

## COMPARACIÓN DE ÍNDICES DE CALIDAD DE AGUAS APLICADOS EN EL ARROYO DEL AZUL, PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Lorena Rodríguez, Fabio Peluso, José González Castelain  
Instituto de Hidrología de Llanuras de Azul. Av. Italia 780, Campus Universitario UNCPBA, 7300, Azul,  
Provincia de Buenos Aires. Telefax: 02281-432666 e-mail: lorena@faa.unicen.edu.ar.

### RESUMEN

La evaluación de la calidad del agua en los países desarrollados se ha convertido en una decisión crítica en los últimos años. Los índices de calidad de agua son herramientas de gestión aplicadas frecuentemente para ese fin. En el presente trabajo se comparan cuatro índices de calidad del agua aplicados con el fin de estudiar su comportamiento en base a información de 9 campañas de muestreo estacionales realizadas en el Arroyo del Azul, para su adopción como herramienta de gestión y el establecimiento de un sistema de monitoreo continuo de la calidad de sus aguas que contemple diversos usos. Los cuatro índices se muestran sensibles a cierta variación de la calidad del agua en diversos tramos del arroyo del Azul, presentando la misma tendencia general, siempre en un rango de calidad entre buena y media. Cobra importancia considerar, al elegir entre ellos, el número y la cantidad de variables incluidas como factor clave para que el mismo refleje las características del cuerpo de agua en estudio. El índice de la National Science Foundation es un evaluador aceptable de la calidad del agua del arroyo del Azul debido a su sensibilidad y grado de exigencia a un costo operativo razonable.

**Palabras clave:** Arroyo del Azul, Índices de Calidad de Agua.

### ABSTRACT

The evaluation of water quality in developed countries has lately become of a critical decision nature. Indexes of water quality are management tools frequently applied for that purpose. In this paper four water quality indexes are applied and compared in order to study their performance on the basis of information from 9 seasonal sampling surveys carried out in the Azul Creek, aiming at their use as a management tool and for the establishment of a continuous water monitoring system for diverse uses. When choosing among the indexes, it is important to consider the number and quality of variables as a key factor in order that the chosen index reflects properly the characteristics of the water body. The four indexes are sensitive to certain variation of the water quality in diverse sections of the creek, presenting the same general trend, though always in a range between good and average quality. Therefore, those indexes, given their adequacy, may prove to be valid evaluation instruments.

**Keywords:** Azul Creek, Water Quality Indexes.

## INTRODUCCIÓN

El arroyo del Azul recorre un total de 160 kilómetros, desde su nacimiento en las cercanías de la localidad de Chillar y hasta alcanzar el límite norte del partido homónimo, recibiendo las aguas de los arroyos Videla y Santa Catalina (Figura 1).

Las características ambientales y las condiciones de uso a que se ve sometido a lo largo de su recorrido, permite discriminar tres grandes tramos en donde difieren el estado natural del curso de agua, el tipo y la presión de uso, y los riesgos ecológicos y ambientales derivados de ellos (Gonzalez Castelain et al, 1995).

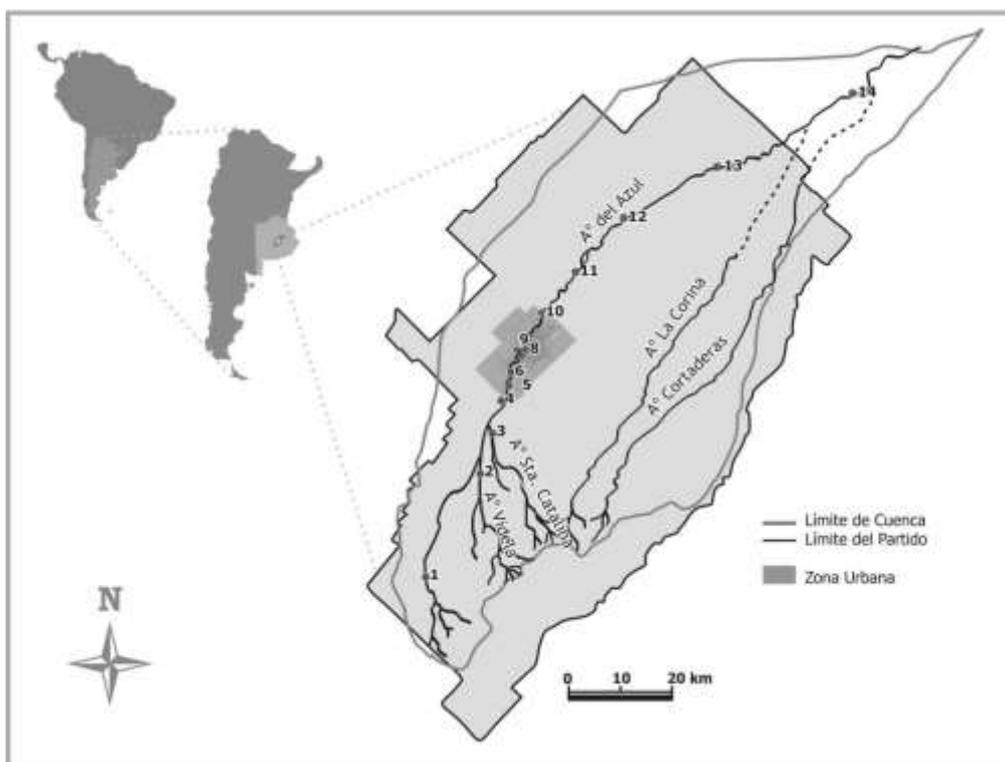


Figura 1. Ubicación de la cuenca del Azul en la provincia de Buenos Aires, y localización de las diferentes estaciones de muestreo.

