ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)

1. Definición

El ICA se define como el grado de contaminación existente en el agua a la fecha de un muestreo, expresado como un porcentaje de agua pura. Así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a 0% y de 100% para el agua en excelentes condiciones.

2. Cálculo

El cálculo del ICA se realiza aplicando la ecuación (1)

$$ICA = \frac{\sum_{i=1}^{n} I_i W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \qquad \text{..................} \ (1)$$

donde: ICA = índice de calidad del agua global
I_i = índice de calidad para el parámetro i
W_i = Coeficiente de ponderación del parámetro i
n = Número total de parámetros

Como se mencionó anteriormente, la ecuación del ICA genera un valor entre 0 y 100, que califica la calidad del agua, a partir del cual y en función del uso del agua, permite estimar el nivel de contaminación de un cuerpo de agua.

3. Parámetros

El número de parámetros que se consideran para determinar el ICA global son 18:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno
- Oxígeno Disuelto
- Coliformes Fecales
- Coliformes Totales
- Potencial de Hidrógeno
- Dureza Total
- Sólidos Disueltos
- Sólidos Suspendidos
- Cloruros
- Conductividad Eléctrica
- Alcalinidad

- Grasas y Aceites
- Nitrógeno de nitratos
- Nitrógeno amoniacal
- Fosfatos totales
- SAAM
- Color
- Turbiedad

Además del ICA general, es posible calcular los valores del ICA para las categorías siguientes: materia orgánica, bacteriológico, material iónico, material en suspensión y nutrientes.

Para la obtención de estos índices se utiliza la misma fórmula de ICA general (promedios ponderados), y los coeficientes correspondientes para cada parámetro. En la tabla 1 se indica la agrupación de los parámetros de acuerdo a esta clasificación.

4. Coeficientes de Ponderación por Parámetro

La importancia relativa que se da a cada parámetro para determinar el Índice de Calidad del Agua Global se presenta en la tabla 2.

Tabla 1 Agrupación de parámetros para ICA's particulares

Parámetro	Clasificación		Parámetro	Clasificación
pH	Material iónico		Nitrógeno de nitratos	Nutrientes
Color	Material suspendido		Nitrógeno amoniacal	Nutrientes
Turbiedad	Material suspendido		Fosfatos totales	Nutrientes
Grasas y Aceites	Material suspendido		Cloruros	Material iónico
Sólidos Suspendidos	Material suspendido		Oxígeno Disuelto	Materia orgánica
Sólidos Disueltos	Material iónico		DBO	Materia orgánica
Conductividad Eléctrica	Material iónico		Coliformes Totales	Bacteriológico
Alcalinidad	Material iónico		Coliformes Fecales	Bacteriológico
Dureza Total	Material iónico		SAAM	Nutrientes

Tabla 2 Coeficientes de ponderación para el cálculo del ICA

Parámetro	Importancia		Parámetro	Importancia
pH	1.0		Nitrógeno de Nitratos	2.0

Parámetro	Importancia	Parámetro	Importancia
Color	1.0	Nitrógeno Amoniacal	2.0
Turbiedad	0.5	Fosfatos Totales	2.0
Grasas y Aceites	2.0	Cloruros	0.5
Sólidos Suspendidos	1.0	Oxígeno Disuelto	5.0
Sólidos Disueltos	0.5	DBO	5.0
Conductividad Eléctrica	2.0	Coliformes Totales	3.0
Alcalinidad	1.0	Coliformes Fecales	4.0
Dureza Total	1.0	SAAM	3.0

Como parte del cálculo del ICA, en el caso en los que no existe un dato, se considerara un coeficiente de ponderación nulo para el parámetro al que corresponda en la evaluación del ICA.

5. Ecuaciones

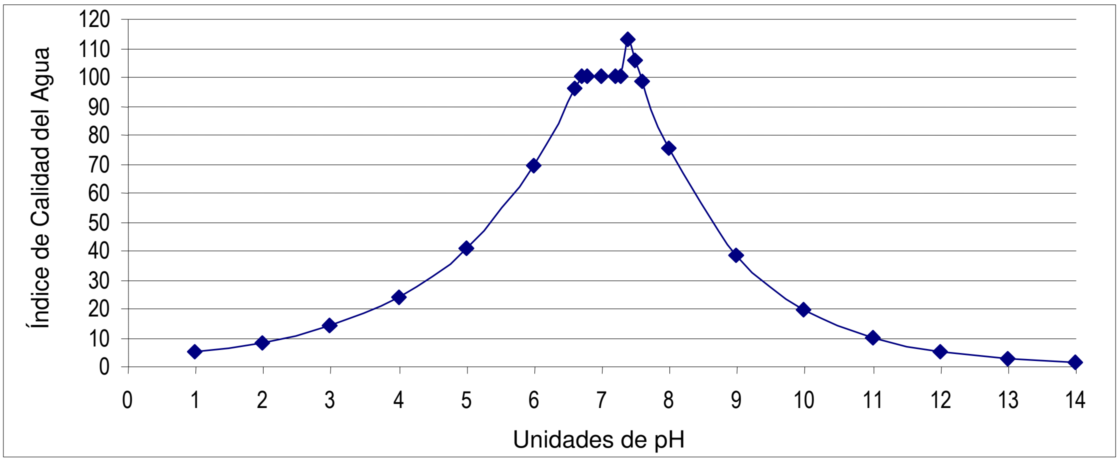
Las ecuaciones definidas para el índice de calidad individual de cada uno de los 18 parámetros seleccionados para conformar el índice general, son las siguientes:

- Potencial de Hidrógeno

$$I_{pH} = 10^{0.2335\,pH + 0.44} \qquad \text{Si el pH es menor que 6.7} \qquad \text{........(2a)}$$
$$I_{pH} = 100 \qquad \text{Si el pH está entre 6.7 y 7.3} \qquad \text{........(2b)}$$
$$I_{pH} = 10^{4.22 - 0.293\,pH} \qquad \text{Si el pH es mayor que 7.3} \qquad \text{........(2c)}$$

La gráfica 1 muestra el comportamiento de las ecuaciones.

