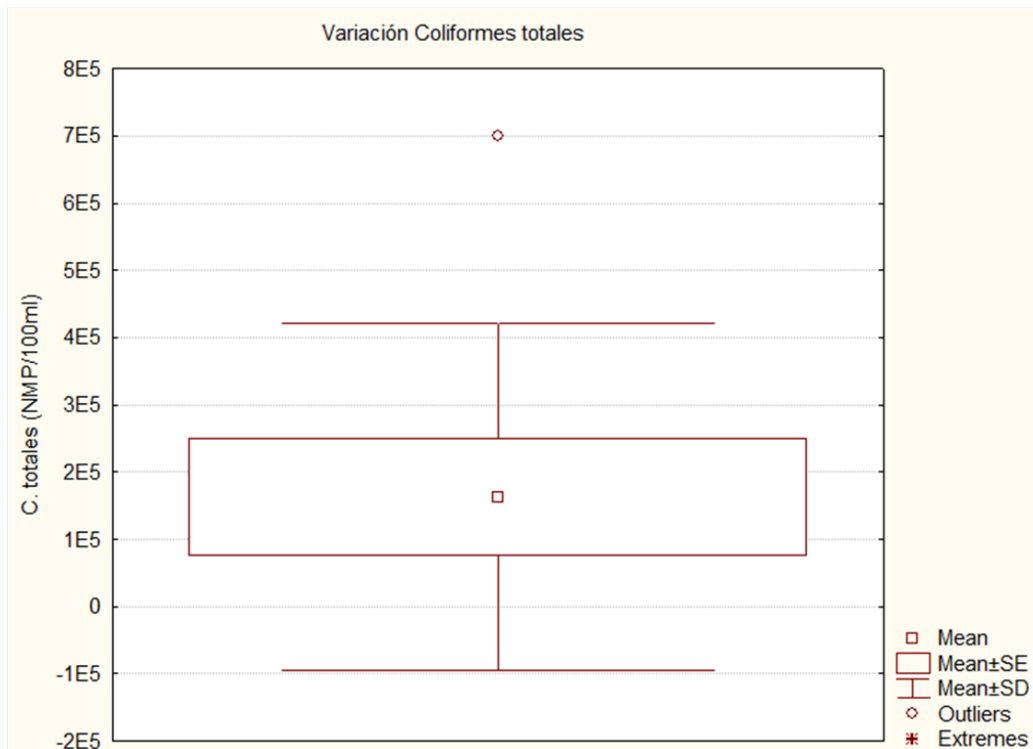


Figura 4.3.2.b (1): Variación de coliformes totales

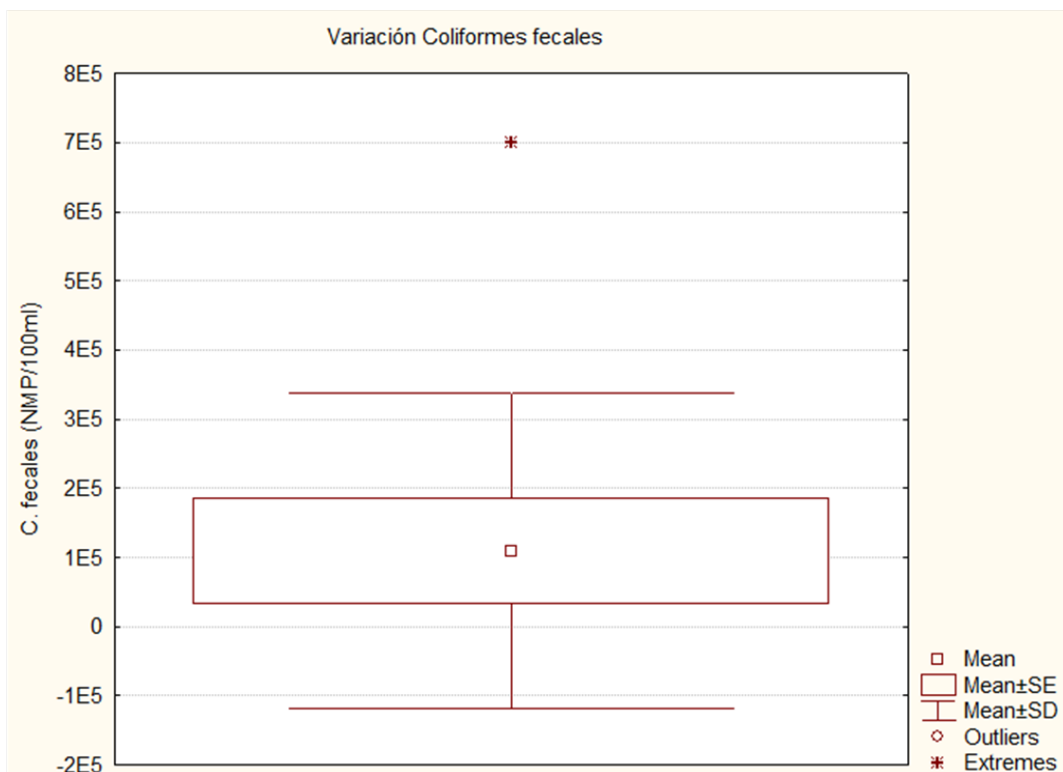


Figura 4.3.2.b (2): Variación de coliformes fecales

En el sitio M1 para las tres campañas registró el valor mínimo de coliformes totales, siendo el menor de todos de 800 NMP/100ml para la campaña de noviembre (Nov15). Por otro lado, se registraron los valores máximos de concentración de coliformes totales en el sitio M3 para las tres campañas, siendo el mayor el correspondiente a la campaña de noviembre (Nov15) con un valor de 700.000 NMP/100ml. Los valores de coliformes fecales fueron menores o iguales, y siguieron el mismo patrón de distribución observado para los coliformes totales (ver figuras 4.3.2.a (1) y (2)). El valor mínimo de coliformes fecales se observó en el sitio M1 para la campaña de agosto (Ago15) con un valor de 300 NMP/100ml. Del análisis de los gráficos de cajas, se puede ver que el arroyo no tiene mucha variabilidad con respecto a los parámetros microbiológicos estudiados, y que hay un valor que corresponde al sitio M3 que se sale de la media.

Como se indicó en el capítulo introductorio (ver Sección 1.3.3), la presencia de bacterias coliformes (en especial fecales) es un claro indicador de contaminación urbana, particularmente por el aporte reciente de materia fecal humana y de animales (*Pulido et al., 2005*). La zona aledaña al sitio M3, donde se dieron las mayores concentraciones de coliformes, carece de sistema red cloacal, por lo que pudiera haber conexiones clandestinas de los desechos a los pluviales. A su vez, según la bibliografía el aumento del crecimiento poblacional de bacterias se da con el aumento de la temperatura (*Natale, 1998*), variación que se pudo comprobar espacialmente (entre los sitios de muestreo en cada campaña) pero no tanto temporalmente (entre campañas). El valor máximo registrado de coliformes totales y fecales (700.000 NMP/100ml, Nov15) se encontró en el sitio M3, el cual también registró mayor temperatura en dicha campaña.

En todos los casos, la concentración de coliformes fecales excede el límite de <200 NMP/100ml, establecido por la Organización Panamericana de la Salud para aguas de uso recreacional con contacto primario (*Hederra, 1996*). Con respecto a los niveles guía nacionales de calidad de aguas para fuentes de provisión de agua de bebida humana para posterior tratamiento convencional (*SSRH, 2007*), siendo para coliformes totales <5000 NMP/100 ml y fecales <1000 NMP/100ml, se observa que sólo el sitio M1 se encuentra dentro de ambos valores, y el sitio M2 se encuentra en el límite para coliformes totales (Nov15) pero lo excede el de coliformes fecales. La Resolución ADA 336/03 fija un límite de <2000 NMP/100ml de coliformes fecales para descarga a cuerpo de agua superficial (*ADA, 2003*), valor que en casi todos los casos es superado (M2 y M3 en Ago15, M1, M2 y M3 en Sept15, M2 y M3 en Nov15).

