



Determinación de Parámetros Físicoquímicos y Aplicación del Índice de Calidad NSF en Los Arroyos La Totorá y La Carolina del Partido de Gral. Alvarado, Prov. de Buenos Aires, Argentina.

Determination of Physicochemical Parameters and Application of NSF Water Quality Index in La Totorá and La Carolina Streams Located in Gral. Alvarado County, Buenos Aires, Argentina.

Presentación: 21/08/2019

Aprobación: 15/07/2020

Macarena Campins

Laboratorio de Análisis Industriales, Facultad Regional Mar del Plata, Universidad Tecnológica Nacional - Argentina.
macarenacampins@gmail.com

Mariana Rampi

Laboratorio de Análisis Industriales, Facultad Regional Mar del Plata, Universidad Tecnológica Nacional - Argentina.
rampimariana@gmail.com

Natalia Cuestas

Laboratorio de Análisis Industriales, Facultad Regional Mar del Plata, Universidad Tecnológica Nacional - Argentina.
nataliarcuestas@gmail.com

Marina Maggiore

Laboratorio de Análisis Industriales, Facultad Regional Mar del Plata, Universidad Tecnológica Nacional - Argentina.
mamaggi3@hotmail.com

Resumen

Actividades como la agricultura, la ganadería, la industria y la urbanización suelen modificar las características físicas, químicas y biológicas de arroyos y ríos y sus riberas. Para evaluarlas se utilizan, por ejemplo, índices de calidad ambiental que surgen de una combinación de parámetros. Estos permiten valorar la calidad ambiental del recurso hídrico por medio de un número, color, una descripción verbal, etc.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad ambiental de los arroyos La Totorá y La Carolina, ubicados en el Partido de Gral. Alvarado, Provincia de Buenos Aires, Argentina, mediante la aplicación del Índice de Calidad Ambiental de la National Sanitation Foundation de Estados Unidos y el análisis de los parámetros fisicoquímicos de los muestreos realizados entre julio de 2016 y junio de 2017.

Al aplicar el ICA-NSF en cada punto de muestreo se halló que la calidad ambiental de los arroyos, en su mayoría, fue mala.

Palabras claves: ICA NSF, aguas superficiales, Partido de Gral. Alvarado

Abstract

Activities such as agriculture, livestock, industry and urbanization often modify the physical, chemical and biological characteristics of streams and rivers and their banks. For example, to evaluate them, environmental quality indexes are used as a combination of parameters. These indexes allow to assess the environmental quality of the water resources through a number, a color, a verbal description, etc.

The objective of this study was to evaluate the environmental quality of La Totorá and La Carolina streams located in the General Alvarado County, Buenos Aires, Argentina through the application of the Environmental Quality Index of the National Sanitation Foundation of the United States and the analysis of physicochemical parameters at two sampling points per stream from July 2016 to June 2017.

Applying NSF WQI in each sampling point, we founded that the streams environmental quality was mostly bad.

Key Words: NSF WQI, surface waters, Gral. Alvarado County.

Introducción

Actividades como la agricultura, la ganadería, la industria y la urbanización suelen modificar las características físicas, químicas y biológicas de arroyos y ríos y sus riberas (Basílico et. al, 2015: 121). Entre los principales procesos que afectan a los ecosistemas acuáticos se incluyen el enriquecimiento de nutrientes, la contaminación hídrica, las alteraciones hidrológicas y la modificación de la vegetación ribereña (Allan, 2004: 269). Las condiciones de flujo o la calidad del agua no son sólo indicadores del estado de los sistemas fluviales, sino también de los ecosistemas terrestres adyacentes (Zhou et al., 2012: 166). Aunque la industrialización es un elemento esencial del crecimiento económico en los países en desarrollo, la actividad industrial puede tener también consecuencias negativas sobre la salud ambiental como resultado de la liberación de contaminantes en el aire y el agua y de la eliminación de residuos peligrosos. Es algo que sucede con frecuencia en los países en desarrollo, donde

se presta menos atención a la protección del medio ambiente, las normas ambientales suelen ser inadecuadas o no se aplican eficazmente y aún no están plenamente desarrolladas las técnicas de lucha contra la contaminación (Elordi et al., 2016: 670).

El concepto de calidad de aguas está íntimamente relacionado con los usos a los que se destina un recurso hídrico, de manera que distintos usos admiten distintas calidades de aguas. Particularmente, los niveles de referencia para la protección de la vida acuática definidos legalmente en cada país, tienen un alcance limitado, ya que las características naturales propias de las aguas continentales son muy variables, tanto espacial como temporalmente y muchas de las formas de vida que sustentan se encuentran adaptadas a éstas. Una forma de resolver este problema, consiste en el desarrollo de Índices de Calidad de Aguas (ICAs) adaptados a las características locales o regionales de los cuerpos de agua (Basílico et al., 2015: 120).

Los índices de calidad del agua (ICAs) surgen como una herramienta simple para la evaluación del recurso hídrico, fundamental en procesos decisorios de políticas públicas y en el seguimiento de sus impactos (Torres et. al, 2009: 82). Estos consisten básicamente en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros, los cuales sirven como una medida de la calidad ambiental del agua. El índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o un color. Su ventaja radica, en que la información puede ser más fácilmente interpretada que una lista de valores numéricos. Consecuentemente, un índice de calidad de agua es una herramienta comunicativa para transmitir información. Los usuarios de esta información pueden estar estrechamente relacionados, como: biólogos, ingenieros sanitarios y ambientales, administradores de recursos hídricos; o en su defecto personas apenas familiarizadas con la temática, como el caso de usuarios, abogados y público en general; sin embargo, unos y otros podrán rápidamente tener una idea clara de la situación que expresa el índice como contaminación excesiva, media o inexistente, entre otras, de fácil comprensión y abstracción (Campins, 2016: 4).

El índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF) fue desarrollado en Estados Unidos en 1970 por medio de la técnica de investigación Delphi. Tiene la característica de ser un índice multiparámetro, incluyendo los siguientes: oxígeno disuelto, coliformes fecales, pH, DBO₅, nitratos, fosfatos, desviación de la temperatura, turbidez y sólidos totales. El resultado final es interpretado de acuerdo a una escala de clasificación, en donde cada rango está representado por un color. Esta escala de clasificación se organiza de la siguiente manera: a) Excelente (rango 91 a 100) con el color azul, b) Buena (rango 71 a 90) color verde, c) Media (rango 51 a 70) color amarillo, d) Mala (rango 26 a 50) color anaranjado y, e) Muy mala (rango 0 a 25) de color rojo (Campins, 2016: 12).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la calidad ambiental de los arroyos La Totorá y La Carolina ubicados en el Partido de Gral. Alvarado. Prov. de Bs.As., Argentina, mediante la aplicación del ICA de la National Sanitation Foundation (NSF) de Estados Unidos y el análisis de los parámetros fisicoquímicos estudiados.

Las cuencas de los arroyos La Totorá y La Carolina, están situadas en el partido de Gral. Alvarado, Provincia de Buenos Aires. La ciudad cabecera es Miramar pero también se destacan algunos asentamientos menores como Comandante Nicanor Otamendi, Mechongué y Mar del Sud (Cohen et al., 2015: 232). Miramar es atravesado por los cursos de El Durazno y La Totorá mientras que Mar del Sud por los arroyos La Tigra y La Carolina (Del Rio et al., 2017:198). En la cuenca del arroyo La Totorá se destaca el dominio de la actividad agrícola, con cultivo de soja, girasol, trigo y maíz principalmente (Cohen et al., 2015: 249), siendo las

principales actividades económicas de la región la explotación agrícola-ganadera y el turismo de sol y playa durante el verano (Del Rio et al., 2017: 198).

Desde el punto de vista hidrológico, el sistema de Tandilia define claramente dos vertientes que drenan una hacia el noreste y la otra hacia el sudeste; esta última contiene las cuencas objeto de estudio. Los arroyos se caracterizan por ser alimentados a partir de las precipitaciones producidas tanto en las zonas de sierras como de llanura, con un régimen que se corresponde al periodo pluvial estival. Desde fines de octubre hasta fines de febrero, el caudal de los arroyos aumenta como consecuencia de las precipitaciones propias de la estación. Sumado a ello, por ser del tipo efluentes o ganadores, se produce un aumento del caudal a lo largo del cauce por el aporte de agua desde la escorrentía subterránea. El curso principal de las cuencas es de carácter permanente, mientras que gran parte de sus afluentes son de carácter temporario (Cohen et al., 2015: 237).

Desarrollo

Zona de estudio y puntos de muestreo

Se realizaron muestreos periódicos de ambos arroyos durante el lapso de tiempo comprendido entre julio de 2016 y junio de 2017, con el fin de evaluar las cuatro estaciones climáticas.

En la Figura 1 se pueden observar tanto la zona de estudio como los puntos de muestreo. Estos últimos fueron seleccionados teniendo en cuenta los recorridos de los arroyos y, en especial, los puntos que podrían ser los más susceptibles de contaminación como posibles descargas de pluviales y/o cloacales, cercanía a zonas agrícolas, ejidos urbanos, etc.

Los puntos de muestreo fueron designados de la siguiente manera: **LT 77**: Arroyo La Totorá en su intersección con la ruta N° 77, **LT 11**: Arroyo La Totorá en su intersección con la ruta N° 11 (próximo a su desembocadura), **LC 11**: Arroyo La Carolina en su intersección con la ruta N° 11 y **LC D**: Arroyo La Carolina en su desembocadura.

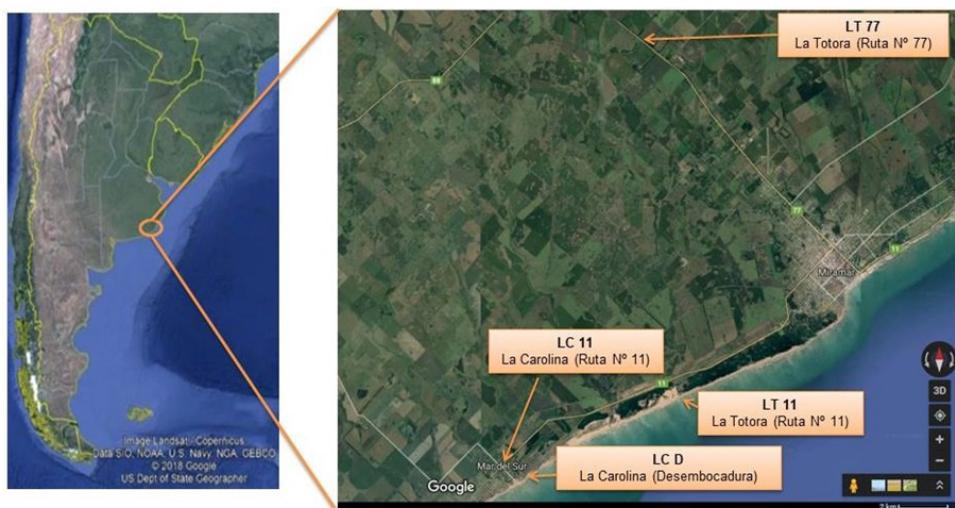


Figura 1- Ubicación geográfica de los arroyos y puntos de muestreo (Imágenes extraídas de Google Maps)

En la Tabla N°1 se presentan los parámetros que fueron monitoreados en cada muestreo y la metodología utilizada para su determinación. Las muestras fueron remitidas el día del muestreo al Laboratorio de Análisis Industriales de la UTN Facultad Regional Mar del Plata para su análisis. El muestreo, transporte y conservación de las muestras se realizó según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (AWWA, APHA, WEF, 2012).

