

UN INDICE PARA EVALUAR LA CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES (1981)

LIC. JORGE M. GARCIA-LIC. OTILIO BEATO-LIC. JOAQUIN GUTIERREZ

RESUMEN

Se describe la elaboración de un Índice de Calidad de aguas superficiales (ICA-S) de carácter deductivo, definido por la expresión:

$$\text{ICA-S} = \sum_{i=1}^{i=9} W_i q_i \quad (1)$$

y para el cual fueron seleccionados 9 parámetros (n) indicadores de calidad de agua: oxígeno disuelto, coliformes totales, demanda de oxígeno, conductividad eléctrica, cloruros, amoníaco, ortofosfatos, turbiedad y pH, asignándoles los siguientes pesos relativos (W_i) respectivamente: 0,17; 0,14; 0,13; 0,10; 0,10; 0,10; 0,08; 0,05. Por otra parte, se confeccionaron 11 curvas de calidad de agua para establecer las calidades de cada parámetro considerado (q_i) lo que determina, al ser desarrollada la ecuación (1) la obtención de diferentes valores del ICA-S de acuerdo con el estado de calidad del cuerpo de agua. En el trabajo se propone una clasificación de las aguas superficiales según los valores del ICA-S en 5 clases de agua: excelente calidad, aceptable calidad, medianamente contaminada, contaminada y altamente contaminada, y a su vez se ofrecen tentativamente las relaciones de estas clases de agua con el uso designado a los recursos hidráulicos evaluados. El Índice de Calidad obtenido puede aplicarse satisfactoriamente al control operativo de la calidad de agua, para la clasificación y ordenamiento de los recursos hidráulicos y en la elaboración de mapas zonales de calidad de agua.

INTRODUCCION

Los problemas actuales del manejo y protección de la calidad de los recursos hídricos superficiales, a corto, mediano o largo plazo, requieren de la utilización de técnicas y metodologías más avanzadas que permitan responder con mayor exigencia, exactitud y/o rapidez a los inconvenientes originados en el control operativo de la calidad de agua, a la evaluación comparativa del estado de la calidad de agua de un río, embalse, canal o laguna respecto al tiempo, o a cualquier otra situación que demanda respuestas adecuadas de acuerdo con la calidad de los recursos hidráulicos y los usos a que estén destinados.

Ha sido práctica común para evaluar la calidad de las aguas, seleccionar los indicadores físicos, químicos, microbiológicos a determinar en los laboratorios, los cuales caracterizarán el estado de calidad del cuerpo de agua en un instante y de acuerdo con el uso dado. Las decisiones correspondientes a la calidad de una corriente superficial, lago o embalse son tomadas por investigadores de relativa experiencia en la actividad, los cuales analizan y comparan los valores de los parámetros seleccionados como indicadores, obtenidos tanto en el laboratorio como en el campo, y determinan sobre la posibilidad de que tal cuerpo de agua pueda o no ser utilizado para los fines propuestos. Tal decisión estará afectada indudablemente por los criterios subjetivos y no siempre reproducibles de los expertos en cuestión.

Diferentes investigadores en los últimos años han venido realizando

OBTENCION DEL INDICE DE CALIDAD

Para la definición del ICA-S se realizó un estudio deductivo el cual se caracterizó por las siguientes etapas fundamentales:

- Selección de los indicadores o parámetros necesarios para su medición en el campo y/o laboratorio.
- Asignación de los coeficientes de peso o pesos relativos a los parámetros indicadores seleccionados.
- Elaboración de la escala de valores de calidad de agua de acuerdo con las concentraciones respectivas de los indicadores escogidos.

esfuerzos para obtener "un número simple y representativo que resulta de los valores de varios parámetros de calidad del agua y que suministre información efectiva y relativa de la calidad de un cuerpo de agua en diferentes puntos en el espacio y/o diferentes tiempos" (1).

Autores como Horton 1965 (2), Brown 1970 (3), Brown y colaboradores 1973 (4), Bascarán 1975 (5), y Gurary 1980 (6) han desarrollado con éxito índices de calidad de agua para la solución de los problemas planteados.

Se expone un índice de calidad de aguas superficiales (ICA-S) de carácter deductivo, el cual, entre sus ventajas, presenta la de poder ser utilizado para la clasificación y ordenación de los recursos hidráulicos superficiales del país, en los próximos años.

