

PID 2136

Índices de Calidad del Agua del Arroyo Ensenada

Kieffer¹, Luis; de la Sierra¹, Patricia; Vivot², Eduardo P.; Sánchez², Cecilia I.; Prósperi³, Carlos; Gioco², Adriana M.; Dragan², Analía N.; Ormaechea², María, V.; Guerra², Elio W.

AUTORES: ¹ INTEC (UNL – CONICET). Güemes 3450 (3000). Santa Fe. Argentina. Facultad de Ing. y Cs Hídricas (UNL). Paraje El Pozo. Santa Fe. Argentina.

² Fac. de Cs. Agropecuarias (UNER). Ruta Prov. 11, km 10 (3101). Oro Verde. Entre Ríos. Argentina.

³ Fac. de C.E.F. y Naturales (UNC). Av. Vélez Sársfield 299 (5000). Córdoba. Argentina.

CONTACTO: lkieffer@santafe-conicet.gov.ar

Resumen

El agua dulce necesaria para la vida del hombre se encuentra en forma subterránea o superficial y ambas son vulnerables a la degradación por incorporación de contaminantes derivados especialmente de las actividades antropogénicas. La conveniencia de realizar una evaluación continua de la calidad del agua, tanto desde el punto de vista económico como recreacional, permitirá detectar cambios que suceden en estas fuentes, ya sea por causas naturales y/o humanas, con el objetivo de preservar o remediar las problemáticas emergentes. El trabajo se realizó sobre el arroyo de la Ensenada, ubicado en el departamento Diamante, provincia de Entre Ríos, y constituye un tributario del Río Paraná. El análisis mediante monitoreo de sus principales parámetros cuya información sobre las diversas variables de la fase acuosa o sedimentaria, la cual puede ser utilizada para establecer la aptitud ó calidad del mismo. Dado que dichas variables son numerosas, se hace difícil sintetizar toda la información y hacerla comprensible para la opinión pública. Es por ello que se utilizan como herramientas sintetizadoras de información, los denominados Índices de Calidad del Agua (ICA), que sintetizan la expresión de la calidad del agua en un solo valor, resultante de ecuaciones predictivas, obtenidas a partir de un conjunto seleccionado de variables provenientes de los ambientes acuáticos.

Palabras clave: Calidad del agua, Arroyo Ensenada, Índice de la Calidad del Agua

I. Introducción

El agua como recurso imprescindible para la vida y el desarrollo de los pueblos se ha convertido en un componente crítico cuya disponibilidad, en cantidad y calidad, constituye un recurso limitante para las futuras generaciones. El agua dulce utilizable y accesible para el hombre se encuentra en forma subterránea ó superficial, y ambas vulnerables a distintas acciones contaminantes, principalmente surgidas por la actividad humana. La creciente demanda del recurso ha determinado la imperiosa necesidad de conocer el estado de los cuerpos de agua como asimismo evaluar sus potencialidades, estudios que involucran la determinación de un conjunto de parámetros significativos que influyen en las aptitudes de los cuerpos de agua.

En tal sentido, y en el marco de un trabajo más amplio, se llevó a cabo la evaluación de la calidad del agua del arroyo de la Ensenada (Dpto. Diamante-E. Ríos) y sus tributarios mediante monitoreo de sus principales parámetros cuya información sobre las diversas variables de la fase acuosa o sedimentaria, la cual puede ser utilizada para establecer la aptitud ó calidad del mismo. Mediante muestreos estacionales durante dos años en las aguas superficiales del arroyo en cuatro sitios para la determinación de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos utilizando métodos estandarizados. Los resultados han permitido la caracterización hidroquímica del curso, para hacer comprensible esta información a la opinión pública, se utilizan Índices de Calidad del Agua (ICA), que sintetizan la expresión de la calidad del agua en un solo valor, resultante de ecuaciones predictivas, obtenidas a partir de un conjunto seleccionado de variables provenientes de los ambientes acuáticos. Son numerosos los ICAs que se utilizan y revisan constantemente dando lugar a la aparición de otros que revelan nuevos enfoques (Dinius, 1987; Said, 2004; Debels et al, 2005; Khan et al, 2005; Jiménez y Vélez, 2006; Sanchez et al, 2007; UNEP-GEMS, 2007; dos Santos Simoes, 2008; Avvanavar y Shrihari, 2008; Samantray, P et al., 2009; Yidama y Yidama, 2009; Yisa y Jimoh, 2010; Díaz Cano, 2010; Akoteyon et al., 2011)[1]- [14] .

Este trabajo pretende establecer un índice de calidad que sintetice parte de la información obtenida en los muestreos efectuados sobre las aguas del arroyo de la Ensenada y sus tributarios a fin de obtener un indicador pasible de usarse con posterioridad para comunicar la evolución de la calidad del recurso.

II. Materiales y métodos

II.1. Área de estudio

Se estudió la cuenca del Arroyo Ensenada ubicado en el departamento Diamante (Entre Ríos), atravesándolo en el sentido noroeste para desembocar en el río Paraná en su margen izquierda. Es un arroyo característico del paisaje entrerriano por sus saltos de gran valor paisajístico, su recorrido sinuoso y recodado que forma pequeños senos. Su acción erosiva ha formado cañadones con altas barrancas que suele desbordar en épocas de grandes lluvias. Esta cuenca tiene un drenaje de 788,3 km² siendo la longitud del cauce principal de 45,8 km y con sus tributarios alcanza un total de 517 km, indicando la importancia de la contribución de éstos últimos al arroyo principal. La pendiente media es de 2,27 m km⁻¹ y la densidad de drenaje de 0,656 L km⁻¹, con un desnivel máximo de 104 m.

Geológicamente presenta suelos muy heterogéneos desarrollados sobre materiales limo-calcáreos que afloran en la divisoria de agua de los arroyos. Los suelos con presencia de sedimentos loésicos y la topografía del terreno han determinado en ciertas zonas la formación de bancos de arenas.

El clima de la región es templado húmedo de llanura con una temperatura que oscila entre 24,7 °C en enero y 12 °C en julio, con una amplitud térmica de 12,7 °C. La precipitación medio anual es cercana a los 1000 mm, siendo el mes de marzo el más lluvioso, y el menos lluvioso julio. (Carta de Suelos de la provincia de Entre Ríos, 1991)[15].

El sistema productivo dominante es el agrícola, y en menor medida la ganadería. La avicultura y la apicultura son actividades que se han consolidado en los últimos años.

II.2. Índices de calidad utilizados

Se analizaron tres Índices de Calidad del Agua para el arroyo de la Ensenada (ICAAE1, ICAAE2 e ICAAE3).