Gráfica 1 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua del pH



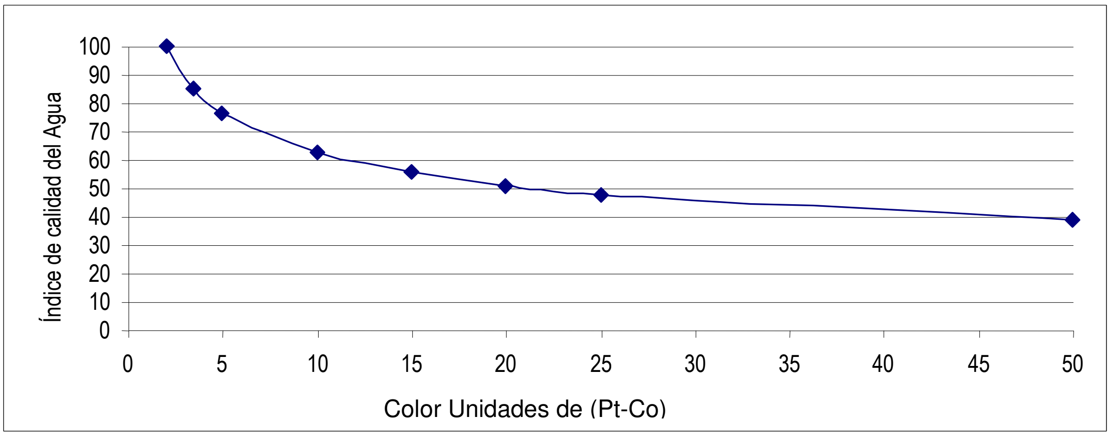
- Color

$$I_C = 123\,(C)^{-0.295} \quad \text{..} \; (3)$$

(C) en unidades de color escala de platino-cobalto

La gráfica 2 muestra el comportamiento de esta ecuación.

Gráfica 2 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua del color



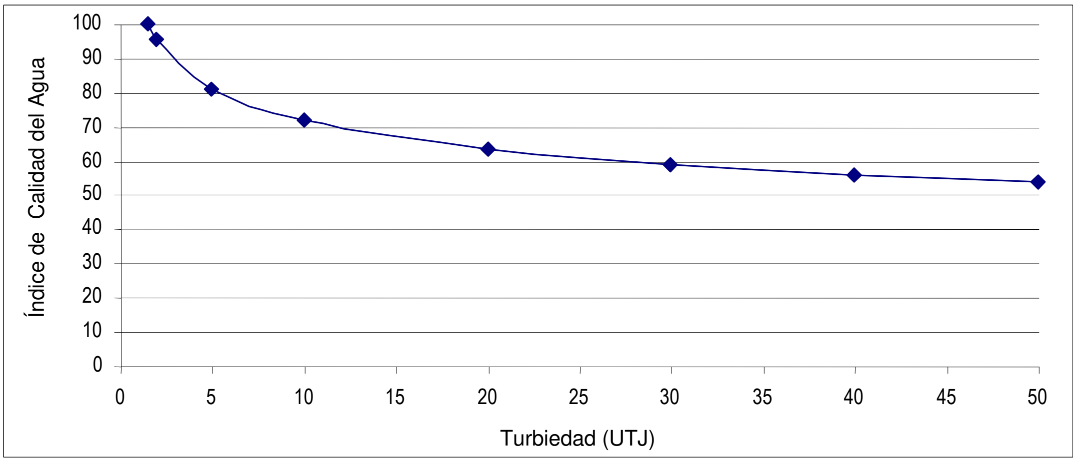
- ❖ Turbiedad

$$I_T = 108\,(T)^{-0.178} \quad \text{..} \; (4)$$

(T) turbiedad en unidades de UTJ

La gráfica 3 muestra el comportamiento de esta ecuación.

Gráfica 3 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de turbiedad



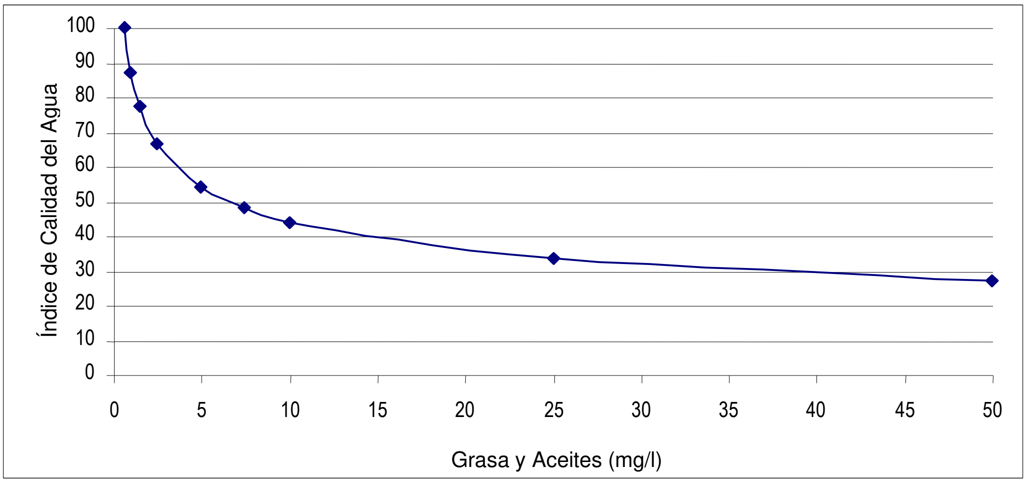
- ❖ Grasas y Aceites

$I_{G\ y\ A.} = 87.25\ (G\ y\ A)^{-0.298}$ ....(5)

(G y A)Grasas y Aceites en mg/l

La gráfica 4 muestra el comportamiento de la ecuación 5.

