

Anexo 1. Hoja metodológica para el cálculo del Índice de Calidad de Agua(ICA)

Hoja Metodológica																															
Nombre del indicador	Índice de Calidad del agua (ICA)																														
Definición	Muestra la calidad del agua presente en los cuerpos de agua superficial del país, de acuerdo con los parámetros y valores guías propuestos por el MARN.																														
Fórmula de cálculo																															
<p>El “ICA” adopta para condiciones óptimas un valor máximo determinado de 100, que va disminuyendo con el aumento de la contaminación el curso de agua en estudio.</p> <p>Para determinar el valor del “ICA” en un punto deseado es necesario que se tengan las mediciones de los 9 parámetros implicados en el cálculo del Índice los cuales son: Coliformes Fecales, pH, (DBO5), Nitratos, Fosfatos, Cambio de la Temperatura, Turbidez, Sólidos disueltos Totales, Oxígeno disuelto.</p> <p>La evaluación numérica del “ICA”, con técnicas multiplicativas y ponderadas con la asignación de pesos específicos se debe a Brown. Para calcular el Índice de Brown se puede utilizar una suma lineal ponderada de los subíndices que se expresan matemáticamente como sigue:</p> $ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i)$ <p>Para determinar el valor del “ICA” es necesario sustituir los datos en la ecuación anterior obteniendo los Sub_i de distintas gráficas como se explicará a continuación, dicho valor se multiplica por sus respectivos w_i de la siguiente tabla y se realiza la sumatoria de los 9 resultados obteniendo de esta manera el “ICA”.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>i</th> <th>Sub_i</th> <th>w_i</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>Coliformes Fecales</td> <td>0.15</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>pH</td> <td>0.12</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>DBO5</td> <td>0.10</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Nitratos</td> <td>0.10</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Fosfatos</td> <td>0.10</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Cambio de Temperatura</td> <td>0.10</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Turbidez</td> <td>0.08</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Solidos Disueltos Totales</td> <td>0.08</td> </tr> <tr> <td>9</td> <td>Saturación de Oxígeno disuelto</td> <td>0.17</td> </tr> </tbody> </table>		i	Sub_i	w_i	1	Coliformes Fecales	0.15	2	pH	0.12	3	DBO5	0.10	4	Nitratos	0.10	5	Fosfatos	0.10	6	Cambio de Temperatura	0.10	7	Turbidez	0.08	8	Solidos Disueltos Totales	0.08	9	Saturación de Oxígeno disuelto	0.17
i	Sub_i	w_i																													
1	Coliformes Fecales	0.15																													
2	pH	0.12																													
3	DBO5	0.10																													
4	Nitratos	0.10																													
5	Fosfatos	0.10																													
6	Cambio de Temperatura	0.10																													
7	Turbidez	0.08																													
8	Solidos Disueltos Totales	0.08																													
9	Saturación de Oxígeno disuelto	0.17																													
<p>Tabla 1. Ponderación de subindicadores</p> <p>Los pasos a seguir para calcular los (Sub_i) del Índice de Calidad General son: Si los Coliformes fecales son mayores de 100,000 NMP/100 mL el (Sub_i) es igual a 3. Si el valor de Coliformes fecales es menor de 100,000 NMP/100 mL, buscar el valor en el eje de (X) en la Figura 1 se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y).</p>																															

El valor encontrado es el (Sub_1) de Coliformes fecales, se procede a multiplicarlo por el peso W_i

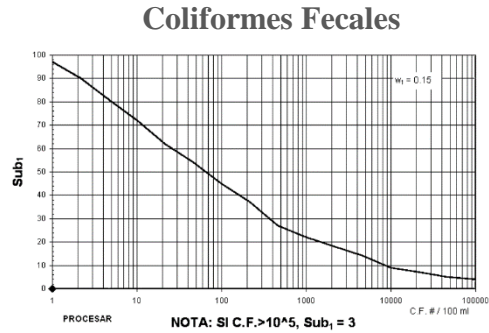


Figura 1. Valoración de la calidad de agua en función de Coliformes Fecales

Si el valor de pH es menor o igual a 2 unidades el (Sub_2) es igual a 2, si el valor de pH es mayor o igual a 10 unidades el (Sub_2) es igual a 3. Si el valor de pH esta entre 2 y 10 buscar el valor en el eje de (X) en la **Figura 2** se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub_2) de pH y se procede a multiplicarlo por el peso W_2 .