Analito	Método
pH	pH metro Hanna 211. SM 4500 H ⁺ B
DBO ₅	Incubación 5 días. SM 5210 B
Fósforo total	Colorimétrico (ácido ascórbico). SM 4500-P E
Sólidos totales (ST)	Secado a 103-105° C. SM 2540 B
Color	Comparación visual con patrón. SM 2120 B
Oxígeno disuelto (OD)	Electrodo de membrana. Hanna HI 9142
Conductividad (CE)	Equipo Hach sension5 P/N 5180000
Nitratos	Espectrofotometría UV. SM 4500-NO ₃ N
Turbidez	Nefelométrico. SM 2130 B
Coliformes fecales	Tubos múltiples. SM 9221

Tabla 1- Metodología utilizada para la determinación de cada parámetro (AWWA, APHA, WEF, 2012).

Cálculo del índice de calidad NSF

Este índice contempla 9 (nueve) parámetros fisicoquímicos y microbiológicos: pH, turbidez, DBO₅, OD como % saturación, cambio de temperatura, nitratos, sólidos totales, fosfatos totales y coliformes fecales. A cada una de dichas variables se le asigna un factor de ponderación y un factor de escala; éste último depende de la magnitud de la variable, es independiente de las restantes y se estima de acuerdo a los diagramas construidos para cada variable que permiten llevarlas a una misma escala antes de ser agregadas en un solo valor. El cálculo del índice se basa en una suma lineal ponderada. En el presente trabajo, para el cálculo del ICA NSF se utilizó el programa ICA test v 1.0 de acuerdo al artículo de Fernández et al., (2004):88-97.

Los seis parámetros subrayados en la Tabla N°1 fueron los empleados para el cálculo del ICA NSF utilizando ICA test v 1.0. Según Fernández Parada et al. (2005) si faltara algunas de las variables, como ocurre en esta ocasión, el índice puede ser calculado por la distribución de sus pesos entre las demás variables. El resultado final, un número entre 0 y 100, es interpretado de acuerdo a la escala de clasificación que se detalló anteriormente y que se muestra en la siguiente tabla:

Calidad	Rango	Color
Excelente	91 a 100	
Buena	71 a 90	
Regular	51 a 70	
Mala	26 a 50	
Muy mala	0 a 25	

Tabla 2- Rangos de calidad y colores para el ICA-NSF

Resultados y Discusión

Índice de calidad ambiental ICA-NSF: Para el cálculo del ICA-NSF se utilizaron los resultados de los muestreos que se presentan en las Tabla 3 y 4, correspondiendo al arroyo La Totorá y La Carolina respectivamente.

ARROYO LA TOTORA											
Punto / Fecha muestreo	pH	DBO (mgO ₂ /l)	Fósforo total (mg/l)	ST (mg/l)	Turbidez (NTU)	Nitratos (mg/l)	Color (unidad Pt-Co)	OD (mg/l)	CE (µS/cm)	Coliformes fecales (NMP/100 ml)	
Ruta 77	Julio '16	8,38	<1	0,43	907	47	10	100	8,5	1368	14
	Agosto '16	8,34	2,63	0,7	714	96	2	200	7,8	894	7000
	Septiembre '16	8,61	<1	0,5	1014	38	7	100	8,6	1310	1300
	Noviembre '16	8,75	2,53	0,4	986	31	5	60	8,6	1415	40
	Diciembre '16	8,6	4,7	0,2	1054	100	11,5	60	7,5	1344	2200
	Enero '17	8,58	6,4	0,2	978	46	10	100	8	1344	11000
	Febrero '17	8,25	1,62	0,2	934	41	7,5	100	7	1297	8000
	Marzo '17	8,56	4,08	0,02	1597	255	5	140	6,9	1928	13000
	Abril '17	7,99	3,57	0,7	664	73	8	210	7,8	777	1300
	Mayo '17	8,39	2,27	0,5	932	21	11	100	8,8	1317	2400
Junio '17	8,35	1,6	0,4	1005	19	14	50	9,7	1394	400	
Ruta 11	Julio '16	8,36	<1	0,15	1213	40	3	140	8,9	1873	7
	Agosto '16	8,42	4,03	0,3	1022	99	<1	500	7,3	1461	70
	Septiembre '16	8,49	1,44	0,3	1298	43	1	100	8,6	1694	500
	Noviembre '16	8,39	2,48	0,2	650	60	2	80	7,7	1817	170
	Diciembre '16	8,05	1,76	0,7	1650	189	4	210	7	1789	1100
	Enero '17	8,64	6,51	0,4	1574	85	4	150	7	1915	14000
	Febrero '17	8,42	3,46	0,2	1426	144	2	140	6,9	1797	1700
	Marzo '17	8,57	6,09	0,1	1707	259	4	140	6,5	1931	4000
	Abril '17	7,72	1,86	0,6	395	80	<1	210	7	651	300
	Mayo '17	8,45	1,4	0,4	1047	27	2	70	8,5	1821	800
Junio '17	8,67	1,65	0,2	1265	31	4	70	9,1	1846	50	

