

# **ANEXO 3**

## **INDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)**

## **HOJA DE CÁLCULO INDICE DE CALIDAD DEL AGUA - PROMEDIO ARITMÉTICO PONDERADO**

El Índice de Calidad del Agua (ICA) se emplea para interpretar y reducir la información de parámetros (físicos, químicos y bacteriológicos) a una expresión sencilla que mediante una fórmula matemática representa a todos los parámetros valorados y permite determinar la calidad del cuerpo de agua.

En la actualidad los indicadores desarrollados involucran desde un parámetro hasta más de 30, pudiendo agruparse en diferentes categorías como: contaminación por materia orgánica e inorgánica, eutrofización, aspectos de salud, características fisicoquímicas y sustancias disueltas, A pesar de los esfuerzos hechos no existe un indicador universal, limitando el uso de ciertos indicadores a regiones o problemas ambientales específicos.

Los trabajos de mayor importancia a nivel mundial se deben al índice desarrollado por “The National Sanitation Foundation” (NSF) (basado en la metodología Delphi<sup>1</sup>), por ser el más utilizado y modificado en muchos países del mundo, como España, Brasil y Colombia, entre otros, El ICA-NSF, utiliza nueve parámetros para determinar el índice de calidad estos son: Demanda Biológica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), Oxígeno Disuelto (OD), coliformes fecales, nitratos, pH, cambio de temperatura, Sólidos Disueltos Totales (SDT), fosfatos totales y turbiedad.

El cálculo del índice de calidad requiere de la determinación de un subíndice para cada uno de los parámetros señalados esto con el propósito de unificar la información y transformar las variables de escala dimensional a una adimensional permitiendo de esta forma su agregación; al respecto, el resultado de los consensos multidisciplinarios dio lugar a un índice de calidad cuyo cálculo está basado en nueve parámetros con sus respectivos subíndices de ponderación, Sin embargo cuando no se aplican todos los parámetros debido a una desestimación técnica, la ausencia de este se modifica con un factor de corrección.

Para el caso de la presente auditoría, los reportes de laboratorio del análisis a las muestras de agua en la zona de estudio muestran que la desviación de la temperatura (diferencia entre la temperatura de la muestra y la temperatura ambiente), es insignificante asimismo,

---

<sup>1</sup> El método Delphi es una metodología de investigación multidisciplinaria para la realización de pronósticos y predicciones, Fue desarrollado por la Corporación Rand al inicio de la Guerra Fría para investigar el impacto de la tecnología en la guerra, Su objetivo es la consecución de un consenso basado en la discusión entre expertos, Es un proceso repetitivo, Su funcionamiento se basó en la elaboración de cuestionarios contestados por expertos de forma simultánea, El responsable del estudio elaboró sus conclusiones a partir de la explotación estadística de los datos obtenidos, La metodología Delphi, que de acuerdo a Dinius (1987) es la más usada en el diseño de índices de calidad, propone la escogencia y conformación de un panel de expertos tales como: agencias de vigilancia, académicos y otros que tengan relación con la calidad del agua; quienes seleccionan las variables de acuerdo a sus criterio individual y finalmente escogen los de mayor recurrencia.

los valores de pH se mantienen constantes no existiendo variaciones apreciables, por lo que se desestima su aplicación en el cálculo del indicador para evitar enmascarar la condición de los cuerpos de agua.

Con esta consideración y aplicando el factor de corrección correspondientes se tienen los valores de ponderación definidos ( $w_i$ ) para los cálculos del ICA en esta auditoría.

**Parámetros seleccionados para el cálculo del ICA**

Parámetro	Valor de ponderación $w_i$
Oxígeno disuelto	0,201
Coliformes fecales	0,181
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	0,132
Nitratos	0,132
Fosfatos	0,132
Turbiedad	0,111
Sólidos Disueltos Totales	0,111

Fuente: "Contaminación orgánica e inorgánica en el río Choqueyapu. 2008

La integración de los subíndices determina el índice de calidad del agua empleando la fórmula de agregación matemática que comúnmente corresponden a una función promedio, Para fines de la presente auditoría la fórmula de agregación empleada fue la del método del promedio aritmético ponderado, que provee los mejores resultados para la indexación de la calidad general del agua<sup>2</sup>.

$$ICA = \sum_{i=1}^n q_i w_i$$

Donde:

ICA = Índice de calidad del agua.