A fin de resolver esta situación la utilización de los índices de calidad de agua parece ser adecuada ya que los mismos permiten explorar el sistema ambiental a partir de la integración de información selecta. El Índice de Calidad del Agua (ICA), como forma de agrupación simplificada de algunos parámetros indicadores de un deterioro en calidad del agua, es una herramienta que facilita la transmisión de información al público en general y puede ser utilizado para evaluar la calidad del agua, lo cual permite un mejor manejo del recurso y la toma de decisiones (Stambuck-Giljanovic, 1999).

Un único valor produce información más fácil y rápidamente comprensible que un listado de valores numéricos correspondientes a una gran cantidad de parámetros. Y si su diseño es adecuado, el resultado

arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias.

En la cuenca del arroyo del Azul no existen estudios previos sobre el uso de índices de calidad de aguas. El Instituto de Hidrología de Llanuras (IHLLA) realiza monitoreos y diagnósticos de la calidad fisicoquímica de las aguas del mencionado arroyo y tributarios (Gonzalez Castelain y Grosman, 1997; IHLLA, 2000). Éstos permitieron conocer su calidad en base al relevamiento de variables selectas e identificar los patrones generales de variación como forma de identificación de los procesos hidroecológicos generales de la cuenca y de los principales efectos ocasionados por el uso del recurso.

El cúmulo de información obtenida en estos estudios otorga 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 en aguas del arroyo del Azul. Esto permitirá avanzar en el establecimiento de un sistema definitivo de monitoreo continuo de la calidad de sus aguas que contemple diversos usos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio y sitios de muestreo

La cuenca del arroyo del Azul se ubica en el centro de la Provincia de Buenos Aires (Figura 1), entre las coordenadas 36°00'37"20"S - 60°12'58"52"W y abarca un área de más de 6000 km<sup>2</sup>.

El arroyo del Azul nace en el sistema de Tandilia correspondiente a un ambiente serrano, al suroeste de la cuenca y se desplaza en sentido SW-NE por un subambiente de llanura, desembocando en el canal 11. Sus principales afluentes, aguas arriba de la ciudad de Azul, son el arroyo Santa Catalina y el arroyo Videla. Aproximadamente a mitad de su recorrido, el arroyo atraviesa la ciudad de Azul (60.000 habitantes), donde se constituye en uno de los elementos naturales del paisaje más sobresaliente. La ciudad de Azul se ubica en la zona de transición entre cuenca alta y cuenca baja.

En la cuenca se caracteriza por ser representativa de áreas mixtas pampeanas, donde se desarrolla una actividad agrícola ganadera intensa desde la década del 90, la fertilización intensa se da a fines de esa década, por la expansión dominante del cultivo de soja (Bilello, 2006). El sector agrícola se desarrolla en la zona topográficamente más elevada de la cuenca, donde se cultivan maíz, trigo, soja y girasol. El sector ganadero se ubica en cuenca baja donde la calidad de los suelos limita la agricultura (Ares *et al*, 2007).

Para analizar la variabilidad espacial de la calidad del agua del arroyo se localizaron 14 estaciones de

muestreo (Figura 1), las cuales fueron seleccionadas buscando una distribución uniforme en la cuenca, con mayor intensidad en el sector urbano y atendiendo las zonas afectadas por distintos usos (descargas de líquidos residuales, balneario).

La variabilidad temporal de la calidad del agua ha sido evaluada realizando campañas de muestreo con intervalos de tres meses desde junio del 2005 hasta junio del 2007.

### Colección y análisis de las muestras

#### Tratamiento y análisis de las muestras

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, Nitrito (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).

### 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 WQI (Water Quality Index):

- WQI NSF (1970) (A), desarrollado para la National Sanitation Foundation (ahora NSF Internacional).
- WQI objetivo (B), adaptado por Pesce y Wunderlin (2000), y desarrollado por Conesa Fdez-Vitora (1995).
- WQI objetivo (C), adaptado por Debels et al (2005), y desarrollado por Conesa Fdez-Vitora (1995).
- WQI mínimo (D), aplicado por Pesce y Wunderlin (2000).

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. En la Tabla I se presentan las variables que incluye el cálculo de cada índice mencionado.