Tabla 3 - Resultados para el arroyo La Totorá

ARROYO LA CAROLINA											
Punto / Fecha muestreo	pH	DBO (mgO ₂ /l)	Fósforo total (mg/l)	ST (mg/l)	Turbidez (NTU)	Nitratos (mg/l)	Color (unidad Pt-Co)	OD (mg/l)	CE (µS/cm)	Coliformes fecales (NMP/100 ml)	
Ruta 11	Julio '16	8,51	<1	0,11	937	35	7	100	9,4	1427	8
	Agosto '16	8,48	1,55	0,1	860	54	4	100	8,1	1280	170
	Septiembre '16	8,62	1,13	0,2	1111	33	5	100	9,2	1443	1100
	Noviembre '16	8,48	1,32	1,1	975	62	8	100	8,4	1445	800
	Diciembre '16	8,21	2,48	0,3	1144	97	6	150	7,7	1469	2200
	Enero '17	8,29	6,45	0,5	1304	172	11,5	150	7,8	1526	33000
	Febrero '17	8,47	1,86	0,1	1046	129	11	100	7,8	1481	80000
	Marzo '17	8,52	2,58	0,2	1516	201	3	100	7,2	1509	22000
	Abril '17	8,16	1,09	0,3	674	55	5	60	8,1	943	800
	Mayo '17	8,59	1,94	0,1	834	11	6,5	50	10,2	1310	8000
Junio '17	8,76	1,7	0,1	900	17	10	50	9,8	1306	500	
Desembocadura	Julio '16	8,55	<1	0,11	953	37	6	100	9,3	1425	11
	Agosto '16	8,49	2,48	0,03	882	52	3	200	8,2	1288	110
	Septiembre '16	8,6	<1	0,1	1009	36	5	100	8,9	1432	400
	Noviembre '16	8,5	2,74	0,3	1077	60	5	100	8,8	1445	110
	Diciembre '16	8,31	4,62	0,2	1224	367	6	150	7,4	1489	3
	Enero '17	8,3	5,58	0,4	1322	175	11,5	150	8,1	1517	6000
	Febrero '17	8,5	1,39	0,1	1108	116	11	100	7,6	1483	22000
	Marzo '17	8,55	3,25	0,2	1315	221	6	100	7,3	1510	17000
	Abril '17	8,2	1,07	0,4	740	58	5,5	150	7,5	948	5000
	Mayo '17	8,58	1,86	0,1	904	15	6	50	9,8	1311	800
Junio '17	8,72	1,7	0,1	913	15	10	50	9,8	1301	240	

Tabla 4 - Resultados para el arroyo La Carolina

En los Gráficos 1 y 2 se pueden observar los valores del ICA NSF para cada arroyo en cada punto de muestreo.