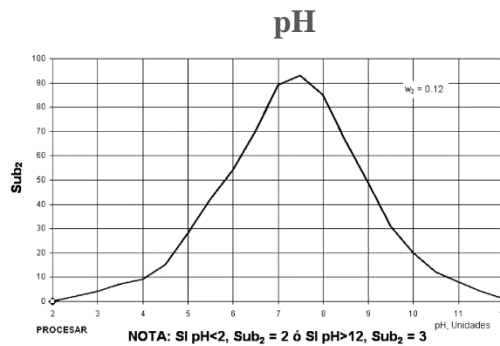


Figura 2. Valoración de la calidad de agua en función de pH.

Si la DBO₅ es mayor de 30 mg/L el (Sub_3) es igual a 2. Si la DBO₅ es menor de 30 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la **Figura 3** se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub_3) de DBO₅ y se procede a multiplicarlo por el peso W_3 .

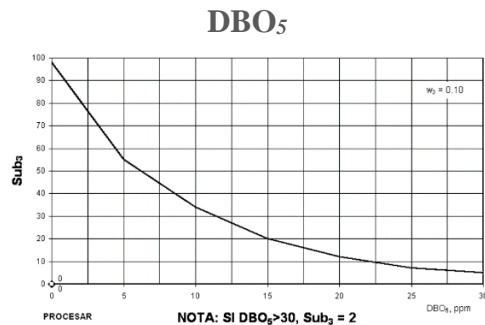


Figura 3. Valoración de la calidad de agua en función de la DBO₅

Si Nitratos es mayor de 100 mg/L el (Sub_4) es igual a 2. Si Nitratos es menor de 100 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la **Figura 4** se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub_4) de Nitratos y se procede a multiplicarlo por el peso W_4 .

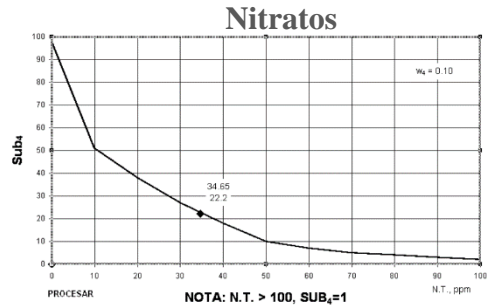


Figura 4. Valoración de la calidad de agua en función de nitrógeno.

Si el Fosfatos es mayor de 10 mg/L el (Sub_5) es igual a 5. Si el Fosfatos es menor de 10 mg/L buscar el valor en el eje de (X) en la **Figura 5** se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub_5) y se procede a multiplicarlo por el peso W_5 .

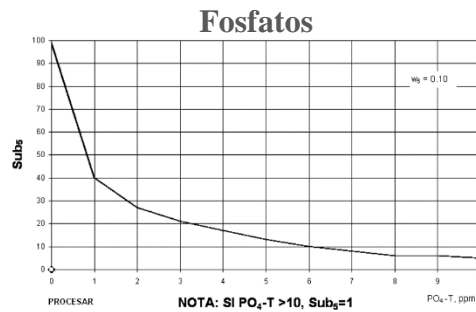


Figura 5. Valoración de la calidad de agua en función del Fósforo

Para el parámetro de Temperatura (Sub_6) primero hay que calcular la diferencia de la temperatura entre dos puntos de monitoreo continuos, si es un único punto de muestreo el delta es cero, con el valor obtenido proceder. Si el valor de esa diferencia es mayor de 15°C el (Sub_6) es igual a 9. Si el valor obtenido es menor de 15°C, buscar el valor en el eje de (X) en la **Figura 6** se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub_6) de Temperatura y se procede a multiplicarlo por el peso W_6 .

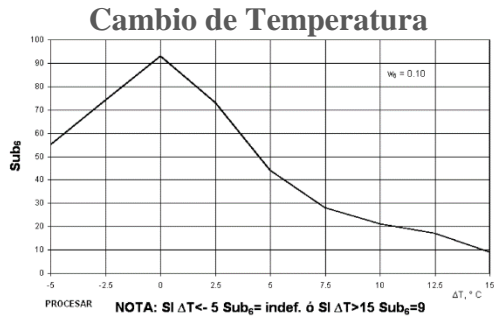


Figura 6. Valoración de la calidad de agua en función de la temperatura

Si la Turbidez es mayor de 100 NTU el (Sub_7) es igual a 5. Si la Turbidez es menor de 100 NTU, buscar el valor en el eje de (X) en la se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub_7) de Turbidez y se multiplicarlo por W_7 .

