Indices de Calidad del Agua (ICA), Forma de Estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala

Luis F. León Vizcaíno
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Paseo Cuauhnáhuac # 8532
62550 Jiutepec, Morelos, México

RESUMEN

Se presenta un sistema indicador de la calidad del agua, que agrupa los parámetros contaminantes más representativos dentro de un marco unificado, como un instrumento que permite identificar el deterioro o mejora de la calidad en un cuerpo de agua. Se adapta y modifica un modelo propuesto en la literatura (Dinius, 1987), y se aplica a determinaciones de calidad del agua de la Red Nacional de Monitoreo en el sistema de la cuenca Lerma-Chapala. Se dan algunas conclusiones y recomendaciones con relación al uso del ICA.

INTRODUCCION

El aumento en los niveles de contaminación de las aguas superficiales y subterráneas ha generado la necesidad de cuantificar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Por otra parte, debido a las diferencias de interpretación entre los encargados de tomar decisiones, los expertos en el tema y del público en general, existe un esfuerzo creciente para desarrollar un sistema indicador que agrupe los parámetros contaminantes más representativos dentro de un marco de referencia unificado.

El Indice de Calidad del Agua (ICA), como forma de agrupación simplificada de algunos parámetros, indicadores de un deterioro en calidad del agua, es una manera de comunicar y evaluar la calidad de los cuerpos de agua. Sin embargo, para que dicho índice sea práctico debe de reducir la enorme cantidad de parámetros a una forma más simple, y durante el proceso de simplificación algo de información se sacrifica. Por otro lado si el diseño del ICA es adecuado, el valor arrojado puede ser representativo e indicativo del nivel de contaminación y comparable con otros para enmarcar rangos y detectar tendencias.

Se presenta una recopilación de los métodos para el cálculo de los ICA, y se adopta, con ciertas modificaciones, el propuesto por Dinius (1987) ampliándolo para incluir una mayor cantidad de parámetros. Finalmente, se presenta como ejemplo el cálculo del ICA a determinaciones de calidad del agua de la Red Nacional de Monitoreo en el sistema de la cuenca Lerma-Chapala.

ANTECEDENTES

El monitoreo de un cuerpo de agua para detectar su grado de contaminación, conduce a obtener una inmensa cantidad de datos de varios parámetros, incluso dimensionalmente distintos, que hace difícil detectar patrones de contaminación. Horton (1965) y Liebman (1969) son los pioneros en el intento de generar una metodología unificada para el cálculo del ICA. Posteriormente con trabajos de mayor envergadura, la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF por sus siglas en inglés), realizó un estudio para evaluar el ICA con base en nueve parámetros. Pratti (1971), presenta un trabajo con trece parámetros y Dinius (1972) realiza otro similar con once parámetros.

La descripción de los sistemas arriba mencionados se puede encontrar en la recopilación hecha por Landwehr (1974). En México, durante el estudio limnológico del lago de Chapala, realizado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM (1974), se adoptaron los resultados del NSF y se modificaron para doce parámetros medidos en el lago.

Para la agrupación de los parámetros existen dos técnicas básicas; las denominadas aritméticas y las multiplicativas, Brown (1970). A su vez pueden o no ponderarse con pesos específicos para cada parámetro. Landwehr y Denninger (1976), demostraron la superioridad del cálculo a través de técnicas multiplicativas, que son mucho más sensibles que los aritméticos a la variación de los parámetros, por lo que reflejan con mayor precisión un cambio de calidad.

En cuanto a la ponderación, Ott (1978) indica que el asignar pesos específicos a los parámetros tiene el riesgo de introducir cierto grado de subjetividad en la evaluación, pero por otro lado sugiere que es importante una asignación racional y unificada de dichos pesos de acuerdo al uso del agua y de la importancia de los parámetros en relación al riesgo que implique el aumento o disminución de su concentración.

El intento más reciente para el diseño del ICA es el de Dinius (1987). En dicho trabajo y usando el método Delphi de encuestas (creado con el objeto de integrar efectivamente las opiniones de expertos y eliminar las desventajas colaterales de un proceso de comité), agrupó a un panel de expertos en cuestiones ambientales y diseñó, a partir de la evaluación e interacción de ellos, un ICA de tipo multiplicativo y con asignación de pesos específicos por parámetro.