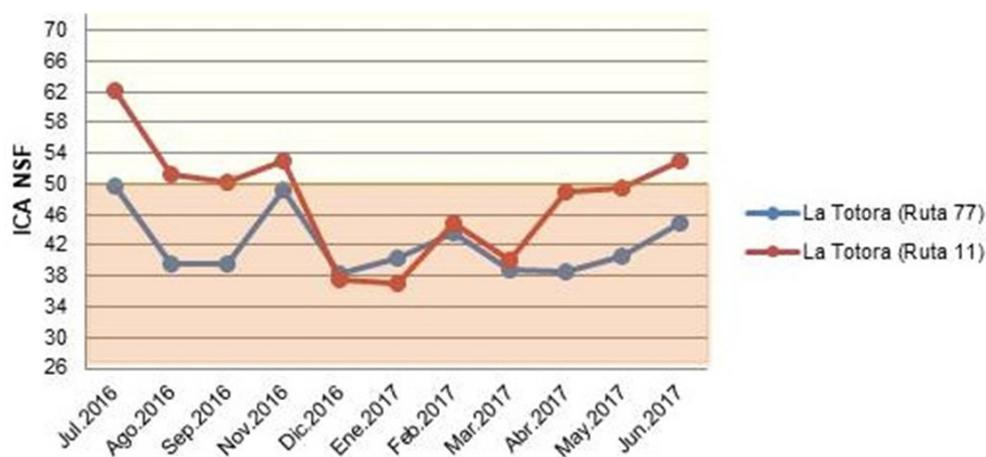


Gráfico 1 - ICA NSF para cada punto de muestreo en el Arroyo La Totorá

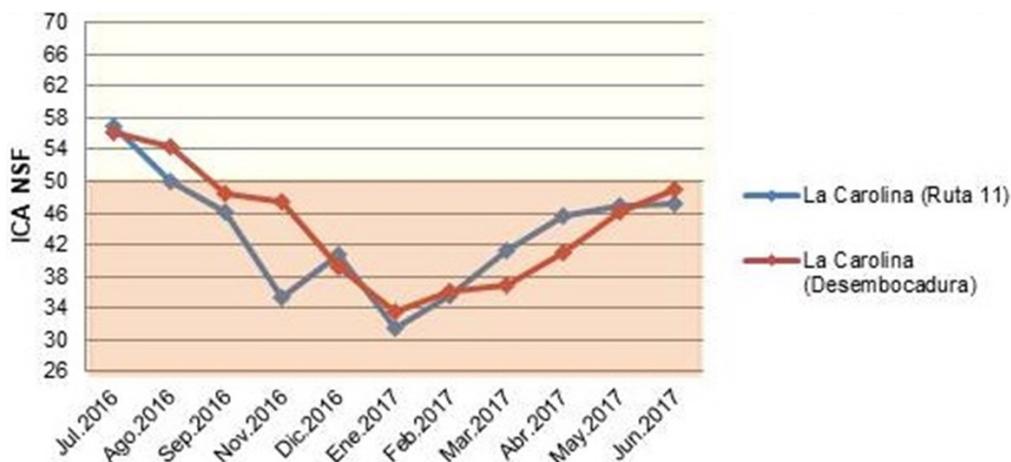


Gráfico 2 - ICA NSF para cada punto de muestreo en el Arroyo La Carolina

Para ambos arroyos se determinó que la calidad del agua es mala en la mayoría de los sitios de muestreo, debido a que los puntos se encuentran sobre la zona donde el ICA tiene valores entre 26 y 50. Los parámetros que mayor influencia tuvieron en el cálculo del índice para obtener dicha clasificación fueron la turbidez y el recuento de coliformes fecales.

La peor condición ambiental resultó en diciembre del 2016, enero del 2017 y febrero del 2017, meses de mayor afluencia turística en la zona. Esta tendencia se mantuvo para ambos arroyos y resultó más notoria en el arroyo La Carolina, como puede observarse en el Gráfico 3. Esto puede asociarse a que el arroyo La Carolina se encuentra bordeando el inicio del asentamiento urbano de Mar del Sur sumado a la presencia de un sitio de deposición de residuos sólidos ubicado a 600 m al nordeste del arroyo (Lopez y Marcomini, 2000). La generación de residuos está estrechamente ligada al aumento de la población y al nivel de

consumo, esto podría relacionarse con los resultados obtenidos para el Arroyo La Carolina en los meses de verano.

Con respecto al arroyo La Totorá, si bien el recorrido estudiado es netamente rural, se observó que durante el periodo estival la condición ambiental desmejoró. Esto puede explicarse por el desarrollo de las actividades agrícolas-ganaderas del ambiente circundante de los puntos de muestreo.

Debido a que el ICA no hace referencia al mecanismo de contaminación que sufren los arroyos, surge la necesidad de evaluar individualmente los parámetros fisicoquímicos analizados.

Evaluación de los parámetros fisicoquímicos: A modo de resumen, para cada parámetro analizado, se presentan en las Tablas 5 y 6, los valores mínimos, máximos, promedios y el coeficiente de variación (CV).

Arroyo La Totorá	Mínimo	Promedio	Máximo	CV (%)
pH	7,72	8,41	8,75	2,9
DBO ₅ (mgO ₂ /l)	<1	3,16	6,51	54,4
Fósforo Total (mg/l)	0,02	0,35	0,7	56,5
Sólidos Totales (mg/l)	395	1092	1707	31,7
Turbidez (NTU)	19	83	259	84,6
Nitratos (mg/l)	<1	5,85	14	64,9
Color (unid Pt-Co)	50	138	500	69,4
OD (mg/l)	6,5	7,90	9,7	11,2
Conductividad (µS/cm)	651	1499	1931	25,3

Tabla 5 - Valores mínimos, máximos, promedios y coeficiente de variación para el arroyo La Totorá

Arroyo La Carolina	Mínimo	Promedio	Máximo	CV (%)
pH	8,16	8,47	8,76	1,92
DBO ₅ (mgO ₂ /l)	<1	2,46	6,45	62,1
Fósforo Total (mg/l)	0,03	0,23	1,1	98,2
Sólidos Totales (mg/l)	674	1034	1516	20,1
Turbidez (NTU)	11	92	367	96,3
Nitratos (mg/l)	3	6,91	11,5	39,4
Color (unid Pt-Co)	50	105	200	38,1
OD (mg/l)	7,2	8,47	10,2	11,1
Conductividad (µS/cm)	943	1377	1526	11,8

Tabla 6- Valores mínimos, máximos, promedios y coeficiente de variación para el arroyo La Carolina

A continuación se analiza cada parámetro de acuerdo a los resultados obtenidos en los muestreos, teniendo en cuenta la reglamentación vigente, antecedentes de la zona de

estudio y cuerpos de agua de similares características.

pH: la Autoridad del Agua de la Provincia de Buenos Aires (ADA, 2006) establece como valores guía de pH aquellos que se encuentran entre 6,5 y 8,5 para el desarrollo de la vida acuática en agua dulce. Entre los resultados obtenidos se encontraron valores superiores a 8,5 en el 46% y 36% de los muestreos del arroyo La Carolina y La Totorá respectivamente. Ambos arroyos presentaron ligero carácter básico.

Turbidez: el 32% de las muestras del arroyo La Carolina y el 22% del arroyo La Totorá superaron el valor de referencia (100 UNT) de la Resolución 42/2006 del ADA. Que un cuerpo de agua superficial posea valores altos de turbidez ocasiona que el agua pierda la habilidad de sustentar la diversidad de organismos acuáticos, aumenta la temperatura al sostener partículas que absorben el calor de la luz solar, y el agua caliente conserva menos oxígeno, así, al entrar menos luz disminuye la fotosíntesis necesaria para producir oxígeno (Olmedo et. al, 2016: 4).