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

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

Donde:

WQI es un número entre 0 y 100.

q<sub>i</sub>, 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<sub>i</sub>, peso asignado al parámetro i, un número entre 0 y 1 siendo  $\sum W_i = 1$  (ver Tabla I).

n, número de parámetros.

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

El índice WQI objetivo propuesto por Conesa Fdez-Vitora (1995) es, a su vez una adaptación del WQI desarrollado por Martínez de Bascarán (1979).

Las modificaciones propuestas por Pesce y Wunderlin (2000) y por Debels et al (2005) 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 (ver Tabla I).

Tabla I: Variables que incluyen los índices de calidad de agua utilizados con sus respectivos pesos. SP: sin peso.

Variable	Peso de la variable para cada índice			
	A	B	C	D
Aceites y Grasas (mg/l)	-	2	-	
Amonio (mg/l)	-	3	0.06	
Calcio (mg/l)	-	1	-	
Cloruro (mg/l)	-	1	-	
Conductividad (µS/cm)	-	4	0.07	SP
DBO-5 (mg/l)	0.11	3	0.10	
Detergentes SAAM (mg/l)	-	4	-	
DQO (mg/l)	-	3	0.12	
Coliformes Totales NMP/100 ml	0.16	3	-	
Diferencia de Temperatura	0.10	-	-	
Dureza (mg/l)	-	1	-	
Fósforo (ortofosfato) (mg/l)	0.10	1	0.17	
Magnesio (mg/l)	-	1	-	
Nitratos (mg/l)	0.10	2	0.18	
Nitritos (mg/l)	-	2	0.17	
Oxígeno Disuelto (% sat.)	0.17	4	0.10	SP
pH	0.11	1	0.07	
Sólidos disueltos (mg/l)	0.07	2	-	
Sólidos Totales (mg/l)	-	4	-	
Sulfatos (mg/l)	-	2	-	
Turbidez (UTN)	0.08	2	-	SP
Temperatura (°C)	-	1	0.13	

Tabla II: Escala de calidad de agua propuesta por la National Sanitation Foundation (1970).

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

El índice WQI responde a la siguiente expresión matemática:

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

Donde:

WQI es un número entre 0 y 100.

C<sub>i</sub>, valor de calidad asignado al parámetro i después de la normalización (ver Tablas III y IV).

P<sub>i</sub>, peso asignado a cada variable.

n, número de variables incluidas (ver Tablas III y IV).

Tabla III: Factores de normalización para las variables utilizadas para el cálculo del WQI 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 IV: Factores de normalización para las variables utilizadas para el cálculo del WQI 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

El WQI mínimo aplicado por Pesce y Wunderlin (2000) es un promedio no ponderado que sólo utiliza tres variables como indicadoras, tal como se aprecia en la ecuación (3):

$$WQI \text{ mín} = \frac{C_{do} + C_{cond.} + C_{turb.}}{3} \quad (3)$$

Donde:

$C_{do}$  es el valor normalizado de oxígeno disuelto.

$C_{cond}$  es el valor normalizado de la conductividad o de los sólidos totales disueltos.

$C_{turb}$  es el valor normalizado de la turbidez (ver Tabla III).

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

Se calcularon los cuatro índices de calidad de agua mencionados para las catorce estaciones de muestreo durante nueve campañas (n=126). 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 cuatro índices utilizando todos los valores calculados para caracterizar cada estación utilizando el coeficiente de Pearson.

Para analizar el grado de importancia de cada variable en el valor final del índice, se calculó un coeficiente de correlación entre el valor de calidad normalizado de cada variable y su ponderación con respecto al valor del índice obtenido.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cuatro índices se muestran sensibles a la variación de la calidad del agua en los diferentes puntos de muestreo del Arroyo Azul, aunque siempre dentro de un rango de calidad entre buena y media en base a los valores promedio (Figura 2).

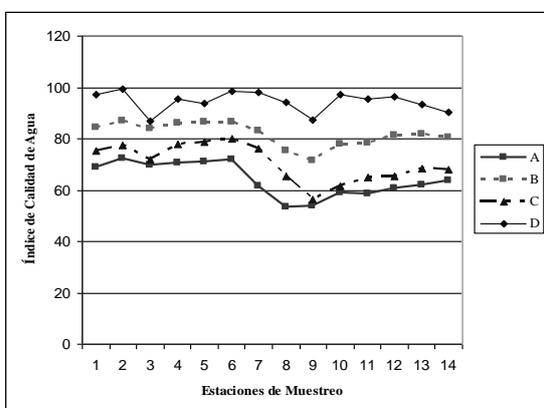


Figura 2. Valores promedio de los cuatro índices de calidad de agua analizados

Los WQI objetivo y mínimo de Pesce y Wunderlin (2000) presentan desvíos estándar y coeficiente de variación más bajos que los otros WQI (ver Tabla V). Esto resulta importante si se considera que la dispersión de valores de calidad obtenidos es un estimador de la sensibilidad del índice a las variaciones propias del sistema natural analizado. En este sentido, los WQI de Debels et al (2005) y de la NSF (1970) representarían mejor la variabilidad de la calidad de las aguas del arroyo del Azul.