Los promedios de coliformes totales y fecales obtenidos en este estudio son del orden de  $1E+5$  NMP/100ml, distribuidos muy uniformemente a lo largo de los sitios de muestreo. En el arroyo del Gato los promedios son del orden de  $1E+6$  NMP/100ml, y para el caso del arroyo Pereyra,  $1E+4$  NMP/100ml (*PNUD, 2012*).

#### **4.4 Análisis Multivariado**

Del Análisis de Componentes Principales (PCA) realizado con los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, para todos los sitios discriminando las campañas se desprende que existe una correlación significativa entre los parámetros analizados (tabla 4.4.1).

El Análisis Factorial realizado mostró que el 89,8% de la varianza acumulada puede explicarse con los 4 primeros factores (valores propios >1) realizando la rotación Varimax con los 2 primeros ya que poseen el mayor peso (tabla 4.4.2).

Del análisis se observa que el factor F1 está caracterizado por la temperatura, conductividad, oxígeno disuelto (en sentido inverso), DBO, fósforo total, fósforo reactivo soluble, amonio, coliformes totales y fecales. El factor F2 está caracterizado directamente por el pH y los nitratos y en forma inversa por los sólidos totales, dureza, calcio, fósforo reactivo soluble, y nitritos (tabla 4.4.2).

Cuando combinamos y graficamos los sitios estudiados en las coordenadas de los factores F1 vs F2 se observa que los sitios se agrupan de acuerdo a los parámetros que los caracterizan y sobresalen respecto de los demás sitios durante la estación de primavera, no así en invierno que se alejan de ese agrupamiento (figura 4.4). De esta manera podemos definir una región caracterizada por altas concentraciones de amonio, fósforo total, coliformes fecales y baja concentración de oxígeno disuelto, donde se ubican los valores del sitio M3 en primavera; y otra región caracterizada por la alta concentración de nitratos donde se ubican los valores del sitio M2 en primavera.

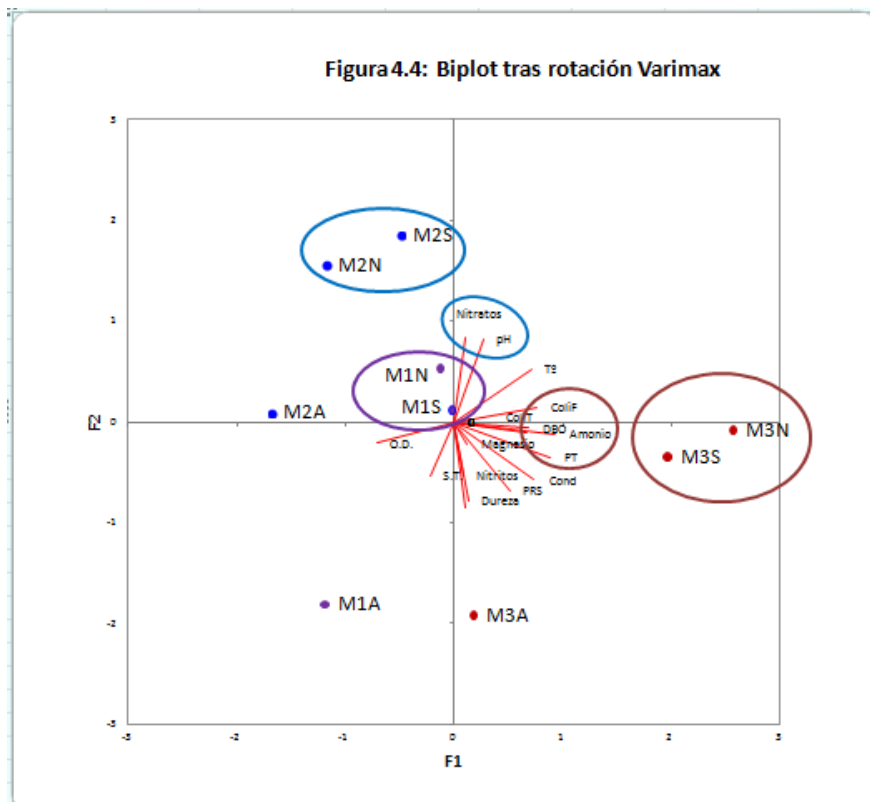
Tabla 4.4.1: Matriz de correlación.

	Tº	pH	Cond	O.D.	S.T.	DBO	Dureza	Calcio	Magnesio	PT	PRS	Nitratos	Nitritos	Amonio	ColiT
pH	<b>0,767</b>														
Cond	0,368	-0,151													
O.D.	<b>-0,700</b>	-0,483	-0,519												
S.T.	-0,283	-0,583	0,234	0,450											
DBO	0,243	-0,176	0,378	-0,519	-0,243										
Dureza	-0,176	-0,360	<b>0,689</b>	0,008	0,293	-0,134									
Calcio	-0,333	-0,633	0,628	-0,150	0,233	0,251	<b>0,753</b>								
Magnesio	0,102	0,170	0,315	0,220	0,085	-0,477	0,621	-0,017							
PT	0,367	-0,033	<b>0,812</b>	-0,533	-0,167	0,644	0,452	0,383	0,288						
PRS	-0,034	-0,458	<b>0,723</b>	-0,186	0,305	0,340	0,409	0,542	0,103	0,644					
Nitratos	0,517	<b>0,783</b>	-0,343	-0,433	-0,617	0,092	-0,469	-0,517	-0,220	-0,117	<b>-0,678</b>				
Nitritos	-0,300	-0,317	0,402	-0,400	-0,233	0,293	0,552	<b>0,783</b>	-0,102	0,383	0,271	-0,100			
Amonio	0,567	0,133	<b>0,745</b>	-0,600	-0,083	0,661	0,259	0,133	0,220	<b>0,917</b>	0,458	0,067	0,167		
ColiT	0,417	-0,067	0,452	-0,033	0,183	0,427	0,000	-0,083	0,220	0,550	0,525	-0,333	-0,450	0,583	
ColiF	0,567	0,150	0,360	-0,233	-0,017	0,536	-0,243	-0,267	0,051	0,567	0,458	-0,067	-0,467	0,650	<b>0,933</b>

En negrita, valores significativos al umbral  $\alpha=0,050$  (prueba bilateral)

Tabla 4.4.2: Análisis factorial				
	F1	F2	F3	F4
Valor propio	5,461	4,329	2,680	1,905
% varianza	34,134	27,053	16,748	11,908
% acumulado	34,134	61,187	77,935	89,843

Tabla 4.4.2: Contribuciones de las variables (%) tras rotación Varimax.		
	F1	F2
Tº	0,721	0,529
pH	0,265	0,824
Cond	0,736	-0,579
O.D.	-0,714	-0,208
S.T.	-0,220	-0,537
DBO	0,683	-0,065
Dureza	0,131	-0,782
Calcio	0,107	-0,854
Magnesio	0,116	-0,221
PT	0,884	-0,349
PRS	0,509	-0,684
Nitratos	0,106	0,831
Nitritos	0,089	-0,535
Amonio	0,929	-0,116
ColiT	0,671	-0,102
ColiF	0,766	0,149