II.2.1. ICAAE1

Se tomó como base el índice de calidad del agua canadiense (CWQI)[7][16], pero se usaron los niveles guías regionales [17][18]. El índice se calcula a través de tres subíndices, según:

$$ICAAE1 = 100 - \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}$$

Donde el subíndice F_1 representa el porcentaje de parámetros que exceden los niveles guías y se calcula de acuerdo a:

$$F_1 = \frac{\text{nº de parámetros que exceden los niveles guía}}{\text{nº total de parámetros}} \cdot 100$$

El subíndice F_2 representa el porcentaje de test individuales dentro de cada parámetro, que excede los niveles guía, calculándose mediante:

$$F_2 = \frac{\text{nº de test que exceden los niveles guía}}{\text{nº total de test realizados}} \cdot 100$$

Finalmente el subíndice F_3 indica la magnitud del exceso de un test respecto al nivel guía. Se calcula en tres pasos: en primer lugar, se determina la "excursión", que es una relación entre el valor determinado de acuerdo a:

$$\text{excursión} = \left(\frac{\text{valor determinado del parámetro}}{\text{valor guía}} \right) - 1$$

Luego se calcula la suma normalizada de las excursiones (s.n.e.) de acuerdo a:

$$s.n.e. = \frac{\sum \text{excursiones}}{\text{nº total de test}}$$

Finalmente se calcula el subíndice F_3 escalando las.n.e. entre un valor de 1 y 100:

$$F_3 = \frac{s.n.e.}{0.01 s.n.e. + 0.01}$$

El índice agregado ICAAE1 toma valores entre 1 (la peor calidad) y 100 (la mejor calidad). Para interpretar la calidad del recurso de acuerdo a sus valores, se utiliza la tabla sugerida en el CWQI, a saber:

Valor del índice ICAAE1	Interpretación
95 - 100	Excelente
80 - 94	Buena
65 - 79	Media
45 - 64	Marginal
0 - 44	Pobre

TABLA 1. Interpretación de los valores del ICAAE1

Para el cálculo del ICAAE1 se utilizaron los siguientes parámetros: pH, porcentaje de saturación de oxígeno, cloruros, sulfatos, sodio, dureza total, sólidos disueltos totales, nitratos, demanda química de oxígeno, arsénico, mercurio, plomo, cadmio, coliformes totales, coliformes fecales y clorofila a.

A fin de agilizar su utilización, se implementó el cálculo del ICAAE1 en una planilla Excel.

II.2.2. ICAAE2

Para el desarrollo del ICAAE2 se tomó como base el correspondiente al estado de Oregón (EEUU) (owqi), en el cual se utiliza la metodología Delphi [19]. La metodología Delphi es una técnica basada en la opinión de expertos que se retroalimentan, con el fin de obtener la opinión más consensuada de un grupo de personas [20], [21]. El índice owqi original utilizaba una transformación logarítmica para convertir los valores de las variables de calidad del agua en subíndices [22]. Si bien la utilización del owqi fue discontinuado por su costo operacional al tener que calcularlo manualmente, los adelantos computacionales dieron nuevas herramientas que hicieron posible su revisión, actualización y reutilización [23], [24], [25].

Para el ICAAE2 se tomaron 6 variables, a saber: pH, oxígeno disuelto, nitratos, demanda bioquímica de oxígeno, plomo y arsénico. Para las variables pH, o.d. y DBO, los subíndices se calculan de acuerdo a la propuesta del owqi corregido [22], mientras que para las otras tres variables, la propuesta de cálculo de los subíndices proviene de nuestro grupo de trabajo.

II.2.2.1. Subíndice de oxígeno disuelto (SIOD)

El subíndice tiene en cuenta el crecimiento y mantenimiento de la población ictícola, así como los traumas gaseosos que pueden sufrir los peces, frente a condiciones de sobresaturación. Por ello, si la saturación de oxígeno disuelto es igual o inferior al 100%, se utiliza la concentración de oxígeno disuelto, mientras que en el caso de ser > 100% el subíndice se basa en la sobresaturación (en el desarrollo original del owqi se utilizaban únicamente los valores de saturación).

Si $\%SOD \leq 100\%$

a - 1) Si: $3.3 \text{ mg/l} < OD < 10.5 \text{ mg/l}$

$$SIOD = -80.28954 + 31.88249 * OD - 1.400999 * OD^2$$

a - 2) Si: $10.5 \text{ mg/l} < OD$

$$SIOD = 100\%$$

a - 3) Si: $100 < \%SOD$

$$SIOD = 0.0028 * \%SOD^2 - 1.5248 * \%SOD + 223$$

II.2.2.2. Subíndice de la demanda bioquímica de oxígeno (SIDBO)

Se calcula en base a las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 & b2 - 1) \text{ Si } DBO < 8 \text{ mg/l} \\
 & SIDBO = 100 * \exp(DBO * (-0.199314)) \\
 & b2 - 2) \text{ Si } DBO > 8 \text{ mg/l} \\
 & SIDBO = 10
 \end{aligned}$$

II.2.2.3. Subíndice de pH (SlpH)

El subíndice tiene en cuenta la protección de la vida acuática, así como los posibles cambios debido a las diferencias naturales de origen geológico.

$$\begin{aligned}
 & b3 - 1) \text{ Si } pH < 4 \quad SlpH = 10 \\
 & b3 - 2) \text{ Si } 4 \leq pH < 7 \quad SlpH = 2.628419 * \exp(pH * 0.520025) \\
 & b3 - 3) \text{ Si } 7 \leq pH = 8 \quad SlpH = 100 \\
 & b3 - 4) \text{ Si } 8 < pH < 11 \quad SlpH = 100 * \exp((pH-8)*(-0.5187742)) \\
 & b3 - 5) \text{ Si } 100 < pH \quad SlpH = 10
 \end{aligned}$$

II.2.2.4. Subíndice del nitrógeno de nitratos (SIN)

El subíndice del nitrógeno de nitratos, se basa en las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 & b4 - 1) \text{ Si } N \leq 3 \text{ mg/l} \quad SIN = 100 * \exp(N * (-0.460512)) \\
 & b4 - 2) \text{ Si } 3 \text{ mg/l} < N \quad SIN = 10
 \end{aligned}$$

II.2.2.5. Subíndice del arsénico (SIAs)

Este indicador (al igual que el siguiente), tiene en cuenta la posible incidencia en la salud de las personas. Se calcula de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}
 & b5 - 1) \text{ Si } As \leq 5 \text{ } \mu\text{g/L} \quad SIAs = 100 \\
 & b5 - 2) \text{ Si } As > 5 \text{ } \mu\text{g/l} \quad SIAs = 128 * \exp(As * (-0.026))
 \end{aligned}$$

II.2.2.6. Subíndice del plomo (SIPb)

Las ecuaciones a utilizar son:

$$\begin{aligned}
 & b6 - 1) \text{ Si } Pb \leq 1 \text{ } \mu\text{g/l} \quad SIPb = 100 \\
 & b6 - 2) \text{ Si } Pb > 1 \text{ } \mu\text{g/l} \quad SIPb = 89.209 - 20.54 * \ln(Pb)
 \end{aligned}$$

II.2.2.7. Agregación y cálculo del ICAAE2

A fin de evitar las subjetividades que representa asignar un determinado peso a cada uno de los subíndices (lo que lleva a impartir importancia diferente a cada variable), en la versión revisada del owqi se propone calcularlo mediante una función promedio armónico cuadrada no ponderada. Además se demostró (utilizando conjuntos de datos reales e ideales), que dicha agregación es más sensible a los cambios de cada variable. Por este motivo, en el ICAAE2 se utilizó el mismo método, es decir:

$$ICAAE2 = \sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{SI^2}}}$$

donde: SI : valor del subíndice para cada parámetro;
 n : cantidad de subíndices

II.2.2.8. Calificación del tipo de agua, de acuerdo al ICAE

Se utiliza el criterio de clasificación del ICAAE1. Su cálculo está también programado en una planilla Excel.