— Formulación de la expresión matemática del Índice.

Para la obtención del ICA-S se consideró con elevada atención el hecho de que una de las ventajas fundamentales que el mismo debía presentar fuese su facilidad de aplicación, o sea, definir un índice práctico, en el cual los parámetros o indicadores seleccionados sean los más representativos y significativos de las características de los recursos hidráulicos a ser evaluados. De igual forma se consideró la conveniencia de seleccionar parámetros normalmente determinados en los análisis de campo y laboratorio y, que además, fueran comunes a las evaluaciones de calidad para los usos más importantes, evitándose escoger indicadores que hubiesen requerido determinaciones especiales, de mayor complejidad instrumental y analítica.

Tomando en cuenta los criterios y argumentos antes mencionados y la experiencia de trabajo de los investigadores en el campo de la evaluación de la calidad de agua, se seleccionaron los 9 indicadores que aparecen expuestos en el Cuadro 1 para el desarrollo del ICA-S.

Para el caso del indicador número 3, demanda de oxígeno, el índice ofrece la posibilidad de utilizar una de las tres demandas descritas, por

lo que su selección estará en dependencia de las facilidades y equipamiento existente en los laboratorios encargados de esta problemática.

En el cuadro 2 pueden observarse los pesos relativos asignados a cada parámetro indicador seleccionado.

Para la elaboración de la escala de valores de calidad según la condición de cada indicador respectivo, se sintetizaron los diferentes juicios y criterios de los autores en un con-

junto de curvas promedio para cada parámetro, las cuales aparecen descritas en los gráficos del 1 al 9.

Tal procedimiento de confección de las curvas de calidad resultará más riguroso y representativo en la medida que sea consultado un número elevado de expertos en este campo, permitiendo comparar y ajustar con mayor exactitud y diversidad de datos y criterios las curvas respectivas. De igual forma, será posible determinar también algunas características estadísticas que definan los gráficos obtenidos.

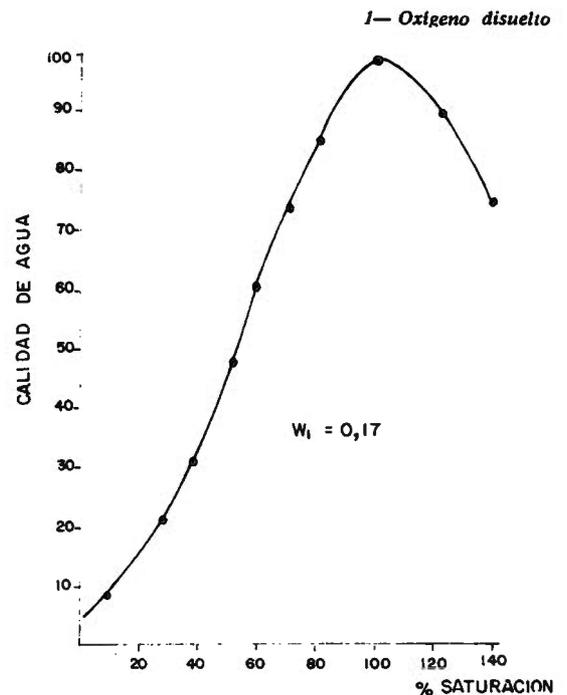
Sin embargo, en las relativamente pocas consultas realizadas a otros investigadores, éstos ofrecían con facilidad sus opiniones, valores y juicios cuando el intercambio se realizaba de forma extraoficial, no comprometiéndose en brindarnos sus curvas de calidad y pesos relativos, o, en otros casos, limitándose a discrepar los expuestos por los autores.