ESTIMACION DEL INDICE DE CALIDAD

Se presenta el método que se consideró más adaptable a la situación de nuestro país (Dinius, 1987), modificándose con la inclusión de algunos parámetros sugeridos en el estudio realizado por el I.I. de la UNAM en 1974.

La evaluación numérica del ICA, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos, se debe a Brown et al. (1973), obteniéndose a partir de una media geométrica:

$$ICA = \prod_{i=1}^{n} \left[Q_i^{W_i} \right] \qquad (1)$$

donde Wi son los pesos específicos asignados a cada parámetro (i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno. Qi es la calidad del parámetro (i), en función de su concentración y cuya calificación oscila entre 0 y 100, PI representa la operación multiplicativa de las variables Q elevadas a la W.

Finalmente el ICA que arroja la ecuación (1) es un número entre 0 y 100 que califica la calidad, a partir del cual y en función del uso del agua, permite estimar el nivel de contaminación. En la figura 1 se muestran los rangos de calificación del ICA en función del uso del agua.

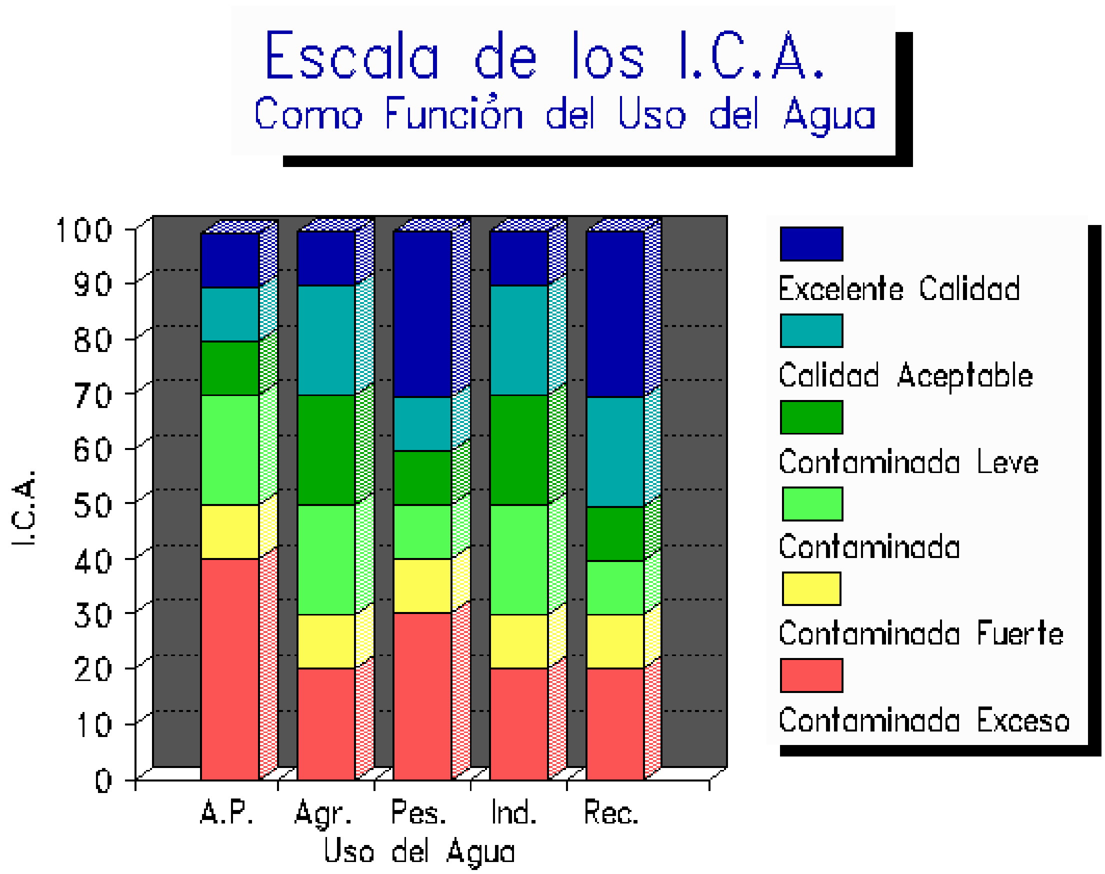

Figura 1. Rangos de calificación del ICA in función del uso del agua

La tabla 1 muestra las unidades de los parámetros y los valores de los pesos específicos Wi considerados en las expresion (1). Las gráficas de sensibilidad en donde, como función de la concentración del parámetro, se lee la calificación de la calidad Qi se obtienen de las referencias originales.