#### 4.5 Índice de Calidad de Aguas (ICA)

Como se detalló en el capítulo metodológico (ver Sección 3.3), se utilizó un índice general de calidad de aguas basado en las mediciones de parámetros físicos, químicos y microbiológicos (WRC, 2012). El índice utilizado incluyó para su cálculo un total de ocho parámetros medidos: cambio de temperatura, pH, oxígeno disuelto, coliformes fecales, DBO<sub>5</sub>, fósforo total, nitratos y sólidos totales en suspensión. Dicho cálculo se realizó para las primeras tres campañas. Los resultados obtenidos se ajustan a la escala de valores del ICA (tabla 4.5.a). De acuerdo con el valor final del ICA, para cada sitio de estudio se obtuvieron los siguientes niveles calidad de aguas (tabla 4.5.b y figura 4.5)

Tabla 4.5.a: Índices de calidad de agua (Fuente: NFS, 2007)

Calidad del agua	Valor del índice
Excelente	90-100
Buena	70-90
Media	50-70
Mala	25-50
Muy Mala	0-25

Tabla 4.5.b: Resultados de los ICAs y tipo de calidad de agua para los tres sitios de muestreo y las tres campañas.

Campaña	Sitios	Valor ICA	Calidad del Agua
Ago15	M1	61	Media
	M2	60	Media
	M3	50	Mala
Sept15	M1	53	Media
	M2	52	Media
	M3	39	Mala
Nov15	M1	58	Media
	M2	56	Media
	M3	47	Mala

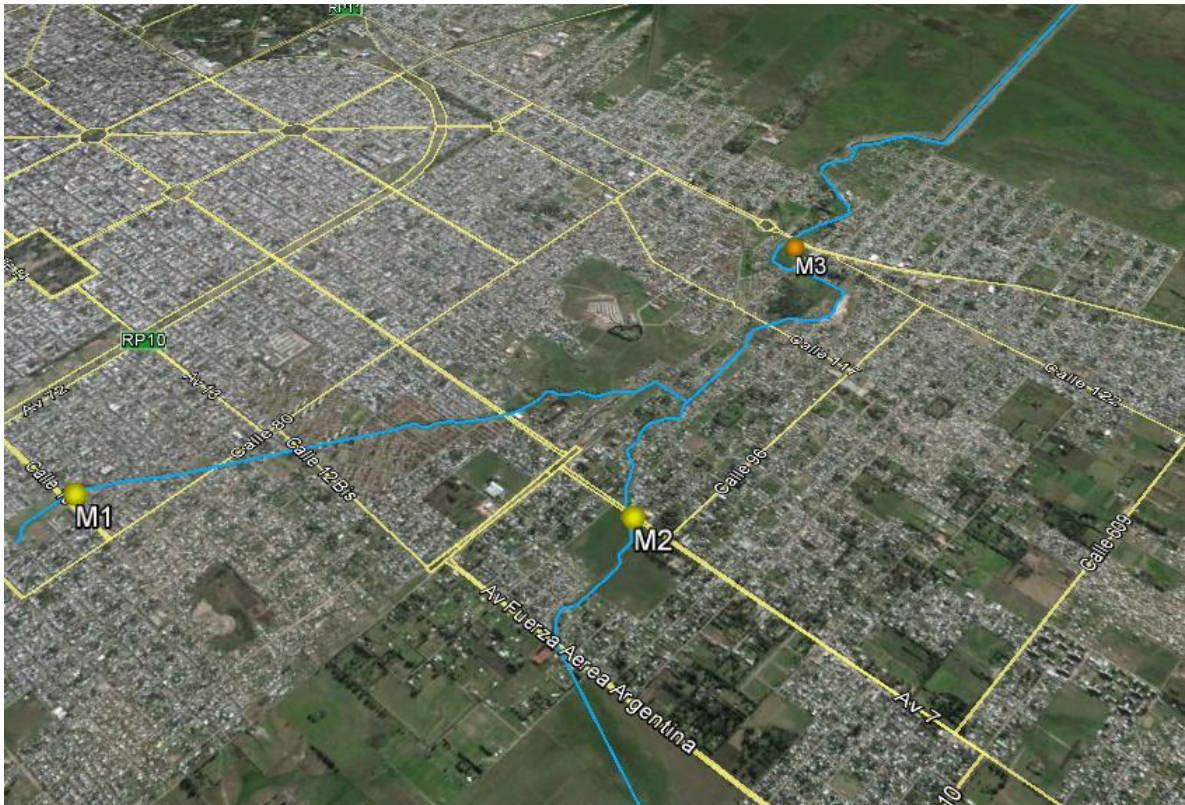


Figura 4.5: Representación gráfica en el área de estudio de los valores de los ICAs obtenidos, según escala de color

#### 4.5.1 Discusión sobre la aplicación del Índice de Calidad de Aguas (ICA)

Se observa que para las tres campañas, los valores de los índices de calidad se mantienen dentro de los mismos valores, por lo que la calidad del agua no varía temporalmente. El sitio de muestreo M3 resultó con calidad de agua *mala* según la clasificación antes mencionada, y los sitios M1 y M2 resultaron con calidad de agua *media*.

El hecho de que el sitio M3 haya sido el de calidad de agua mala, se puede explicar con los resultados de los parámetros analizados que incluye el índice. En general, el sitio M3 tuvo la mayor cantidad de coliformes fecales, la mayor temperatura, el menor oxígeno disuelto, el menor pH, la mayor DBO<sub>5</sub>, y mayor fósforo total, lo que resultó en los menores valores de índice para las tres campañas.

Se destaca que los índices de manera general, suelen perder detalle o información específica de los indicadores que los integran, y su uso debe considerar ese aspecto. En el caso particular de la zona de estudio, los valores variables del índice en cada sitio, se deben a la compensación en el cálculo del peso que la contaminación microbiológica y el oxígeno disuelto le confieren, por sobre otras variables. Para probar esto, se calculó el índice con solo 4 parámetros, los que más peso le confieren (temperatura, oxígeno disuelto, pH y coliformes fecales) y el valor varió muy poco, manteniéndose en todos los casos dentro de los mismos rangos de calidad.

#### 4.6 Consideraciones generales

Respecto a la caracterización fisicoquímica y microbiológica del arroyo, se observó en la mayoría de los casos que los resultados obtenidos siguen el comportamiento similar al de otros arroyos de la región, tales como los casos del arroyo del Gato y Pereyra de acuerdo a lo registrado en la bibliografía (PNUD, 2012).

Cabe destacar entre los parámetros fisicoquímicos, la diferencia de temperatura del agua observada en el sitio M3, que en todas las campañas resultó 1-2°C por encima de los otros sitios. Como se mencionó anteriormente, esto es un indicio del aporte de aguas servidas ya que estos efluentes tienen habitualmente una temperatura más elevada que el cuerpo de agua receptor (Metcalf & Eddy, 2013).

De acuerdo a los resultados obtenidos de los parámetros microbiológicos del arroyo, se observa que el sitio M3 es el que tiene influencia directa de descarga de desechos a través de conexiones clandestinas a los pluviales, ya que se encontraron altos niveles de contaminación por coliformes fecales, lo que no sólo queda evidenciado por dicho parámetro, sino también por el reciente relevamiento de la red de cloacas de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la UNLP (ver Mapa A del Anexo), que deja evidenciada la falta del servicio en toda la cuenca, y en especial en el sitio mencionado, el que también tiene una alta urbanización (ver Mapa B del Anexo).