Si bien el valor mínimo de WQI se obtuvo con el índice objetivo de Debels et al (2005) (ver Tabla V) el índice de NSF (1970) resulta más riguroso al evaluar la calidad del agua, dado que presenta una media general menor (ver Tabla V) y valores medios menores en todas las estaciones de muestreo (Figura 2).

Tabla V: Valores de medias anuales, desviación estándar, coeficiente de variación, valores máximos y mínimos y número de variables incluidas para cada índice aplicado en el arroyo del Azul (Junio 2005 - Junio 2007).

Índice	Media	std	cv	Mínimo	Máximo	Nº variables
A	63.90	8.16	0.13	45.99	76.88	9
B	81.85	5.80	0.07	61.39	91.79	21
C	71.10	11.61	0.16	32.20	89.20	10
D	94.02	7.06	0.08	70.00	100.00	3

n = 126; obtenidos sobre 14 estaciones de muestreo con 9 repeticiones en cada una.

La correlación entre los valores de calidad obtenidos por los cuatro índices es significativa, siendo más alta entre los índices de Pesce y Wunderlin (2000) y de Debels et al (2005) y entre los de Pesce y Wunderlin (2000) y de NSF (1970) (ver Tabla VI). La alta correlación puede ser explicada dado que los índices involucrados comparten la mayoría de las variables, aunque con distintos pesos y mecanismos de normalización (Tablas I, III y IV). La menor correlación la presentan los índices de la NSF (1970) y de Debels et al (2005) con el WQI mínimo de Pesce y Wunderlin (2000) (ver Tabla VI). Esto puede atribuirse a que el índice mínimo de Pesce y Wunderlin (2000) incluye muy pocas variables (ver Tabla I).

Tabla VI: Matriz de correlación entre los cuatro índices

	A	B	C	D
A	1.00	0.72	0.57	0.30
B	0.72	1.00	0.75	0.54
C	0.57	0.75	1.00	0.45
D	0.30	0.54	0.45	1.00

Los cuatro índices de calidad de agua aplicados muestran una tendencia espacial de variación similar, indicando una calidad alta (índice entre 70-100) para las estaciones de cuenca alta (1 a 4) y para las estaciones urbanas que se encuentran aguas arriba de la descarga de los efluentes cloacales (5 y 6) (Figura 2).

Los índices de calidad de agua medios obtenidos para las estaciones aguas debajo de esta descarga (7 a 10) indicando un deterioro en la calidad, lo cual es esperable ya que en las muestras presentan valores altos de recuentos bacterianos, DBO-5, conductividad, nitrito y amonio (ver Tabla IX).

**Tabla VII: Valores de medias anuales y desviación estándar de los cuatro índices para cada estación de muestreo del arroyo del Azul (Junio 2005 - Junio 2007).**

Estación de muestreo	Índice	Media	std
1	A	68.73	4.36
	B	83.95	1.98
	C	75.95	5.37
	D	97.86	2.79
2	A	72.70	4.15
	B	86.52	2.59
	C	79.86	6.60
	D	99.63	1.11
3	A	70.18	5.68
	B	83.50	4.92
	C	71.92	9.38
	D	85.88	5.94
4	A	70.82	3.04
	B	85.81	3.88
	C	77.82	10.80
	D	94.12	7.61
5	A	70.86	4.91
	B	85.98	3.81
	C	79.91	6.46
	D	92.43	9.70
6	A	72.34	2.91
	B	86.92	2.32
	C	82.05	6.28
	D	98.23	2.29
7	A	60.69	5.20
	B	83.08	4.50
	C	78.97	7.12
	D	97.57	2.75
8	A	53.92	5.47
	B	75.18	7.92
	C	68.16	11.56
	D	92.06	9.43
9	A	53.52	4.17
	B	71.18	4.96
	C	55.08	11.50
	D	85.47	9.97
10	A	59.78	5.88
	B	78.88	4.35
	C	60.87	10.32
	D	96.21	3.75
11	A	58.79	5.61
	B	80.60	3.44
	C	64.98	9.00
	D	96.95	1.76
12	A	61.52	5.64
	B	81.57	2.87
	C	64.41	10.27
	D	96.79	2.39
13	A	63.24	4.97
	B	82.26	2.04
	C	67.47	8.29
	D	93.42	5.98
14	A	64.54	4.40
	B	80.45	3.48
	C	67.87	8.82
	D	89.71	5.36

La zona afectada es de alrededor de 10 km comenzando en la descarga de los efluentes cloacales y finalizando unos km después de la misma. Los valores de los índices en dicha zona se encuentran entre 45 y 70.

A partir de la estación 10 (cuenca baja) los índices aumentan aunque no se recuperan los valores anteriores al paso por la ciudad. Sin embargo, esto es un reflejo de

un cambio en las características naturales del arroyo, ya que la química inorgánica de las aguas de la cuenca baja muestra un aumento de la conductividad eléctrica y de las concentraciones de cloruros y sodio con relación a las de la cuenca alta y media. Asimismo se observa un aumento de los sólidos suspendidos, sólidos filtrables y turbidez (IHLLA, 2000).