Tabla 1. Pesos específicos de los parámetros

Parámetro	(SIMB-Unidad)	Valor de W
Oxigeno Disuelto	(OD-% Sat.)	0.103
Demanda Bioquímica Oxígeno	(DBO-mg/l)	0.096
Demanda Química de Oxígeno	(DQO-mg/l)	0.053
Grado Acidez/Alcalinidad	(pH -)	0.063
Solidos Suspendidos	(SST-mg/l)	0.033
Coliformes Totales	(ColiT-#/100 ml)	0.083
Coliformes Fecales	(ColiF-#/100 ml)	0.143
Nitratos	(NO3-mg/l)	0.053
Amonios	(NH3-mg/l)	0.043
Fosfatos	(PO4-mg/l)	0.073
Fenoles	(Fenol-µg/l)	0.033
Diferencia Temperatura	(DT-°C)	0.043
Alcalinidad como CaCO3	(AlcT-mg/l)	0.055
Dureza como CaCO3	(DurT-mg/l)	0.058
Cloruros	(Clor-mg/l)	0.068

EVALUACION UTILIZANDO EL ICA

En relación al valor numérico del ICA, este no representa más que una posibilidad de comparación si se es consistente en su cálculo. Con la idea de tener criterios generales, a continuación se presentan algunos lineamientos arrojados por el panel de expertos, Dinius (1987). Asociado al valor numérico del ICA se definen 6 rangos de estado de calidad del agua: (E) Excelente; (A) Aceptable; (LC) Levemente Contaminada; (C) Contaminada; (FC) Fuertemente Contaminada y (EC) Excesivamente Contaminada. En función de esta clasificación se establecieron los criterios (ver figura 2) que a continuación se presentan, dependiendo del uso al que se destina el agua indicándose las medidas o límites aconsejables. Es importante mencionar que dichos criterios no deben tomarse como dogma y deberán ser analizados para cada caso en particular.