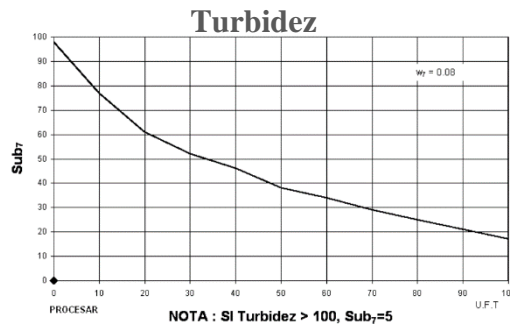


Figura 7. Valoración de la calidad de agua en función de la turbidez

Si los Sólidos disueltos Totales son mayores de 500 mg/L el (Sub_8) es igual a 3, si es menor de 500 mg/L, buscar el valor en el eje de (X) en la **Figura 8** se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub_8) de Residuo Total y se procede multiplicarlo por el peso W_8 .

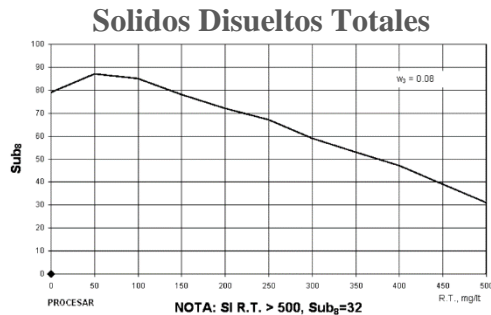


Figura 8. Valoración de la calidad de agua en función del residuo total

Para el parámetro de Oxígeno Disuelto (OD) primero hay que calcular el porcentaje de saturación del OD en el agua. Para esto hay que identificar el valor de saturación de OD según la temperatura del agua (Tabla 1)

Luego si el % de Saturación de OD es mayor de 140% el (Sub_9) es igual a 47. Si el valor obtenido es menor del 140% de Saturación de OD buscar el valor en el eje de (X) en la **Figura 9** se procede a interpolar al valor en el eje de las (Y). El valor encontrado es el (Sub_9) de Oxígeno Disuelto y se procede a multiplicarlo por el peso W_9 . Nota: Los cálculos de saturación se realizan a 740 mm de Hg

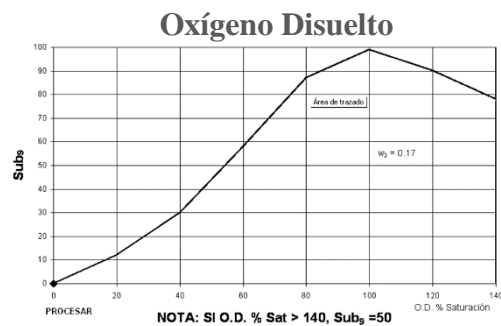


Figura 9. Valoración de la calidad de agua en función del % de saturación del oxígeno disuelto

Posteriormente al cálculo el índice de calidad de agua de tipo “General” se clasifica la calidad del agua con base a la siguiente clasificación:

ICA	Clasificación	Color
0-25	Pésima	Rojo
26-50	Mala	Amarillo
51-70	Regular	Gris
71-90	Buena	Cian
91-100	Excelente	Azul