Gráfica 4 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de grasas y aceites



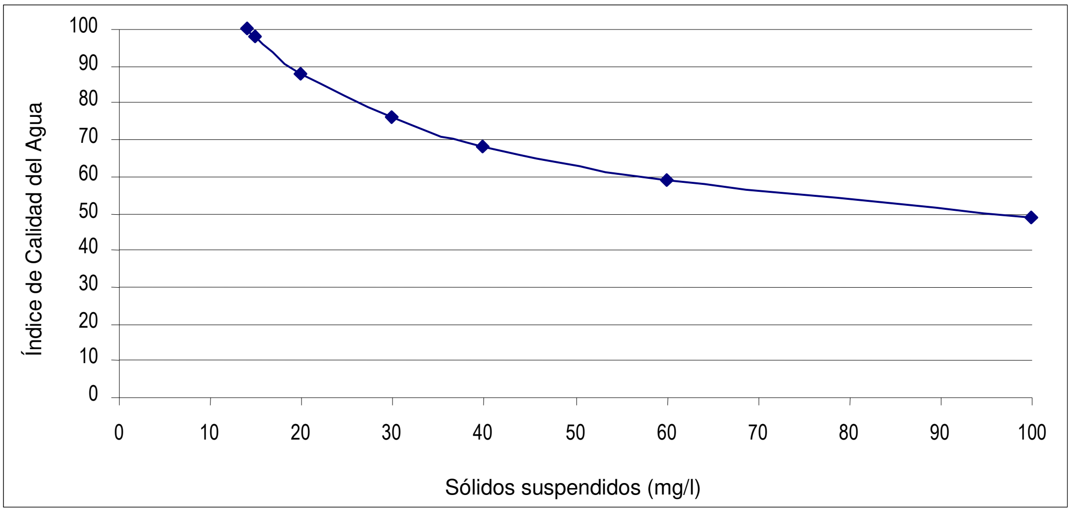
- Sólidos Suspendidos

$I_{SS} = 266.5\ (SS)^{-0.37}$ ....(6)

(SS) Sólidos Suspendidos en mg/l

La gráfica 5 muestra el comportamiento de esta ecuación.

Gráfica 5 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de sólidos suspendidos



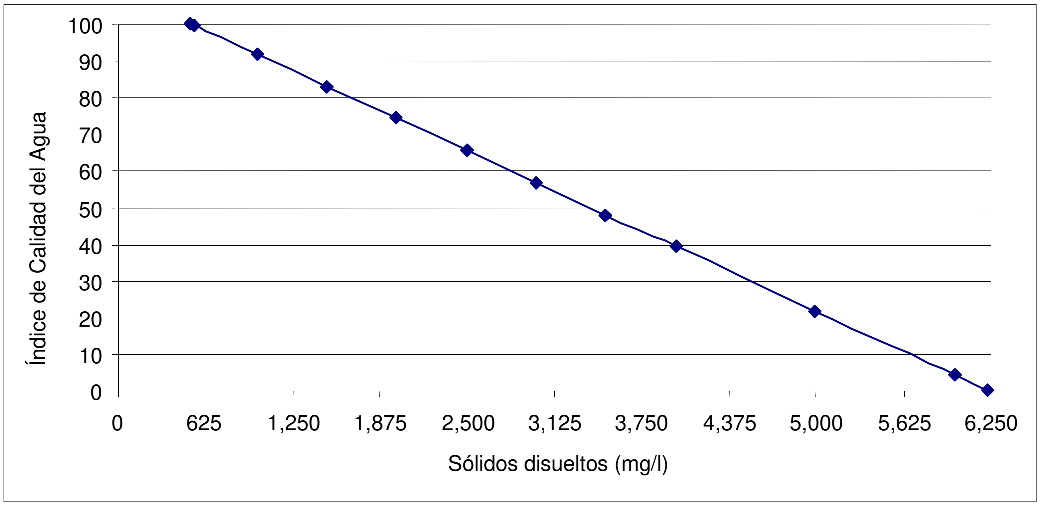
- Sólidos Disueltos

$I_{SD} = 109.1 - 0.0175\ (SD)$ ....(7)

(SD) Sólidos Disueltos en mg/l

La gráfica 6 muestra el comportamiento de esta ecuación.

Gráfica 6 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de sólidos disueltos



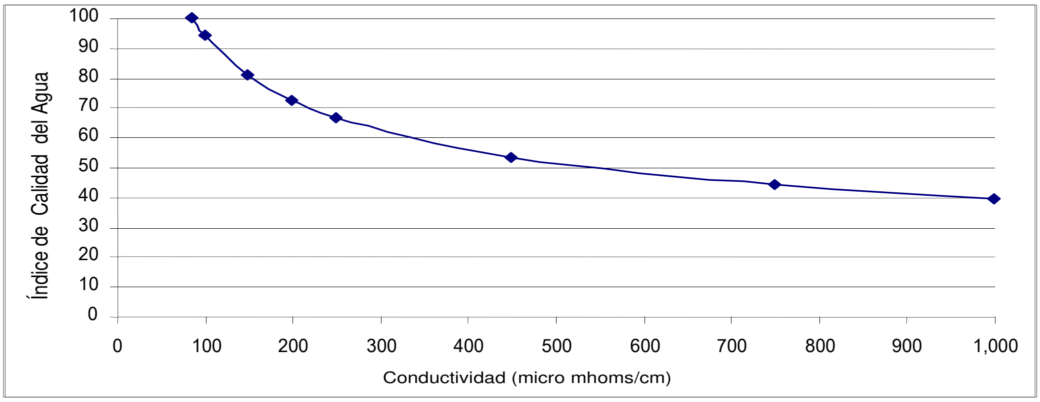
- ❖ Conductividad Eléctrica

$$I_{CE} = 540\ (CE)^{-0.379} \quad \text{...(8)}$$

(CE) Conductividad Eléctrica en µmhos/cm

La gráfica 7 muestra el comportamiento de esta ecuación.