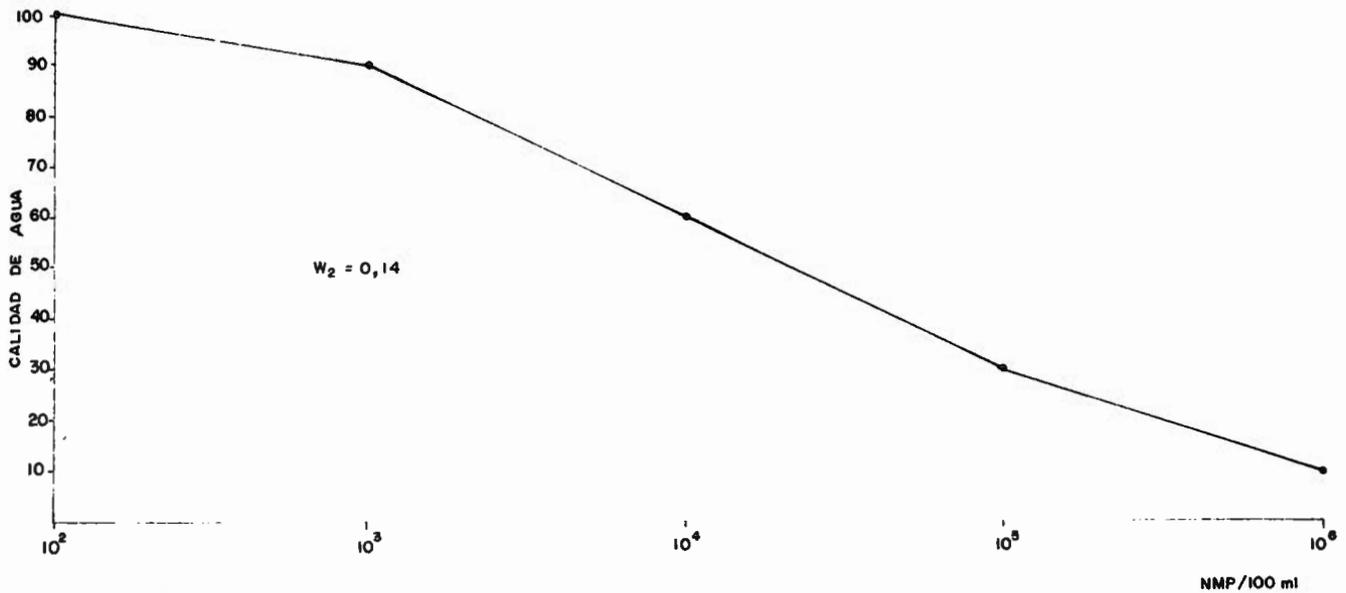
Cuadro 2. Pesos relativos. ICA-S

No.	Parámetro	Peso relativo
1	Oxígeno disuelto	0,17
2	NMP coliformes/100 ml	0,14
3	Demanda de oxígeno	0,13
4	Conductividad eléctrica	0,13
5	Cloruros	0,10
6	Amoníaco	0,10
7	Ortofosfatos	0,10
8	Turbiedad	0,08
9	pH	0,05
		1,00

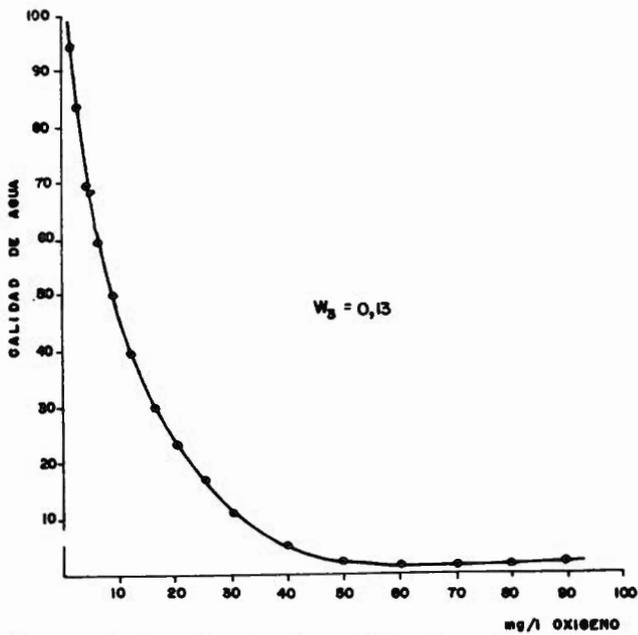
Cuadro 1. Parámetros indicadores. ICA-S

No.	Parámetro	Unidades
1	Oxígeno disuelto (OD)	% saturación
2	Número más probable de colonias coliformes por 100 ml	NMP/100 ml
3	Demanda de oxígeno	
	a) Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅ a 20 °C	mg/l
	b) Demanda química de oxígeno al dicromato DQO (K ₂ Cr ₂ O ₇)	mg/l
	c) Demanda química de oxígeno al permanganato	mg/l
4	Conductividad eléctrica a 25 °C	Microhmos por centímetro
5	Cloruros (Cl ⁻)	mg/l
6	Amoniaco (NH ₄ ⁺)	mg/l
7	Ortofosfatos (PO ₄ ³⁻)	mg/l
8	Turbiedad	Unidades formazin
9	pH	unidades

