

Aplicación de Índices de Calidad de Agua (ICA) a las aguas superficiales del partido de Tres Arroyos, Buenos Aires, Argentina

Lorena Rodriguez^{1,2}, José Gonzalez Castelain³, Fabio Peluso^{3,4} y Natalia Othax^{3,5}

¹ Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Italia 780 Campus Universitario. (7300) Azul, provincia de Buenos Aires, Argentina.

² Alumna del Doctorado en Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Luján.

³ Instituto de Hidrología de Llanuras, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA), Italia 780 Campus Universitario. (7300) Azul, provincia de Buenos Aires, Argentina

⁴ Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires

⁵ Beca Doctoral, Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología CONICET

Mail de contacto: lorena@faa.unicen.edu.ar

RESUMEN

Se aplicaron distintos ICAs para evaluar la calidad de las aguas del sistema Tres Arroyos-Claromecó, arroyo Cristiano Muerto y río Quequén Salado: (A) de la National Sanitation Foundation (1970); (B) de Pesce y Wunderlin (2000); (C) de Debels et al (2005); (D) y (E) de Rodriguez et al (2010), que fueron desarrollados localmente para la cuenca alta y baja del arroyo del Azul, respectivamente.

Todos los índices utilizados muestran la misma tendencia, mostrando menor calidad en el sector periurbano afectado por efluentes cloacales de la ciudad de Tres Arroyos. Los valores del ICA (D) resultaron ser menores para todos los lugares de muestreo, resultando mala calidad para todas las muestras del sistema Tres Arroyos-Claromecó, mientras los otros ICA las evalúan como de aceptable a buena. Para el río Quequén Salado, el ICA (B) muestra una menor calidad que los otros ICA, debido a la inclusión de variables químicas inorgánicas (Calcio, Magnesio, Dureza, Cloruro, Sulfato) relacionadas con rangos de valores consideradas normales para la cuenca del Río Suquia. Se concluye que la elección de las variables incluidas y su peso son factores clave para que los ICA reflejen las condiciones locales.

Palabras clave: Calidad de Agua, Indices, ICA, WQI, Tres Arroyos.

ABSTRACT

Five Water Quality Indexes (WQI) were used to describe the water quality of Tres Arroyos-Claromecó basin, Cristiano Muerto stream and Quequén Salado river: (A) from National Sanitation Foundation (1970); (B) from Pesce and Wunderlin (2000); (C) from Debels et al (2005); and (D) y (E) from Rodriguez et al (2010), which were developed for upstream and downstream at del Azul stream, respectively.

All the WQI applied show a similar trend. The lower quality value correspond to the station located immediately downstream of the discharge of sewage treatment plant from Tres Arroyos city. Comparatively, WQI (D) values were the lowest at every sampling stations; this index shows bad quality at Tres Arroyos-Claromecó basin, although the others WQI values resulted from fair to good quality. WQI (B) shows a lower quality than others WQI at Quequén Salado river. This is because the inclusion of inorganic chemistry variables in this WQI (Calcium, Magnesium, Hardness, Chloride, Sulfate) with values which are weighted negatively due to the normal ranges used, stated according the original basin (Suquia river). It is concluded that the type and weight of the variables are key factors to reflect the local water conditions.

Keywords: Water Quality Index, WQI, Tres Arroyos.

1 INTRODUCCIÓN

El partido de Tres Arroyos, provincia de Buenos Aires (57.000 habitantes), se caracteriza por ser una amplia planicie representativa de la zona agrícola del sur de la provincia de Buenos Aires con una superficie de 586.000 ha y un régimen hídrico del tipo sub-húmedo seco del orden cercano a los 900 mm. Los períodos de déficit o excesos hídricos se concentran en los meses de noviembre a marzo. Ambas situaciones se ven agravadas por la frecuente presencia de tosca a escasa profundidad, que impide la infiltración en el suelo.

Estructuralmente el partido forma parte de la gran unidad geomorfológica de la pampa austral interserrana o cuenca de Claromecó, delimitada por los sistemas de Tandilia y Ventania, el litoral medanoso y la gran depresión de General Lamadrid, Laprida y Benito Juárez. En general el paisaje se resuelve con extensas llanuras suavemente onduladas, a veces muy marcadas (Weinzettel et al. 2005).

La producción agropecuaria es la actividad principal y fuente de ingresos de la región, y es también la principal demandante de una mejor gestión de los recursos hídricos

El agua es uno de los condicionantes naturales para el desarrollo de la actividad agropecuaria, tanto por la calidad como por la cantidad (en exceso o en déficit). Por eso, los productores están entre los principales demandantes de un adecuado manejo de los recursos hídricos, reclamando en forma individual y a través de sus asociaciones la formulación de acciones y la necesidad de disponer de información hidrológica que le permita planificar sus medios de producción (Bilello et al, 2006).