Gráfica 7 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de conductividad eléctrica



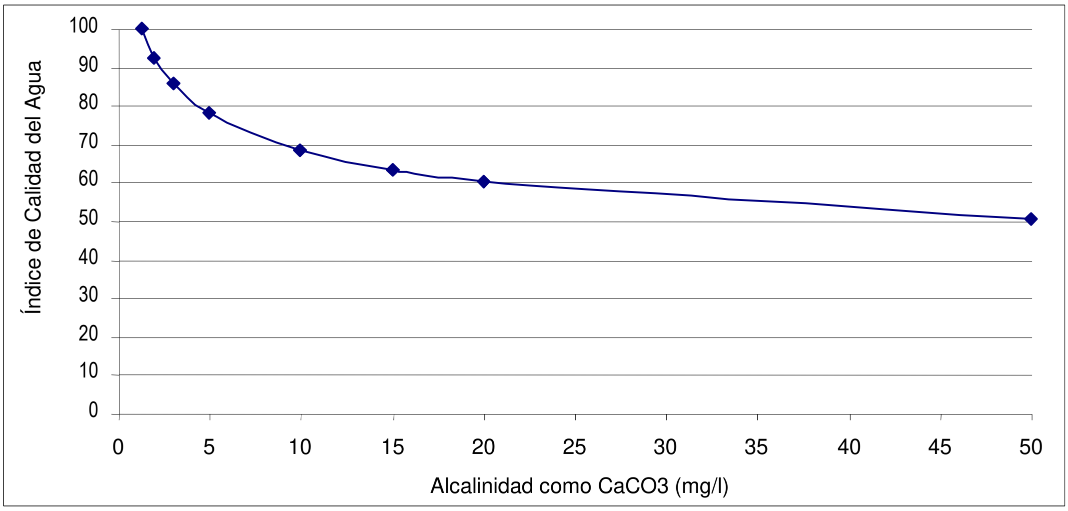
- ❖ Alcalinidad

$$I_A = 105\ (A)^{-0.186} \quad \text{..(9)}$$

(A) Alcalinidad en mg/l como $CaCo_3$

La gráfica 8 muestra el comportamiento de esta ecuación.

Gráfica 8 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de alcalinidad



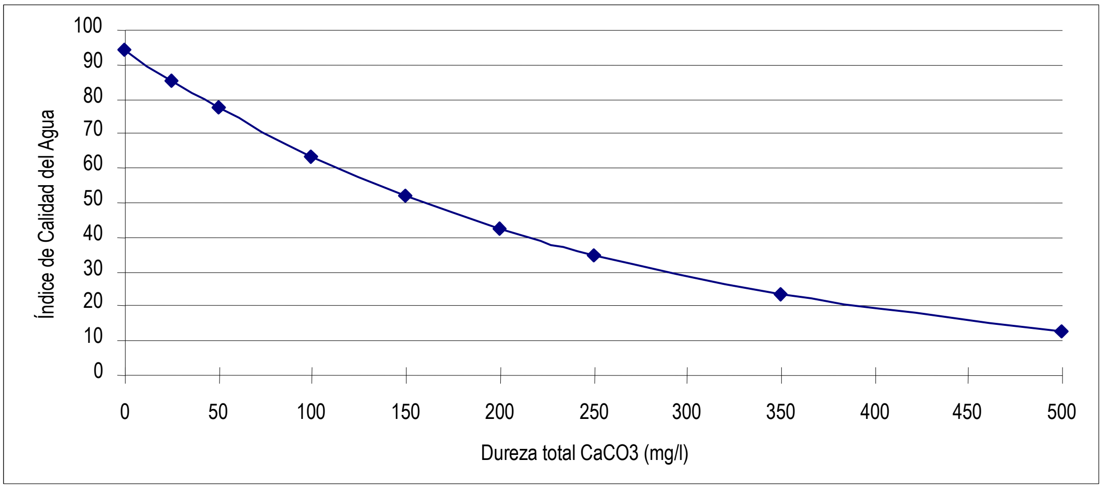
- Dureza Total

$$I_{DT} = 10^{\,1.974 - 0.00174\,(DT)} \quad \text{..(10)}$$

(DT) Dureza Total en mg/l como $CaCo_3$

La gráfica 9 muestra el comportamiento de esta ecuación.

Gráfica 9 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de dureza total



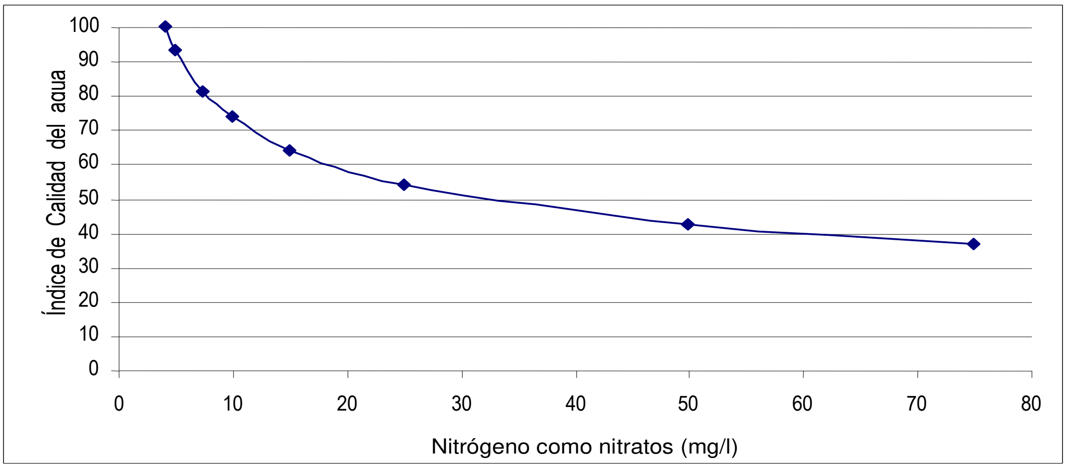
- Nitrógeno de Nitratos

$$I_{N\text{-}NO3} = 162.2\,(N\text{-}NO_3)^{-0.343} \quad \text{..(11)}$$

$(N\text{-}NO_3)$ Nitrógeno de Nitratos en mg/l

La gráfica 10 muestra el comportamiento de esta ecuación.

