

## DESARROLLO DE UN ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA PARA LA GESTIÓN DEL RECURSO HÍDRICO DE LA CUENCA MATANZA RIACHUELO

*Salvioli Mónica, Guerrero Borges Verónica, Cipponeri Marcos, Larrivey Guillermo*

*UIDET Gestión Ambiental, Departamento de Hidráulica, calle 47 N°200, 1900 La Plata.  
[msalvioli@ing.unlp.edu.ar](mailto:msalvioli@ing.unlp.edu.ar)*

### INTRODUCCIÓN

“Las cuencas constituyen un área en donde interdependen e interactúan, en un proceso permanente y dinámico, el agua con los sistemas físico y biótico” (Dourojeanni, A. *et al.*, 2002). Se trata de sistemas donde interactúan factores naturales cuya dinámica permiten el aprovechamiento productivo y de servicios por parte del hombre. En este contexto, la calidad del agua superficial se encuentra condicionada por un conjunto variado de procesos naturales y de actividades humanas que interactúan entre sí de manera directa e indirecta, por consiguiente, la misma se vincula con el recurso hídrico en sí mismo y con los diferentes usos del territorio que se desarrollan en una cuenca.

La evaluación de la calidad del agua superficial es una estrategia significativa en la planificación y ordenamiento de los usos del suelo y en el establecimiento de medidas estructurales y no estructurales de gestión que tengan como objetivo minimizar el estado de degradación ambiental y mejorar la calidad de vida de la población asociada. En especial en aquellas cuencas de carácter predominantemente urbano.

En este marco, los Índices de Calidad del Agua (ICA) superficial, son instrumentos de gestión útiles para conocer el estado del recurso, analizar la evolución o tendencias espacio-temporales, la eficiencia de programas en ejecución y comunicar de una manera sencilla y de fácil interpretación el estado general del recurso. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 1998) define el concepto de índice como un conjunto agregado o ponderado de parámetros o indicadores, los cuales reducen la información multiparamétrica en un único valor de calidad de fácil interpretación y capacidad de comparación espacio temporal. Se destaca que la información suministrada por los ICA responde a los objetivos de calidad particulares que se pretenden evaluar, que deben definirse previo a su diseño, y que a su vez determinan los parámetros que lo conforman. Si el diseño del ICA es adecuado, el valor obtenido puede representar el estado del sistema, detectar tendencias y ser comparable con otras situaciones; por esta razón, la aplicación de ICAs elaborados *ad hoc* para el recurso hídrico estudiado es más útil que la aplicación de índices antecedentes desarrollados para otros contextos.

Este trabajo presenta el desarrollo metodológico y resultados de aplicación de un índice de calidad del agua superficial (ICAsup) elaborado para la Cuenca del río Matanza-Riachuelo (CMR), Provincia de Buenos Aires, en el marco del Convenio Específico Complementario N°1 entre la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR) y la Facultad de Ingeniería, UNLP, para el desarrollo del “Proyecto para la Evaluación de Indicadores de Calidad de Vida e Índices de Calidad de Aguas en la Cuenca Matanza Riachuelo”, en el período comprendido entre octubre 2014 – abril 2017.

Se trata de una cuenca perteneciente a la Vertiente del Plata (CVdP), localizada en el NE del territorio bonaerense, que presenta un significativo deterioro por intervención antrópica, donde se destaca la urbanización, el uso industrial y rural. El objetivo fue diseñar una herramienta de síntesis y de gestión sobre el estado o condición de la calidad del agua superficial vinculada con la ocupación efectiva del territorio en esta cuenca, capaz de brindar la posibilidad de realizar un análisis espacio temporal de la calidad fisicoquímica y microbiológica del recurso, de transmitir y comunicar resultados y de evaluar la eficiencia de programas de gestión ambiental a escala de cuenca.

## METODOLOGÍA

Previo al diseño del índice, denominado ICAsup (Índice de Calidad del Agua Superficial), se llevó a cabo un relevamiento y análisis de índices de calidad del agua antecedentes a nivel internacional, regional y local, así como de registros de calidad del agua de cursos superficiales incluidos en la CVdP, en diferentes condiciones ambientales de base (baja, moderada o alta intervención), incluyendo la Base de Datos Hidrológica (BDH) de la CMR. Asimismo, se recopiló y analizó la normativa de referencia para la zona de estudio.