El partido de Tres Arroyos, posee varios cursos de agua. Estos son el sistema de los Tres Arroyos (Primero, Segundo y Tercer Brazo), que son utilizados en la zona urbana y periurbana de la ciudad homónima como balneario espontáneo durante el verano; el Arroyo Claromecó, que recibe las aguas de los anteriores y desagua en el mar; el arroyo Cristiano Muerto y el río Quequén Salado (Fig.1), que son límites al este y oeste del Partido.

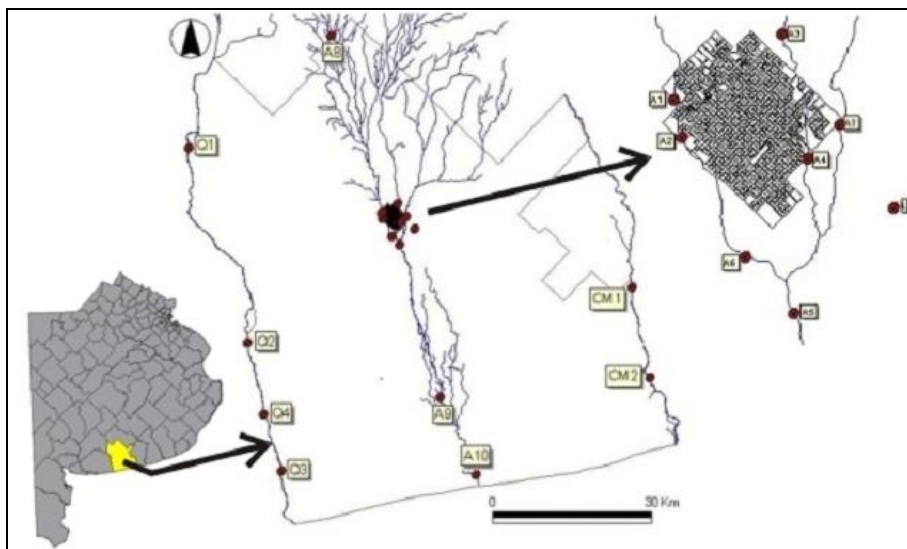


Figura 1. Puntos de muestreo de aguas superficiales.

En enero de 2007 se realizó un monitoreo y diagnóstico de la calidad fisicoquímica de las aguas superficiales del Partido de Tres Arroyos (Peluso et al., 2007; Gonzalez Castelain et al., 2008). Este estudio permitió conocer los patrones generales de variación como forma de identificación de los procesos hidroecológicos generales de los cuerpos de agua. Permitted diferenciar un ambiente más salino como es el Río Quequén Salado y una estación del Arroyo Claromecó ubicada cerca de su desembocadura al mar, del resto de los cuerpos de agua del partido y discriminar zonas afectadas por los principales efectos ocasionados por el uso del recurso.

La información obtenida en estos estudios otorgó una base de datos con la cual es posible aplicar ICAs con el fin de dotar a la comunidad de una herramienta que permita la clasificación de las aguas en términos comprensibles tanto para los responsables de la gestión hídrica como para la comunidad en general.

El objetivo del presente trabajo es comparar los resultados obtenidos a partir de la aplicación de cuatro índices de calidad de agua de la bibliografía para analizar su empleo como herramienta de gestión de las aguas superficiales del Arroyo Claromecó y el Cristiano Muerto (partido de Tres Arroyos). Esto permitirá avanzar en el establecimiento de un sistema definitivo de monitoreo continuo de la calidad de sus aguas que contemple diversos usos.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio y sitios de muestreo

Para analizar la variabilidad espacial de la calidad de las aguas superficiales del partido se relevaron 15 puntos para lograr una distribución representativa de los ambientes y considerar los puntos relevantes a analizar. Se seleccionaron 10 puntos en los Tres Brazos de los Tres Arroyos y arroyo Claromecó, 3 puntos en el río Quequén Salado, 2 puntos en el arroyo Cristiano Muerto y 1 punto en una laguna cercana a la planta urbana de la ciudad de Tres Arroyos (Fig.1). Estos puntos de muestreo corresponden a estaciones ya establecidas en el Sistema de Soporte de Decisión-Base de Datos Hidrológicos del Partido de Tres Arroyos, en <http://www.tsas.bdh.org.ar> Se utilizaron los resultados obtenidos en seis campañas de muestreo realizadas con intervalos de tres meses, al comenzar cada nueva estación anual, desde junio del 2008 hasta marzo del 2010. Tanto la colección, estabilización, transporte y almacenamiento de las muestras, así como los recipientes utilizados para tomarla, se realizaron considerando la GEMS/Water Operacional Guide (WHO, 1987). Las muestras fueron tomadas a menos de 40 cm de la superficie del agua (subsUPERFICIAL) en sectores de aguas corrientes. Los muestreos se realizaron en ausencia de precipitaciones, o por lo menos 72 hs después de su finalización, cuando el arroyo retornó a sus condiciones de flujo normal.

