

***ANEXO N.º 4***

***CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD  
(ICA – NSF) Y DE CONTAMINACIÓN  
(ICO modificado de Prati)***

**CÁLCULO DE LOS ÍNDICES DE CALIDAD (ICA – NSF) Y DE CONTAMINACIÓN (ICO MODIFICADO DE PRATI)  
ANEXO N.º 4**

El Índice de Calidad del Agua, consiste en una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros, los cuales sirven como una medida de calidad del agua, y permiten valorar este recurso para un determinado uso. Para calcular el Índice de Calidad de Agua, se usa una suma lineal ponderada de los subíndices de cada parámetro, bajo la siguiente ecuación:

$$ICA = \sum q_i * w_i$$

Dónde:

ICA= Índice de Calidad del Agua.

$q_i$ = Subíndice del parámetro i.

$w_i$  (1) = Peso relativo o peso de importancia para el subíndice i (considerando ocho parámetros).

$w_i$  (2)= Peso relativo o peso de importancia para el subíndice i (considerando siete parámetros).

Para el cálculo del ICA se emplean nueve parámetros y con el fin de que la información sea interpretada más fácilmente que una lista de valores numéricos este índice es representado por un color. A continuación se presenta el peso relativo de los parámetros considerados en el ICA y la escala de colores de calidad:

**Escala de colores representando la calidad del agua según el rango de clasificación ICA – NSF**

**Cuadro n.º 1**

| Escala de colores de calidad | Rango de clasificación ICA - NSF |
|------------------------------|----------------------------------|
| Excelente                    | 91-100                           |
| Buena                        | 71 - 90                          |
| Media                        | 51 - 70                          |
| Mala                         | 26 - 50                          |
| Muy mala                     | 0 - 25                           |

Fuente: Revista Ingeniería e Investigación pág. 180

El valor de  $q_i$  se ha determinado a través de las curvas de función construidas (Ott, 1978; Brown et al. 1970) para los parámetros señalados a partir de los resultados de las mediciones hechas en campo. El parámetro i medido es trasladado a las abscisas del gráfico de la curva de función construida para dicho parámetro; este valor se intercepta con la curva para obtener el valor de  $q_i$  en las ordenadas del gráfico, por último se ha ponderado el valor de  $q_i$  multiplicando por el peso asignado ( $w_i$ ), tal como se ve en las siguientes tablas. El resultado de la sumatoria de cada ponderación ha sido comparado con la clasificación de calidad del ICA - NSF, con lo que se obtiene la calidad del agua por punto muestreado. Es importante mencionar que para calcular el ICA del río Rocha, no se tomó en cuenta la desviación de la temperatura, para evitar que el resultado sea eclipsado, ya que en la totalidad de los puntos esta variación está ocasionada por la hora de muestreo y/o las variaciones en el nivel del agua debido a la formación de diques que no permiten el flujo continuo del agua. Por otro lado en algunos puntos se ha omitido el parámetro de colifecales en el cálculo a causa de la incoherencia en el resultado reportado. Dado que la suma de los pesos de cada parámetro debe ser la unidad se ha tomado como referencia el texto «Índices de Calidad (ICA) y de Contaminación (ICO) del agua de importancia mundial» el que señala que si alguna de las variables faltara se debe aplicar un factor de corrección al valor total del índice puede ser calculado por la distribución de su peso por las demás variables para luego realizar el re cálculo correspondiente (pág. 46-47). Con el factor de corrección los pesos relativos obtienen los siguientes valores:

**Pesos relativos obtenidos aplicando el factor de corrección  
Cuadro n.º 2**

| <b>Parámetro</b>       | <b>w<sub>i</sub> (1)</b> | <b>w<sub>i</sub> (2)</b> |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| <b>OD</b>              | 0.1825                   | 0.206                    |
| <b>Colifecales</b>     | 0.1625                   | 0                        |
| <b>SDT</b>             | 0.0925                   | 0.116                    |
| <b>DBO<sub>5</sub></b> | 0.1125                   | 0.136                    |
| <b>Nitratos</b>        | 0.1125                   | 0.136                    |
| <b>Fosfatos</b>        | 0.1125                   | 0.136                    |
| <b>pH</b>              | 0.1325                   | 0.156                    |
| <b>Turbidez</b>        | 0.0925                   | 0.116                    |