Por otra parte, el análisis de nutrientes inorgánicos presentó algunos resultados que se desvían de lo esperado para este cuerpo de agua, estando los niveles de concentraciones por encima de los límites propuestos por organismos internacionales (WHO, 2009) y nacionales (SSRH, 2003, 2004 y 2007). Esto podría explicarse por la actividad agrícola en los tramos superior y medio de la cuenca (ver Mapa C del Anexo), los que resultaron con mayores concentraciones de nutrientes, especialmente en nitratos. Si bien se cuenta con los registros de lluvia de la zona, no se encontraron relaciones causales entre éstos y los nitratos.

Del Análisis de Componentes Principales (PCA) se observa que los sitios de muestreo se agrupan de acuerdo a los parámetros que resultaron más importantes. Se define una región caracterizada por altas concentraciones de amonio, fósforo total, coliformes fecales y baja concentración de oxígeno disuelto que corresponden a los valores del sitio M3, y otra región caracterizada por la alta concentración de nitratos donde se ubican los valores del sitio M2. Vale aclarar que dicha relación se observa para las campañas de primavera (Sept15 y Nov15) y no así para la de invierno (Ago15).

Según la clasificación de los Índices de Calidad de Agua (ICA), el sitio de muestreo M3 tiene calidad de agua *mala*, y los sitios M1 y M2 tienen calidad de agua *media*. Se observa que para las tres campañas, los valores de los ICAs se mantienen dentro de los mismos rangos, por lo que la calidad del agua no varía temporalmente. Las observaciones en campo de los sitios de muestreo y registros fotográficos incorporados en este estudio (ver figura 3.2.1.b) permiten documentar las diferencias

entre sitios. El tramo superior del arroyo conserva vegetación acuática y mayor transparencia que el medio. El tramo inferior muestreado evidencia claro deterioro, material flotante proveniente de degradación de materia orgánica, color grisáceo, pátinas de material oleoso, ausencia de vegetación acuática.

Todos los sitios de muestreo se encuentran ubicados en sectores de la cuenca clasificados como de alto peligro de inundación por precipitaciones según los mapeos recientes (ver Mapa C del Anexo), lo que se pudo corroborar en la inundación del mes de abril de 2013, donde por ejemplo, el agua en el sitio M3 llegó a sobrepasar los 2 metros de altura, siendo el más crítico de la cuenca (*Facultad de Ingeniería UNLP, 2013*). Esto adquiere gran importancia en relación a la evidente contaminación encontrada, particularmente la de características microbiológicas, visualizable de manera más sencilla con el ICA. El contacto directo de la población aledaña en escenarios de inundación con el agua del arroyo ingresando a viviendas y calles, determina impactos adversos incrementables por exposición a los contaminantes presentes en el agua.

Los resultados del presente estudio alertan sobre la presión que ejerce la creciente urbanización de la cuenca, con escasa o nula dotación de servicios tales como la red de cloacas, no ha avanzado al nivel que la región lo requiere. El uso productivo del suelo en el tramo superior de la cuenca evidencia incorporación de nutrientes al arroyo, que junto a la contaminación urbana contribuyen a procesos de eutrofización y degradación del recurso. Ello señala la urgente necesidad de incorporar políticas de saneamiento para recuperar la calidad del recurso, valorar sus servicios e incrementar una mejora en la percepción ambiental de la población.

## **CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

A partir de lo planteado en la Hipótesis de Trabajo, se acepta que la existencia de fuentes de contaminación urbanas no controladas, incrementan los impactos adversos de inundaciones en la cuenca del A° Maldonado. Esto se pudo comprobar mediante el estudio de parámetros de calidad físicos, químico y microbiológicos de calidad de aguas, que indican que las zonas inundables tienen un elevado compromiso por contaminación.

Fue posible cumplir con los objetivos y metas del estudio propuesto, permitiendo el entrenamiento para la realización de monitoreos de calidad ambiental en las etapas de diseño del muestreo, recolección y preservación de muestras, determinaciones de parámetros fisicoquímicos *in situ*, y análisis de las muestras en el laboratorio mediante técnicas analíticas estandarizadas. Se aplicaron metodologías validadas para la determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, lo que permitió la obtención de datos para conocer la intensidad y el tipo de impacto sobre los distintos sectores de la cuenca.

La utilización de estrategias de análisis de los datos tales como el cálculo estadístico descriptivo, el análisis multivariado y la aplicación de un índice de calidad de aguas permitió la caracterización de los sitios de estudio, además de la valoración de impactos asociados al uso del suelo sobre el curso de agua. Los resultados obtenidos, el procesamiento e interpretación de los mismos significa un aporte de nueva información sobre la calidad del ecosistema acuático estudiado, disponible para la comunidad, que podrá ser utilizada como insumo por los organismos de gestión al momento de evaluar el estado de conservación del recurso y proponer estrategias de manejo.

### **5.2 Recomendaciones**

Sobre la base de que el principal aporte de contaminantes de la cuenca es de origen cloacal, se plantea la necesidad de mejorar el sistema de provisión y saneamiento de la red de cloacas, con las correspondientes obras de infraestructura que permitan la ampliación de la existente hacia los nuevos sectores urbanizados. A su vez, se requieren plantas de tratamiento para el adecuado saneamiento de los efluentes.

Otro aspecto a destacar es el escaso conocimiento y control sobre el uso de fertilizantes en las actividades agrícolas de la cuenca, por lo que se deben gestionar políticas de preservación ambiental del recurso que abarquen estos temas. Por otro

lado, estudiar potenciales descargas industriales al arroyo es un tema pendiente para tener un panorama completo del impacto antrópico en el curso de agua estudiado.

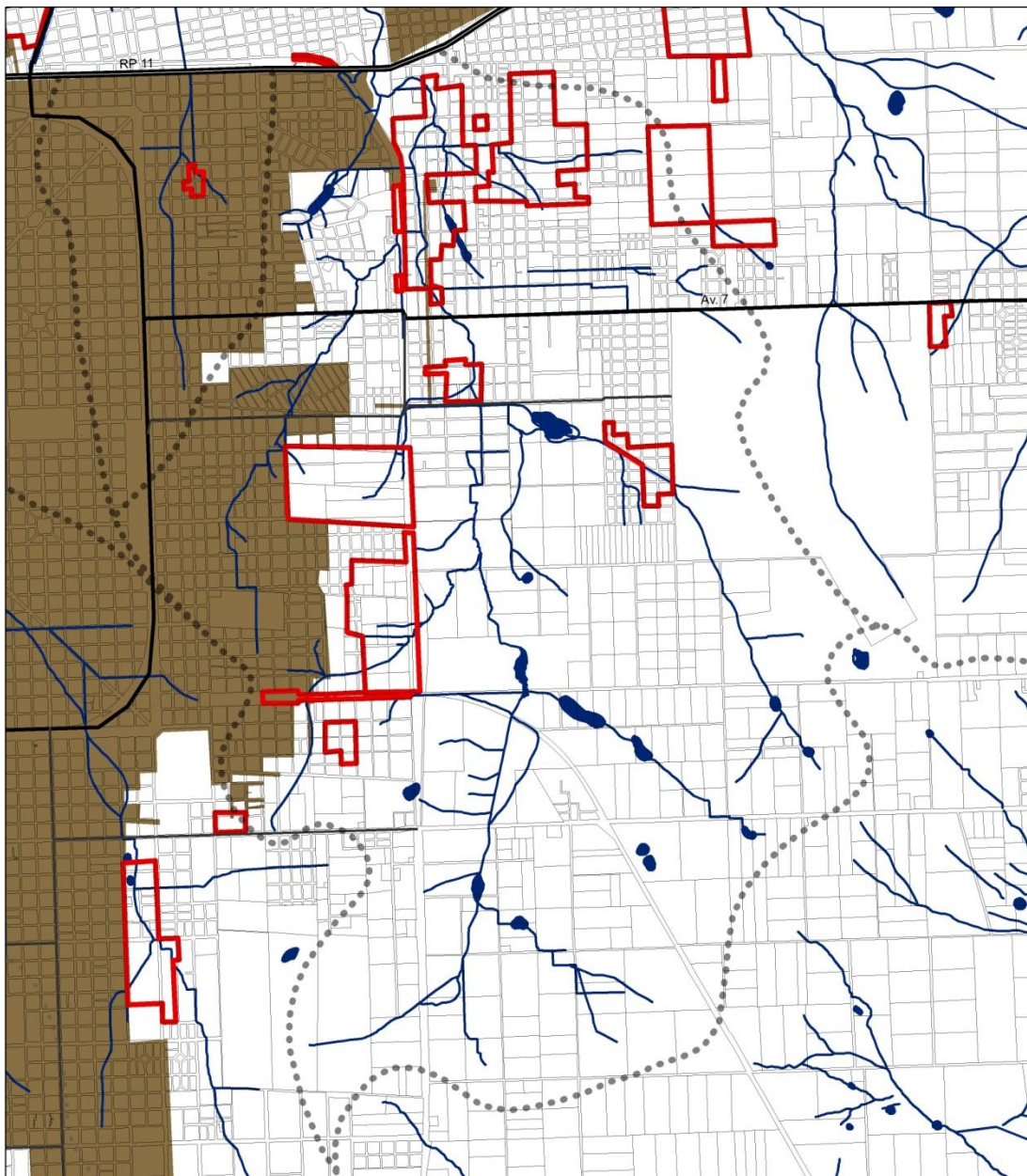
Teniendo en cuenta la revisión bibliográfica sobre normas de calidad de agua, se reconoce que las mismas son escasas y poco sistematizadas, lo que requiere de una activa revisión y ampliación para el cuidado de los recursos hídricos superficiales.