Los métodos analíticos utilizados fueron tomados de APHA et al (1992); el número del método es citado entre paréntesis. Los parámetros medidos incluyeron: Amonio (Visocolor ECO Ammonium 15 de Macherey-Nagel 931244), Nitrito (Visocolor ECO Nitrit Test de Macherey-Nagel 931010), Calcio (3500-Ca B), Magnesio (3500-Mg B), Sodio (3500-Na B), Potasio (3500-K B) con Espectrofotómetro de absorción atómica GBC 902 y lámparas de cátodo hueco, Fósforo Total (4500-P-E), Fósforo Reactivo Soluble (4500-P-E), Fósforo Orgánico (4500-P-E), Cloruro (4500-Cl⁻ D), Fluoruro (4500-F⁻ D) con Multivoltímetro con electrodos específicos, Nitrato (4500-NO₃⁻ D), Sulfato (4500-SO₄⁻² E), Carbonato (2320 B), Dureza (estimado), Temperatura (2550-B), Oxígeno disuelto (OD) (4500-O G) con Oxímetro de campo YSI mod 58, Demanda Biológica de Oxígeno (DBO) en 5 días (5210-B), Demanda Química de Oxígeno (DQO) (5220-A), pH (4500-H⁺ B) con Peachímetro digital Altronix TPA IV, Sólidos Solubles (2540-C), Sólidos Suspendidos (2540-D), Sólidos Totales (2540-B), Sólidos Sedimentables (2540-F), Turbidez (2130-B), Conductividad eléctrica (Potenciométrico con Conductivímetro Digital Altronix CT2), Nitrógeno Kjeldahl (4500-Norg B), Detergentes SAAM (5540 C Espectrofotometría UV Visible), Hidrocarburos Totales de Petróleo (EPA 418.1 Espectrofotometría Infrarroja), Aerobios totales (9215-B), Coliformes fecales (9222-B), Escherichia coli (9222-D).

2.2 Índices de Calidad de Agua Utilizados

A partir de las variables físico-químicas de calidad de aguas medidas en el arroyo del Azul se aplicaron los siguientes ICA (Índices de Calidad de Agua):

- ICA (A), desarrollado para la National Sanitation Foundation (NSF, 1970) (ahora NSF Internacional).
- ICA objetivo (B), adaptado por Pesce y Wunderlin (2000), y desarrollado por Conesa Fdez-Vitora (1995).

- ICA objetivo (C), adaptado por Debels et al (2005), y desarrollado por Conesa Fdez-Vitora (1995).
- ICAs (D) y (E) desarrollado por Rodríguez et al (2010) para la cuencas alta y baja del arroyo del Azul, respectivamente.

Estos índices evalúan la calidad del agua desde el punto de vista de la protección de la vida acuática, y se basan en diferentes variables.

El índice ICA (A) propuesto por National Sanitation Foundation (1970), consiste en una suma ponderada de distintas variables normalizadas, tal como se aprecia en la ecuación (1):

$$ICA(A) = \sum_{i=1}^n W_i q_i \quad (1)$$

Donde ICA es un número entre 0 y 100; q_i , calidad del parámetro i , un número entre 0 y 100, que se obtiene de curvas de ponderación propuestas por el autor para cada parámetro; W_i , peso asignado al parámetro i , un número entre 0 y 1 siendo $\sum W_i = 1$; y n , número de parámetros,

El valor de ICA obtenido por la ecuación (1) se evalúa en distintas categorías según una escala cualitativa de calidad (Tabla 1).

Tabla 1: Escala de calidad de agua propuesta por la Nacional Sanitation Foundation (1970).

WQI	Evaluación de Calidad
91-100:	Calidad de agua excelente
71-90:	Buena calidad de agua
51-70:	Calidad de agua media
26-50:	Calidad de agua justa
0-25:	Calidad de agua pobre

Las variables que están incluidas en este índice son: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Coliformes fecales, Diferencia de temperatura, Fósforo total, Nitrato, Oxígeno disuelto (%), pH, Sólidos Solubles y Turbidez.