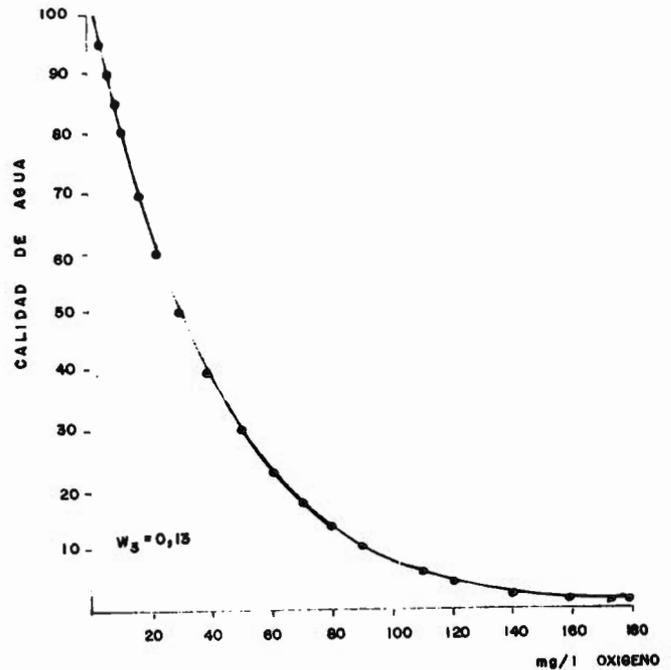




2- Coliformes totales



3a Demanda bioquímica de oxígeno DBO₅ . 20 °C (Tipo 3)



3b Demanda química de oxígeno K₂Cr₂O₇ (DQO Cr) (Tipo 1)

En la formulación de la ecuación matemática del ICA-S, se utilizó la propuesta por Brown 1970 (3) en la cual el Índice de Calidad de agua es un modelo aditivo que viene dado por la siguiente expresión:

$$ICA-S = \sum_{i=1}^{i=9} W_i Q_i$$

nde:

-el ICA-S es un número entre 0 y 100

- Q_i es la calidad del parámetro "i", un número entre 0 y 100.

- W_i es el peso relativo del parámetro "i", un número entre 0 y 1. y 100.

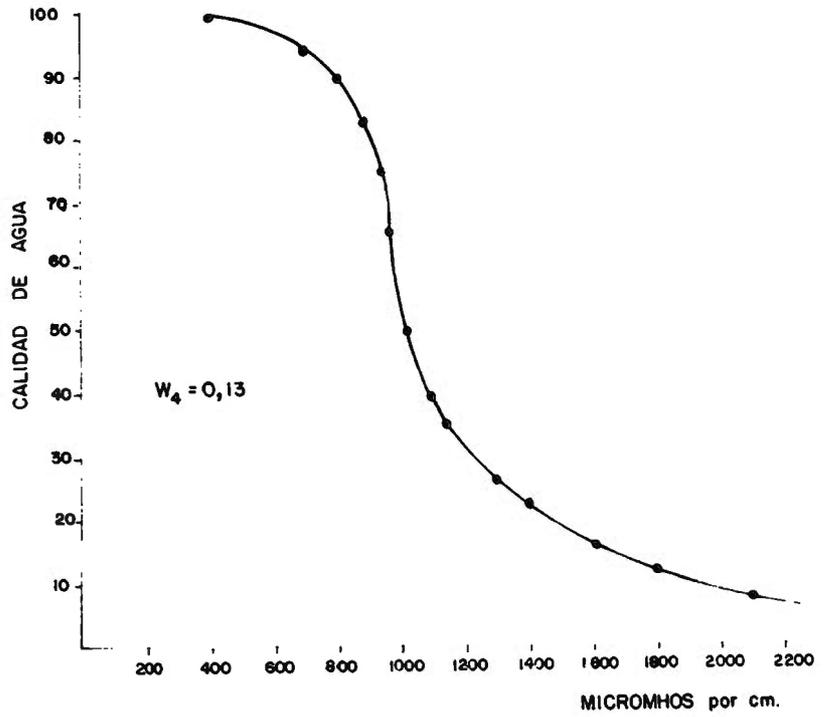
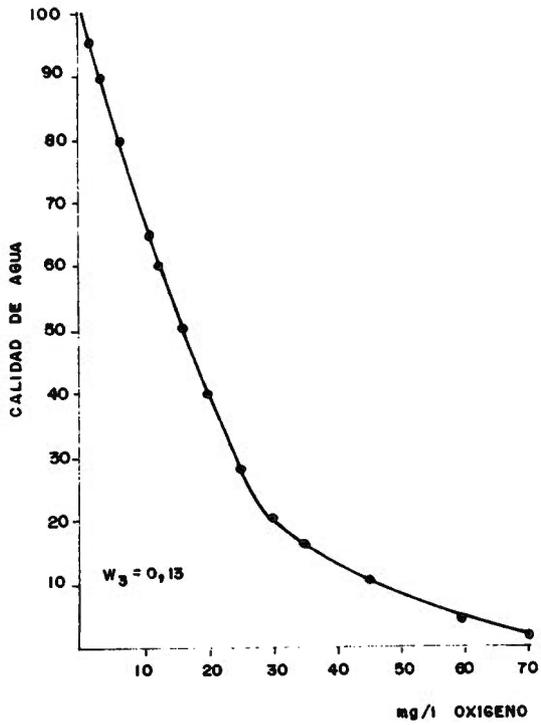
- n, es el número de parámetros indicadores.