El WQI mínimo de Pesce y Wunderlin (2000) adopta valores más altos en los tres sectores mencionados (entre 85 y 95).

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), el índice objetivo de Pesce y Wunderlin (2000) parece ser el menos adecuado ya que incluye un mayor número de variables a medir (ver Tabla I) sin lograr mayor sensibilidad por ello (Figura 3, ver Tabla I).

Los valores obtenidos a partir de la aplicación del WQI mínimo de Pesce y Wunderlin (2000) llevarían a considerar que si bien el costo analítico es bajo, la evaluación de la calidad del agua puede estar sobreestimada ya que el mismo es poco riguroso y poco sensible.

Al relacionar el coeficiente de variación de cada índice con el número de variables que incluye cada uno se obtuvo una relación directa, presentando el WQI de la NSF y el WQI objetivo de Debels et al (2005) mayor coeficiente de variación con un número de variables similar, sin embargo esto no ocurre con el WQI objetivo de Pesce y Wunderlin (2000) ya que el mismo duplica el número de variables en relación a estos últimos y su coeficiente de variación es el más bajo obtenido (Figura 3).

Si bien el mínimo valor de los índices aplicados se obtuvo con el índice objetivo de Debels et al (2005) (ver Tabla V), el índice de la NSF (1970) presenta un valor medio general menor (ver Tabla V) y en cada estación de muestreo (Figura 2). Bajo este enfoque, el índice de la NSF parece ser más sensible y con mayor grado de exigencia a un costo operativo razonable.

El mayor coeficiente de variación lo presenta el WQI de Debels et al (2005), aunque es muy similar al del WQI de la NSF (ver Tabla V). Considerando que la dispersión de los valores de la WQI es un estimador de la sensibilidad del índice a las variaciones propias del sistema natural analizado.

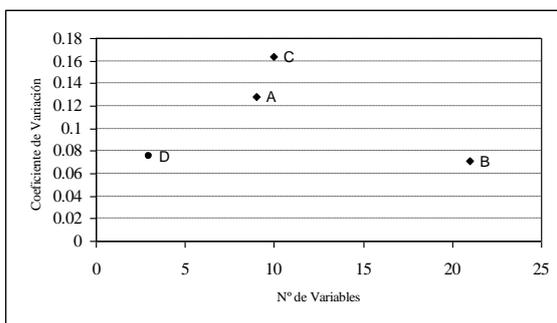


Figura 3. Coeficiente de variación obtenido para cada índice en función del número de variables incluidas en cada uno.

Cabe destacar que al momento de comparar estos índices se cree conveniente también tener en cuenta no sólo el número de variables que los mismos incluyen sino también cuáles son esas variables ya que la elección de las mismas se considera un factor clave para que el mismo refleje las características del cuerpo de agua en estudio. Si bien el índice de la NSF incluye 9 variables, los resultados obtenidos para este índice están correlacionados principalmente con el oxígeno disuelto, coliformes fecales, fósforo total,

sólidos disueltos, demanda biológica de oxígeno y pH, por lo que se considera que estas son las que representan mejor la variabilidad de la calidad del agua del arroyo del Azul (ver Tabla VIII).

Tabla VIII: coeficientes de correlación de Pearson entre los valores del WQI de la NSF (1970) y las variables normalizadas y ponderadas que se incluyen en su cálculo (n=126).

Variable	r <sup>2</sup>
DBO	0,442 S
% sat OD	0,634 S
Coliformes fecales	0,588 S
Nitrato	-0,050 N.S
pH	0,275 S
Diferencia de Temperatura	0,040 N.S
Sólidos disueltos	0,444 S
Fosforo total	0,648 S
Turbidez	-0,044 N.S

S: significativo,  $\alpha < 0,01$ ; N.S: no significativo.

Por otro lado, estos índices podrían estar sobreestimando la calidad dado que no incorporan algunas variables tales como metales pesados y agroquímicos, por lo cual sería interesante incorporarlas.

Tabla IX: Valores de medias anuales y desviación estándar calculados para los parámetros físico-químicos medidos en el arroyo del Azul (Junio 2005 - Junio 2007).