El ICA objetivo (B) (Pesce y Wunderlin, 2000), y el ICA objetivo (C) (Debels et al, 2005), son adaptaciones del ICA desarrollado por Martínez de Bascarán (1979) y adaptado por Conesa Fdez-Vitora (1995), y responden a la siguiente expresión matemática:

$$ICA(B) = \frac{\sum_{i=1}^n C_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (2)$$

Donde ICA es un número entre 0 y 100; C_i , valor de calidad asignado al parámetro i después de la normalización (Tablas 2 y 3); P_i , peso asignado a cada variable; y n , número de variables incluidas (Tablas 2 y 3).

Las modificaciones propuestas por Pesca y Wunderlin (2000) (ICA B) y por Debels et al (2005) (ICA C) consisten en cambiar y/o incorporar nuevos parámetros de evaluación de la calidad del agua, respetando la ecuación original pero modificando los pesos asignados para cada variable

Los ICA (D) y (E) desarrollados por Rodríguez et al (2010) para las aguas del Arroyo del Azul contempla dos índices: uno basado en las características del sector de cuenca alta (ICA D), y el otro basado en las características del sector de cuenca baja (ICA E). Estos índices utilizan las variables que frecuentemente se consideran vinculadas con el concepto de calidad para los usos más frecuentes (Demanda Biológica de Oxígeno, NH_4^+ , Escherichia coli, Coliformes, NO_3^- , NO_2^-),

tal es el caso de la recreación, la bebida de ganado y la protección de la vida acuática (variables de calidad), y aquellas que caracterizan las variaciones principalmente de origen natural que ocurren a lo largo de la cuenca (variables de condición), y que en términos generales no comprometen la calidad para los usos frecuentes (Conductividad Eléctrica, Na⁺, K⁺, F⁻, SO₄⁼, Sólidos suspendidos, Sólidos totales y Turbidez). Los valores medidos de las variables se transformaron a un valor de calidad mediante funciones específicamente desarrolladas basadas en la distribución estadística para la cuenca alta y para la cuenca baja, a partir de los valores observados para cada grupo de muestras. Las funciones de distribución estadística y sus parámetros se obtuvieron mediante el comando fitting (determinación de la curva de ajuste de las distribuciones de probabilidad) del software Crystall Ball 7.0 (Decisioneering, 2007) (Rodríguez et al., 2010).

Tabla 2: Factores de normalización para las variables utilizadas para el cálculo del ICA de Pesce y Wunderlin (2000).

Parámetro	Peso Relativo (P)	Factor de Normalización (C)										
		100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
		Valor Analítico										
Amonio (mg/l)	3	<0.01	<0.05	<0.10	<0.20	<0.30	<0.40	<0.50	<0.75	<1.00	≤1.25	>1.25
DBO-5 (mg/l)	3	<0.5	<2.0	<3.0	<4.0	<5.0	<6.0	<8.0	<10.0	<12.0	≤15.0	>15.0
Calcio (mg/l)	1	<10	<50	<100	<150	<200	<300	<400	<500	<600	≤1000	>1000
Cloruro (mg/l)	1	<25	<50	<100	<150	<200	<300	<500	<700	<1000	≤1500	>1500
Conductividad (μS/cm)	4	<750	<1000	<1250	<1500	<2500	<2500	<3000	<5000	<8000	≤12000	>12000
DQO (mg/l)	3	<5	<10	<20	<30	<40	<50	<60	<80	<100	≤150	>150
Oxígeno Disuelto (mg/l)	4	≥7.5	>7.0	>6.5	>6.0	>5.0	>4.0	>3.5	>3.0	>2.0	≥1.0	<1.0
Dureza (mg/l)	1	<25	<100	<200	<300	<400	<500	<600	<800	<1000	≤1500	>1500
Magnesio (mg/l)	1	<10	<25	<50	<75	<100	<150	<200	<250	<300	≤500	<500
Nitratos (mg/l)	2	<0.5	<2.0	<4.0	<6.0	<8.0	<10.0	<15.0	<20.0	<50.0	≤100.0	>100.0
Nitritos (mg/l)	2	<0.005	<0.01	<0.03	<0.05	<0.10	<0.15	<0.20	<0.25	<0.50	≤1.00	>1.00
Aceites y Grasas (mg/l)	2	<0.005	<0.02	<0.04	<0.08	<0.15	<0.30	<0.60	<1.00	<2.00	≤3.00	>3.00
pH	1	7	7-8	7-8.5	7-9	6.5-7	6-9.5	5-10	4-11	3-12	2-13	1-14
Fósforo (ortofosfato) (mg/l)	1	<0.16	<1.60	<3.20	<6.40	<9.60	<16.0	<32.0	<64.0	<96.0	≤160	>160
Sólidos disueltos (mg/l)	2	<100	<500	<750	<1000	<1500	<2000	<3000	<5000	<10000	≤20000	>20000
Sólidos Totales (mg/l)	4	<250	<750	<1000	<1500	<2000	<3000	<5000	<8000	<12000	≤20000	>20000
Sulfatos (mg/l)	2	<25	<50	<75	<100	<150	<250	<400	<600	<1000	≤1500	>1500
Detergentes SAAM (mg/l)	4	<0.005	<0.06	<0.10	<0.25	<0.50	<0.75	<1.00	<1.50	<2.00	≤3.00	>3.00
Temperatura (°C)	1	21/16	22/15	24/14	26/12	28/10	30/5	32/0	36/-2	40/-4	45/-6	>45/-6
Coliformes Totales NMP/100 ml	3	<50	<500	<1000	<2000	<3000	<4000	<5000	<7000	<10000	≤14000	>14000
Turbidez (UTN)	2	<5	<10	<15	<20	<25	<30	<40	<60	<80	≤100	>100