Tabla 2. Valoración de Oxígeno Disuelto según la temperatura

Capacidad de oxígeno disuelto al 100% (mg/L)												
T	770 mm	760 mm	750 mm	740 mm	730 mm	720 mm	710 mm	700 mm	690 mm	680 mm	670 mm	660 mm
0°C	14.76	14.57	14.38	14.19	13.99	13.8	13.61	13.42	13.23	13.04	12.84	12.65
1°C	14.38	14.19	14	13.82	13.63	13.44	13.26	13.07	12.88	12.7	12.51	12.32
2°C	14.01	13.82	13.64	13.46	13.28	13.1	12.92	12.73	12.55	12.37	12.19	12.01
3°C	13.65	13.47	13.29	13.12	12.94	12.76	12.59	12.41	12.23	12.05	11.88	11.7
4°C	13.31	13.13	12.96	12.79	12.61	12.44	12.27	12.1	11.92	11.75	11.58	11.4
5°C	12.97	12.81	12.64	12.47	12.3	12.13	11.96	11.8	11.63	11.46	11.29	11.12
6°C	12.66	12.49	12.33	12.16	12	11.83	11.67	11.51	11.34	11.18	11.01	10.85
7°C	12.35	12.19	12.03	11.87	11.71	11.55	11.39	11.23	11.07	10.91	10.75	10.59
8°C	12.05	11.9	11.74	11.58	11.43	11.27	11.11	10.96	10.8	10.65	10.49	10.33
9°C	11.77	11.62	11.46	11.31	11.16	11.01	10.85	10.7	10.55	10.39	10.24	10.09
10°C	11.5	11.35	11.2	11.05	10.9	10.75	10.6	10.45	10.3	10.15	10	9.86
11°C	11.24	11.09	10.94	10.8	10.65	10.51	10.36	10.21	10.07	9.92	9.78	9.63
12°C	10.98	10.84	10.7	10.56	10.41	10.27	10.13	9.99	9.84	9.7	9.56	9.41
13°C	10.74	10.6	10.46	10.32	10.18	10.04	9.9	9.77	9.63	9.49	9.35	9.21
14°C	10.51	10.37	10.24	10.1	9.96	9.83	9.69	9.55	9.42	9.28	9.14	9.01
15°C	10.29	10.15	10.02	9.88	9.75	9.62	9.48	9.35	9.22	9.08	8.95	8.82
16°C	10.07	9.94	9.81	9.68	9.55	9.42	9.29	9.15	9.02	8.89	8.76	8.63
17°C	9.86	9.74	9.61	9.48	9.35	9.22	9.1	8.97	8.84	8.71	8.58	8.45
18°C	9.67	9.54	9.41	9.29	9.16	9.04	8.91	8.79	8.66	8.54	8.41	8.28
19°C	9.47	9.35	9.23	9.11	8.98	8.86	8.74	8.61	8.49	8.37	8.24	8.12
20°C	9.29	9.17	9.05	8.93	8.81	8.69	8.57	8.45	8.33	8.2	8.08	7.96
21°C	9.11	9	8.88	8.76	8.64	8.52	8.4	8.28	8.17	8.05	7.93	7.81
22°C	8.94	8.83	8.71	8.59	8.48	8.36	8.25	8.13	8.01	7.9	7.78	7.67
23°C	8.78	8.66	8.55	8.44	8.32	8.21	8.09	7.98	7.87	7.75	7.64	7.52
24°C	8.62	8.51	8.4	8.28	8.17	8.06	7.95	7.84	7.72	7.61	7.5	7.39
25°C	8.47	8.36	8.25	8.14	8.03	7.92	7.81	7.7	7.59	7.48	7.37	7.26
26°C	8.32	8.21	8.1	7.99	7.89	7.78	7.67	7.56	7.45	7.35	7.24	7.13
27°C	8.17	8.07	7.96	7.86	7.75	7.64	7.54	7.43	7.33	7.22	7.11	7.01
28°C	8.04	7.93	7.83	7.72	7.62	7.51	7.41	7.3	7.2	7.1	6.99	6.89
29°C	7.9	7.8	7.69	7.59	7.49	7.39	7.28	7.18	7.08	6.98	6.87	6.77
30°C	7.77	7.67	7.57	7.47	7.36	7.26	7.16	7.06	6.96	6.86	6.76	6.66
31°C	7.64	7.54	7.44	7.34	7.24	7.14	7.04	6.94	6.85	6.75	6.65	6.55

Definición de las variables relacionadas

- Coliformes fecales (NMP/100mL)
- pH (unidades de pH)
- Demanda bioquímica de oxígeno en 5 días (DBO5 en mg/L)
- Nitratos (NO₃ en mg/L)
- Fosfatos (PO₄ en mg/L)
- Cambio de la temperatura (°C)
- Turbidez (FAU)
- Sólidos disueltos (mg/L)
- Oxígeno disuelto (% de saturación)

Metodología de cálculo

Para desarrollar el “ICA”, La NSF seleccionaron 142 personas quienes representaron un amplio rango a nivel local, estatal y nacional en los Estados Unidos. El proceso para el desarrollo del Índice de Calidad del agua se llevó a cabo en las siguientes etapas:

I. La identificación de factores claves (parámetros biológicos, químicos o físicos) que pueden utilizarse como indicadores de la calidad del agua, basados en el criterio

profesional colectivo de personas con conocimientos relativos al medio acuático o al foco de contaminación. Mediante una serie de cuestionarios, a cada panelista se le pregunto que considerara 35 parámetros de calidad de agua para una posible inclusión en dicho índice. Este número se redujo finalmente a 9 parámetros, los cuales fueron mencionados anteriormente.