Como puede observarse en las Tablas 5 y 6, para ambos arroyos, la turbidez fue uno de los parámetros que más dispersión tuvo a lo largo de los muestreos. En el Arroyo La Carolina se puede destacar que los valores más elevados de turbidez coinciden con las épocas de lluvias. El mismo comportamiento fue detectado por Ospiña-Zúñiga et.al (2016), quienes le atribuyeron la causa al arrastre de sedimentos que ejerce la escorrentía superficial por las precipitaciones. Sin embargo, el arroyo La Totorá no presentó esta tendencia tan marcada, pudiendo deberse a que algunas de las precipitaciones no hayan comprometido el área de estudio.

Conductividad: los valores máximos de conductividad registrados fueron de 1931 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el arroyo La Totorá y 1526 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para el arroyo La Carolina. La variación de este parámetro podría estar afectada por el cambio estacional de la temperatura, presentándose los mayores valores en los muestreos realizados en los meses de enero y marzo. Esto coincide con los resultados obtenidos por Martorel (2015). A su vez, el aumento de la conductividad en verano podría deberse a que la temperatura de los cuerpos de agua es mayor y así favorecerse los procesos de disolución de sólidos suspendidos; como lo sugieren Carvalho et. al (2000).

Sólidos totales: como puede verse en las Tablas 5 y 6 tanto los sólidos totales como la conductividad presentaron sus valores más bajos en el mes de abril del 2017. Considerando las precipitaciones durante el período de muestreo (Gráfico 3), dicho mes fue el que presentó el mayor registro en la zona. Por lo tanto, los parámetros mencionados anteriormente pudieron haber sufrido efecto de dilución por el agua de lluvia. La misma tendencia obtuvo García (2012) para agua de río, también haciendo referencia al aumento del caudal en las épocas de mayor ocurrencia de precipitaciones.

Registro pluviométrico Miramar

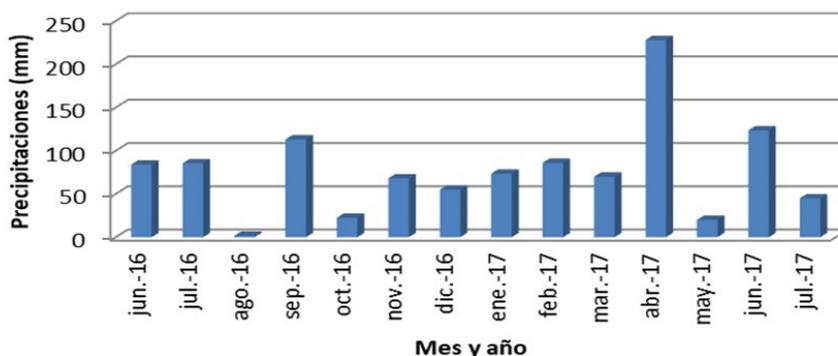


Gráfico 3 - Registro pluviométrico de la Ciudad de Miramar durante el periodo de muestreo. (Fuente: www.chacramiramar.com.ar)

Por otra parte, durante los meses de bajas precipitaciones no se han registrado picos máximos de conductividad ni de sólidos totales. Esto no coincide con los resultados que obtuvieron Coello et. al (2013), donde dichos parámetros alcanzaron sus picos máximos en los meses de menor precipitación.

Color: en ambos arroyos se han obtenido resultados de color elevados (como puede observarse en las Tablas 2 y 4), pudiendo estar asociados a la turbiedad del agua. Para todas las muestras se determinó el color aparente, es decir, el que presentó el agua bruta. Se observó que la tonalidad fue color café amarillento-pardo y, en algunas ocasiones verdoso, pudiendo atribuírselo a la presencia de sustancias húmicas y fitoplancton, respectivamente.

OD: en la evolución anual de este parámetro se pudo detectar que los valores más bajos se presentaron en los meses de verano (diciembre a marzo) para ambos arroyos. Esto se debe a que la capacidad de disolver oxígeno disminuye a medida que aumenta la temperatura del agua.

Por otra parte, en todos los puntos de muestreo se obtuvieron valores elevados de oxígeno disuelto, estando todos por encima del valor que permite sustentar la vida acuática.

DBO₅: la DBO₅ es un buen indicador de la calidad general del agua y concretamente de la contaminación orgánica ya que corresponde a la cantidad de oxígeno disuelto en el agua necesaria para la oxidación bioquímica aeróbica de las sustancias orgánicas presentes en ella. En todas las muestras analizadas los valores de DBO₅ tuvieron valores por debajo de 10 mg O₂/l, límite de referencia propuesto por ADA (2006).

Nitratos: en todos los puntos de muestreo los nitratos estuvieron por debajo de lo que refiere la Resolución 42/2006 del ADA (125 mg/l). De acuerdo con Larios Ortiz (2008), en nuestro país, la contaminación de las aguas superficiales por nitratos deriva principalmente del vertido en ellas de las aguas residuales domésticas e industriales y del escurrimiento directo de las aguas pluviales desde áreas agrícolas, con arrastre de fertilizantes nitrogenados.

Para el caso del arroyo La Totorá, netamente rural, este parámetro fue uno de los que

mayor variabilidad presentó a lo largo de todo el periodo estudiado (ver Tabla 4). Esto concuerda con lo expuesto por Arauzo et. al. (2006) en relación a que la concentración del ion nitrato no solo puede verse incrementada durante los periodos de cultivo (por el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados combinado con prácticas de riego poco optimizadas) sino que también puede desencadenarse durante las fases de intercultivo, por efecto de las lluvias.