Muestra	Estación	Cent	VI 16/7	Sta. Cata	R226	AMCA	Balne	Cata	Mujica	FPI	Pereda	Shaw	Parish	Cachari	Gualicho	
Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	n=9	Media	55.17	58.42	54.55	48.35	45.19	46.41	44.96	43.64	45.12	47.59	54.11	50.35	48.25	48.69
		S.D.	20.28	19.01	24.09	20.38	16.21	17.00	21.24	17.68	15.12	24.13	36.38	19.58	18.76	17.13
Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	n=9	Media	24.79	31.27	21.80	23.33	22.16	22.19	21.23	20.73	20.62	20.36	21.12	19.58	20.83	22.74
		S.D.	5.47	5.83	4.30	4.75	5.47	5.62	6.10	5.76	5.44	6.30	8.72	5.96	5.53	5.53
Na <sup>+</sup> (mg/l)	n=9	Media	79.82	37.39	47.07	78.13	83.72	82.93	87.73	97.40	109.15	103.95	109.30	115.32	130.66	167.41
		S.D.	16.54	6.21	7.79	16.77	20.47	17.87	23.11	33.27	31.36	29.70	32.47	34.26	35.57	67.61
K <sup>+</sup> (mg/l)	n=9	Media	7.90	7.12	7.10	7.29	7.10	7.19	7.94	7.74	8.36	7.88	7.99	8.81	9.46	9.49
		S.D.	1.49	1.33	2.32	1.23	1.17	1.89	3.79	1.41	1.82	1.28	1.74	2.18	3.15	2.25
Cl (mg/l)	n=9	Media	33.44	23.54	23.63	28.02	27.89	28.49	30.11	36.91	44.86	40.01	41.12	44.67	55.30	74.86
		S.D.	6.86	4.44	4.47	5.15	4.86	5.77	7.24	14.82	12.61	10.44	12.70	14.97	17.76	45.56
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	n=9	Media	29.51	17.97	9.35	16.08	15.99	15.65	15.71	18.35	21.63	21.73	20.97	18.97	17.90	15.40
		S.D.	11.20	11.92	5.88	9.58	9.54	10.07	10.11	13.13	18.39	14.83	17.08	16.57	16.25	13.64
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	n=9	Media	15.39	14.95	15.95	15.66	16.78	16.79	16.06	16.22	17.19	16.15	16.20	16.55	21.60	59.86
		S.D.	12.08	11.68	12.34	11.54	12.17	11.86	11.70	11.30	10.74	11.52	11.40	11.91	14.97	32.37
CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> (mg/l)	n=9	Media	4.29	6.67	5.22	6.22	7.33	10.33	8.22	8.00	2.67	7.56	10.78	18.22	26.14	25.22
		S.D.	9.34	11.00	8.00	9.82	11.92	10.93	10.37	9.95	8.00	9.53	14.23	25.87	23.37	22.04
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	n=9	Media	405.58	371.94	344.77	399.69	390.49	387.14	392.46	407.38	441.89	403.81	421.98	421.57	426.91	451.74
		S.D.	56.03	64.57	67.37	55.92	64.71	66.79	63.96	64.47	53.38	64.91	73.80	51.06	63.03	97.74