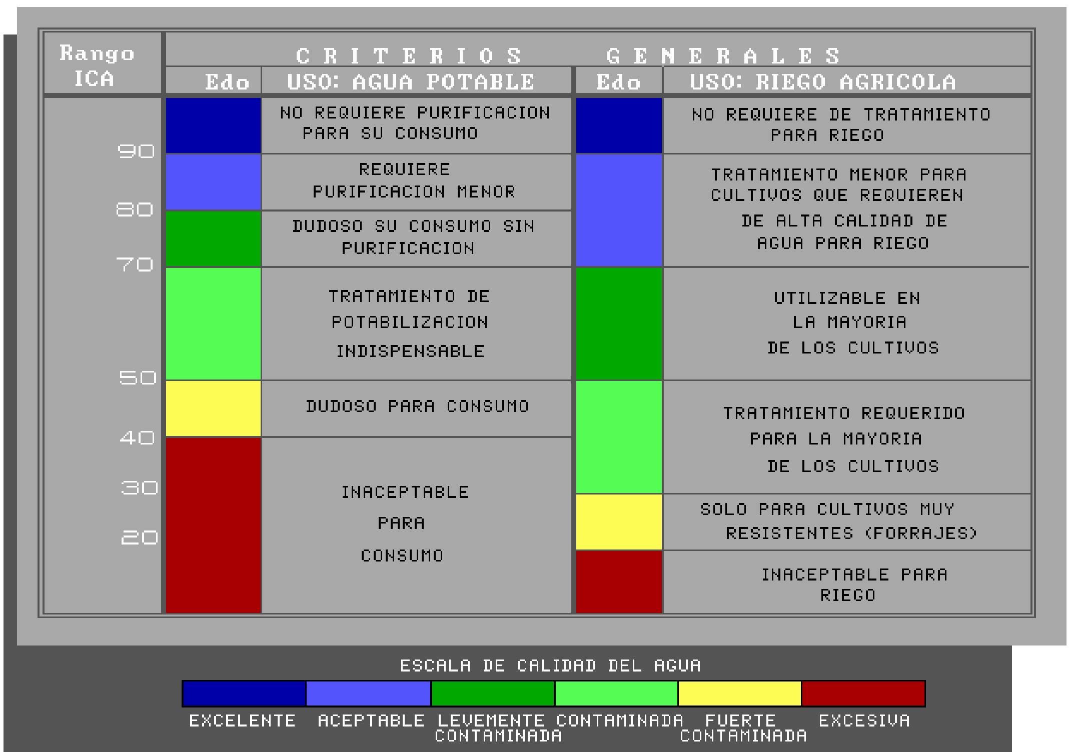

Figura 2. Criterios generales según el indice de calidad del agua

Uso como Agua Potable
90-100 E - No requiere purificación para consumo.
80-90 A - Purificación menor requerida.
70-80 LC- Dudoso su consumo sin purificación.
50-70 C - Tratamiento potabilizador necesario.
40-50 FC- Dudosa para consumo.
0-40 EC- Inaceptable para consumo.

Uso en Agricultura
90-100 E - No requiere purificación para riego.
70-90 A - Purificación menor para cultivos que requieran de alta calidad de agua.
50-70 LC- Utilizable en mayoría de cultivos.
30-50 C - Tratamiento requerido para la mayoría de los cultivos.
20-30 FC- Uso solo en cultivos muy resistentes.
0-20 EC- Inaceptable para riego.

Uso en Pesca y Vida Acuatica
70-100 E - Pesca y vida acuática abundante.
60-70 A - Límite para peces muy sensitivos.
50-60 LC- Dudosa la pesca sin riesgos de salud.
40-50 C - Vida acuática limitada a especies muy resistentes.
30-40 FC- Inaceptable para actividad pesquera.
0-30 EC- Inaceptable para vida acuática.

Uso Industrial
90-100 E - No se requiere purificación.
70-90 A - Purificación menor para industrias que requieran alta calidad de agua para operación.
50-70 LC- No requiere tratamiento para mayoría de industrias de operación normal.
30-50 C - Tratamiento para mayoría de usos.
20-30 FC- Uso restringido en actividades burdas.
0-20 EC- Inaceptable para cualquier industria.

Uso Recreativo
70-100 E - Cualquier tipo de deporte acuático.
50-70 A - Restringir los deportes de inmersión, precaución si se ingiere dada la posibilidad de presencia de bacterias.
40-50 LC- Dudosa para contacto con el agua.
30-40 C - Evitar contacto, sólo con lanchas.
20-30 FC- Contaminación visible, evitar cercanía
0-20 EC- Inaceptable para recreación.

Adicionalmente a los lineamientos presentados es conveniente analizar en forma individual cada una de las calificaciones de los parámetros con el objeto de establecer si el deterioro se debe a la alta presencia de nutrientes, a la falta de oxígeno, al exceso de presencia de bacterias riesgosas para la salud, etc.

Un aspecto que se considera importante, es la posible escasez de datos completos en un monitoreo, por lo que en la metodología de estimación del ICA se considera que al faltar el valor de alguno de los parámetros, su peso específico se reparte en forma proporcional entre los restantes, excluyéndolo del operador multiplicativo en el momento de estimar el ICA.

APLICACION DEL ICA

Con el objeto de sistematizar el cálculo del ICA, los conceptos arriba mencionados se vaciaron en un código de cómputo dando lugar al sistema ICASIS (León, 1991). Como ejemplo de aplicación, se presenta a continuación el uso del sistema en un tramo del río Lerma.