Tabla 3: Factores de normalización para las variables utilizadas para el cálculo del ICA de Debels et al (2005).

Parámetro	Peso Relativo (P)	Factor de Normalización (C)										
		100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
		Valor Analítico										
Oxígeno Disuelto (mg/l)	4	≥7.5	>7.0	>6.5	>6.0	>5.0	>4.0	>3.5	>3.0	>2.0	≥1.0	<1.0
DBO-5 (mg/l)	3	<0.5	<2.0	<3.0	<4.0	<5.0	<6.0	<8.0	<10.0	<12.0	≤15.0	>15.0
Amonio (mg/l)	3	<0.01	<0.025	<0.05	<0.10	<0.20	<0.30	<0.50	<0.75	<1.00	≤1.25	>1.25
Nitratos (mg/l)	2	<0.5	<2.0	<4.0	<6.0	<8.0	<10.0	<15.0	<20.0	<40.0	≤70.0	>70.0
Nitritos (mg/l)	2	<0.005	<0.008	<0.010	<0.040	<0.075	<0.10	<0.15	<0.20	<0.25	≤0.50	>0.50
Fósforo (ortofosfato) (mg/l)	1	<0.025	<0.050	<0.10	<0.20	<0.30	<0.50	<0.75	<1.00	<1.50	≤2.00	>2.00
Temperatura (°C)	1	<20.0	<21.0	<22.0	<24.0	<26.0	<28.0	<30.0	<32.0	<36.0	≤40.0	>40.0
pH	1	7	6.9-7.5	6.7-7.8	6.5-8.3	6.2-8.7	5.8-9.0	5.5-9.5	5.0-10.0	4.5-10.5	4.0-11.5	<4.0; >11.5
Conductividad (μS/cm)	4	<600	<700	<850	<1000	<1250	<1500	<2000	<2500	<3000	≤3500	>3500
DQO (mg/l)	3	<1.2	<5.0	<7.5	<10.0	<12.5	<15.0	<20.0	<25.0	<30.0	≤40.0	>40.0

2.3 Cálculo y comparación de los Índices de Calidad de Agua utilizados

Se calcularon los cinco índices de calidad de agua mencionados para los quince puntos de muestreo durante ocho campañas. A fin de comparar los índices se obtuvo, para cada índice analizado, la media aritmética y otros estadísticos descriptivos de dispersión (desvío estándar, mínimo, máximo, coeficiente de variación) tanto para el conjunto de estaciones como para cada estación.

Se obtuvo una matriz de correlación entre los cinco índices utilizando todos los valores calculados para caracterizar cada estación utilizando el coeficiente de Pearson.

3 RESULTADOS

Los cinco índices de calidad de agua aplicados se muestran sensibles a la variación de la calidad del agua en los diferentes puntos de muestreo. Los valores medios de los ICA califican a las aguas dentro de un rango de calidad entre buena y media, con excepción del ICA (D) que califica como de mala calidad a las aguas de los Tres Arroyos y el Arroyo Claromecó (Estaciones A1 a A10) (Fig. 2).