Para nuestro caso particular, Q_i vendrá dado por las curvas de calidad respectivas de los indicadores seleccionados, W_i estará determina-

do por los valores expuestos en el Cuadro 2 y el número de parámetros es igual a 9.

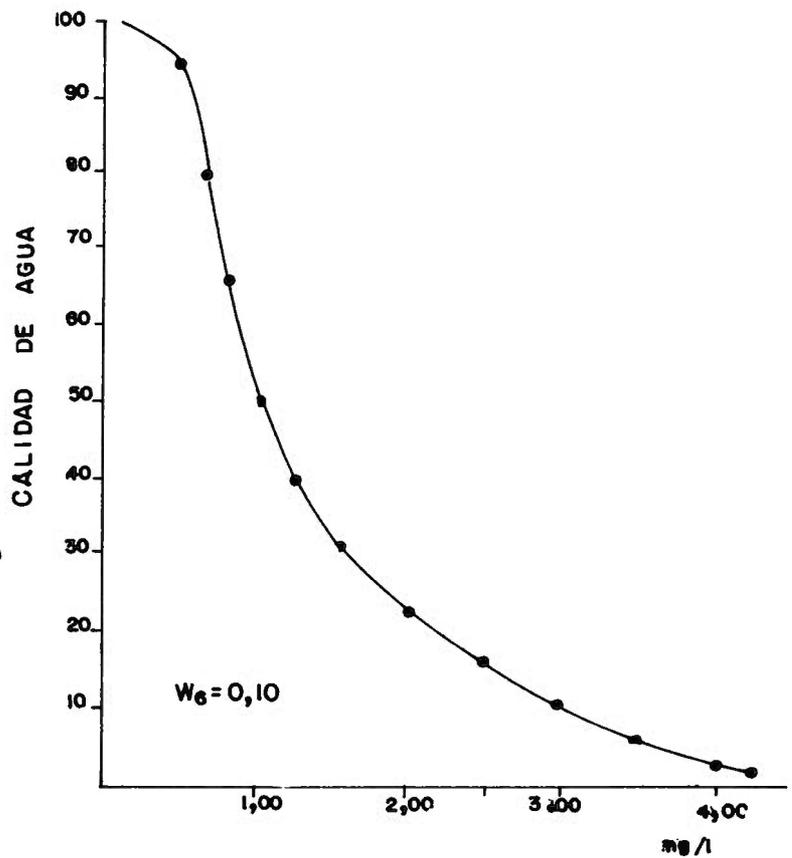
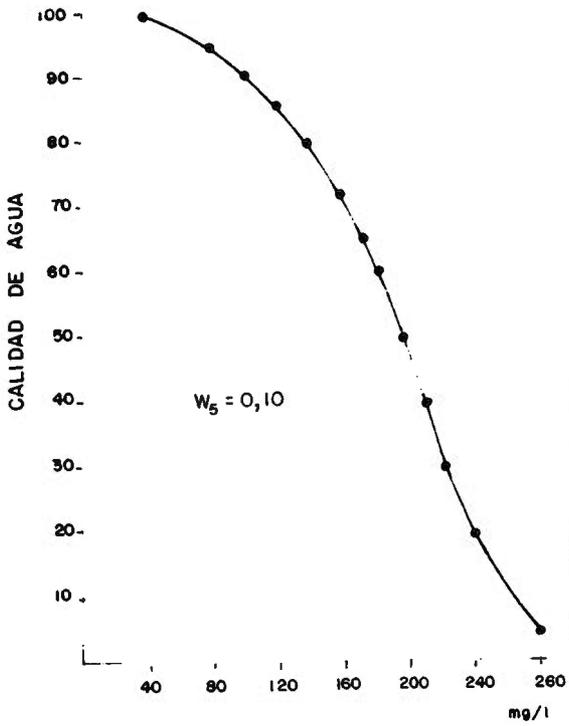
De acuerdo con los rangos de valores del ICA-S obtenidos, los autores proponen una clasificación de la calidad de agua superficial consistente en 5 clases y/o tipos de agua la cual aparece expuesta en el cuadro 3.