En la cuenca del río Lerma se cuenta con 23 estaciones de la Red Nacional de Monitoreo, de las cuales se eligieron en el tramo del río Lerma en su confluencia con el río Guanajuato:

Estación Le8 - San Guillermo, ubicada sobre el río Lerma aguas abajo de la confluencia con el río Guanajuato.
Estación Le9 - Pueblo Nuevo, ubicada sobre el río Lerma aguas arriba de la confluencia con el río Guanajuato.
Estación Gu1 - S/N, ubicada sobre el río Guanajuato aguas arriba de la confluencia con el río Lerma.

En la tabla 2 se presentan los valores de los parámetros, las calificaciones para cada uno y el valor calculado del ICA. Previo al cálculo se extrajeron los valores medios anuales para época de estiaje (enero a junio). La figura 3 muestra los resultados en forma gráfica, y puede observarse el cambio en la calidad hacia aguas abajo (Le8), al combinarse con un cuerpo de agua menos deteriorado (Gu1).

Tabla 2. Ejemplo de aplicación del ICA en la cuenca del Lerma

Valores de parámetros/(calificacion del parámetro) PARCIAL....

Año	OD mg/l	DBO mg/l	DQO mg/l	pH -	SST mg/l	ColiT NMP/100	ColiF NMP/100	NO3 mg/l	ICA
Le8 - San Guillermo (Aguas Abajo de la Confluencia con el Rio Guanajuato)									
75		20.5 (37.6)	167 (17.3)	7.6 (92.4)	201.5 (30.9)	175 (69.1)	175 (54.6)	0.62 (100)	55.3
76		13.4 (43.6)	77 (31.8)	7.6 (92.4)	155.2 (34.8)	8,882 (41.3)	7,578 (33.6)	0.11 (100)	48.3
78			69 (34.4)	7.8 (83.5)	128.0 (48.2)			0.60 (100)	60.3
79		27.4 (34)	76 (32.2)	7.9 (79.3)	185.4 (32.1)	7,160 (42.5)	1,774 (40.5)	0.27 (100)	47.5
80		61.5 (25.6)	76 (32.2)	8.2 (68.1)	52.5 (65.3)	6,215 (43.3)	3,685 (36.9)	0.19 (100)	39.2
81		277.0 (15.1)		8.6 (55.5)	175.0 (33)	11,000 (40.2)	4,600 (35.8)		38.9
82		10.3 (47.8)	164 (17.6)	7.7 (87.8)	201.2 (31)	4,050 (45.8)	2,950 (37.9)	0.43 (100)	40.0
83		176.9 (17.7)	708 (4.6)	7.1 (100)	806.7 (16.6)	47,100 (33.2)	11,100 (32)	0.17 (100)	30.3