$q_i$  = Subíndice del parámetro  $i$ .

<sup>2</sup> De acuerdo con el estudio realizado por House (1989) en los métodos utilizados para el cálculo de un ICA el promedio aritmético ponderado modificado y la suma ponderada modificada proveen los mejores resultados para indexación de la calidad general del agua.

$w_i$  = Peso relativo o peso de importancia para el subíndice  $i$ .

Para el cálculo de los subíndices por parámetro, se hace uso de gráficas de niveles de calidad, donde en las ordenadas se encuentran los rangos que van de 0 a 100 y en las abscisas los niveles de las variables, los resultados de las gráficas son curvas conocidas como relaciones funcionales o curvas de función, construidas específicamente para los parámetros considerados y en base a las cuales se hizo el cálculo del índice de calidad.

El valor obtenido mediante la fórmula de agregación de variables se interpreta mediante una escala general de calidad que va de 0 a 100, asignándole a cada estado de calidad un rango y un color, como se explica en la siguiente tabla.

**Escala de clasificación del ICA**

Rango	Calidad del agua	Escala de color
91-100	Excelente	<b>AZUL</b>
71-90	Buena	<b>VERDE</b>
51-70	Media	<b>AMARILLO</b>
26-50	Mala	<b>NARANJA</b>
0-25	Muy mala	<b>ROJO</b>

Fuente: Revista Ingeniería e Investigación pág. 180.

Esta escala de clasificación ha permitido determinar la calidad de las aguas de los diferentes ríos de la zona de la cuenca del río Katari que pertenecen a la zona de estudio y de las aguas del lago en la bahía de Cohana.

A continuación se presenta el cálculo del índice de calidad (ICA) por cuerpo de agua en la zona de estudio.

## CÁLCULO DEL ICA EN LOS RÍOS DE LA ZONA DE ESTUDIO Y EN EL LAGO EN LA BAHIA DE COHANA

### *Río SEKE y su afluente el río CHALLUAN JAHUIRA*

Parámetro	q <sub>1</sub>	q <sub>2</sub>	q <sub>3</sub>	q <sub>4</sub>	q <sub>6</sub>	q <sub>7</sub>	w <sub>i</sub>	q <sub>1</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>2</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>3</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>4</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>6</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>7</sub> *w <sub>i</sub>
O.D.	18,2	0,1	53,5	8,5	53,5	25,5	0,201	3,66	0,01	10,75	1,71	10,75	5,13
Colifecales	96,6	29,0	96,6	47,5	96,6	90,0	0,181	17,52	5,26	17,52	8,62	17,52	16,33
DBO	64,7	2,0	64,7	2,0	5,5	4,3	0,132	8,54	0,26	8,54	0,26	0,73	0,57
Nitratos	97,0	97,0	87,0	88,4	1,0	90,0	0,132	12,80	12,80	11,48	11,67	0,13	11,88
Fosfatos	96,6	12,5	96,6	37,4	64,3	74,2	0,132	12,75	1,65	12,75	4,94	8,49	9,79
Turbidez	76,2	71,4	71,3	71,4	71,4	5,0	0,111	8,49	7,96	7,94	7,95	7,95	0,56
SDT	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	52,0	0,111	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	5,79
Sumatoria								65,99	30,17	71,22	37,38	47,80	50,04