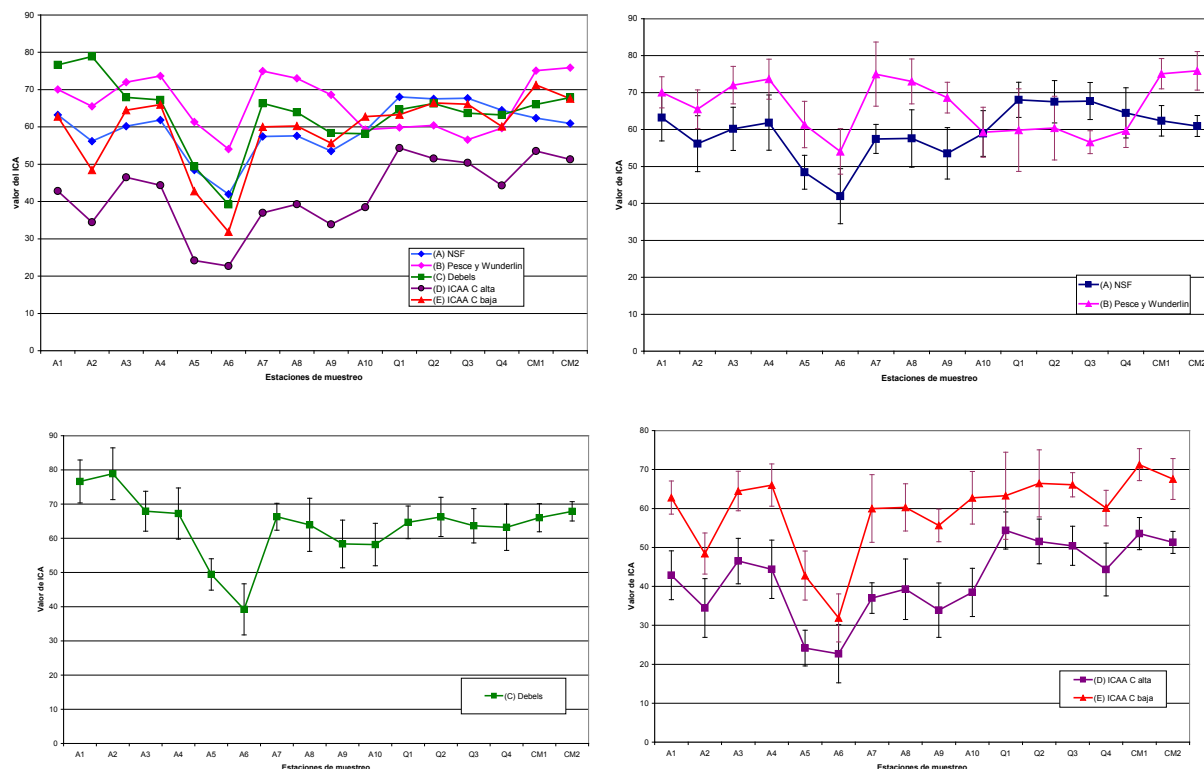


Figura 2. Valores medios de cada estación de muestreo y desvío estándar para cada ICA aplicado en los Tres Arroyos, arroyo Claromecó, Río Quequén Salado y arroyo Cristiano Muerto (Junio 2008 - Marzo 2010).

Los cinco ICAs muestran una tendencia de variación espacial similar, indicando una calidad buena (entre 50 y 70) para las estaciones de los Tres Arroyos, arroyo Cristiano Muerto y Río Quequén Salado, y una calidad mala para las estaciones ubicadas aguas debajo de la descarga de efluentes cloacales de la ciudad de Tres Arroyos (estaciones A6 y A5). Aguas abajo de este tramo (estaciones A9 y A10), la calidad se recupera a valores semejantes a las estaciones preurbanas.

El ICA (B) difiere en la tendencia general de evaluación reduciendo la calidad de las muestras del Río Quequén Salado, por lo menos en comparación con los ICA (A), (C) y (E) (Fig. 2), por lo que muestra una baja correlación con ellos (Tabla 4).

Tabla 4: Coeficientes de correlación de Pearson calculados entre los distintos ICAs aplicados.

	ICA (A)	ICA (B)	ICA (C)	ICA (D)	ICA (E)
ICA (A)		0.23	0.57	0.73	0.76
ICA (B)			0.50	0.29	0.46
ICA (C)				0.40	0.48
ICA (D)					0.85

El ICA (D) sigue el mismo patrón espacial general descrito, aunque resulta con valores mucho más bajos que los otros ICA en todas las estaciones de muestreo (Fig. 2), siendo el más riguroso al evaluar la calidad del agua mostrando el menor valor medio y el menor valor mínimo (Tabla 5). Se encuentra altamente correlacionado con el ICA (E) y el ICA (A).

Tabla 5: Estadísticos generales de los ICA aplicados.