A continuación se presentan las tablas de cálculo del ICA-NSF por cada tramo determinado para la auditoría K2/AP06/M11:

**Cálculo del ICA – NSF para el tramo 1, que comprende el río Rocha, desde  
antes del puente Maylanco en Sacaba, hasta la zona El Castillo en el mismo municipio**

**Cuadro n.º 3**

| <b>Q<sub>i</sub></b>     | <b>Q<sub>i</sub> por parámetro para cada punto de muestreo en el tramo 1</b> |          |          | <b>w<sub>i</sub> (1)</b> | <b>Relación q<sub>i</sub>*w<sub>i</sub> (1) para cada punto de muestreo en el tramo 1</b> |              |              |
|--------------------------|--|----------|----------|--------------------------|---|--------------|--------------|
|                          | <b>1</b>   | <b>3</b> | <b>5</b> |                          | <b>1</b>  | <b>3</b>     | <b>5</b>     |
| <b>Q OD</b>              | 16   | 0        | 0        | 0.1825                   | 2.92  | 0            | 0            |
| <b>Q colifecales</b>     | 12   | 2        | 2        | 0.1625                   | 1.95  | 0.33         | 0.33         |
| <b>Q SDT</b>             | 65   | 20       | 20       | 0.0925                   | 6.01  | 1.85         | 1.85         |
| <b>Q DBO<sub>5</sub></b> | 35   | 2        | 2        | 0.1125                   | 3.94  | 0.23         | 0.23         |
| <b>Q nitratos</b>        | 92   | 58       | 88       | 0.1125                   | 10.35   | 6.53         | 9.90         |
| <b>Q fosfatos</b>        | 84   | 2        | 2        | 0.1125                   | 9.45  | 0.23         | 0.23         |
| <b>Q pH</b>              | 94   | 38       | 90       | 0.1325                   | 12.46   | 5.04         | 11.93        |
| <b>Q turbidez</b>        | 88   | 5        | 5        | 0.0925                   | 8.14  | 0.46         | 0.46         |
| <b>ICA – NSF:</b>        |  |          |          |                          | <b>55.22</b>  | <b>14.65</b> | <b>24.91</b> |

**Cálculo del ICA – NSF para el tramo 2, que comprende al río Rocha, desde la zona El Castillo en Sacaba, hasta el puente peatonal Huayna Kapac en el municipio de Cercado**

**Cuadro n.º4**

| <b>q<sub>i</sub></b>               | <b>q<sub>i</sub> por parámetro para cada punto de muestreo en el tramo 2</b> |          |          |          |           |           | <b>w<sub>i</sub> (1)</b> | <b>Relación q<sub>i</sub>*w<sub>i</sub> (1) para cada punto de muestreo en el tramo 2</b> |              |              |              |              |              |
|------------------------------------|--|----------|----------|----------|-----------|-----------|--------------------------|---|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|                                    | <b>5</b>   | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>64</b> | <b>12</b> |                          | <b>5</b>  | <b>7</b>     | <b>8</b>     | <b>9</b>     | <b>64</b>    | <b>12</b>    |
| <b>q<sub>OD</sub></b>              | 0  | 0        | 0        | 0        | 50        | 37        | 0.1825                   | 0.00  | 0.00         | 0.00         | 0.00         | 9.13         | 6.75         |
| <b>q<sub>colifecales</sub></b>     | 2  | 2        | 2        | 2        | 2         | 7         | 0.1625                   | 0.33  | 0.33         | 0.33         | 0.33         | 0.33         | 1.14         |
| <b>q<sub>SDT</sub></b>             | 20   | 20       | 20       | 20       | 32        | 31        | 0.0925                   | 1.85  | 1.85         | 1.85         | 1.85         | 2.96         | 2.87         |
| <b>q<sub>DBO<sub>5</sub></sub></b> | 2  | 2        | 2        | 2        | 2         | 18        | 0.1125                   | 0.23  | 0.23         | 0.23         | 0.23         | 0.23         | 2.03         |
| <b>q<sub>nitratos</sub></b>        | 88   | 82       | 81       | 78       | 70        | 80        | 0.1125                   | 9.90  | 9.23         | 9.11         | 8.78         | 7.88         | 9.00         |
| <b>q<sub>fosfatos</sub></b>        | 2  | 2        | 2        | 2        | 2         | 2         | 0.1125                   | 0.23  | 0.23         | 0.23         | 0.23         | 0.23         | 0.23         |
| <b>q<sub>pH</sub></b>              | 90   | 88       | 88       | 88       | 64        | 72        | 0.1325                   | 11.93   | 11.66        | 11.66        | 11.66        | 8.48         | 9.54         |
| <b>q<sub>turbidez</sub></b>        | 5  | 26       | 30       | 25       | 49        | 58        | 0.0925                   | 0.46  | 2.41         | 2.78         | 2.31         | 4.53         | 5.37         |
| <b>ICA – NSF:</b>                  |  |          |          |          |           |           |                          | <b>24.91</b>  | <b>25.92</b> | <b>26.17</b> | <b>25.37</b> | <b>33.75</b> | <b>36.91</b> |