### *Río SECO y sus afluentes ríos KANTUTANI y HERNANI*

Parámetro	q <sub>8</sub>	q <sub>9</sub>	q <sub>10</sub>	q <sub>11</sub>	q <sub>12</sub>	q <sub>13</sub>	q <sub>14</sub>	q <sub>16</sub>	q <sub>17</sub>	w <sub>i</sub>	q <sub>8</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>9</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>10</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>11</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>12</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>13</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>14</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>16</sub> *w <sub>i</sub>
O.D.	22,5	5,0	1,5	1,4	4,2	2,0	1,0	0,00	0,00	0,201	4,52	1,01	0,30	0,28	0,84	0,40	0,20	0,00
Colifecales	96,6	68,7	96,6	96,6	7,5	28,1	96,6	16,20	13,20	0,181	17,52	12,46	17,52	17,52	1,36	5,10	17,52	2,94
DBO <sub>5</sub>	64,7	2,0	28,4	2,0	2,0	2,0	2,0	2,00	2,00	0,132	8,54	0,26	3,75	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26
Nitratos	90,0	90,5	90,0	97,0	86,5	90,0	34,0	97,00	97,00	0,132	11,88	11,95	11,88	12,80	11,42	11,88	4,49	12,80
Fosfatos	90,0	12,5	91,6	94,2	2,0	74,6	23,5	2,00	2,00	0,132	11,88	1,65	12,09	12,43	0,26	9,85	3,10	0,26
Turbidez	5,0	62,3	5,0	5,0	5,0	5,0	62,4	32,70	43,60	0,111	0,56	6,94	0,56	0,56	0,56	0,56	6,95	3,64
SDT	20,0	20,0	20,0	20,0	77,3	20,0	20,0	20,00	20,00	0,111	2,22	2,22	2,22	2,22	8,58	2,22	2,22	2,22
Sumatoria											57,12	36,49	48,32	46,08	23,29	30,27	34,75	22,13

**Río SEKAJAHUIRA**

Parámetro	q <sub>23</sub>	w <sub>i</sub>	q <sub>23</sub> *w <sub>i</sub>
O,D,	10,0	0,201	2,01
Colifecales	96,6	0,181	17,52
DBO <sub>5</sub>	33,0	0,132	4,36
Nitratos	54,0	0,132	7,13
Fosfatos	65,6	0,132	8,66
Turbidez	5,0	0,111	0,56
SDT	48,2	0,111	5,35
Sumatoria			45,58

**RIO PALLINA**

Parámetro	q <sub>24</sub>	q <sub>25</sub>	q <sub>26</sub>	q <sub>27</sub>	q <sub>28</sub>	q <sub>30</sub>	q <sub>31</sub>	q <sub>32</sub>	q <sub>33</sub>	w <sub>i</sub>	q <sub>24</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>25</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>26</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>27</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>28</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>30</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>31</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>32</sub> *w <sub>i</sub>
O.D.	24,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	30,0	23,0	0,00	0,201	4,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	6,03	4,62
Colifecales	96,7	4,7	16,2	15,3	8,2	30,0	59,3	96,6	14,70	0,181	17,54	0,85	2,94	2,78	1,49	5,44	10,76	17,52
DBO <sub>5</sub>	64,7	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	64,7	64,7	2,00	0,132	8,54	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	8,54	8,54
Nitratos	87,0	86,0	86,0	86,8	86,2	90,0	97,0	97,0	97,00	0,132	11,48	11,35	11,35	11,46	11,38	11,88	12,80	12,80
Fosfatos	74,6	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	90,0	86,0	2,00	0,132	9,85	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	11,88	11,35
Turbidez	5,0	35,5	35,5	36,6	36,6	29,1	61,4	5,0	20,00	0,111	0,56	3,95	3,95	4,08	4,08	3,24	6,84	0,56
SDT	49,1	60,9	20,0	20,0	20,0	20,0	0,111	50,9	20,00	0,111	5,45	6,76	2,22	2,22	2,22	2,22	0,01	5,65
Sumatoria											58,40	23,45	20,99	21,06	19,70	23,31	56,86	61,05