Fósforo total: a excepción de un muestreo (arroyo La Totorá mes de marzo del 2017) todos los valores de fósforo total superaron los 0,025 mg/l que se establecen en la Resolución 42/2006 de ADA. En ambos arroyos, los valores resultaron mayores en los puntos de muestreo localizados aguas arriba salvo para los muestreos realizados durante los meses de verano (diciembre, enero y febrero). El arroyo La Carolina presentó, en general, menores valores de fósforo total que el arroyo La Totorá pudiendo deberse al predominio de la actividad agrícola en la cuenca de éste último.

Es necesario destacar que los valores obtenidos de fósforo total pudieron haber sido sobreestimados. Esto se debe a que la presencia de arsenatos, aún en bajas concentraciones, es una de las interferencias de la técnica utilizada. Esta sobreestimación no podríamos comprobarla ya que no se realizó la determinación de arsénico en las muestras.

Para establecer el grado de asociación lineal entre las variables físico-químicas analizadas se calcularon los coeficientes de correlación de Pearson (r) entre todos los parámetros investigados. Los mismos se muestran en las Tablas 7 y 8 para cada arroyo.

Valores positivos de r indican una relación directa y valores negativos una relación inversa entre las variables analizadas. Por otro lado, el valor absoluto de r indica la fuerza de la relación lineal. Un coeficiente de correlación muy cercano a 1 (uno) en valor absoluto indica que la relación entre las variables es muy fuerte, mientras que si es muy cercano a cero, indica que la relación es muy débil. Es importante observar que un coeficiente de correlación bajo no significa que no existe relación alguna entre las variables, sino simplemente que no existe relación lineal entre ellas (Lahura, 2003:17).

Arroyo La Totorá	pH	DBO	Fósforo Total	ST	Turbidez	Nitratos	Color	OD	CE
pH	1,000								
DBO	0,2914	1,000							
Fósforo Total	-0,562	-0,291	1,000						
ST	0,4558	0,326	-0,422	1,000					
Turbidez	-0,031	0,481	-0,236	0,604	1,000				
Nitratos	0,135	0,047	0,022	-0,111	-0,251	1,000			
Color	-0,347	0,195	0,220	-0,038	0,292	-0,442	1,000		
OD	0,2371	-0,567	0,119	-0,271	-0,751	0,374	-0,421	1,000	
CE	0,5609	0,136	-0,635	0,801	0,324	-0,241	-0,192	-0,055	1,000

Tabla 7 - Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables analizadas para el Arroyo La Totorá

Arroyo La Carolina	pH	DBO	Fósforo Total	ST	Turbidez	Nitratos	Color	OD	CE
pH	1,000								
DBO	-0,370	1,000							
Fósforo Total	-0,378	0,221	1,000						
ST	-0,043	0,639	0,117	1,000					
Turbidez	-0,402	0,687	0,121	0,721	1,000				
Nitratos	0,039	0,355	0,185	0,163	0,101	1,000			
Color	-0,559	0,464	0,183	0,325	0,451	-0,114	1,000		
OD	0,652	-0,403	-0,254	-0,492	-0,727	0,066	-0,624	1,000	
CE	0,265	0,418	0,049	0,805	0,452	0,295	0,189	-0,130	1,000

Tabla 8 - Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables analizadas para el Arroyo La Carolina

Los valores resaltados son los que se consideran que presentan una correlación significativa entre sí, dado que el valor absoluto de r es mayor a 0,6. Para ambos arroyos los que coinciden son: los sólidos totales con la turbidez y la conductividad (correlación directa) y el oxígeno disuelto con la turbidez (correlación inversa).

El arroyo La Carolina presentó además correlaciones significativas directas entre la DBO con los sólidos totales y la turbidez, y entre los valores de pH y OD. Mientras que la correlación entre OD y color resultó significativa pero inversa.

La correlación entre la DBO con los sólidos totales y la turbidez puede justificarse por el hecho de que estos dos últimos parámetros se relacionan con la cantidad de sustancias disueltas y/o en suspensión, entre las que se puede encontrar materia orgánica susceptible de degradarse biológicamente. Con respecto al pH y OD, según Smith et. al (2001) el grado de acidez que constituye el pH del agua, refleja el contenido de dióxido de carbono, así como la presencia de ácidos orgánicos y la contaminación. Cuanto más alto es el pH de un arroyo, más rica en carbonatos y bicarbonatos y sales asociadas es el agua que lo constituye. Por lo tanto, albergarán más vida acuática y mayores poblaciones de peces.

Conclusiones

Al aplicar el ICA-NSF en cada punto de muestreo se halló que la calidad ambiental de los arroyos en su mayoría fue mala (valor de ICA entre 26 y 50).

Del análisis de los parámetros fisicoquímicos, se puede concluir que aquellos que no cumplen con lo establecido por la Resolución 42/2006 de la Autoridad del Agua en la totalidad de los muestreos son el pH, la turbidez y el fósforo total. Sin embargo, se han hallado valores de oxígeno disuelto superiores a 6,5 mg/l y resultados de DBO₅ menores a 6,51 mg O₂/l, indicando una buena o aceptable condición ambiental de los cuerpos de agua estudiados.

El cálculo del coeficiente de correlación de Pearson entre los parámetros analizados permitió conocer el grado de asociación lineal entre dichas variables, obteniendo para ambos arroyos una correlación directa y significativa entre los sólidos totales con la turbidez y la conductividad; y una correlación indirecta y significativa entre el oxígeno disuelto y la turbidez.