Gráfica 10 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de nitratos



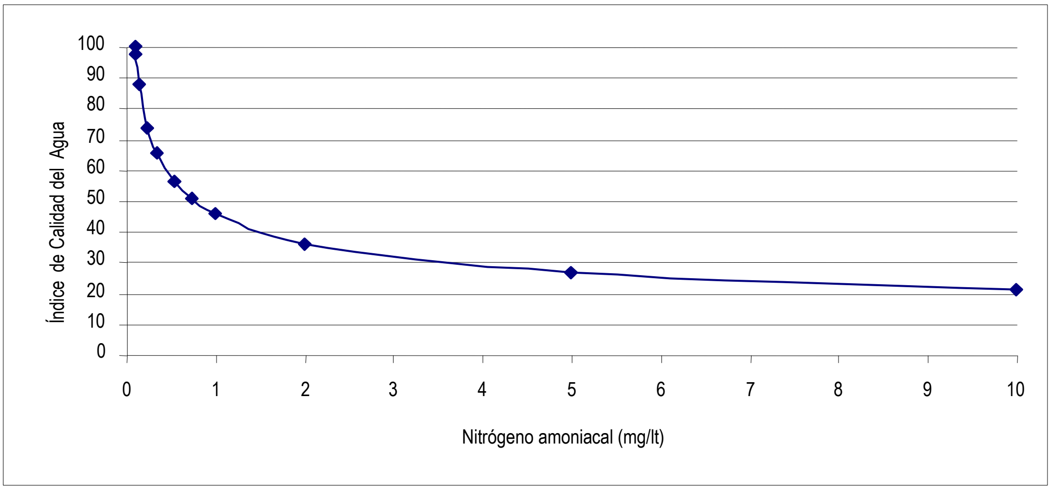
- Nitrógeno Amoniacal

$$I_{NH3} = 45.8\,(N\text{-}NH_3)^{-0.343} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(12)$$

($N\text{-}NH_3$) Nitrógeno amoniacal en mg/l

La gráfica 11 muestra el comportamiento de esta ecuación.

Gráfica 11 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de nitrógeno amoniacal



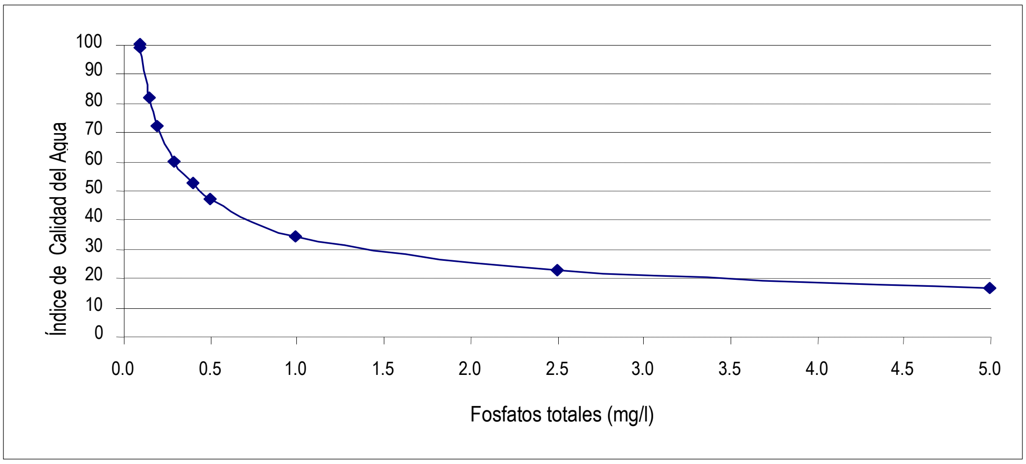
- Fosfatos Totales

$$I_{PO4} = 34.215\,(PO_4)^{-0.46} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(13)$$

(PO_4) Fosfatos Totales en mg/l

La gráfica 12 muestra el comportamiento de esta ecuación.

Gráfica 12 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de fosfatos totales