**RIO KATARI**

Parámetro	q <sub>34</sub>	q <sub>35</sub>	q <sub>36</sub>	q <sub>37</sub>	q <sub>38</sub>	q <sub>39</sub>	q <sub>40</sub>	q <sub>41</sub>	w <sub>i</sub>	q <sub>34</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>35</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>36</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>37</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>38</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>39</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>40</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>41</sub> *w <sub>i</sub>
O,D,	28,5	2,0	20,0	28,5	50,0	51,0	31,80	13,60	0,201	5,73	0,40	4,02	5,73	10,05	10,25	6,39	2,73
Colifecales	96,7	13,5	34,0	96,7	96,7	96,7	96,70	96,70	0,181	17,54	2,45	6,17	17,54	17,54	17,54	17,54	17,54
DBO <sub>5</sub>	64,7	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	49,00	4,80	0,132	8,54	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	6,47	0,63
Nitratos	97,0	87,5	96,9	85,5	83,0	67,0	97,00	13,50	0,132	12,80	11,55	12,79	11,29	10,96	8,84	12,80	1,78
Fosfatos	81,2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	84,20	13,30	0,132	10,72	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	11,11	1,76
Turbidez	26,2	5,0	32,5	18,4	21,5	23,6	93,20	5,00	0,111	2,92	0,56	3,62	2,05	2,40	2,63	10,38	0,56
SDT	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,00	20,00	0,111	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23
Sumatoria										60,48	17,71	29,35	39,36	43,70	42,02	66,93	27,23

**RIO SEHUENCA**

Parámetro	q <sub>s</sub>	w <sub>i</sub>	q <sub>s</sub> *w <sub>i</sub>
O,D,	24,0	0,201	4,82
Colifecales	96,6	0,181	17,52
DBO <sub>5</sub>	64,7	0,132	8,54
Nitratos	97,0	0,132	12,80
Fosfatos	94,4	0,132	12,46
Turbidez	87,3	0,111	9,73
SDT	20,0	0,111	2,22
Sumatoria			68,10

**RIO HUANCANÉ**

Parámetro	q <sub>s2</sub>	w <sub>i</sub>	q <sub>s2</sub> *w <sub>i</sub>
O,D,	30,0	0,201	6,03
Colifecales	96,6	0,181	17,52
DBO <sub>5</sub>	2,0	0,132	0,26
Nitratos	86,0	0,132	11,35
Fosfatos	86,0	0,132	11,35
Turbidez	62,7	0,111	6,98
SDT	48,2	0,111	5,35
Sumatoria			58,86

**BAHIA DE COHANA LAGO MENOR TITICACA**

Parámetro	q <sub>42</sub>	q <sub>43</sub>	q <sub>44</sub>	q <sub>45</sub>	q <sub>46</sub>	q <sub>47</sub>	q <sub>48</sub>	q <sub>49</sub>	q <sub>50</sub>	q <sub>51</sub>	w <sub>i</sub>	q <sub>42</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>43</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>44</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>45</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>46</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>47</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>48</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>49</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>50</sub> *w <sub>i</sub>	q <sub>51</sub> *w <sub>i</sub>
O.D.	1,9	2,3	0,0	6,4	3,3	20,0	7,0	0,0	0,0	30,0	0,201	0,38	0,46	0,00	1,29	6,03	4,02	1,41	0,0	0,0	6,03
Colifecales	96,6	96,6	96,6	96,6	96,6	96,6	96,6	96,6	96,6	96,6	0,181	17,52	17,52	17,52	17,52	17,52	17,52	17,52	17,5	17,5	17,52
DBO <sub>5</sub>	2,0	2,0	2,0	2,0	10,0	2,0	11,0	2,0	2,0	2,0	0,132	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	1,45	0,3	0,3	0,264
Nitratos	30,0	97,0	97,0	97,0	97,0	97,0	90,0	97,0	89,0	97,0	0,132	3,96	12,80	12,80	12,80	12,80	12,80	11,88	12,8	11,7	12,8
Fosfatos	10,0	6,6	5,4	77,5	79,0	81,6	88,3	89,0	81,4	97,0	0,132	1,32	0,87	0,71	10,23	12,80	10,77	11,66	11,7	10,7	12,8
Turbidez	73,5	62,5	86,3	54,5	85,0	91,8	93,6	90,9	89,0	97,2	0,111	8,19	6,96	9,61	6,07	10,83	10,23	10,43	10,1	9,9	10,83
SDT	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	0,111	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23	2,2	2,2	2,228
Sumatoria												33,87	41,12	43,15	50,41	62,48	57,84	56,57	54,7	52,4	62,48