La intervención de los gobiernos provinciales y locales en la planificación de los asentamientos es fundamental para encarar soluciones a los problemas planteados en este trabajo, sobre todo los asociados a las inundaciones.

Por último, se propone el uso de un Índice de Calidad simplificado, que se determina con parámetros fisicoquímicos y microbiológicos *in situ*, para la tener una caracterización rápida y robusta de un cuerpo de agua superficial, necesarias para la respuesta en acciones inmediatas frente a los problemas que se detecten tendientes a su resolución. El arroyo Maldonado representa otro caso de deterioro de un ecosistema acuático de la región, asociados al olvido de políticas públicas tendientes a una efectiva conservación de los recursos y una mejora de la calidad de vida.

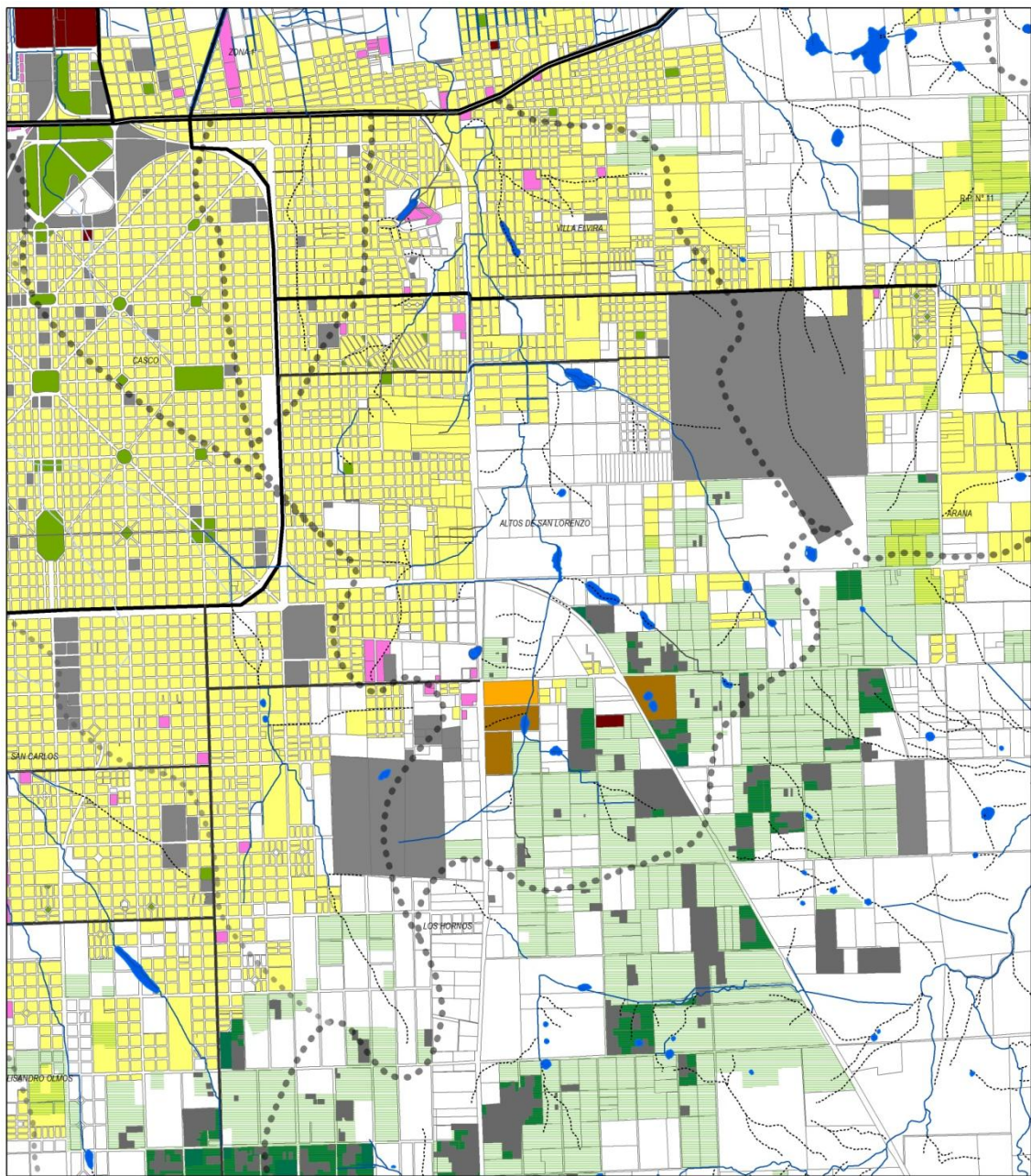
# ANEXO MAPAS

## A- Cobertura Red de Cloacas



<p><b>Título:</b> <b>COBERTURA RED DE CLOACA</b> <b>Cuenca Arroyo Maldonado</b></p> <p>FUENTE: Google Earth 2014, ARBA, ABSA, CISAUA Elaboración Propia</p> 	<p><b>Referencias:</b> Divisorias_wgs84_reproy</p> <p><b>JERARQUIA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Divisoria principal</li> <li>● Divisoria secundaria</li> <li>● Divisoria terciaria</li> <li>● Hidrografía BELP</li> </ul> <p><b>vial</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>— RED VIAL ESTRUCT. URB. SECUNDARIA</li> <li>— RED VIAL ESTRUCT. URBANA</li> <li>— RED VIAL ESTRUCT. REGIONAL</li> <li>— RED VIAL METROPOLITANA</li> <li>— LIMITE DE PARTIDO</li> </ul>	<p><b>Plano</b> <b>00</b></p> <p>400 200 0 400 Metros</p> <p><b>1:30.000</b></p> <p>FECHA: NOVIEMBRE 2015</p> 
---	---	---