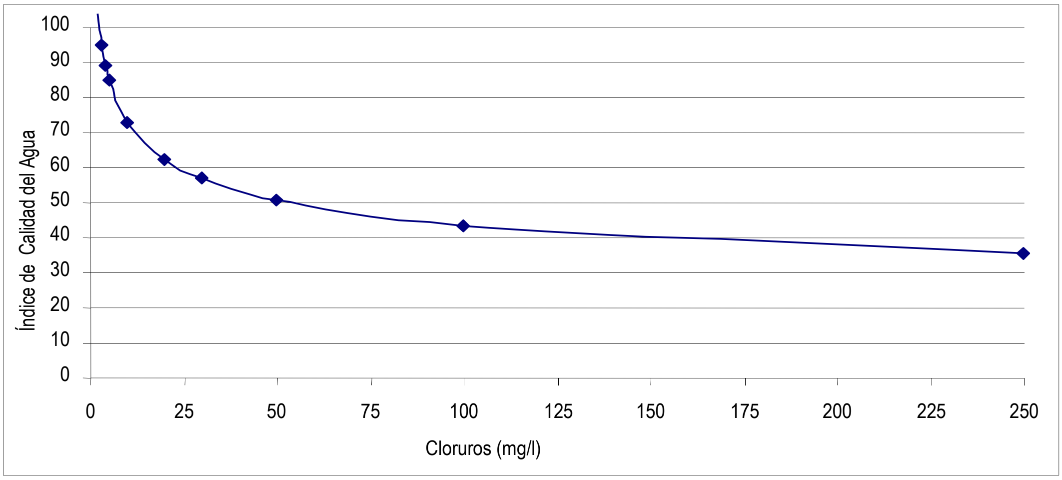
- ❖ Cloruros

$$I_{Cl^-} = 121\ (Cl)^{-0.223} \qquad \text{...(14)}$$

(Cl) Cloruros en mg/l

La gráfica 13 muestra el comportamiento de esta ecuación.

Gráfica 13 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de cloruros



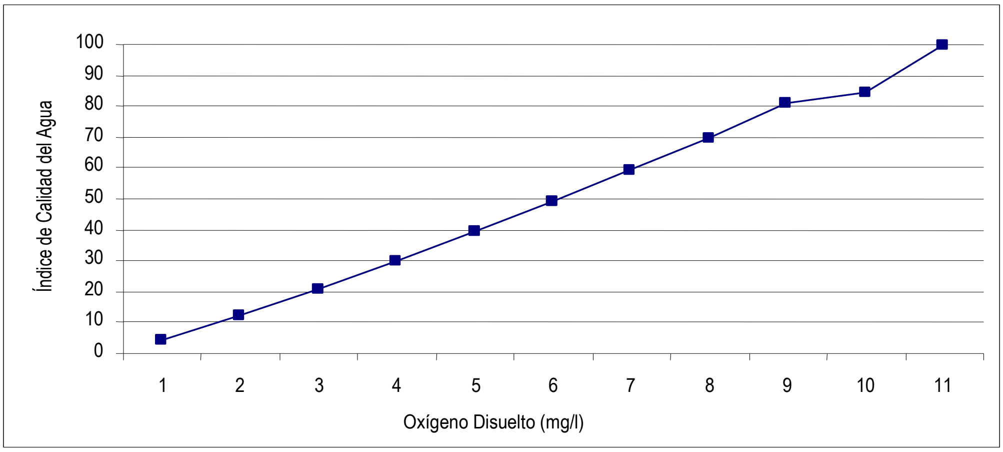
- ❖ Oxígeno Disuelto

$$I_{OD} = \frac{OD}{OD_{Sat}} \times 100 \qquad \text{......................(15)}$$

(OD) Oxígeno Disuelto en mg/l y a T. de campo (T_c)
(Oxígeno Disuelto)$_{sat}$ mg/l de saturación $T_{sat} = T_c$

La gráfica 14 muestra el comportamiento de esta ecuación.

Gráfica 14 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de oxígeno disuelto

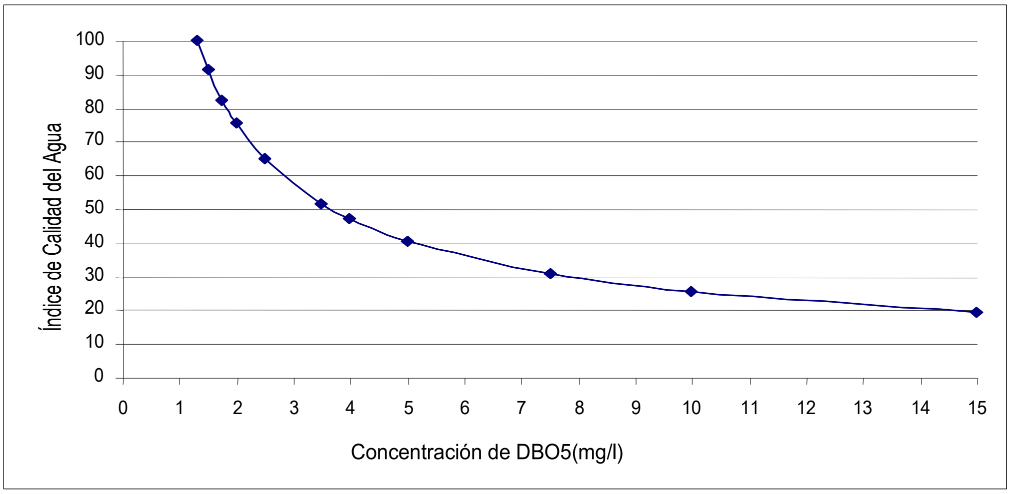


❖ Demanda Bioquímica de Oxígeno

$$I_{DBO} = 120\ (DBO)^{-0.673} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(16)$$