El diseño del ICAsup incluyó la secuencia de tres pasos: el primero fue la evaluación y selección de los parámetros a ser integrados, el segundo consistió en la homogeneización (proceso de transformación de los valores de cada parámetro a una escala adimensional de calidad del agua superficial) de los parámetros seleccionados, y el tercero correspondió a su integración o agregación mediante una fórmula o expresión matemática probada, que permitiera calcular el índice.

Por último, se efectuó su validación mediante la correlación con otros ICA e índices de calidad biológica del recurso, aportados por otros autores.

## DESARROLLO

Los parámetros fueron seleccionados en base a criterios tales como usos del suelo, fuentes y naturaleza de afectación de parámetros, estadísticas multiparamétricas basadas en la totalidad de parámetros medidos para la cuenca utilizada como caso de estudio, y normativas de referencia en calidad de agua, principalmente.

Se procuró seleccionar parámetros que ya estuvieran siendo relevados por la Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo (ACUMAR). Los parámetros seleccionados fueron: Oxígeno Disuelto (OD), Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días ( $DBO_5$ ), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Fósforo Total (P total), Nitrógeno Amoniacal (N-NH<sub>4</sub>), Sólidos Suspendidos Totales (SST), Conductividad Eléctrica (CE), *Escherichia coli*, pH, Cromo Total (Cr total) Plomo Total (Pb total) e Hidrocarburos Totales (HCT).

Los mismos fueron normalizados mediante la elaboración *ad hoc* de funciones de calidad específicas para la CHMR, con el objeto de transformar los valores de cada parámetro a una escala adimensional de calidad de agua, entre 0 – 100, que se corresponde con el valor final del ICAsup (tabla 1). Para esto se construyeron escalas de calidad para cada parámetro específicas para la zona de estudio, en base a la recopilación y análisis de información antecedente disponible sobre registros de calidad del agua de cursos superficiales pertenecientes a la vertiente al Río de la Plata, registros de calidad del agua de la BDH (Base de Datos Hidrológica) de la CHMR, valores de referencia establecidos en normativa regional (CHMR), provincial, nacional e internacional, entre otros.

**Tabla 1.-** Escala de calidad del Agua

| Rango Índice (Q) | Clase | Clasificación |
|------------------|-------|---------------|
| 96-100           | I     | Muy Buena     |
| 76-95            | II    | Buena         |
| 51-75            | III   | Media         |
| 26-50            | IV    | Mala          |
| 0-25             | V     | Muy Mala      |

La integración de los parámetros se desarrolló a través de su agrupación en cinco dimensiones (tabla 2):

**Tabla 2.-** Dimensiones y Parámetros

| DIMENSIÓN                                 | PARÁMETROS                 |
|---|----------------------------|
| Carga Orgánica (QO)                       | OD, $DBO_5$ , DQO          |
| Riesgo Sanitario (QS)                     | <i>Escherichia coli</i>    |
| Compuestos Nitrogenados y Fosforados (QN) | P total, N-NH <sub>4</sub> |

| DIMENSIÓN   | PARÁMETROS              |
|---|-------------------------|
| Características Físicas y Sustancias Disueltas (QF) | SST, CE, pH             |
| Tóxicos (QT)  | Cr total, Pb total, HCT |

Seguidamente, dichas dimensiones fueron ponderadas mediante una metodología diseñada *ah hoc*, en el marco del método denominado Proceso Analítico Jerárquico (AHP) (Saaty, 1980). La dimensión correspondiente a tóxicos no fue incorporada en el proceso de ponderación, por tratarse de un grupo de parámetros que presenta diferencias significativas en relación con el resto de los parámetros seleccionados (se trata de compuestos de naturaleza irreversible, no biodegradables, que tienden a bioacumularse y biomagnificarse y que interfieren con procesos fisiológicos y/o ecológicos esenciales para la sustentabilidad de las especies y del ecosistema) y para el cual es difícil establecer comparaciones, en especial prioridades en relación con el resto, por lo que se decidió un tratamiento distintivo en la integración final.