II.2.3. ICAAE3

La aplicación de un índice de calidad del agua agregado, como los descritos anteriormente, puede llevar en algunos casos a cometer arbitrariedades al categorizar a un cuerpo de agua. Esto llevó a plantear un “sistema de límites abiertos”, “difusos” o “borrosos”, el cual permite tener en cuenta el aspecto probabilístico del sistema. El mismo se basa en definir curvas para cada variable/parámetro en lugar de un único valor. Por ejemplo, el índice de contaminación trófica (ICOTRO) (Jiménez y Vélez, 2006)[5] utiliza cuatro tipos o clases de calidad del agua para el caso de la variable fósforo total, las cuales podrían visualizarse según la Figura 1, donde la clase 1 (C1) representa un cuerpo de agua oligotrófico, la clase 2 (C2) uno mesotrófico, la clase 3 (C3) indica eutrófico, mientras que la clase 4 (C4) hipereutrófico.

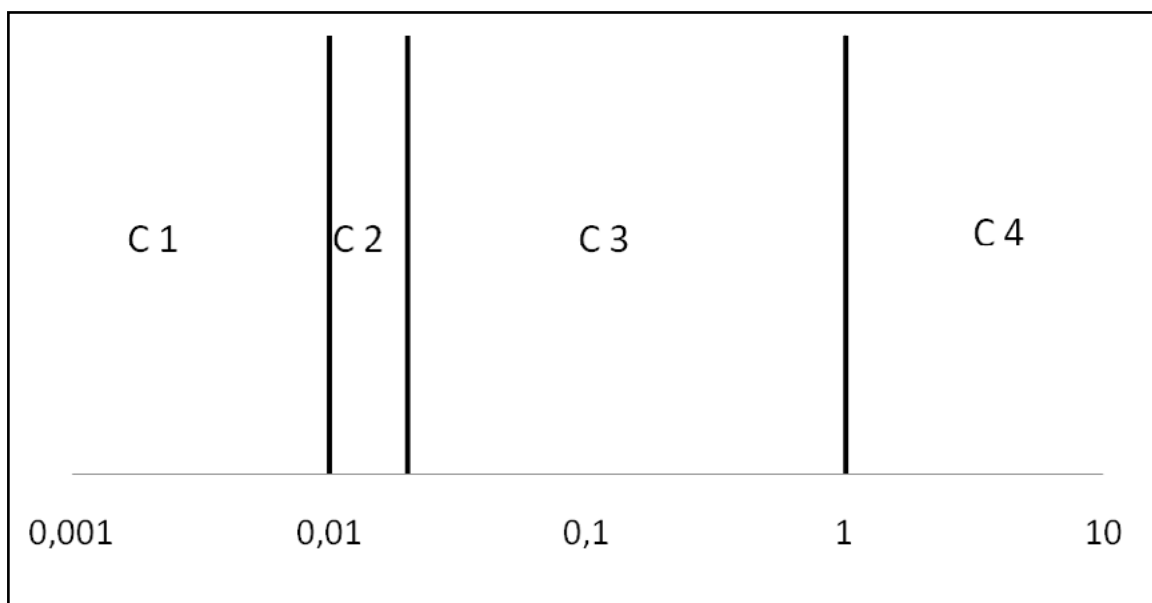


FIGURA 1. Clases de calidad del agua según la variable fósforo total (expresado en g/m^3).

Pequeños cambios en los valores de concentración de fósforo total, por ejemplo de 0.0195g/m^3 a 0.0205g/m^3 , hacen que el sistema de calificación pase de una calidad del agua mesotrófica a uno de eutrófica. La utilización de la lógica difusa por el contrario, permite una variación gradual de las clases, con diferentes porcentajes de pertenencia a las mismas. El beneficio principal de utilizar esta metodología consiste en reducir la imprecisión e incertidumbre en los criterios de decisión empleados [26][27][28]. Esto hace que ésta técnica haya sido empleada profusamente en temas de calidad del agua [209][30][31][32][33].

La teoría de los conjuntos difusos se utiliza para modelar sistemas complejos en medios inciertos e imprecisos [34]. La lógica difusa utiliza conjuntos con límites poco claros, y puede usarse para mapear entradas a salidas apropiadas siguiendo el esquema de la Figura 2.

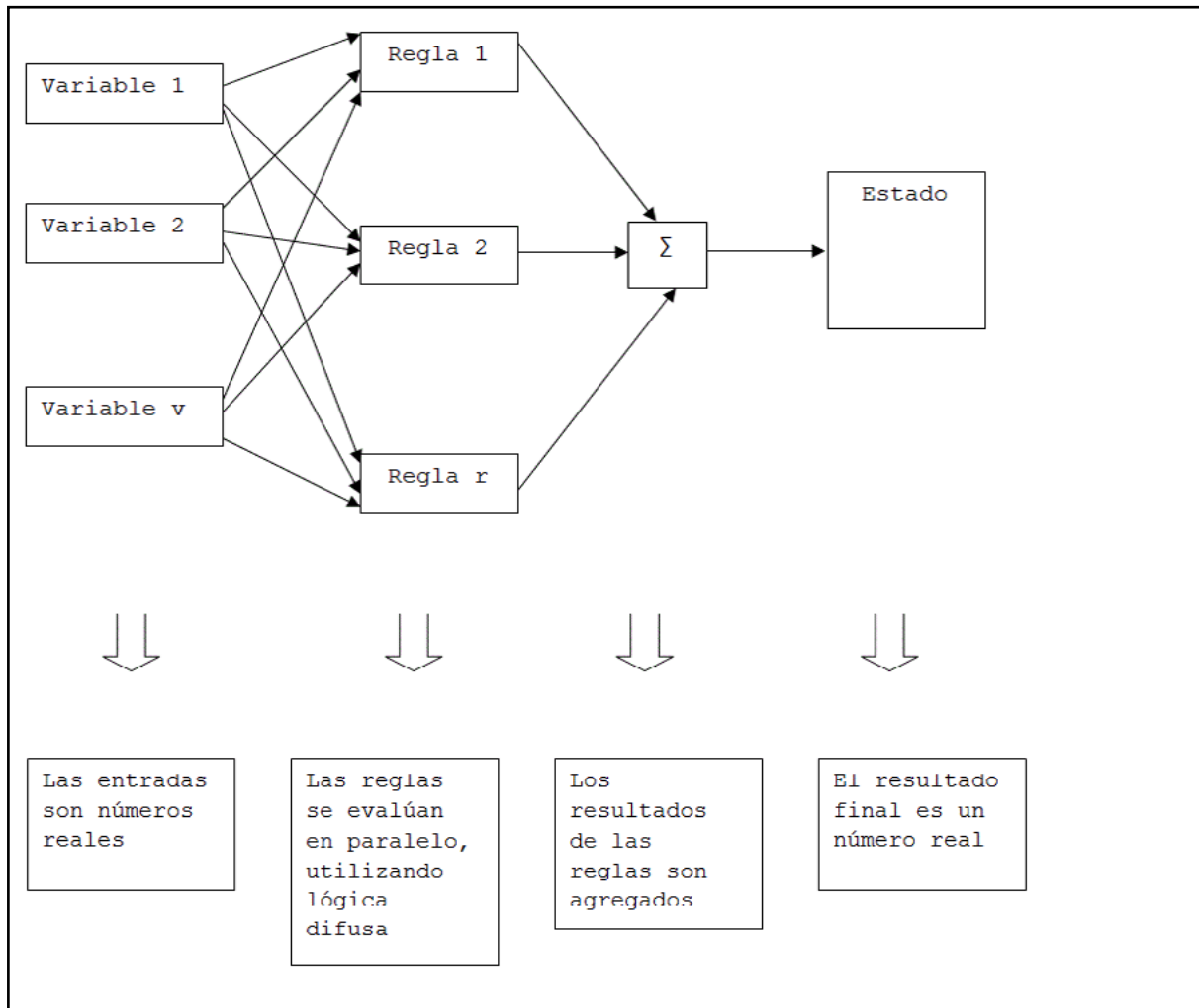


FIGURA 2. Esquema de lógica difusa (modificado de Ocampo-Duque et al., 2006)[35].