**Cálculo del ICA – NSF para el tramo 3, que comprende al río Rocha, desde el puente peatonal Huayna Kapac hasta el Puente Killman, en el municipio de Cercado**

**Cuadro n.º5**

| <b>q<sub>i</sub></b>               | <b>q<sub>i</sub> por parámetro para cada punto de muestreo en el tramo 3</b> |           | <b>w<sub>i</sub> (1)</b> | <b>w<sub>i</sub> (2)</b> | <b>Relación q<sub>i</sub>*w<sub>i</sub> (1) para el punto de muestreo 12</b> | <b>Relación q<sub>i</sub>*w<sub>i</sub>(2) para el punto de muestreo 14</b> |
|------------------------------------|--|-----------|--------------------------|--------------------------|--|---|
|                                    | <b>12</b>  | <b>14</b> |                          |                          |  |   |
| <b>q<sub>OD</sub></b>              | 37   | 0         | 0.1825                   | 0.206                    | 6.75   | 0   |
| <b>q<sub>colifecales</sub></b>     | 7  | -         | 0.1625                   | -                        | 1.14   | -   |
| <b>q<sub>SDT</sub></b>             | 31   | 20        | 0.0925                   | 0.116                    | 2.87   | 2.32  |
| <b>q<sub>DBO<sub>5</sub></sub></b> | 18   | 2         | 0.1125                   | 0.136                    | 2.03   | 0.27  |
| <b>q<sub>nitratos</sub></b>        | 80   | 80        | 0.1125                   | 0.136                    | 9.00   | 10.88   |
| <b>q<sub>fosfatos</sub></b>        | 2  | 2         | 0.1125                   | 0.136                    | 0.23   | 0.27  |
| <b>q<sub>pH</sub></b>              | 72   | 85        | 0.1325                   | 0.156                    | 9.54   | 13.26   |
| <b>q<sub>turbidez</sub></b>        | 58   | 42        | 0.0925                   | 0.116                    | 5.37   | 4.87  |
| <b>ICA – NSF:</b>                  |  |           |                          |                          | <b>36.91</b>   | <b>31.88</b>  |

Cálculo del ICA – NSF para el tramo 4, que comprende al río Rocha, desde el puente Killman (Cercado) hasta zona El Calvario (Quillacollo)