Finalmente, se desarrollaron las ecuaciones 1 y 2 (general y particular para la cuenca, donde se muestran los valores ponderados).

$$ICA_{sup} = [\sum_i^n (Q_i * w_i)] * \lambda Q_t \quad [1]$$

$$ICA_{sup} = [QF*0.096 + QO*0.466 + QN*0.161 + QS*0.277] * \lambda Q_t \quad [2]$$

$$\text{Donde } \lambda Q_t = \begin{cases} 1 & \text{si } Q_t \geq 75 \\ 0.75 & \text{si } 50 < Q_t < 75 \\ 0.50 & \text{si } 25 < Q_t < 50 \\ 0.25 & \text{si } Q_t \leq 25 \end{cases}$$

Esta agregación es una sumatoria ponderada para cuatro dimensiones, con un ajuste de corrección final correspondiente a la dimensión toxicidad. Al resultado del Qica se lo multiplica por el factor de corrección  $\lambda Q_t$ , expresión (2), el cual puede tomar valores de 1, 0.75, 0.50 ó 0.25 en función de las siguientes definiciones o reglas de decisión:

Regla 1: si al menos uno de los parámetros tóxicos tiene valores de  $Q_t$  menor a 25, entonces el valor obtenido de Qica se lo multiplica por  $\lambda Q_t=0.25$ , o sea se reduce al 25 por ciento.

Regla 2: si al menos uno de los parámetros tóxicos se encuentra en la categoría de  $Q_t$  entre 25 a 50 (o sea es de categoría II) entonces el valor del índice de Qica se multiplica por  $\lambda Q_t=0.5$  (o sea es el 50% del valor calculado).

Regla 3: si al menos uno de los parámetros tóxicos se encuentra entre la categoría 50 a 75, entonces el Qica se multiplica por  $\lambda Q_t=0.75$  (o sea es el 75% del valor calculado).

Regla 4: si ningún parámetro está por debajo de valores de  $Q_t$  de 75 se multiplica por 1, entonces queda el valor del Qica.

Con este ICA se pueden realizar representaciones gráficas para análisis espaciales y temporales (ejemplo presentado en figura 1). Asimismo, el modo de cálculo del  $ICA_{sup}$  permite visualizar la contribución de cada dimensión a su valor final, posibilitando el análisis en detalle de las dimensiones y brindando mayor definición para el establecimiento de prioridades en la gestión de cuencas (figura 5).

## VALIDACIÓN

Para la validación, en primer lugar, se calcularon los valores del  $ICA_{sup}$  a partir de los parámetros registrados en la base de datos de ACUMAR. Se seleccionaron 38 estaciones con registros trimestrales de los parámetros requeridos, para el período 2008–2016, distribuidos en toda la cuenca. La distribución de estaciones, con resultados de aplicación, se aprecia en figura 1.

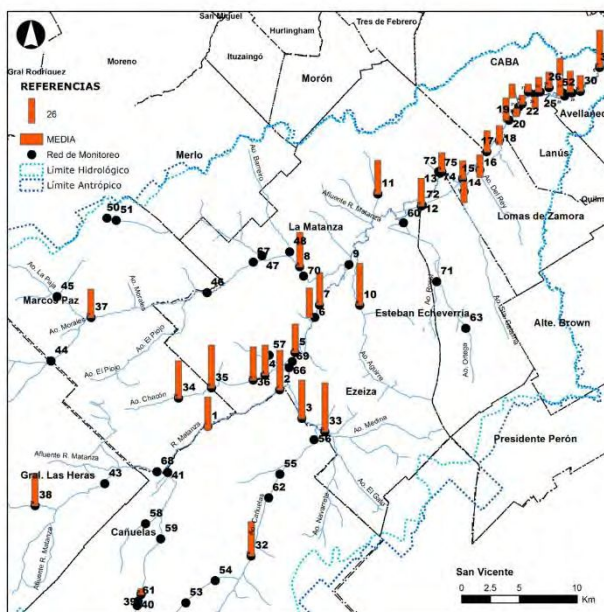


Figura 1.- Estaciones de muestreo y valores ICA sup. Cuenca de estudio

Posteriormente, el ICA sup fue correlacionado con dos tipos de índices: uno de calidad fisicoquímica y microbiológica y otro biológico. Para el primer tipo se utilizó el Índice de la Fundación Nacional de Saneamiento (INSF) (Brown et al., 1970), internacional y de amplia utilización. La escala entre 0 – 100 establece que a mayor valor, mejor es la calidad del agua. Su correlación con el ICA fue significativa con un  $R = 0,7654$  ( $F = 485,301$ ),  $R^2 = 0,585$  ( $df = 1,343$ ), No. de casos: 345,  $p = 0,00$ . Error estándar de la estimación: 10,294 (figuras 2 y 3).