II. Asignación de los Pesos Relativos o Peso de importancia del Parámetro (w_i) correspondientes a los factores de contaminación en aguas. En esta fase se corre 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. En el caso de asignaciones de Pesos Relativos se identifican cuatro fases:

- El panel de expertos procede a la generación de las ideas que determinan los Pesos relativos, escribiéndolas en un papel
- Recolección de las ideas generadas por los participantes en un gráfico, mediante una discusión en serie.
- Discusión de cada idea recogida por el grupo con el fin de proceder a su clarificación y evaluación.
- Votación independiente sobre la prioridad de las ideas, es decir los Pesos Relativos, la decisión del grupo se determina mediante orientación matemática. Para esto se pueden establecer varias metodologías de índices como lo son las curvas funcionales. Estos datos se promediaron dando origen a curvas que relejan el criterio profesional de respuestas en una escala (Sub_i) de 0-100.

La agregación de la información, mediante fórmulas que incluyen adiciones simples o multiplicativas. Verificación en campo de su aplicabilidad. Esto implica la recolección de datos y su comprobación.

Limitaciones técnicas

Unidad de medida de las variables

- Coliformes fecales (NMP/100mL)
- pH (unidades de pH)
- Demanda bioquímica de oxígeno en 5 días (DBO5 en mg/L)
- Nitratos (NO3 en mg/L)
- Fosfatos (PO4 en mg/L)
- Cambio de la temperatura (°C)
- Turbidez (NTU)
- Sólidos disueltos (mg/L)
- Oxígeno disuelto (% de saturación)

<p>Interpretación del indicador</p>	<p>Las aguas con “ICA” de clasificación Buenas o Excelentes son capaces de poseer una alta diversidad de la vida acuática. Además, el agua también sería conveniente para todas las formas de contacto directo con ella.</p> <p>Las aguas con un “ICA” de categoría “Regular” tienen generalmente menos diversidad de organismos acuáticos y han aumentado con frecuencia el crecimiento de las algas.</p> <p>Las aguas con un “ICA” de categoría “Mala” pueden solamente apoyar una diversidad baja de la vida acuática y están experimentando probablemente problemas con la contaminación.</p> <p>Las aguas con un “ICA” que caen en categoría “Pésima” pueden solamente poder apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida.</p>						
<p>Fuentes de datos</p>	<p>MARN</p>						
<p>Periodicidad del indicador y/o las variables</p>	<p>Anual</p>						
<p>Disponibilidad de los datos</p>							
<p>Nivel de desagregación</p>	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="516 1092 711 1134">Geográfico</td> <td data-bbox="711 1092 1385 1134"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="516 1134 711 1176">General</td> <td data-bbox="711 1134 1385 1176"></td> </tr> <tr> <td data-bbox="516 1176 711 1249">Otros ámbitos</td> <td data-bbox="711 1176 1385 1249"></td> </tr> </table>	Geográfico		General		Otros ámbitos	
Geográfico							
General							
Otros ámbitos							
<p>Información georreferenciada</p>	<p>Coordenadas geográficas de las estaciones de monitoreo.</p>						
<p>Modelo ordenador PER</p>	<p>Indicador de Estado.</p>						
<p>Relación con instrumentos de planificación nacional e internacional</p>	<p>Ley de Medio Ambiente, Capítulo I. Aguas y ecosistemas acuáticos.</p> <p>Ley de Medio Ambiente, Decreto 40. Reglamento Especial de Normas Técnicas de Calidad Ambiental y el Índice de Calidad del Agua (ICA) Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivo 6: Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos</p> <p>Estrategia Nacional de Recursos Hídricos: Eje 1 Agua para la vida y Eje 3 Agua y territorio.</p>						

<p>Referencias bibliográficas</p>	<p>Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Procedimiento de cálculo del índice de calidad del agua (CCME WQI). Proceso: Gestión y generación de información para la gestión de la calidad del agua.</p> <p>Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Anexo 2. Metodología de Trabajo. Medición de Cantidad y Calidad de Agua.</p>
<p>Fecha de elaboración de la hoja metodológica</p>	
<p>Fecha de la última actualización de la hoja metodológica</p>	<p>Diciembre, 2018.</p>
<p>Elaborado por</p>	<p>Corrales L. Fung E. (2017). Diseño de un Sistema de monitoreo de los co-beneficios generados por la iniciativa REDD+ MbA de El Salvador. CATIE. Turrialba, Costa Rica</p>