De forma complementaria a la clasificación de las aguas superficiales, según el valor del ICA-S descritas anteriormente, se trabajó en la



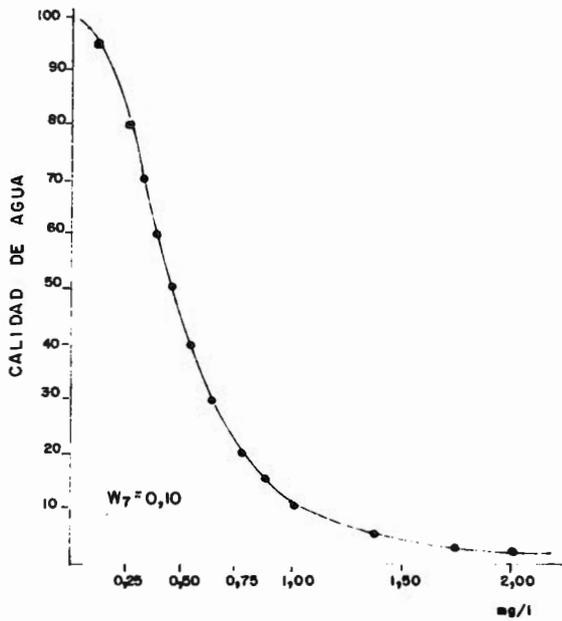
3c Demanda química de oxígeno $KMnO_4$, (DQO Mn) (Tipo 2)