Muestra		Estación	Cent	VI 16/7	Sta. Cata	R226	AMCA	Balne	Cata	Mujica	FPI	Pereda	Shaw	Parish	Cachari	Gualicho
F <sup>-</sup> (mg/l)	n=9	Media	1.44	0.93	0.79	1.42	1.54	1.52	1.52	1.50	1.51	1.46	1.53	1.55	1.56	1.53
		S.D.	0.59	0.31	0.30	0.65	0.75	0.75	0.72	0.70	0.72	0.62	0.74	0.74	0.75	0.75
Presión	n=9	Media	991.22	997.33	995.72	998.39	998.78	998.67	998.67	998.56	998.72	1000.11	1002.50	1005.11	1006.50	1010.22
		S.D.	6.20	6.50	10.00	6.58	6.14	6.26	6.75	6.75	6.72	6.86	6.73	10.36	7.19	7.55
OD (mg/l)	n=9	Media	11.38	11.34	10.99	9.22	8.81	9.46	13.46	10.89	7.35	11.53	12.65	11.89	11.30	10.21
		S.D.	2.57	3.17	2.90	2.76	2.92	2.15	2.37	4.55	3.96	3.01	3.34	3.97	2.77	2.07
OD sat.	n=9	Media	9.79	9.87	9.80	9.86	9.70	9.66	9.32	9.39	9.35	9.28	9.54	9.67	9.65	9.63
		S.D.	1.09	1.46	1.80	1.58	1.33	1.63	1.58	1.54	1.48	1.56	1.77	1.81	1.82	1.80
OD (% sat.)	n=9	Media	114.49	112.34	110.09	90.84	88.55	96.42	142.84	113.68	75.55	122.76	136.56	125.50	120.39	106.75
		S.D.	27.12	23.70	25.06	18.54	25.32	15.96	15.77	45.77	34.21	27.73	49.31	48.41	42.39	19.48
Temperatura (°C)	n=9	Media	15.39	15.49	16.33	15.66	16.12	16.82	18.73	18.23	18.39	18.92	17.76	17.19	17.26	17.31
		S.D.	5.06	6.87	8.52	7.32	6.28	8.04	8.49	8.03	7.84	8.29	9.17	9.28	9.14	9.05
Ph	n=9	Media	8.18	8.21	8.06	8.05	8.19	8.30	8.42	8.39	8.19	8.36	8.32	8.32	8.34	8.36
		S.D.	0.31	0.36	0.59	0.58	0.50	0.55	0.45	0.38	0.29	0.46	0.45	0.72	0.77	0.72
Sol. Solubles(mg/l)	n=9	Media	548.84	552.35	424.99	462.99	486.74	516.48	508.45	563.53	576.15	524.78	535.08	554.90	551.42	682.44
		S.D.	100.38	237.67	106.98	50.11	127.19	117.35	130.44	147.80	122.77	105.35	108.72	122.01	169.12	198.08
Sol. Suspendidos (mg/l)	n=9	Media	10.18	10.29	37.36	5.50	3.16	3.89	5.34	3.88	5.31	5.24	7.24	13.67	22.36	36.32
		S.D.	11.25	12.98	30.39	4.14	2.16	2.61	3.68	2.91	3.81	3.34	6.76	10.84	26.31	31.63
Sol. Totales (mg/l)	n=9	Media	566.22	518.11	479.33	491.00	519.00	540.11	536.33	580.78	582.78	550.89	553.89	589.89	595.78	757.56
		S.D.	99.41	178.55	99.76	42.49	103.61	112.06	113.27	138.58	122.68	90.45	105.74	124.52	170.09	181.45
Sól.sedim (mg/l)	n=9	Media	0.03	0.05	0.17	0.01	0.01	0.02	0.03	0.21	0.04	0.04	0.05	0.20	0.23	0.22
		S.D.	0.04	0.07	0.21	0.02	0.02	0.04	0.03	0.37	0.04	0.05	0.07	0.28	0.32	0.31
Turbidez (NTU)	n=9	Media	3.68	3.44	14.45	4.82	3.52	2.87	4.01	3.35	2.30	2.72	2.57	3.45	6.57	7.72
		S.D.	1.62	1.78	7.56	2.62	2.01	1.42	1.68	1.30	0.92	1.08	1.46	2.43	4.40	4.75
Conductividad (µS/cm)	n=9	Media	742.83	622.13	583.45	695.06	697.64	717.80	714.51	770.12	834.24	781.62	787.65	781.28	892.35	1069.49
		S.D.	74.46	87.35	56.77	79.11	96.21	76.30	84.53	124.84	152.32	89.50	106.81	155.11	153.75	279.01
Aerobios totales/100ml	n=8	Media	147.63	106.13	106.13	57.63	88.13	76.29	5923.75	17125.00	9350.00	801.13	589.04	251.75	242.18	177.13
		S.D.	64.44	44.05	44.05	59.19	49.58	64.12	7086.79	9113.06	7926.45	917.15	619.76	201.20	156.09	166.22
Coliformes/ 100 ml	n=8	Media	39.56	40.19	40.19	43.38	39.06	29.86	1716.25	8500.00	5112.50	440.00	313.83	113.06	119.32	122.75
		S.D.	32.31	34.95	34.95	42.75	44.76	36.39	1439.13	5385.16	3856.51	627.12	423.54	145.92	136.31	166.30
Esterichia coli /100 ml	n=8	Media	22.28	14.60	15.48	6.93	10.94	9.56	816.88	2800.00	1475.00	205.43	148.51	58.85	51.50	33.89
		S.D.	16.74	11.57	10.68	7.83	15.89	15.89	776.85	1618.42	905.93	336.69	228.56	87.18	76.11	56.68
DQO (mg/l)	n=9	Media	27.51	23.14	24.76	12.71	9.22	6.01	7.14	8.54	21.52	20.89	17.70	25.16	27.98	26.06
		S.D.	48.24	38.62	13.46	14.26	12.17	7.57	5.97	7.40	18.97	13.97	12.89	13.13	19.76	13.95
Nitrógeno orgánico (mg/l)	n=9	Media	0.42	0.37	1.23	0.72	0.93	0.85	0.78	1.64	2.33	1.28	0.71	0.75	0.84	0.76
		S.D.	0.42	0.35	0.99	0.59	0.35	0.83	0.48	1.71	1.34	0.50	0.37	0.26	0.35	0.37
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> mg/l	n=9	Media	0.08	0.04	0.09	0.02	0.02	0.02	0.05	1.25	1.44	0.71	0.37	0.23	0.06	0.03
		S.D.	0.07	0.06	0.16	0.02	0.03	0.02	0.05	2.41	2.34	0.60	0.27	0.25	0.05	0.05
NH <sub>4</sub> mg/l	n=9	Media	0.00	0.00	0.09	0.03	0.00	0.01	0.06	0.61	0.97	0.16	0.09	0.15	0.06	0.09
		S.D.	0.00	0.00	0.19	0.09	0.00	0.04	0.18	0.88	0.99	0.23	0.19	0.26	0.18	0.19
Conc.F.Tot.Inic.(mg/l)	n=9	Media	0.10	0.07	0.11	0.10	0.09	0.09	0.10	0.57	1.11	0.97	1.07	1.07	0.40	0.30
		S.D.	0.06	0.04	0.07	0.06	0.06	0.07	0.06	0.82	1.29	1.12	1.40	1.52	0.25	0.19
Conc.FRS Inic.(mg/l)	n=9	Media	0.06	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.15	0.89	0.80	0.88	0.90	0.24	0.16
		S.D.	0.06	0.05	0.07	0.06	0.06	0.07	0.07	0.14	1.25	0.98	1.40	1.50	0.17	0.11
Fosf.Org.(mg/l)	n=9	Media	0.03	0.02	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.42	0.22	0.17	0.19	0.17	0.16	0.14
		S.D.	0.02	0.02	0.04	0.05	0.03	0.02	0.04	0.85	0.28	0.25	0.24	0.23	0.19	0.15
DBO (mg/l)	n=5	Media	3.37	1.97	3.26	2.04	2.03	2.28	3.13	3.10	5.75	5.08	4.05	4.62	3.87	4.06
		S.D.	2.36	1.09	0.92	0.82	0.90	0.70	0.76	1.21	2.96	1.07	0.65	2.08	1.16	0.85
Detergentes SAAM (mg/l)	n=3	Media	0.02	0.02	0.05	0.01	0.02	0.03	0.18	0.26	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
		S.D.	0.01	0.02	0.04	0.00	0.01	0.01	0.17	0.25	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
Hidrocarburos Totales de Petróleo(mg/l)	n=3	Media	0.33	1.97	3.26	0.19	0.18	0.23	0.46	0.70	0.18	0.15	0.16	0.18	0.19	0.23
		S.D.	0.08	1.09	0.92	0.06	0.08	0.03	0.26	0.50	0.08	0.10	0.09	0.08	0.06	0.03