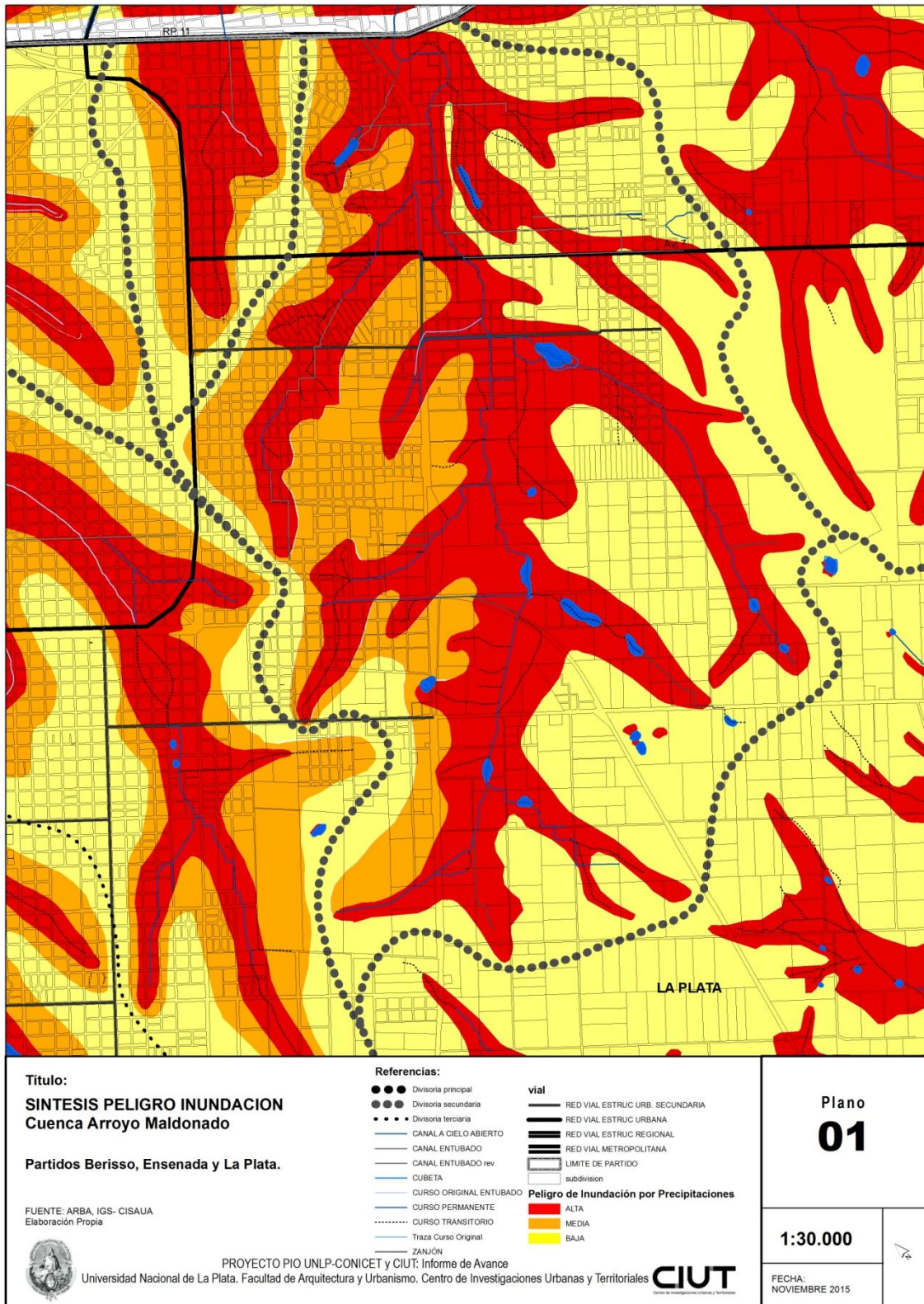
## B- Usos del Suelo



<p><b>Título:</b> <b>USOS DEL SUELO</b> <b>Cuenca Arroyo Maldonado</b></p>	<p><b>Referencias:</b></p>	<p><b>usos_14</b></p>	<p><b>RURAL</b></p>	<p><b>Plano</b></p>
<p>FUENTE: Google Earth 2014, ARBA, FahCE, CISAUA Elaboración Propia</p>	<p><b>Divisorias_wgs84_reproy</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>● Divisoria principal</li> <li>● Divisoria secundaria</li> <li>● Divisoria terciaria</li> <li>— RED VIAL METROPOLITANA</li> <li>— RED VIAL ESTRUC REGIONAL</li> <li>— RED VIAL ESTRUC URBANA</li> <li>— RED VIAL ESTRUC URB. SECUNDARIA</li> <li>— SUBDIVISION</li> <li>— LIMITE DE PARTIDO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ SIN USO APARENTE</li> <li>□ RESIDENCIAL INTENSIVO</li> <li>□ RESIDENCIAL EXTENSIVO</li> <li>□ RESIDENCIAL EN TRAMITE DE APROBACION</li> <li>□ ESPACIOS VERDES</li> <li>□ AGRICULTURA INTENSIVA</li> <li>□ INDUSTRIA</li> <li>□ GALPON</li> <li>□ USOS ESPECIALES</li> </ul>	<p><b>Cultivo Intensivo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ bajo cubierta</li> <li>■ cielo abierto</li> </ul>	<p><b>00</b></p>
	<p>PROYECTO PIO UNLP-CONICET y CIUT: Informe de Avance Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Centro de Investigaciones Urbanas y Territoriales</p>			<p><b>1:40.000</b></p> <p>575 267.5 0 267.5 575 Metros</p> <p>FECHA: NOVIEMBRE 2015</p>



## C- Síntesis Peligro de Inundación



## AGRADECIMIENTOS

- \* A mi mamá, Cristina, por siempre creer en mí. Con su apoyo incondicional y su ejemplo me dio las fuerzas para seguir siempre para adelante. Te amo!
- \* A mi familia, mi hermana, mi tía, Luis, que me acompañaron estos seis años, siempre pendientes de mis exámenes, de mis logros... Los quiero tanto!
- \* A mi viejo, quién no pudo acompañarme en todo este trayecto universitario, pero sé que desde donde esté se siente muy orgulloso de mí.
- \* A mis amigas de Adrogué, Dani, Chicho, Flopa y Penny, que hicieron que cada visita mía al “pueblo” sea especial, bancándome siempre en cada paso que di desde que me mudé a esta linda ciudad.
- \* A los amigos del trabajo, los primeros amigos platenses que tuve, y sigo teniendo... Son muy importantes para mí, gracias por el aguante siempre Lula, Vale, Gise, Maru, Juli, Mecha, Aguspe, Juanceto, Marco!
- \* A la banda del Parral, el gimnasio del barrio, y un lugarcito especial para desconectar, donde conocí a gente increíble y que quiero mucho: Caro, Cate, Diego, Enzo, Dami, Leo, Lula, Mica, Iru, Euge, Sebas, Rami... por muchos más años de salidas, asados y fernet.
- \* A los compañeros de la carrera y otros, que hicieron de mi paso por la facu una experiencia hermosa, llena de salidas, risas y recuerdos que me llevo por siempre. En especial Agus, Iva y Ale, las adoro amigas!
- \* A aquellos profesores que me contagiaron el amor por la ciencia.
- \* A mis directoras de trabajo final, Nina y Cari, quienes me asistieron y enseñaron en todo momento para poder desarrollar este trabajo. Terminé la facultad con una experiencia hermosa.