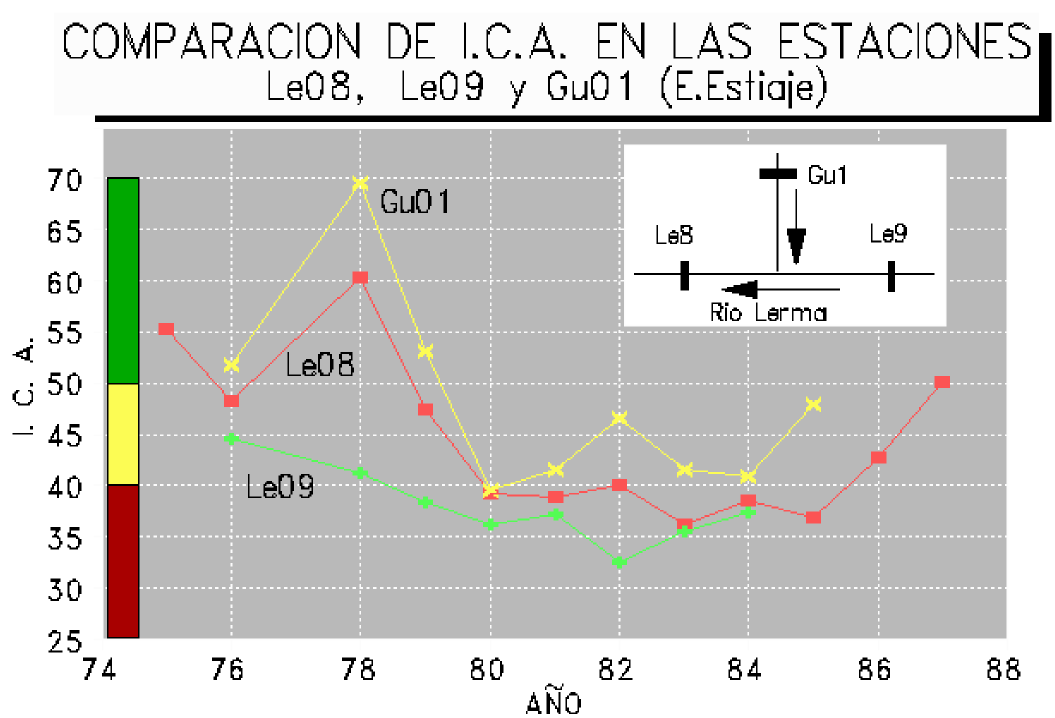

Figura 3. Comparación del ICA en el estudio de la cuenca del Lerma.

CONCLUSIONES

Es importante señalar adicionalmente, que por las simplificaciones mencionadas al inicio del trabajo, esta evaluación debe acompañarse de valores límites permisibles, tanto de los parámetros involucrados en el cálculo, como de aquellos que no lo están; por ejemplo, es posible tener un valor aceptable del ICA acompañado de concentraciones elevadas de arsénico que incluso superen el máximo permisible para la sustancia. Incluso se pueden tener valores aceptables aún excediendo los valores límite de algunos de los parámetros involucrados.

El índice de calidad del agua que se ha presentado, bajo las premisas de que debe ser útil, en un solo sistema homogéneo, debe permitir comparaciones entre varios cuerpos de agua bajo un criterio unificado y debe ser tan sencillo y representativo que aún personas no entrenadas en cuestiones científicas o expertos en el tema puedan familiarizarse con la estimación de los ICA y utilizar los resultados para evaluar su propio problema de contaminación.

Como en cualquier modelo, el presente índice simplifica y organiza la inmensa cantidad de datos de calidad en un marco homogéneo que permite comunicar y evaluar el estado del cuerpo de agua en una forma comprensible y sin una distorsión importante en la información de calidad del agua.

REFERENCIAS

BROWN, R., (1970). "A Water Quality Index - Do We Dare?", Water Sewage Works 11, pp. 339-343.

BROWN, R., McCLELAND, N., (1973). "Water Quality Index. Application in the Kansas River Basin", 46th. Conf., Water Poll. Fed., Cleveland, Ohio.

DINIUS, S.H., (1987). "Design of a Water Quality Index", W.R. Bulletin, V23, #5, pp. 833-43.

HORTON, R.K., (1965). "An Index Number System for Rating Water Quality", Jr. of WPCF, Vol. 37.

INSTITUTO INGENIERIA (1974). "Estudio Limnológico del Lago de Chapala", Inf. SARH, UNAM, México.

LANDWEHR, J.M., (1974). "Water Quality Indices - Construction and Analysis", Ph. D. Thesis, Univ. of Michigan, Ann Arbor, Michigan.

LANDWEHR, J., DENNINGER, R. (1976). "Comparison of Several Water Quality Indices", Water Pollution Control Fed. 48(5), pp. 954-958.

LEON, L.F., (1991), "Indice de Calidad del Agua, ICA", Inf. # SH-9101/01, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México, 36 p.

LIEBMAN, H., (1969). "Atlas of Water Quality: Methods and Practical Conditions", R. Oldenbourgh, Munich.

OTT, W.R. (1978). "Environmental Indices, Theory and Practice", AA Science, Ann Arbor, Michigan.

PRATTI, L., PAVANELLO, R., (1971). "Assesment of Surface Water Quality by a Single Index of Pollution", Water Resources Research, Vol.5, May 1971, pp. 456-467.