La construcción del índice mediante esta metodología se efectúa utilizando la herramienta Fuzzy de MatLab®. En las Figuras 3 a 7 se muestran las funciones de pertenencia para las cinco variables de entrada utilizadas en la construcción de este índice (pH, porcentaje de saturación de oxígeno disuelto, nitratos, demanda química de oxígeno y coliformes fecales), así como la variable de salida (el índice de calidad del agua ICAAE3).

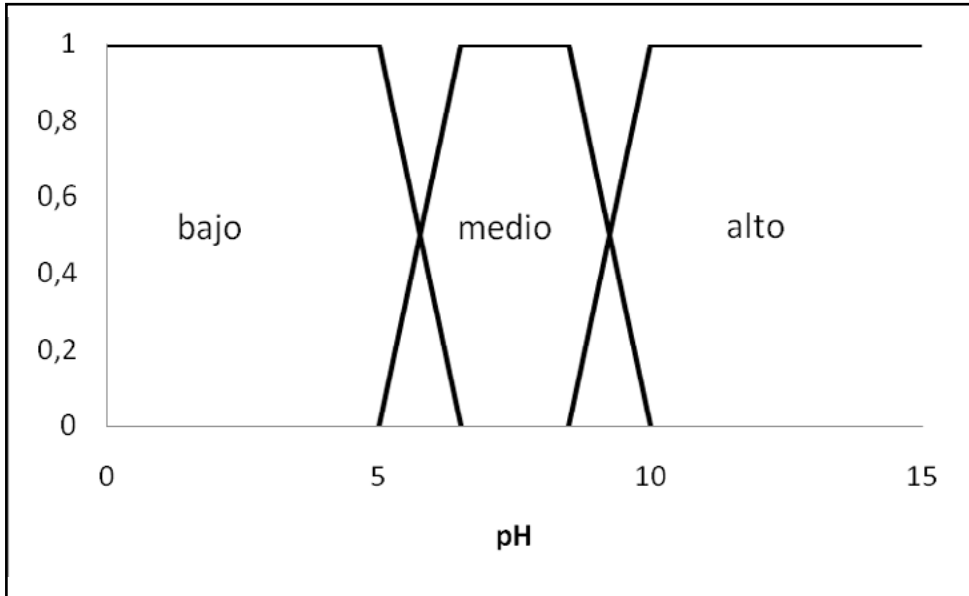


FIGURA 3. Funciones de entrada para el pH

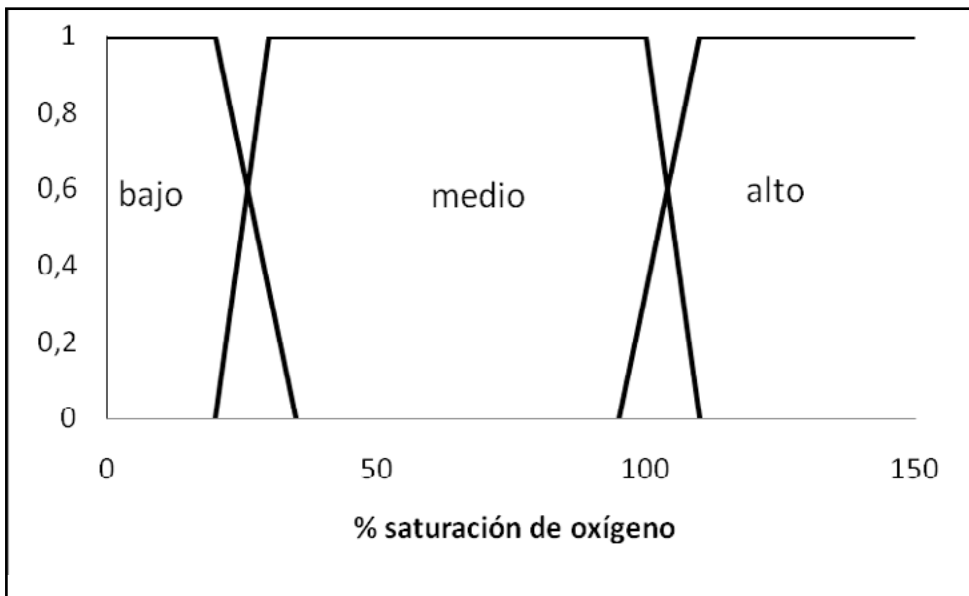


FIGURA 4. Funciones de entrada para porcentaje de saturación de oxígeno

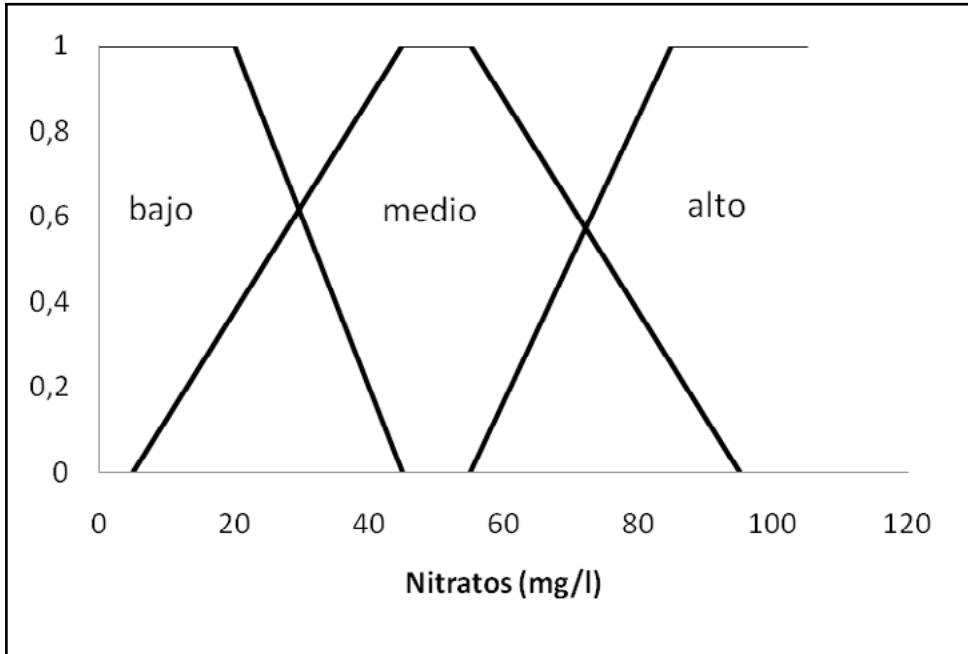


FIGURA 5. Funciones de entrada para los nitratos.