## BIBLIOGRAFÍA

- AA, AGOSBA, ILPLA, SHN, 1997. Calidad de las Aguas de la Franja Costera Sur del Río de la Plata (San Fernando-Magdalena), Consejo Permanente para el Monitoreo de las Aguas de la Franja Costera Sur del Río de la Plata, Buenos Aires. 119 pp.
- ADA (Autoridad del Agua), 2003. Resolución ADA 336/2003: Parámetros de Calidad de las Descargas Admisibles. Disponible en: <http://www.ada.gba.gov.ar/normativa/RESOLUCIONES/RESOL336-2003.pdf>. Última consulta: 18 de Septiembre de 2015.
- ADA (Autoridad del Agua), 2006. Resolución ADA 42/2006: Criterios de Calidad de Agua para la Franja de Jurisdicción Exclusiva Argentina del Río de la Plata y su Frente Marítimo. Disponible en: <http://www.ada.gba.gov.ar/normativa/RESOLUCIONES/resol42-2006.pdf>. Última consulta: 18 de Septiembre de 2015.
- ADA (Autoridad del Agua), 2012. Síntesis del Proceso Preparatorio para la Elaboración del Taller de un Plan de Gestión Integral de la Cuenca del Arroyo del Gato. La Plata. 25pp.
- Albert L., 1997. Nitratos y Nitritos. En Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental, Organización Panamericana de la Salud. 17: 279-296.
- Andrade MI, Plot B., 2003. Problemática de Inundación en el Gran La Plata: Mapa de Riesgo Hídrico desde la Teoría Social del Riesgo. Informe Técnico para COUT - Municipalidad de La Plata. La Plata. 281pp.
- Antico, P.L., Sabbione, N. C. , 2010. Variabilidad Temporal de la Precipitación en la Ciudad de La Plata durante el período 1909-2007: Tendencias y Fluctuaciones Cuasiperiódicas. La Plata, GEOACTA, 35:44-53.
- APHA, 1998. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. Clesceri L. S., Greenberg A. E. and Eaton A.D (Eds.). American Public Health Association - American Water Works Association - Water Pollution Control Federation, Maryland.
- AySA, 2014. Normas Mínimas de Calidad de Agua Producida y Distribuida. Agua y Saneamientos Argentinos S.A. Consultado en línea: 29 de noviembre de 2015.
- Baird, C., Cann, M., 2012. Environmental Chemistry. 5<sup>th</sup> Edition. Nueva York. 851pp.
- Barros, V., Menéndez, A., Nagy, G., 2005. El Cambio Climático en el Río de La Plata. CIMA-CONICET. CABA. 392pp.
- Bruzzone, E., 2009. Las Guerras del Agua. América del Sur, en la Mira de las Grandes Potencias. Editorial Capital Intelectual. CABA. 197pp.
- CAA, 2007. Código Alimentario Argentino. Capítulo XII: Bebidas Hídricas, Agua y Agua Gasificada. Publicado en el Boletín Oficial del 28 de julio de 1969. Número: 21732; Página: 1. Argentina. 60pp.

- Camargo J., Alonso A., Salamanca A., 2005. Nitrate Toxicity to Aquatic Animals: A Review with New Data for Freshwater Invertebrates. Madrid. *Chemosphere* 58: 1255 - 1267.
- Cattogio, J. A., 1990. Contaminación del Agua. Causas de la Contaminación de Aguas Superficiales y Subterráneas. Fundación J.E. Roulet-Fundación Nauman. CABA, p. 137-155.
- CENTA, 2006. Guía sobre Tratamientos de Aguas Residuales Urbanas para Pequeños Núcleos de Población. Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua. Sevilla, 128 pp.
- CISAUA-CIC-CONICET-MIVSP, 2006. Análisis Ambiental del Partido de La Plata. Aportes al Ordenamiento Territorial. Centro de Investigaciones de Suelos y Aguas de Uso Agropecuario, Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, Ministerio de Infraestructura, Vivienda y Servicios Públicos. La Plata, 124 pp.
- Chapman, D., 1996. Water Quality Assessments - A Guide to Use of Biota, Sediments and Water in Environmental Monitoring. Second Edition. UNESCO/WHO/UNEP. University of Cambridge Press. Cambridge, 609 pp.
- Colombo, J.C., Khalil, M.F., Horth, A.C., Cattogio, J.A., 1990. Distribution of Chlorinated Pesticides and Individual Polychlorinated Biphenyls in Biotic and Abiotic Compartments of the Rio de la Plata, Argentina. *ES&T* 24:498-505.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), 2011. Estadísticas del agua en México, edición 2011. Capítulo 8: Agua en el mundo. México D.F. 14pp.
- Comité Intergubernamental Coordinador de los Países de la Cuenca del Plata (CIC), 2005. Programa Marco para la Gestión Sostenible de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Plata en Relación a los Efectos de la Variabilidad y el Cambio Climático. CABA. 80pp.
- Dangavs, N.V., 2005. Los Ambientes Acuáticos de la Provincia de Buenos Aires. En: R. E. Barrio, R. O. Etcheverry, M. F. Caballé and E. Llambías (Eds), Recursos Minerales de la Provincia de Buenos Aires. Relatorio XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata, p. 219-236.
- Del Giorgio, P., Vinocur, A., Lombardo, R., Tell, R., 1991. Progressive Changes in the Structure and Dynamics of the Phytoplankton Community Along a Pollution Gradient in a Lowland River. A Multivariate Approach. Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires. CABA. *Hidrobiología* 224:129-154.
- Domènech, X., Peral, J., 2006. Química Ambiental de Sistemas Terrestres. Editorial Reverté S.A. Barcelona. 247pp.
- Facultad de Ingeniería UNLP, 2013. Estudio sobre la Inundación Ocurrida los Días 2 y 3 de Abril de 2013 en las Ciudades de La Plata, Berisso y Ensenada. Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata. Departamento de Hidráulica. La Plata. 68pp. Y anexos.
- Fernandez M. C., Alcántara A. A., García M. E., 2001. Transmisión Fecohídrica y Virus de la Hepatitis A. *Higiene y Sanidad Ambiental*. Granada. 1: 8-18.

- FREPLATA, 2005. Proyecto PNUD/GEF/RLA/99/G31 "Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Hábitats". Análisis y Diagnóstico Transfronterizo del Río de la Plata y Su Frente Marítimo. Documento Técnico. Montevideo. P. 30-121.
- Hederra R., 1996. Manual de Vigilancia Sanitaria. Organización Panamericana de la Salud, PALTEX. Washington, 144 pp.
- Heiri, O., Lotter, A., Lemcke, G. 1999. Loss on Ignition as a Method for Estimating Organic and Carbonate Content in Sediments: Reproducibility and Comparability of Results. Bern. 10pp.
- Hernández, M., González, N., Cabral, M., Giménez, J.E., Hurtado, M., 2003. Importancia de la Caracterización Física del Riesgo Hídrico en la Llanura Húmeda. Capítulo 9, en: Inundaciones en la Región Pampeana, Ed. UNLP y HCD PBA. La Plata, 16pp.
- Hill, M., 2010. Understanding Environmental Pollution. Tercera Edición. Cambridge University Press. Cambridge. Capítulo 9: Water Pollution, 236-283p.
- IGS, 2005. Elaboración y Transferencia de Cartografía Temática e Implementación de un GIS para el Planeamiento - Partido de Berisso. Instituto de Geomorfología y Suelos, Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Informe Técnico. Convenio: Municipalidad de Berisso- CIC-IGS. La Plata, 78 p y anexo 11 mapas.
- INDEC, 2010. Censo Nacional. Provincia de Buenos Aires, partido La Plata. Población total por país de nacimiento, según sexo y grupo de edad (Cuadro P5-D). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. Argentina. Disponible en: <http://www.censo2010.indec.gov.ar> Última consulta: 10 de Noviembre 2015.
- Johnson, D.E., 1998. Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. Thomson Editores, México D.F.
- Madigan M., Martinko J., Parker J., 2004. Brock Biología de los Microorganismos, 10ª edición, Pearson-Prentice Hall. Madrid, 19: 624-686.
- Manahan, S.E., 2007. Introducción a la Química Ambiental. Editorial Reverté S.A. México D.F., 725pp.
- Martin, M., 2011. Caracterización y Fotoquímica de Sustancias Húmicas de Diferentes Orígenes. Tesis de Doctorado en Instituto de Investigaciones Físicoquímicas Teóricas y Aplicadas (INIFTA), Facultad de Ciencias Exactas, UNLP. La Plata. 126pp.
- Metcalf & Eddy, 2013. Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. McGraw Hill Education. London, 2048 pp.
- Moore J. E., Heaney N., Millar B. C., Crowe M., Elborn J. S., 2002. Incidence of Pseudomonas Aeruginosa in Recreational and Hydrotherapy Pools. Communicable Disease and Public Health. Belfast. 5: 23 - 26.