4— Conductividad eléctrica 25 °C

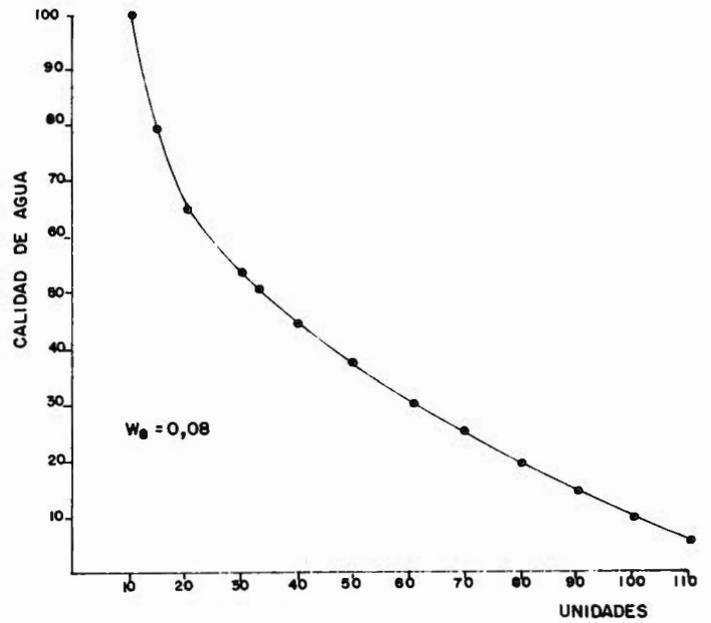


5— Cloruros

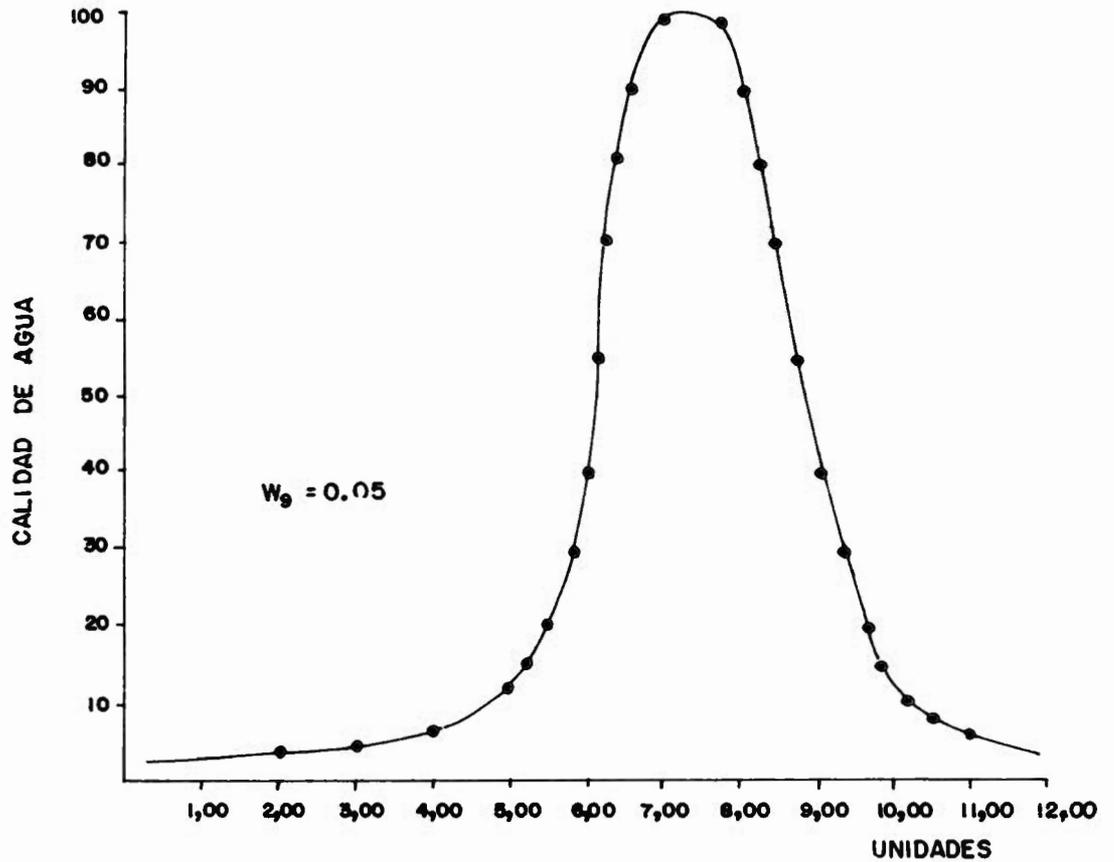
6— Amoniaco NH^+



7— *Ortofosfatos PO₄*



8— *Turbiedad*



9— *PH*

elaboración de una clasificación de los cuerpos de agua superficiales atendiendo a los niveles de colonias coliformes por 100 ml de los mismos. Utilizando tal clasificación propuesta y que aparece en el Cuadro 4, se confeccionó la curva de calidad para los NMP/100 ml la que se puede observar en el gráfico 2.

Cuadro 3. Clasificación de la calidad de agua superficial de acuerdo al valor del ICA-S

Clase	Valor del ICA-S	Clasificación del cuerpo de agua
1	90,00 — 100,00	Excelente calidad
2	80,00 — 89,99	Aceptable calidad
3	70,00 — 79,99	Medianamente contaminada
4	60,00 — 69,99	Contaminada
5	Menor de 59,99	Altamente contaminada

Uno de los aspectos más discutidos en la literatura internacional y por algunos investigadores nacionales en relación con la obtención y aplicación de los Índices de Calidad de agua, es el que se refiere a la relatividad de las clasificaciones de los cuerpos de agua superficiales según los valores del ICA-S ya que, a pesar de no poder definirse una "unidad de calidad de agua", tal clasificación no considera explícitamente los usos posibles de los recursos hidráulicos evaluados según esta metodología. De hecho, este señalamiento crítico es indiscutible desde un punto de vista general. Sin embargo, si se toman en consideración las condiciones objetivas y subjetivas que implícitamente influyen directa o indirectamente sobre los investigadores, en el momento de seleccionar los parámetros indicadores, asignar los pesos relativos correspondientes y confeccionar las curvas de calidad respectivas, tal afirmación se vuelve mucho más moderada.