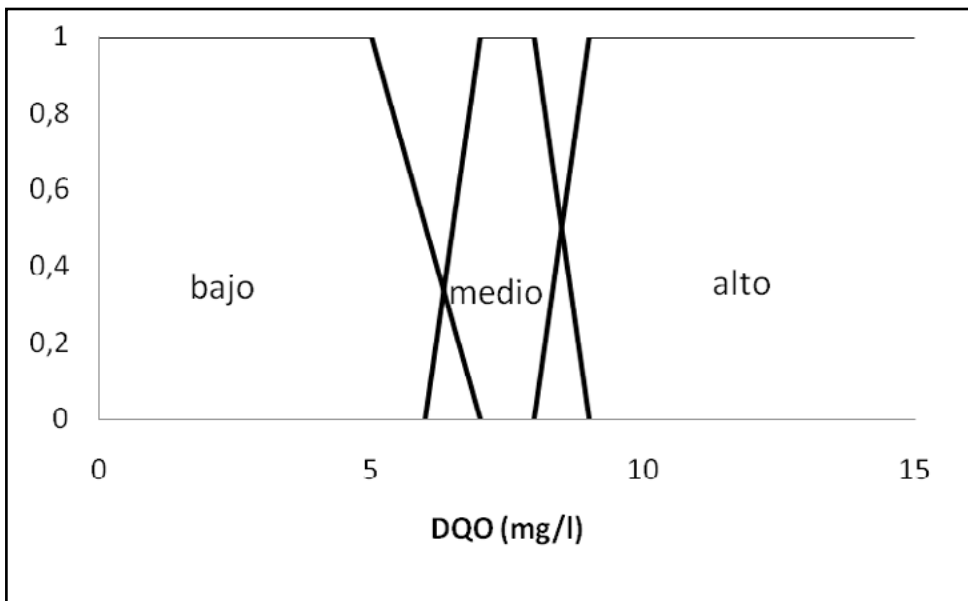


FIGURA 6. Funciones de entrada para la demanda química de oxígeno

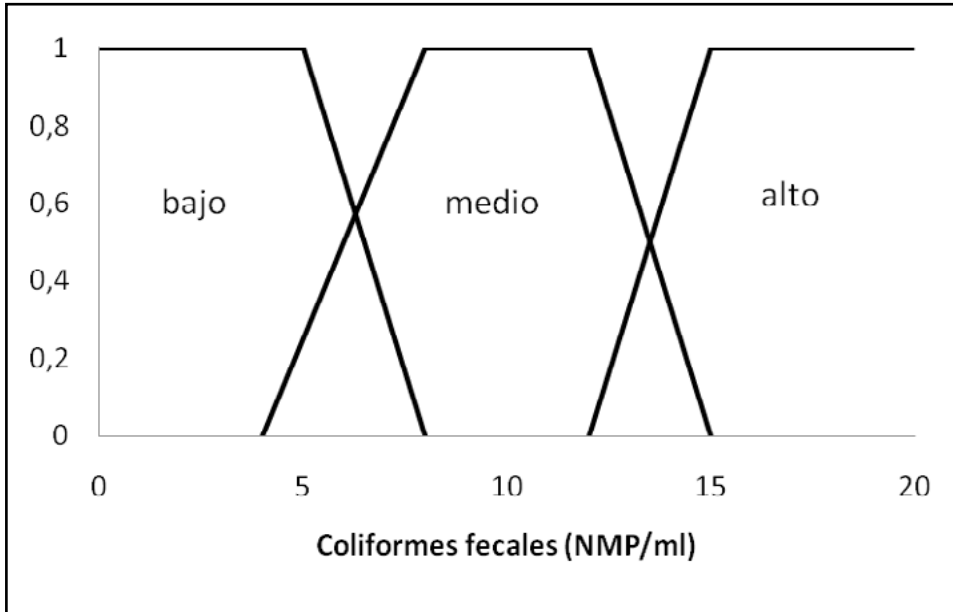


FIGURA 7. Funciones de entrada para los coliformes fecales

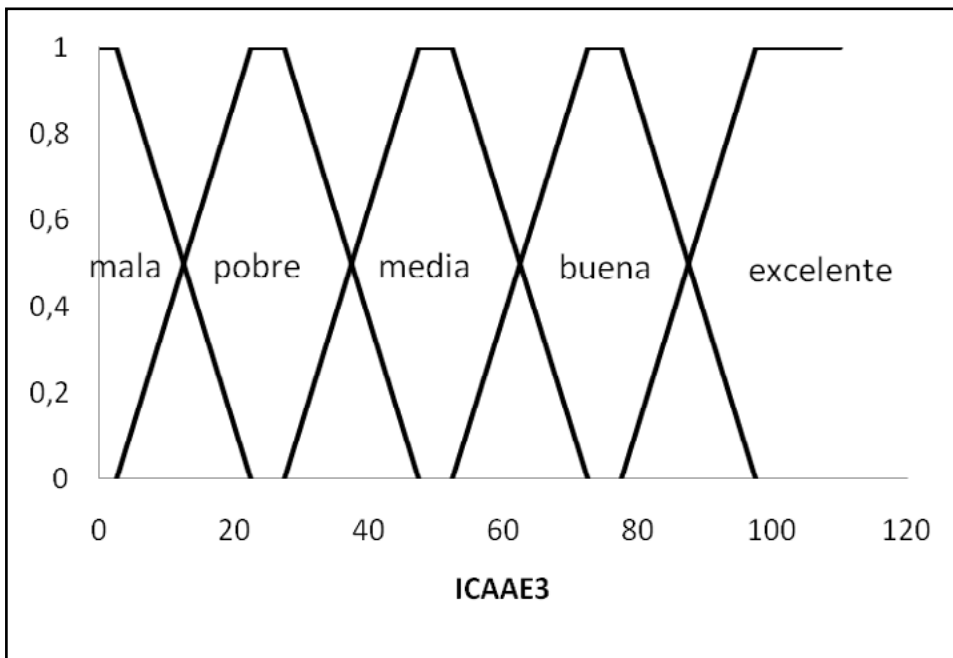


FIGURA 8. Funciones de salida para el ICAAE3

Con el fin de calcular el valor del ICAAE3, se escribieron 155 reglas del tipo:

If (pH is medio) and (SatO2 is medio) and (Nitratos is bajo) and (DQO is bajo) and (ColiFec is bajo)
then (ICAAE3 is excelente)

Estas 155 reglas son evaluadas en paralelo utilizando razonamiento difuso. Los resultados de la evaluación de estas reglas se combinan y defusifican para obtener un porcentaje de pertenencia a una dada calificación de calidad del agua.

III. Resultados

III.1. ICAAE1

En la Figura 9 se muestra el valor del índice de calidad para cada fecha de muestreo. Para el cálculo del mismo, se utilizaron todas las muestras de una misma fecha, con lo que el valor que se obtiene, resulta un índice de calidad promedio de toda la cuenca del Ensenada (arroyo de la Ensenada más sus tributarios) para cada fecha de muestreo.