(DBO) Demanda Bioquímica de Oxígeno en mg/l

Gráfica 15 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de DBO_5

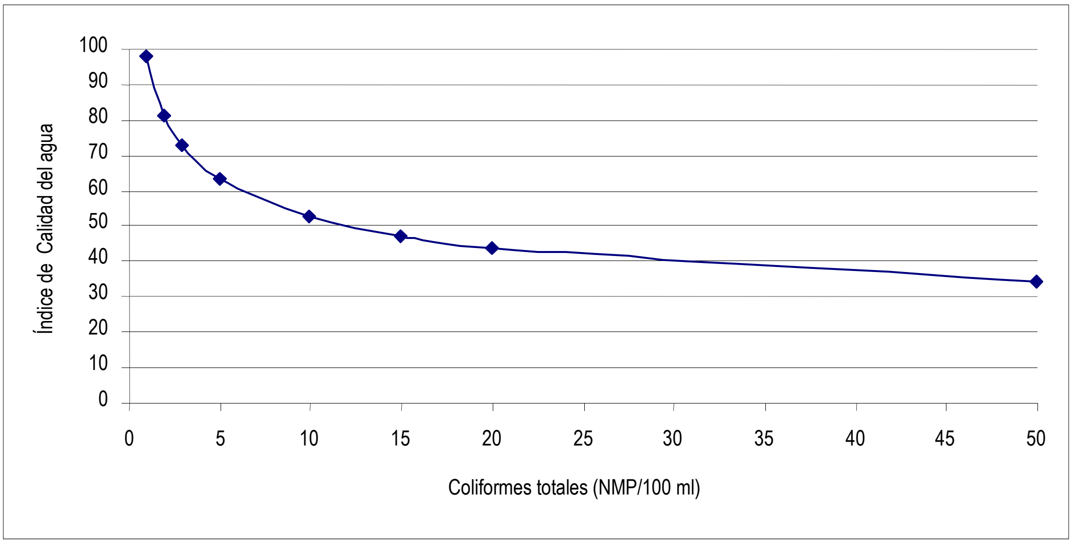


❖ Coliformes Totales

$$I_{CT} = 97.5\ (CT)^{-0.27} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots(17)$$

(CT) Coliformes Totales en NMP / 100 ml

Gráfica 16 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de coliformes totales

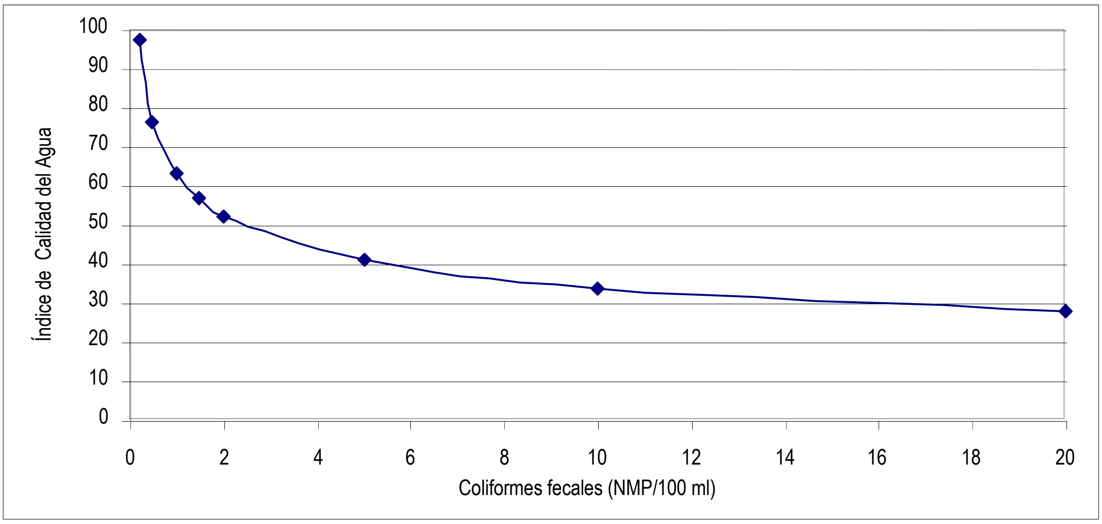


❖ Coliformes Fecales

$$I_{Ec} = 97.5\ [5\ (CF)]^{-0.27} \qquad \text{...(18)}$$

(CF) Coliformes Fecales en NMP / 100 ml

Gráfica 17 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua de coliformes fecales

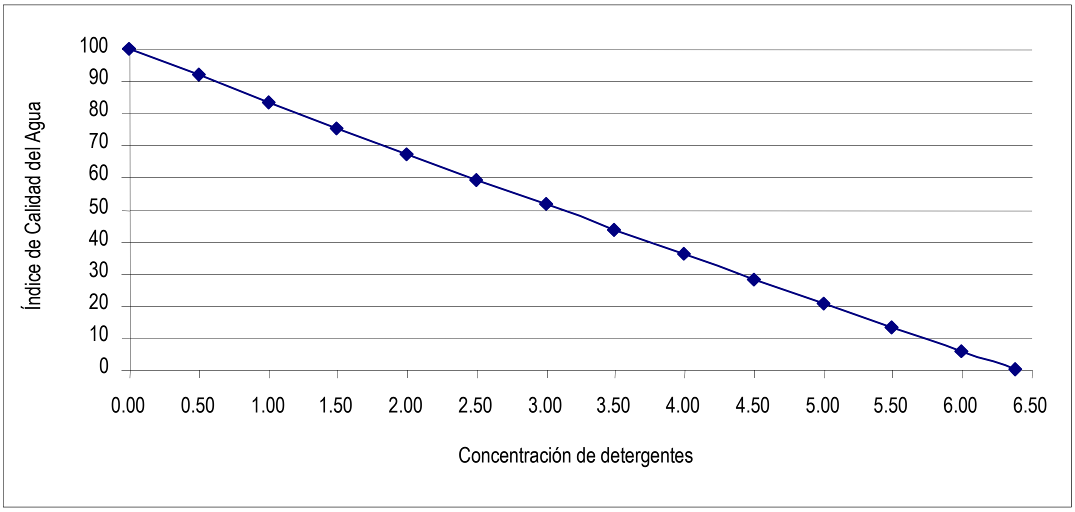


❖ Sustancias Activas al Azul de Metileno (SAAM)

$$I_{SAAM} = 100 - 16.678(SAAM) + 0.1587(SAAM)^2 \qquad \text{.............................(19)}$$

(SAAM) Sustancias Activas al Azul de Metileno en mg/l

Gráfica 18 Comportamiento del Índice de Calidad del Agua



6. Criterios de Cálculo

La aplicación de las ecuaciones para el cálculo del ICA por parámetro a los datos de calidad del agua puede generar valores del ICA mayores a 100 o negativos, por lo que es necesario tomar en cuenta ciertos criterios de cálculo en la metodología, basados en el comportamiento matemático de las ecuaciones.