Cuadro n.º 6

| q <sub>i</sub>               | q <sub>i</sub> por parámetro para cada punto de muestreo en el tramo 4 |    |    |    |    |    |    |    |    | Relación q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (1) o q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (2) para cada punto de muestreo en el tramo 4 |                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |
|------------------------------|--|----|----|----|----|----|----|----|----|--|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|                              | 14   | 17 | 18 | 20 | 26 | 27 | 33 | 34 | 36 | w <sub>i</sub> (1)   | w <sub>i</sub> (2) | q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (2) | q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (2) | q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (2) | q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (1) | q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (2) | q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (1) | q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (1) | q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (1) | q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (1) |
|                              | 14   | 17 | 18 | 20 | 26 | 27 | 33 | 34 | 36 |  |                    | 14                                 | 17                                 | 18                                 | 20                                 | 26                                 | 27                                 | 33                                 | 34                                 | 36                                 |
| q <sub>OD</sub>              | 0  | 25 | 9  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0.1825   | 0.206              | 0.00                               | 5.15                               | 1.85                               | 0.00                               | 0.00                               | 0.00                               | 0.00                               | 0.00                               | 0.00                               |
| q <sub>colifecales</sub>     | -  | -  | -  | 2  | -  | 2  | 2  | 2  | 2  | 0.1625   | -                  | -                                  | -                                  | -                                  | 0.33                               | -                                  | 0.33                               | 0.33                               | 0.33                               | 0.33                               |
| q <sub>SDT</sub>             | 20   | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 0.0925   | 0.116              | 2.32                               | 2.32                               | 2.32                               | 1.85                               | 2.32                               | 1.85                               | 1.85                               | 1.85                               | 1.85                               |
| q <sub>DBO<sub>s</sub></sub> | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 0.1125   | 0.136              | 0.27                               | 0.27                               | 0.27                               | 0.23                               | 0.27                               | 0.23                               | 0.23                               | 0.23                               | 0.23                               |
| q <sub>nitratos</sub>        | 80   | 66 | 70 | 80 | 69 | 82 | 63 | 79 | 68 | 0.1125   | 0.136              | 10.88                              | 8.98                               | 9.52                               | 9.00                               | 9.38                               | 9.23                               | 7.09                               | 8.89                               | 7.65                               |
| q <sub>fosfatos</sub>        | 2  | 5  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 0.1125   | 0.136              | 0.27                               | 0.68                               | 0.27                               | 0.23                               | 0.27                               | 0.23                               | 0.23                               | 0.23                               | 0.23                               |
| q <sub>pH</sub>              | 85   | 85 | 86 | 86 | 86 | 85 | 91 | 90 | 90 | 0.1325   | 0.156              | 13.26                              | 13.26                              | 13.42                              | 11.40                              | 13.42                              | 11.26                              | 12.06                              | 11.93                              | 11.93                              |
| q <sub>turbidez</sub>        | 42   | 58 | 5  | 56 | 49 | 65 | 36 | 5  | 29 | 0.0925   | 0.116              | 4.87                               | 6.73                               | 0.58                               | 5.18                               | 5.68                               | 6.01                               | 3.33                               | 0.46                               | 2.68                               |
| <b>ICA – NSF:</b>            |  |    |    |    |    |    |    |    |    |  |                    | <b>31.88</b>                       | <b>37.39</b>                       | <b>28.23</b>                       | <b>28.20</b>                       | <b>31.35</b>                       | <b>29.13</b>                       | <b>25.10</b>                       | <b>23.90</b>                       | <b>24.88</b>                       |

Cálculo del ICA – NSF para el tramo 5 que comprende al río Rocha, desde la zona El Calvario (Quillacollo) hasta la zona Loma Linda - Vinto Chico (Vinto)