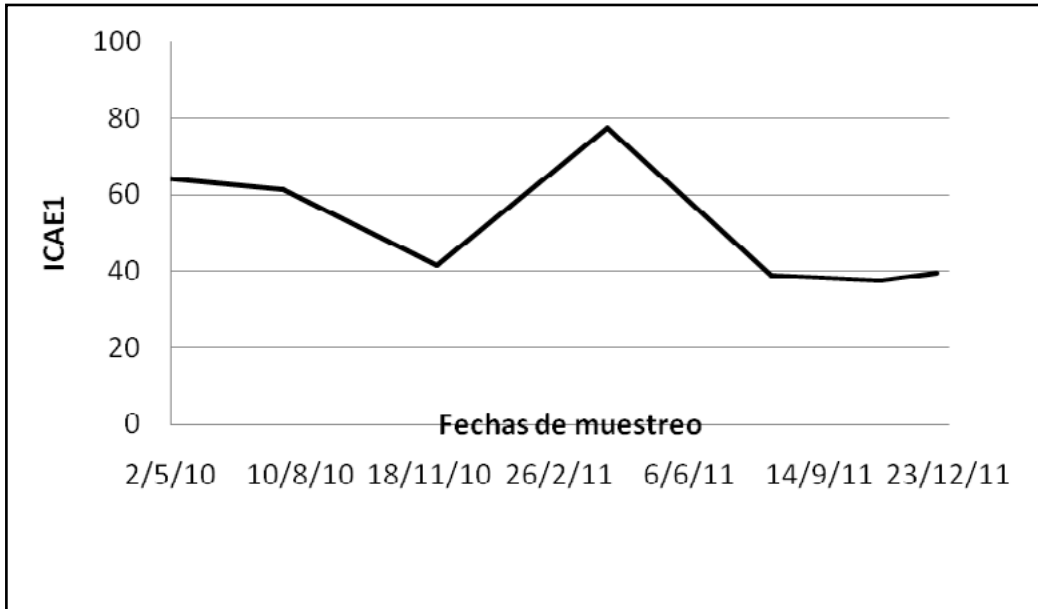


FIGURA 9. Valor del índice de calidad (ICAAE1) para toda la cuenca.

En las Figuras 10 y 11 se muestran por separado, los valores del índice para el Ensenada y sus tributarios, tomando para cada punto, todas las fechas de muestreo. Se obtiene de esta manera un valor promediado en el tiempo de la calidad del agua en cada sitio.



FIGURA 10. Valor del ICAAE1 para sitios del arroyo Ensenada

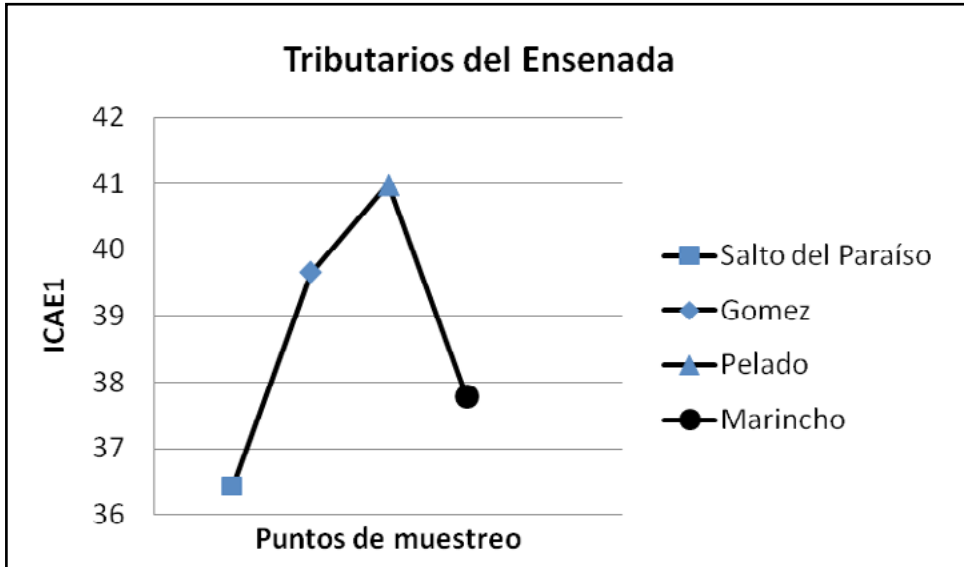


FIGURA 11. Valor del ICAAE1 para tributarios del arroyo Ensenada

III.2. ICAAE2

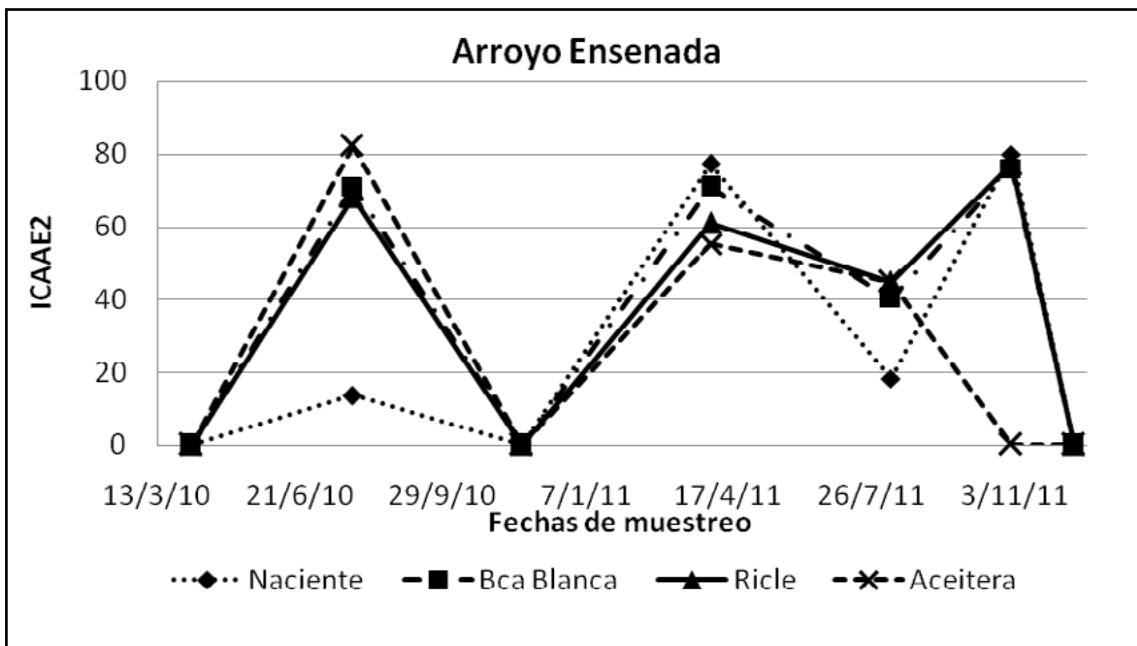


FIGURA 12. Valor del ICAAE2 para diferentes sitios y fechas para el arroyo Ensenada.