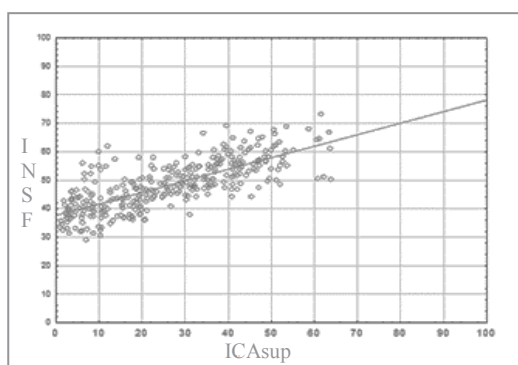


Figura 2.- Correlación entre ICA sup e INSF. Cuenca de estudio

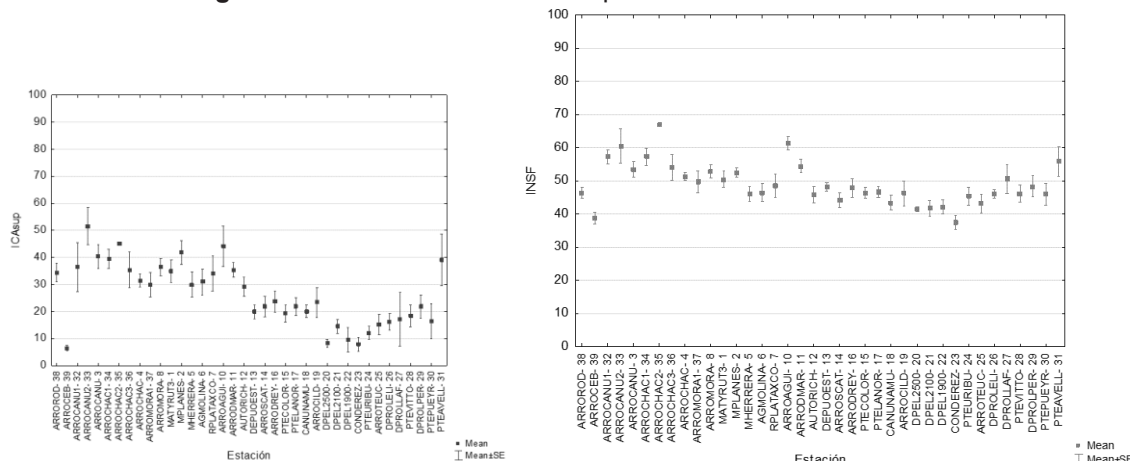


Figura 3 a y b.- Valores de media y error estándar del ICA sup e INSF para cada estación

Para el segundo se utilizó un índice desarrollado por el Instituto de Limnología “Dr. Raúl Ringuelet” de la UNLP) y aplicado en la CHMR: el Índice Biótico para Ríos Pampeanos (IBPamp - Rodríguez Capítulo et al., 2001). Este es un índice regional propuesto para ríos y arroyos del área pampeana, el cual considera los diferentes grados de sensibilidad de los macroinvertebrados acuáticos autóctonos, como así también el número de especies presentes en cada sitio evaluado. Se basa en la tolerancia diferencial de los organismos a la contaminación. La escala varía entre 1 y 13; valores cercanos a 13 indican buena calidad. Para la cuenca los valores más altos fueron menores a 8 para este índice.

Su correlación con el ICAsup fue significativa, con un  $R=0,58$  ( $F=89,19$ ),  $N^{\circ}$  casos 181,  $P=0.00$ ; Error estándar de la estimación 1,68 (figura 4).

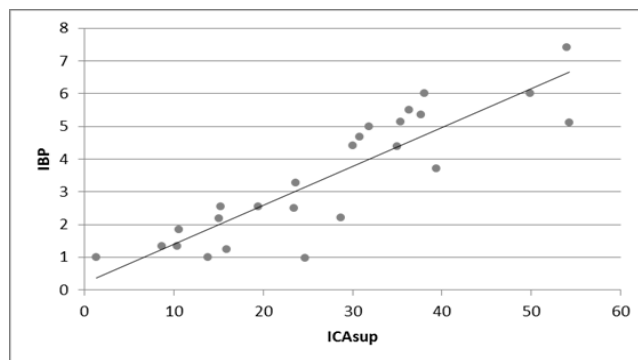


Figura 4.- Correlación entre ICAsup e IBPamp. Cuenca de estudio

## RESULTADOS

Como resultado de la aplicación en la CHMR, se obtuvieron valores del ICAsup entre los rangos de calidad muy malo y malo. Pocas estaciones reflejaron valores medios. No se presentaron valores buenos y muy buenos. Ver figura 1.