En caso de que no exista ningún parámetro para el calculo del ICA, la estación de monitoreo no se tomará en cuenta para el período de evaluación de donde no haya información.

El cálculo del ICA se realizará con los parámetros con que cuente la estación de monitoreo, en caso de que no existan los 18 parámetros.

1. Potencial de hidrógeno. Para valores de pH menores a 6.7 se usará la ecuación 2a; en el caso de que el pH sea mayor o igual a 6.7 y menor que 7.58 se aplicará la ecuación 2b. Cuando el pH sea mayor o igual a 7.58 se usará la ecuación 2c.
2. Color. Los datos de las concentraciones de color que se utilizarán en el cálculo serán de color verdadero. Para concentraciones menores a 2.018 unidades de Pt-Co se asignará el valor de ICA igual a 100.
3. Turbiedad. Para concentraciones menores a 1.54 UTJ se asignará un valor de ICA de 100.
4. Grasas y aceites. Cuando se tienen datos menores de 0.633 mg/l, se debe asignar un valor de ICA de 100.
5. Sólidos suspendidos. Para concentraciones menores de 14.144 mg/l se asigna un valor de ICA de 100.
6. Sólidos disueltos. Para concentraciones menores a 520 mg/l se asigna un valor de ICA de 100, y para concentraciones mayores a 6234 mg/l se debe asignar un valor de cero.
7. Conductividad eléctrica. Cuando se tienen concentraciones menores a 85.60 μmhos/cm, se debe asignar un ICA de 100 %.
8. Alcalinidad. Para concentraciones menores de 1.3 se asigna un ICA de 100.
9. Dureza total. Para concentraciones mayores a 2500 mg/l se asignará un ICA de cero.

10. Nitrógeno de nitratos. Se asigna un valor de ICA de 100 para concentraciones menores a 4.097 mg/l.
11. Nitrógeno amoniacal. Para concentraciones menores de 0.11 mg/l se asigna un ICA de 100.
12. Fosfatos totales. Se asigna un valor de ICA de 100 para concentraciones menores o iguales a 0.0971 mg/l.
13. Cloruros. Para concentraciones menores a 2.351 se asignará un ICA de 100.
14. Oxígeno disuelto. El oxígeno se disuelve en el agua por el contacto del aire con la superficie del agua, hasta alcanzar el punto de saturación a una temperatura determinada. A la temperatura de $0^{o}C$ el punto de saturación del oxígeno disuelto es de 14.6 ppm. Esta concentración disminuye al aumentar la temperatura del agua, de manera que a $15^{o}C$ la concentración de saturación del oxígeno disuelto es de 10 ppm. Es por este motivo que, cuando no se cuente con el dato de la temperatura ambiente, no se podrá realizar el cálculo del oxígeno disuelto y se considerará inexistente. Para calcular la concentración de OD en equilibrio con aire saturado en agua, se usará la ecuación (20) que se muestra a continuación:

$$\ln(\mathrm{OD}) = -139.34411 + \left(1.575701\frac{10^{5}}{T}\right) - \left(6.642308\frac{10^{7}}{T^{2}}\right) + \left(1.2438\frac{10^{10}}{T^{3}}\right) - \left(8.621949\frac{10^{11}}{T^{4}}\right) \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(20)$$

donde la temperatura T esta en grados Kelvin ($T = 273.15 + T_{ambiente}$)

Posteriormente con la ecuación (15) se calcula el índice del OD.

15. Demanda bioquímica de oxígeno. Se asigna un ICA de 100 para concentraciones menores o iguales a 1.311 mg/l.
16. Coliformes totales. Cuando se tiene un valor de coliformes totales de 0 NMP/100 ml, se asigna un índice de 100.
17. Coliformes fecales. Cuando se tiene un valor de coliformes fecales de 0 NMP/100 ml, se asigna un índice de 100.
18. SAAM. Se asigna un valor de ICA de cero cuando se tengan concentraciones mayores de 6.384 mg/l.

7. Evaluación del ICA

Como se ha mencionado el ICA indica el grado de contaminación del agua a la fecha del muestreo y esta expresado como un porcentaje del agua pura; así, agua altamente contaminada tendrá un ICA cercano o igual a cero por ciento y para el agua en excelentes condiciones cercanas a 100. La tabla 3 muestra el rango de clasificación del ICA de acuerdo al criterio general y los colores asignados en cada caso. La tabla 4 presenta la escala de clasificación del índice de calidad del agua considerando un criterio general y los distintos usos que se les da al agua.

Tabla 3 Rango de clasificación del ICA de acuerdo al criterio general

ICA	CRITERIO GENERAL

85 –100	No Contaminado
70 - 84	Aceptable
50 – 69	Poco Contaminado
30 - 49	Contaminado
0 - 29	Altamente Contaminado

Tabla 4 Escala de clasificación del Indice de Calidad del Agua

ICA	Criterio General	Abastecimiento Público	Recreación	Pesca y Vida Acuática	Industrial y Agrícola
100	No contaminado	No requiere Purificación	Aceptable para cualquier deporte Acuatico	Aceptable para todos los Organismos	No requiere Purificación
90		Ligera Purificación			Ligera Purificación para algunos procesos
80	Aceptable	Mayor Necesidad de Tratamiento			
70	Poco Contaminado		Aceptable no Recomendable	Aceptable excepto especies muy sensibles	Sin tratamiento para industria normal
60				Dudoso para especies sensibles	
50	Contaminado	Dudoso	Dudoso para contacto directo	Solo organismos muy resistentes	Tratamiento en la mayor parte de la industria
40		No Aceptable	Sin contacto con el agua		
30	Altamente Contaminado		Señal de contaminación	No Aceptable	Uso muy restringido
20			No Aceptable		No Aceptable
10					