- Natale O., 1998. Agua. Problemática Regional. Enfoques y Perspectivas en el Aprovechamiento de Recursos Hídricos. Editorial Universitaria de Buenos Aires. CABA, 33-49.
- NSF, 2007. Field Manual for Water Quality Monitoring. National Sanitation Foundation. Disponible en [www.nsf.org](http://www.nsf.org)
- OECD, 1982. Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control. Cooperative Programmers on Monitoring of Inland Waters (Eutrophication Control), Environment Directorate, Reporte Final. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. París.
- OPS, 2000. Los Desastres Naturales y la Protección de la Salud. Organización Panamericana de la Salud. Washington, D.C.: OPS, xi, 131 p. (Publicación Científica, 575).
- Orozco Barrenetxea C., Pérez Serrana A., González Delgado M., Rodríguez Vidal F., Alfayate Blanco J., 2003. Contaminación Ambiental. Una Visión Desde la Química. Editorial Thomsom. Barcelona, 679 pp.
- Orozco A., 2005. Bioingeniería de Aguas Residuales. ACODAL. Bogotá, 412 pp.
- Pizarro, H., Alemanni, M.E., 2005. Variables Físico-químicas del Agua y su Influencia en la Biomasa del Perifiton en un Tramo Inferior del Río Luján (Provincia de Buenos Aires). CABA. Ecología Austral 15:73-88.
- PNUD, 2012. Proyecto PNUD – FREPLATA No. ARG/09 G46. Calidad ambiental de las Cuencas de los Arroyos del Gato y Pereyra Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo*. La Plata. 252pp.
- PNUMA-SAyDS, 2004. GEO Argentina 2004. Perspectivas del Medio Ambiente en Argentina. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la República Argentina. CABA, 303pp.
- Prescott L. M., Harley J. P., Klein D. A., 2004. Microbiología. Mc Graw-Hill/Interamericana. Madrid. 1240 pp.
- Pulido M. A., Navia S. L. A., Torres S. M. E., Prieto A. C. G., 2005. Indicadores Microbiológicos de Contaminación de las Fuentes de Agua. Bogotá. Nova 3: 1 - 116.
- Rigacci, L., Giorgi, A., Vilches, C., Ossana, N., Salibián, A., 2013. Effect of a Reservoir in the Water Quality of the Reconquista River, Buenos Aires, Argentina. *Environmental Monitoring & Assessment*. 185:9161–9168.
- Rodier, J., Geoffray, Ch., Kovasacsik, G., Laporte, J., Plissier, M., Scheidhauer, J., Verneaux, J., Vial, J., 1998. Análisis de las aguas. Ediciones Omega S.A. Barcelona. Tomo I, 601 pp.
- Ronco A., Porta A. y Roca A., 1992. Las Aguas del Río Santiago. Otro Caso de Contaminación Urbano-industrial. *Ciencia Hoy*, vol. 4 No.19, 34-38.

- Ronco A., Sobrero C., Bulus Rossini G., 1993. Pollution Studies in Rio Santiago Basin, Tributary of the Río de la Plata Estuary: Preliminary Risk Assessment Evaluation. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 51:657-664.
- Ronco A., Camilion C., Manassero M., 2001. Geochemistry of Heavy Metals in Bottom Sediments from Streams of the Western Coast of the Rio de la Plata Estuary, Argentina. *Environmental Geochemistry and Health*, 23:89-103.
- Ronco A., Peluso L., Jurado M., Bulus Rossini G., Salibián A., 2007. Screening of Sediment Pollution in Tributaries from the Southwestern Coast of the Rio de la Plata Estuary. *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 15:67-75.
- Ronco A., Carriquiriborde P., Natale G. S., Martin M. L., Mugni H., Bonetto C., 2008. Integrated Approach for the Assessment of Biotech Soybean Pesticides Impact on Low Order Stream Ecosystems of the Pampasic Region. En: *Ecosystem Ecology Research*, Nova Publishers. ISBN 978-1-604561-83-8, p. 209-239.
- Sabbione, N., Apartin, C., Sarochar, R., Andrinolo, D., Rodríguez, G., Cano, L., Berisso, F., Rossi, J., Ronco, A., 2015. Hacia la Construcción de una Red de Monitoreo Hidrometeorológico en la Región de La Plata, Berisso y Ensenada, Provincia de Buenos Aires. IV Simposio sobre Métodos Experimentales en Hidráulica La Plata, Argentina.
- Sawyer, C., McCarty, P., Parkin, G., 2001. *Química para Ingeniería Ambiental*. Cuarta Edición. McGraw Hill. Bogotá, 716pp.
- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). Estado del tiempo y Pronóstico para La Plata. Disponible en: <http://www.smn.gov.ar>. Última consulta: 2 de diciembre de 2015.
- SSRH, 2003. Metodología para el Establecimiento de Niveles Guía de Calidad de Agua Ambiente para la Protección de la Biota Acuática. Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación. CABA, 38 pp.
- SSRH, 2007. Niveles Guía de Calidad. Subsecretaría de Recursos Hídricos. CABA, 63 pp.
- UNESCO, 2003. Agua para Todos, Agua para la Vida. Resumen Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. París. 36pp.
- UNLP-FAHCE, 1997. Jornadas Platenses de Geografía. La Plata desde... Geografía y Cultura. Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Fundación Renacimiento. La Plata.
- Vernier Software & Technology, 2015. Experimento 41: Oxígeno Disuelto. Disponible en línea: [http://www2.vernier.com/sample\\_labs/CMV-41-oxigeno\\_disuelto.pdf](http://www2.vernier.com/sample_labs/CMV-41-oxigeno_disuelto.pdf)
- WHO (World Health Organization), 2008. Guidelines for Drinking-water Quality (3rd Edition). Geneva. 398pp.
- WHO (World Health Organization), 2009. Guidelines for Safe Recreational Water Environments: Coastal and Fresh Waters. Geneva. 220pp.

Winkler, M., 1995. Tratamiento Biológico de Aguas de Desecho. Editorial Limusa. México D.F., 338 pp.

WRC, 2012. "Calculating NSF Water Quality Index". Monitoring the Quality of Surfacewaters. Water Research Center. Disponible en línea: [www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters](http://www.water-research.net/index.php/water-treatment/water-monitoring/monitoring-the-quality-of-surfacewaters). Última consulta: 2 de Noviembre de 2015