Aún teniendo en cuenta lo problemático y complejo que resulta relacionar las clasificaciones de los cuerpos de agua superficiales según los valores del ICA-S con los usos designados de los recursos hídricos evaluados, los autores del trabajo recomiendan que se utilice, aunque de forma tentativa, la clasificación ICA-S uso del agua que se describe en el cuadro 5, para decidir preliminarmente sobre el aprovechamiento de las aguas en cuestión. En la misma, se plantean los usos de abasto a población y recreación, tanto de contacto directo como indirecto.

Por último, es necesario señalar que de realizarse análisis especiales complementarios a algún cuerpo de agua sometido a medidas de control de la calidad de sus aguas, como por ejemplo, determinaciones de metales tóxicos (Pb, Cd, Hg, u otros) o pesticidas y de hallarse que los niveles encontrados sobrepasan los límites aceptables de concentración, el ICA-S es automáticamente cero, correspondiéndole una clasificación de "altamente contaminada", clase 5.

Cuadro 4. Clasificación de la calidad de agua superficial de acuerdo con los niveles de colonias coliformes por 100 ml

NMP/100 ml colonias coliformes	Clasificación del cuerpo de agua
≤ 100	No contaminada
102 — 105	Medianamente contaminada
105 — 108	Contaminada
> 108	Altamente contaminada

Cuadro 5. Clasificación y uso (tentativo) de los cuerpos de agua superficiales según los valores del ICA/S

Clase	Valor del ICA-S	Uso del agua	
		Abasto	Recreación contacto directo e indirecto.
1	100,00 - 90,00	Utilizable. En ciertos casos requiere de desinfección.	Completamente utilizables.
2	80,00 - 89,99	Utilizable con desinfección.	Completamente utilizables.
3	70,00 - 79,99	Utilizable sólo con tratamiento convencional.	Utilizable.
4	60,00 - 69,99	Utilizable con tratamientos especiales.	Aprovechamiento dudoso.
5	Menor de 59,99	No utilizable.	Generalmente no utilizable.

CONCLUSIONES

El Índice de Calidad de aguas superficiales propuesto en el trabajo puede ser utilizado de forma satisfactoria para desarrollar los siguientes estudios e investigaciones sobre el estado de calidad de los recursos hídricos:

- Clasificación y ordenamiento de las corrientes superficiales.
- Mapas de calidad de las aguas superficiales por regiones naturales, zonas o provincias.
- Control operativo del estado de la calidad de agua en canales, ríos, arroyos y obras de entrega de los embalses.

— Comparaciones sistemáticas de la dinámica de la calidad de agua en los cuerpos de agua.

— Evaluaciones de la efectividad y/o desarrollo de los programas de control de la contaminación que se establezcan en ríos, arroyos, canales u obras de entrega de agua de los embalses.

BIBLIOGRAFIA

- 1— "Planificación, proyecto y operación de sistemas monitoreos comprehensivos de calidad de aguas 2. DT-1. CEPIS. Lima, Perú, 1975.
- 2— Horton, K.: *An Index-number System for Rating Water Quality*. IWPCF, 1965. 37 No. 3.
- 3— Brown, R. A: *Water Quality Index-Do we Dare?*. *Water and Sewage Works*. October, 1970
- 4— Brown, R.; McClelland, N.; Deininger, R; D'Connor, F.: *A. Water Quality Index-Crashing the Psychological Barrier*. *Adv. Wat. Pol. Proc.* 6th Inter. Conf. Jerusalem. 1972. Oxford. 1973 (787-794).
- 5— C.M. Bascarán: *Boletín de Información Obras Públicas*. Junio 1975. No. 210. España.
- 6— Gurary, V.; Shairi, A. CDU: 556, 114. 001. 2 en *Voluntad Hidráulica*. No. 52-53. Año XVII. 1980.