El muestreo estacional ha permitido visualizar la influencia de las lluvias sobre los

parámetros analizados, destacándose el efecto de las mismas sobre los valores de sólidos totales en los muestreos del mes de abril de 2017.

El presente estudio proporciona una base científica para la elaboración de propuestas de regeneración y conservación de las reservas de agua de la zona analizada. De esta forma, podrían llevarse a cabo prácticas agrícolas más optimizadas y al mismo tiempo una gestión sostenible de los recursos hídricos. A su vez, el monitoreo continuo de estos cuerpos de agua puede permitir la obtención de herramientas eficientes de manejo y gestión de los recursos hídricos.

Referencias

- 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.gob.gba.gov.ar/legislacion/legislacion/ada-06-42.html>>
- Allan D. (2004). "Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems". *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 35, 257-284.
- Anta J. et al. (2009). "Análisis de la movilización de sólidos en suspensión en una cuenca urbana separativa mediante la aplicación del muestreo en continuo de la turbidez". *Ingeniería del agua*, 16 (8), 189-200.
- Arauzo et al. (2006). "Dinámica espacio-temporal del contenido en nitrato de las aguas superficiales y subterráneas de la cuenca del río Oja (La Rioja, España): Vulnerabilidad del acuífero aluvial". *Limnetica*, 25 (3), 753-762.
- AWWA, APHA, WEF. (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22th edition. American Public Health Association, American Water Works Association, and Water Environment Federation; Washington, D.C.
- Basilico et al. (2015). "Adaptación de índices de calidad de agua y de riberas para la evaluación ambiental en dos arroyos de la llanura pampeana". *Revista Museo Argentino de Ciencias Naturales*. 17 (2), 119-134.
- Campins, M. (2016). Revisión de índices de calidad e índices de contaminación aplicados en cuerpos de agua. Trabajo final integrador (Especialización en Ingeniería Ambiental), Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Santa Fe, Santa Fe, 28. (31 de octubre de 2016).
- Carvalho R.A. et. al (2000). Ralações da atividade agropecuária com parâmetros físico químicos da água. *Química Nova*. 23 (5), 618-622.
- Coello et al. (2013). "Aplicación del ICA-NSF para determinar la calidad del agua de los ríos Ozogoche, Pichahuiña y Pomacocho-Parque Nacional Sangay-Ecuador". *Revista del Instituto de Investigación (RIIGEO), FIGMMG-UNMSM*, 15 (30), 66-71.
- Cohen et al. (2015). "Línea de base ambiental de las cuencas de los arroyos el Durazno y la Totora. Partido de General Alvarado, provincia de Buenos Aires". *Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica-GeoFocus*, 16, 231-252. ISSN: 1578-5157.
- Del Rio et al. (2017). "El paisaje fluvial en escenarios urbanos y periurbanos en el sudeste de la provincia de Buenos Aires – Argentina". *Água, recurso hídrico: bem social transformado em mercadoria. Tupã: Associação Amigos da Natureza da Alta Paulista (ANAP), Capítulo 9: 192-213.*
- Elordi M. L. et al. (2016). "Evaluación del impacto antrópico sobre la calidad del agua del arroyo Las Piedras, Quilmes, Buenos Aires, Argentina". *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 50 (4), 669-677.
- Fernández et al. (2004). "ICATEST V 1.0®. Una herramienta Informática para el análisis y valoración de la calidad del Agua". *Bistua. Revista de Ciencias Básicas*, 2, 88-97. ISSN 0120-

4211.

Fernández Parada N.J. y Solano F. (2005). Índices de calidad y contaminación del agua. Colombia: Universidad de Pamplona.

Lahura Erick. (2003). "El coeficiente de correlación y correlaciones espúreas". Pontificia Universidad Católica del Perú. Disponible en: <<https://www.pucp.edu.pe/economia/pdf/DDD218.pdf>>

Larios Ortiz, L. (2008). "Contaminación del agua por nitratos: significación sanitaria". Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/amc/v13n2/amc170209.pdf>

López R. A. y Marcomini S. C. (2000). "Geomorfología y ordenamiento territorial del sector costero comprendido entre la ciudad de Miramar y el arroyo Nutria Mansa, partido de General Alvarado". Revista de la Asociación Geológica Argentina, 55 (3):251-264.

Martorel, M. S. (2015). "Estudio de la calidad de aguas del Arroyo Maldonado, Partido de La Plata-Incidencia de la contaminación en eventos de inundación". Trabajo final (Licenciatura en Química y Tecnología Ambiental), Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 88. (Diciembre 2015).

Olmedo et al. (2016). "Evaluación preliminar de la calidad del agua de un arroyo urbano en la ciudad de Pilar (cuenca baja del Arroyo San Lorenzo)". 3er Encuentro de Investigadores en Formación en recursos hídricos. Disponible en: <https://www.ina.gob.ar/ifrh-2016/trabajos/IFRH_2016_paper_5.pdf>

Ospiña-Zúñiga O. et al. (2016). "Evaluación de la turbiedad y la conductividad ocurrida en temporada seca y de lluvia en el Río Combeima (Ibagué, Colombia)", Ingeniería Solidaria, 12 (19): 19-36.

Torres et al. (2009). "Índices de calidad de agua en fuentes superficiales utilizadas en la producción de agua para consumo humano. Una revisión crítica". Revista Ingenierías Universidad de Medellín, 8 (15 especial), 79-94. ISSN 1692-3324.

Zhou et al. (2012). "Assessing the effects of landscape pattern on river water quality at multiple scales: A case study of the Dongjiang River watershed, China". Ecological Indicators, 23, 166-175.