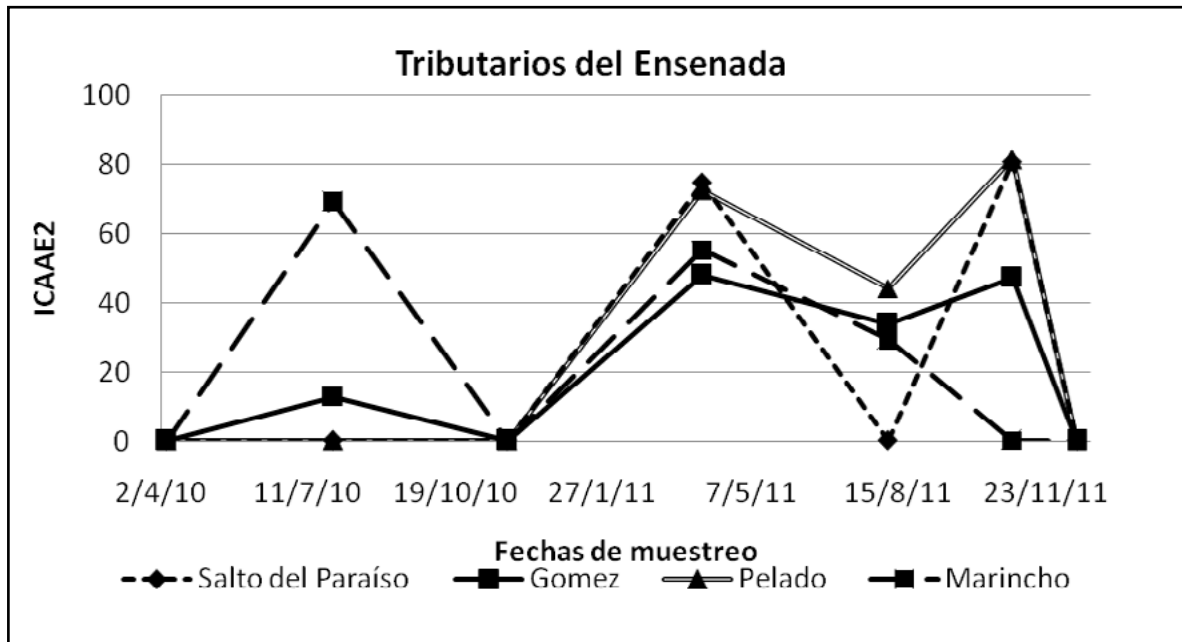


FIGURA 13. Valor del ICAAE2 para diferentes fechas y tributarios del arroyo Ensenada.

En la Figura 12 se muestran los valores del ICAAE2 para los diferentes sitios muestreados del arroyo Ensenada, calculados para cada una de las fechas de muestreo; mientras que en la Figura 13 los correspondientes a los tributarios.

III.3. ICAAE3

Los resultados muestran los sitios de prevalencia de calidad, según se observa en las Tablas 2 y 3 para el arroyo principal y los tributarios.

Punto de muestreo	Fecha	Mala	Pobre	Media	Buena	Excelente
Naciente	06/04/2010	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Naciente	28/07/2010	0.0	0.0	14.9	85.1	0.0
Naciente	23/11/2010	61.4	38.6	0.0	0.0	0.0
Naciente	04/04/2011	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Naciente	08/08/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Naciente	31/10/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Naciente	14/12/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Bca Blanca	06/04/2010	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Bca Blanca	28/07/2010	0.0	0.0	4.0	96.0	0.0
Bca Blanca	23/11/2010	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Bca Blanca	04/04/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Bca Blanca	08/08/2011	61.1	38.9	0.0	0.0	0.0
Bca Blanca	31/10/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Bca Blanca	14/12/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Ricle	06/04/2010	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Ricle	28/07/2010	0.0	0.0	9.6	90.4	0.0
Ricle	23/11/2010	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Ricle	04/04/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Ricle	08/08/2011	61.1	38.9	0.0	0.0	0.0
Ricle	31/10/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Ricle	14/12/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Aceitera	06/04/2010	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Aceitera	28/07/2010	0.0	0.0	0.0	80.3	19.7
Aceitera	23/11/2010	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Aceitera	04/04/2011	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Aceitera	08/08/2011	59.7	40.3	0.0	0.0	0.0
Aceitera	31/10/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Aceitera	14/12/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0

TABLA 2. Porcentaje de pertenencia a una dada calidad del agua, para cada sitio de muestreo en sitios del arroyo Ensenada.

Punto de muestreo	Fecha	Mala	Pobre	Media	Buena	Excelente
Salto del Paraíso	06/04/2010	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Salto del Paraíso	28/07/2010	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Salto del Paraíso	23/11/2010	64.1	35.9	0.0	0.0	0.0
Salto del Paraíso	04/04/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Salto del Paraíso	08/08/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Salto del Paraíso	31/10/2011	57.5	42.5	0.0	0.0	0.0
Salto del Paraíso	14/12/2011	58.8	41.2	0.0	0.0	0.0
Gomez	06/04/2010	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Gomez	28/07/2010	0.0	0.0	25.3	74.7	0.0
Gomez	23/11/2010	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Gomez	04/04/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Gomez	08/08/2011	61.1	38.9	0.0	0.0	0.0
Gomez	31/10/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Gomez	14/12/2011	57.5	42.5	0.0	0.0	0.0
Pelado	06/04/2010	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Pelado	28/07/2010	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Pelado	23/11/2010	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Pelado	04/04/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Pelado	08/08/2011	63.6	36.4	0.0	0.0	0.0
Pelado	31/10/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Pelado	14/12/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Marincho	06/04/2010	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Marincho	28/07/2010	0.0	0.0	6.2	93.8	0.0
Marincho	23/11/2010	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Marincho	04/04/2011	0.0	100.0	0.0	0.0	0.0
Marincho	08/08/2011	59.7	40.3	0.0	0.0	0.0
Marincho	31/10/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0
Marincho	14/12/2011	0.0	0.0	100.0	0.0	0.0

TABLA 3. Porcentaje de pertenencia a una dada calidad del agua, para tributarios del arroyo Ensenada.

Discusión de los Resultados

Analizada toda la cuenca en conjunto (arroyo más tributarios), el ICAAE1 muestra que la calidad del agua puede calificarse entre media a pobre (es decir, las tres últimas categorías que considera dicho índice). Considerando el arroyo de la Ensenada y los tributarios por separado, el índice muestra (en ambos casos) que promediando todos los muestreos la calidad varía entre pobre y marginal. El arroyo Ensenada va mejorando la calidad desde su nacimiento hacia la desembocadura en el río Paraná y esto

podría deberse a un efecto de dilución, debido a que el caudal aumenta considerablemente en ese sentido.

El ICAAE2, presenta un rango más amplio de valores de calidad, desde unos pocos valores de calidad buena hasta calidad pobre con valores muy bajos. En general, los valores del índice para el arroyo Ensenada son superiores a los de sus tributarios. El efecto “serrucho” que se observa en los valores se debe a que el As y el Pb se muestrearon fecha por medio y sus concentraciones influyen notablemente en el valor del ICAAE2.

El índice ICAAE3 da resultados similares: en general, la calidad del arroyo Ensenada es mejor que la de sus tributarios, aunque con prevalencia de valores en los grupos calidad media y pobre.

Analizando los tres índices, el ICAAE1, por estar construido con mayor cantidad de parámetros, refleja más cabalmente la calidad del agua del arroyo Ensenada y sus tributarios. En contra de su utilización, esta la imposibilidad de calcularlo para cada fecha de muestreo (dado que se trata de un índice globalizador). De los otros dos índices, el ICAAE3 está exento de la arbitrariedad de quien lo implementa, por lo que daría resultados más confiables.