El ICAsup y el INSF responden a un mismo comportamiento si comparamos cada estación (figura 2 a y b), sin embargo, en general, el INSF presenta valores de calidad mayores que el ICAsup y un menor poder de discriminación entre estaciones; asimismo los valores son más homogéneos entre estaciones; mientras que el ICAsup logra mejor la separación entre estaciones, resultando en una mayor sensibilidad respecto del INSF. Esto se debe a la selección de los parámetros, los pesos relativos de cada dimensión, y la incorporación de los tóxicos al índice. Algunas de las estaciones muestran menores valores debido a que presentan una alta carga de tóxicos, que en el INSF no se consideran.

Los resultados de la validación con el índice IBPamp, muestran que en las estaciones donde se contó con el valor del índice biológico, los resultados del ICAsup presentaron una correlación significativa (figura 3). Las estaciones con mayor valor del ICAsup también mostraron una mejor condición del índice biótico. En ambos casos ninguno de los índices alcanzó los valores máximos de calidad: para el IBPamp los valores fueron menores a 8 (sobre un máximo de 13) y para el ICAsup menores a 70 (sobre un máximo de 100).

La figura 5 presenta resultados del ICAsup en un sector de la cuenca, para una fecha determinada, con la discriminación de valores de cada dimensión, de modo de visualizar el aporte de cada una en el valor final del ICAsup.



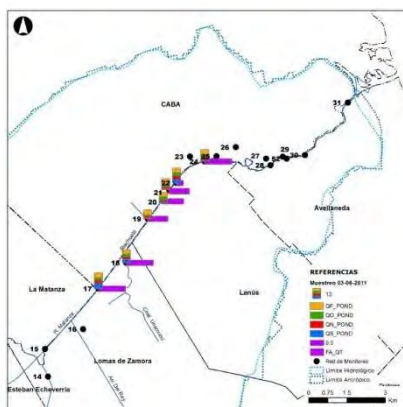


Figura 5.- Contribución de dimensiones al ICAsup

En esta figura se visualiza la contribución de cada dimensión al valor final del ICAsup y el ajuste por el valor de la dimensión tóxica.

## CONCLUSIONES

El ICAsup desarrollado *ad hoc* se considera una herramienta diagnóstica, de seguimiento, planificación y comunicación válida y de fácil aplicación que integra parámetros representativos de usos del suelo dominantes en la CHMR. Se distingue la construcción *ad hoc* de curvas y funciones de calidad del agua superficial para los parámetros seleccionados, específicas para la zona de estudio; así como la incorporación de tóxicos en su agregación final.

Los valores obtenidos con la aplicación del ICAsup se presentan entre los rangos de calidad muy malo y malo. Pocas estaciones reflejan valores medios. No se presentan valores buenos y muy buenos.

La comparación del ICAsup con dos índices antecedentes (INSF e IBPamp) permite validar el índice, ya que los resultados obtenidos son coherentes. Los valores de los índices para los tres casos muestran que la mayoría de las estaciones se encuentran en las categorías de muy mala y mala calidad para el ICAsup, mala y aceptable para el INSF y dentro de la categoría de contaminación fuerte y muy fuerte para el IBPamp, lo cual demuestra consistencia entre los tres índices. Existe buena correlación entre el IBPamp y el ICAsup.

La aplicación de este índice demanda el registro completo de todos los parámetros incluidos en el índice; por lo tanto, es un requisito relevante la medición periódica y sistemática de dichos parámetros para que el ICAsup pueda cumplir con los objetivos planteados tanto en el espacio como en el tiempo.

## REFERENCIAS

Brown, R., R. M. Brown, N. I. McClelland, R. A. Deininger and R. G. Tozer (1970). "A Water Quality Index- Do We Dare?". *Water and Sewage Works*, Vol. 117, No. 10, 1995, pp. 339-343.

Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) (1998). *Towards Sustainable Development: Environmental Indicators*. Organization for Economic Cooperation and Development.

Dourojeanni A, A Jouravlev & G. Chavez (2002). "Gestión del agua a nivel cuencas: teoría y práctica". *División de Recursos Naturales e Infraestructura. Serie 47. CEPAL*, Naciones Unidas. Santiago de Chile. 83 pp.

Rodriguez Capítulo, A., Tangorra, M. and C. Ocón (2001). "Use of benthic macroinvertebrates to assess the biological status of Pampean streams in Argentina". *Aquatic Ecology*. 35: 109-119 pp.

Fernández Parada, N.J. y F. Solano Ortega (2005). *Índices de calidad y de contaminación del Agua*. ISBN 958-33-7810-0. 142 pp.