	ICA (A)	ICA (B)	ICA (C)	ICA (D)	ICA (E)
media	58.9	66.4	63.5	41.0	58.7
mínimo	29.3	44.1	28.0	10.3	19.1
máximo	74.7	92.6	86.4	72.0	79.5
desvío estándar	9.0	9.2	11.0	13.4	13.1
coef. variación	0.15	0.14	0.17	0.33	0.22
n° variables	9	21	10	14	14

Los ICAs (A) y (B) presentan coeficientes de variación más bajos que los otros ICA (Tabla 5). La mayor dispersión se observa en el ICA (D), con un número medio de variables consideradas en el cálculo (Fig. 3).

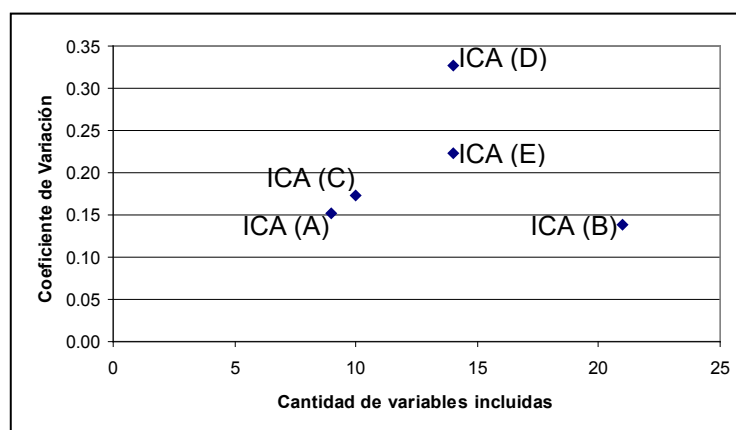


Figura 3. Variabilidad de los ICA utilizados en función de la cantidad de variables utilizadas.

4 DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta que un factor limitante para la utilización de herramientas de gestión local es el costo de las mismas (Peluso y Usunoff, 2004), resulta relevante la elección del ICA y la cantidad de variables necesarias para su aplicación. El ICA objetivo (B) de Pesce y Wunderlin (2000) parece ser el menos adecuado ya que incluye un mayor número de variables a medir sin lograr mayor sensibilidad por ello.

Los ICA (A) y (C) serían de menor costo analítico, con una variabilidad en la evaluación de la calidad del agua en un rango similar al ICA (B), pero utilizando menos de la mitad de las variables. La baja sensibilidad de estos ICA posibilitaría la subestimación de cambios en la calidad de agua, no detectables por las variables utilizadas o por los mecanismos de transformación en un valor de calidad. La calidad del agua calculada por estos tres ICA puede estar sobreestimada, en particular en el sector que recibe los efluentes cloacales urbanos.

El peso relativo que poseen las variables en el cálculo de la calidad de la muestra es una característica a analizar. El mayor peso que posee la conductividad eléctrica en el cálculo del ICA (B) y la inclusión de otras variables químicas inorgánicas (Calcio, Magnesio, Dureza, Cloruro, Sulfato) relacionadas con rangos de valores consideradas normales para la cuenca del Río Suquia

(Córdoba, Argentina), provoca la disminución en la evaluación de la calidad de aquellos ambientes que naturalmente poseen mayor salinidad (Río Quequén Salado), aún cuando no se encuentren mayormente alterados.

El ICA (D) parece ser más riguroso que los otros, indicando una baja calidad no solo en el sector urbano que se encuentra alterado sino en todos los ambientes evaluados. Es el ICA que muestra mayor variabilidad, asumiendo esto como una ventaja para detectar variaciones ambientales. Sin embargo, este ICA fue diseñado para la cuenca alta del arroyo del Azul, con aguas poco alteradas, de baja conductividad eléctrica, carga orgánica, nutrientes y sedimentos. Es posible que, si bien posee un costo analítico intermedio, resulte demasiado exigente para los ambientes analizados en el Partido de Tres Arroyos.

Los ambientes para los que se desarrolló el ICA (E) resultan más semejantes a los considerados en este trabajo, en una llanura de baja pendiente y con aportes difusos propios del lavado de suelos con uso agropecuario. En virtud del análisis realizado, este ICA sería un mejor evaluador de la variabilidad ambiente y del sector alterado por efluentes urbanos, con un costo analítico intermedio y considerando con calidad aceptable los cursos de agua no alterados.

5 CONCLUSIONES

Los cinco índices se muestran sensibles a la variación de la calidad del agua en los diferentes puntos de muestreo estudiados, y muestran la misma tendencia general aunque siempre dentro de un rango de calidad entre buena y media.