Referencias bibliográficas

- [1] Dinius, SH. Design of water quality index. *WaterResourcesBulletin*,1987. 23(5), 33-43.
- [2] Said, A., Stevens, D.K. and Sehlke, G. 2004. An innovative index for evaluating water quality in streams.*Environmental Management*, 34 (3): 406 – 414.
- [3] Debels, P; Figueroa, R., Urrutia, R.Barra., R. y Niel, X. 2005. Evaluation of wáter quality in the Chillan River (Central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index.*Environmental Monitoring and Assessment*, 110 :301 – 322.
- [4] Khan, A. A., Tobin, A., Paterson, R., Khan, H. and Warren, R. 2005. Application of CCME procedures for deriving site-specific water quality guidelines for the CCME water quality index.*Water. Qual. Res. J. Canada*, 40 (4) : 448 – 456.
- [5] Jimenez, M.A. y Vélez, M.V. 2006. Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial. *Avances en Recursos Hidráulicos*, (14): 53 – 70.
- [6] Sánchez, E., Colmenarejo, M.F., Vicente, J., Rubio, A., García, M.E., Travieso, L. and Borja, R. 2007. Use of the wáterquaity index and disolved oxygen deficit as simple indicators of watersheds pollution. *Ecological Indicators*, 7 (2) .315 – 328.
- [7] United Nations Environment Programme (UNEP) –Global Environment Monitoring System (GEMS)/ Water Programme. Global Drinking Water Quality Index Development and Sensitivity Analysis Report.2007: 58 pág.
- [8] dos Santos Simoes, F., Moreira, A. B., Bisinoti, M.C., NobreGimenez, S. M., and Santos Yabe, M. J. 2008. Water quality index as a simple indicator of aquaculture effects on aquatic bodies.*Ecological Indicators*, 8 (5) : 476 – 484.
- [9] Avvanavar, S. M. and Shrihari, S. 2008. Evaluation of water quality index for drinking purposes for river Netravathi, Mangalore, South India.*Environ. Monit.Asses.*, 143: 279 – 290.
- [10] Samantray, P., Mishra, B.K., Panda, C.R. and Rout, S.P. 2009. Assessment of Water Quality Index in Mahanadi andAtharabanki Rivers and Taldanda Canal in Paradip Area, India.*J Hum Ecol*,26 (3): 153-161.
- [11] Yidama, S. M. and Yidama, A. 2010. Assessing water quality using water quality index and multivariate analysis. *Environ. Earth Sci*.59: 1461 – 1473.
- [12] Yisa, J. and Jimoh, T.2010. Analytical studies on water quality index on river Landzu. *American Journal of AppliedSciences* 7 (4): 453 – 458.

- [13] Díaz Cano, L.A. 2010. Estudio Comparativo de índices de calidad del agua mediante la aplicación y evaluación de un modelo armonizado en Latinoamérica, caso de estudio Río Loa. Chile. Universidad Católica del Norte. Fac. de Ciencias
http://www.llave.connmed.com.ar/personalizaciones/noticias_archivos/21288.pdf
- [14] Akoteyon, I.S., Omotayo, A.O., Soladoye, O. and Olaoye, H.O. 2011. Determination of Water Quality Index and Suitability of Urban River for Municipal Water Supply in Lagos-Nigeria. *European Journal of Scientific Research*, 54(2): 263 - 271
- [15] Plan mapa de suelos de la provincia de Entre Ríos. Acuerdo complementario del Convenio Inta-Gobierno de Entre Ríos (1991). Carta de suelos de la República Argentina. Departamento Diamante, provincia de Entre Ríos. Serie Relevamiento de Recursos Naturales (9). INTA-EEA. Paraná. Entre Ríos.
- [16] Canadian Council of Ministers of the Environment. 2001. Canadian Water Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Canadian Environmental Quality Guidelines.
<http://cegg-rcqe.ccme.ca/download/en/138/>
- [17] NIVELES GUÍA NACIONALES DE CALIDAD DE AGUA AMBIENTE. Subsec. Rec. Hídricos de la Nación. Argentina. http://www.hidricosargentina.gov.ar/base_niveles_guia.xls
- [18] LEY N° 24.051-Dcto. Reglamentario N° 831/93. Argentina (1993). Ley N° 24.051-Dcto. Reglamentario N° 831/93. Los Niveles Guía de Calidad para Agua y Suelos según su usoprioritario.
- [19] Dalkey, N., and Helmer, O.. 1963. An experimental application of the Delphi method to the use of experts. *Managem. Sci.* 9, 458-467
- [20] Samboni Ruiz, N.E., Carbajal Escobar, Y. and Escobar, J.C. 2007. Revisión de parámetros físico-químicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. *Revista Ingeniería e Investigación*, 27 (3): 172 – 181.
- [21] Gil-Gómez de Liaño, B, y Pascual-Ezama, D. 2012. La metodología Delphi como técnica de estudio de la validez de contenido. *Anales de Psicología* 28 (3): 1011 – 1020.
- [22] Cude, C.G. 2001. Oregon Water quality Index: A tool for evaluating water quality management effectiveness. *Journal of the American Water Resources Associations*, 3 (1): 125 – 137.
- [23] Bhargava D.S. 1983. Use of a water quality index for river classification and zoning of the Ganga River, *Environmental Pollution*, B6, 5167 - 5173.
- [24] Smith, D. 1987. Water Quality Indices For Use In New Zealand's Rivers and Streams, Water Quality Center Publication n° 12, Water Quality Center, Ministry of Works And Development, Hamilton, New Zealand.
- [25] Kung, H et al. 1992. A complementary tool to water quality indices: fuzzy clustering analysis. *Water Res. Bull.* 28 (3): 525 – 533
- [26] Chang, N.B., Chen, H.W., Ning, S.K. 2001. Identification of river water quality using the Fuzzy Synthetic Evaluation approach. *J. Environ. Management* , 63: 293 – 305.
- [27] McKone, T.E. and A. W. Deshpande. 2005. Can Fuzzy Logic Bring Complex Problems into Focus? Modeling Imprecise Factors in Environmental Policy,” *Environmental Science and Technology* ,39(2): 42A-45A.
- [28] Ocampo-Duque, W., Ferre-Huguet, N., Domingo, J.L., Schubmacher, M. 2006. Assessing water quality in rivers with fuzzy inference systems: A case study. *Env. Int.*, 32: 733 – 742.
- [29] Jowitt, P.W. y Lumbers, J.P. 1982. Water quality objectives, discharge standards and fuzzy logic. *Optimal Allocation of Water Research*, 135: 241 – 250.
- [30] Angulo, C; Cabestany, J; Rodriguez, P.; Batle, M.; Gonzalez, A y Campos, S. 2010. Fuzzy expert system for the detection of episodes of poor water quality trough continuous measurements. *Expert Systems with Applications: 1 – 22.*
- [31] Semiromi, F.; Hassani, A.H.; Torabian, A.; Karbasi, A.R. & Hosseinzadeh, L. 2011. Water quality Index development using fuzzy logic. A case study of the Karoon River of Iran. *African Journal of Biotechnology*, 10(50): 10125 – 10133.

- [32] André Lermontov, Lidia Yokoyama, Mihail Lermontov and Maria Augusta Soares Machado. 2011. A Fuzzy Water Quality Index for Watershed Quality Analysis and Management, Environmental Management in Practice, Dr. Elzbieta Broniewicz (Ed.), ISBN: 978-953-307-358-3, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/environmental-management-in-practice/a-fuzzy-water-quality-index-for-watershed-quality-analysis-and-management>
- [33] Abdullah, M.P.; Waseem, S.; Bai Vi, R. and Mohsin, I. 2008. Development of new water quality model using fuzzy logic system for Malaysia. *Open Environmental Sciences*, 2: 101 – 106.
- [34] Ross, T. Fuzzy logic with engineering applications. (Second Ed.) John Wiley and Sons Ltd, New York. 2004. 628 páginas.
- [35] Ocampo-Duque W., Ferré-Huguet N., Domingo J. L., Schuhmacher M. 2006. Assessing water quality in rivers with fuzzy inference systems: A case study. *Environment International* 32: 733–742.