n= número de campañas. S.D.= desviación estándar

## CONCLUSIONES

Los cuatro índices se muestran sensibles a la variación de la calidad del agua en los diferentes puntos de muestreo del arroyo del Azul, 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 tres zonas del arroyo con diferente calidad de agua:

la cuenca alta donde es buena, el sector urbano donde disminuye a media y la cuenca baja donde mejora aunque no recupera las condiciones anteriores a su paso por la ciudad.

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 de agua en el arroyo del Azul. 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, se constituyan en instrumentos evaluativos válidos.

Se considera el índice de la NSF (1970) como un evaluador aceptable de la calidad del agua del arroyo del Azul debido a su sensibilidad (variabilidad), y grado de exigencia a un costo operativo razonable.

## BIBLIOGRAFÍA

- APHA-AWWA-WPCF. 1992. Métodos normalizados para el Análisis de las Aguas Potables y Residuales. 17<sup>o</sup> edición, Ediciones Díaz de Santos, S.A., Juan Bravo, 3-A. 28006 Madrid. España.
- Ares, M.G., Varni, M., Entraigas, I. y Marzoratti, M. 2007. Uso del suelo y grado de cobertura vegetal en una cuenca del centro de la provincia de Buenos Aires. Enviado a Cuadernos del Curiham (ISSN 1514-2906).
- 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 durante los días 20 a 24 de noviembre del 2006.
- Conesa Fdez-Vitora V. 1995. Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental. 2<sup>o</sup> Edición. P. 390. Mundi- Prensa, Madrid.
- 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.
- Gonzalez Castelain J., Usunoff E., Peluso F., Grosman F. 1995. Propuestas para la Gestión del Arroyo Azul. Actas del 1<sup>er</sup> Congreso Nacional de Gestión de Agua y Saneamiento. La Falda. Provincia de Córdoba.
- Gonzalez Castelain, J. y Grosman, F. 1997. "Monitoreo bacteriológico del sector urbano del arroyo del Azul (prov. de Buenos Aires)". Resúmenes del II Congreso Argentino de Limnología. Buenos Aires, 18 al 24 de septiembre de 1997. pág. 81.
- IHLLA, 2000. Avance metodológico en el tratamiento de los recursos hídricos en una cuenca de llanura. Informe final. Instituto de Hidrología de Llanuras. 230 p + anexos.
- Martínez de Bascaran, G. 1979. Establecimiento de una metodología para conocer la calidad del agua. *Bol. Inf. Medio Ambiente*, 9:30-51.
- 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](http://bcn.boulder.co.us/basin/watershed/wqi_nsf.html).
- Peluso F., Usunoff E., 2004. Administración comunal del medio ambiente en la Argentina: diseño de estrategias para la gestión y la formación de recursos humanos. *Theomai*, Número Especial Invierno de 2004, 16 p.
- Pesce, S. F. y Wunderlin, D. A. 2000. "Use the water quality indices to verify the impact of Córdoba city (Argentina) on Suquía river". *Water Res.* 34 (11), 2915-2926.
- Stambuck-Giljanovic N. 1999. "Water quality evaluation by index in Dalmatia". *Water Res.* 33(16), 3426-3440.
- WHO. 1987. GEMS/ WATER Operacional Guide. World Health Organization. Geneva.

*Artículo recibido el 02/2008 y aprobado para su publicación el 05/2009*