La aplicación de estos índices permite diferenciar zonas de los Tres Arroyos con diferente calidad de agua, un sector donde es buena, el sector urbano donde disminuye a mala por la descarga de efluentes cloacales y otro donde mejora y recupera la calidad aceptable.

También permiten discriminar los diferentes cuerpos de agua estudiados ya que califican al Río Quequén Salado y al arroyo Cristiano Muerto como ambientes con buena calidad de agua.

Si bien estos índices son extraídos de la bibliografía y están desarrollados para otros ambientes, permiten enmarcar rangos, detectar tendencias y zonas con diferente calidad el sector en estudio. Es evidente que la cantidad y elección de las variables incluidas son factores clave para que los mismos reflejen las condiciones locales y pueda ser una herramienta de gestión aplicable a costos aceptables.

Deberían hacerse estudios en mayor profundidad que permitan conocer cuáles son las variables que determinan la calidad del agua del recurso para diferentes usos. Éstos índices proveen la base metodológica para que, con ciertas adecuaciones como la incorporación de nuevas variables y/o su conformidad con los rangos normales del ambiente a evaluar, se constituyan en instrumentos evaluativos válidos.

Se considera al ICA (E) desarrollado por Rodríguez et al (2010) para la cuenca baja del Arroyo del Azul como un evaluador aceptable de la calidad del aguas del Partido de Tres Arroyos, debido a su sensibilidad (variabilidad) y grado de exigencia a un costo operativo razonable.

Agradecimientos

Este trabajo se financió con fondos del proyecto PID 35765 “Estudio hidroambiental a escala de Partido en zonas de llanura de la prov. de Buenos Aires” de la ANPCyT. Se agradecen también los aportes brindados por la Universidad Nacional del Centro de la Prov. de Buenos Aires, la Municipalidad de Tres Arroyos, y la CIC (Comisión de Investigaciones Científicas), y al personal del Laboratorio del Instituto de Hidrología de Llanuras por la colaboración brindada en el análisis químico de las muestras, a la Lic. M.F. Altolaquirre (Profesional de Apoyo, CIC) y al Ing. D. Arias (UNCPBA).

REFERENCIAS

APHA-AWWA-WPCF, 1992. *Métodos normalizados para el Análisis de las Aguas Potables y Residuales*. 17° edición, Ediciones Díaz de Santos, S.A., Madrid. España.

- Bascarán, G. 1979. Establecimiento de una metodología para conocer la calidad del agua. *Bol. Inf. Medio Ambiente*, 9:30-51. CIMA, MOPU, Madrid.
- Bilello G.I. 2006. Innovación Productiva y Empleo Rural en La Pampa Argentina. Un Estudio de Caso en Áreas Mixtas. *VII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología Rural* realizado en Quito, Ecuador.
- Debels, P., Figueroa R., Urrutia R., Barra R., y Niell X. 2005. "Evaluation of quality in the Chillán river (central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index". *Environmental Monitoring and Assessment*.110: 301-322.
- González Castelain J., Rodríguez M.L., Peluso F. 2008. Caracterización Preliminar de las Aguas Superficiales del Partido de Tres Arroyos (Prov. de Buenos Aires). Resumen enviado al *V Congreso de Ecología y Manejo de Ecosistemas Acuáticos Pampeanos*. Luján, provincia de Buenos Aires, Argentina.
- National Sanitation Foundation (NSF). 1970. *National Sanitation Foundation Water Quality (Eutrophication) Index*. Se consulta en: http://bcn.boulder.co.us/basin/watershed/wqi_nsf.html.
- Peluso, F., González Castelain, J., Othax, N. y Rodríguez, M.L. 2007. *Diagnóstico Hidroambiental a Escala Rural y Urbana del Partido de Tres Arroyos*. Instituto de Hidrología de Llanuras de Azul. Documento N° 14. 227 págs.
- Pesce, S. F. y Wunderlin, D. A. 2000. Use of Water Quality Indices to Verify the Impact of Córdoba City (Argentina) on Suquía River. *Water Research*. Vol. 34, No. 11, p. 2915±2926.
- Rodríguez, M.L. 2010. Desarrollo y Aplicación de índices de Calidad de Aguas para la Gestión del Arroyo del Azul. *Trabajo de tesis de Maestría para obtener el título de Magíster en Ecohidrología*. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.
- Weinzettel, P.A.; Varni, M.R. y Usunoff, E. 2005. *Caracterización hidrogeológica del área urbana y periurbana de la ciudad de Tres Arroyos, provincia de Buenos Aires*. Instituto de Hidrología de Llanuras de Azul. Documento N° 4. 168 págs.
- WHO.1987. *GEMS/ WATER Operacional Guide*. World Health Organization. Geneva.