Cuadro n.º 7

| q <sub>i</sub>               | q <sub>i</sub> por parámetro para cada punto de muestreo en el tramo 5 |    |    | w <sub>i</sub> (1) w <sub>i</sub> (2) |                    | Relación q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (1) para el punto de muestreo 36 | Relación q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (2) para los puntos de muestreo 39 y 40 |              |
|------------------------------|--|----|----|---------------------------------------|--------------------|--|---|--------------|
|                              | 36   | 39 | 40 | w <sub>i</sub> (1)                    | w <sub>i</sub> (2) |  | 39  | 40           |
| q <sub>OD</sub>              | 0  | 0  | 0  | 0,1825                                | 0,206              | 0,00   | 0,00  | 0,00         |
| q <sub>colifecales</sub>     | 2  | -  | -  | 0,1625                                | -                  | 0,33   | -   | -            |
| q <sub>SDT</sub>             | 20   | 20 | 20 | 0,0925                                | 0,116              | 1,85   | 2,32  | 2,32         |
| q <sub>DBO<sub>s</sub></sub> | 2  | 2  | 2  | 0,1125                                | 0,136              | 0,23   | 0,27  | 0,27         |
| q <sub>nitratos</sub>        | 68   | 67 | 66 | 0,1125                                | 0,136              | 7,65   | 9,11  | 8,98         |
| q <sub>fosfatos</sub>        | 2  | 2  | 2  | 0,1125                                | 0,136              | 0,23   | 0,27  | 0,27         |
| q <sub>pH</sub>              | 90   | 90 | 88 | 0,1325                                | 0,156              | 11,93  | 14,04   | 13,73        |
| q <sub>turbidez</sub>        | 29   | 30 | 40 | 0,0925                                | 0,116              | 2,68   | 3,48  | 4,64         |
| <b>ICA – NSF:</b>            |  |    |    |                                       |                    | <b>24,88</b>   | <b>29,50</b>  | <b>30,21</b> |

**Cálculo del ICA – NSF para el tramo 6 que comprende al río Rocha, desde la zona Loma Linda - Vinto Chico (Vinto) hasta la zona Quiroz Rancho (Sipe Sipe)**

**Cuadro n.º 8**

| q <sub>i</sub>               | q <sub>i</sub> por parámetro para cada punto de muestreo en el tramo 6 |    |    |    |    |                    |                    | Relación q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (1) o q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (2) para cada punto de muestreo en el tramo 6 |                                    |                                    |                                    |                                    |
|------------------------------|--|----|----|----|----|--------------------|--------------------|--|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|                              | 40   | 41 | 42 | 46 | 49 | w <sub>i</sub> (1) | w <sub>i</sub> (2) | q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (2)   | q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (1) | q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (1) | q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (2) | q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (1) |
|                              | 40   | 41 | 42 | 46 | 49 |                    |                    | 40   | 41                                 | 42                                 | 46                                 | 49                                 |
| q <sub>OD</sub>              | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0,1825             | 0,206              | 0  | 0                                  | 0                                  | 0                                  | 0                                  |
| q <sub>colifecales</sub>     | -  | 2  | 2  | -  | 2  | 0,1625             | -                  | -  | 0,33                               | 0,33                               | -                                  | 0,33                               |
| q <sub>SDT</sub>             | 20   | 20 | 20 | 20 | 20 | 0,0925             | 0,116              | 2,32   | 1,85                               | 1,85                               | 2,32                               | 1,85                               |
| q <sub>DBO<sub>5</sub></sub> | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 0,1125             | 0,136              | 0,27   | 0,23                               | 0,23                               | 0,27                               | 0,23                               |
| q <sub>nitratos</sub>        | 66   | 90 | 92 | 60 | 66 | 0,1125             | 0,136              | 8,98   | 10,13                              | 10,35                              | 8,16                               | 7,43                               |
| q <sub>fosfatos</sub>        | 2  | 2  | 2  | 2  | 2  | 0,1125             | 0,136              | 0,27   | 0,23                               | 0,23                               | 0,27                               | 0,23                               |
| q <sub>pH</sub>              | 88   | 89 | 89 | 86 | 85 | 0,1325             | 0,156              | 13,73  | 11,79                              | 11,79                              | 13,42                              | 11,26                              |
| q <sub>turbidez</sub>        | 40   | 28 | 26 | 39 | 5  | 0,0925             | 0,116              | 4,64   | 2,59                               | 2,41                               | 4,52                               | 0,46                               |
| <b>ICA – NSF:</b>            |  |    |    |    |    |                    |                    | <b>30,21</b>   | <b>27,13</b>                       | <b>27,17</b>                       | <b>28,96</b>                       | <b>21,78</b>                       |

**Cálculo del ICA – NSF para el tramo 7 que comprende al río Rocha, desde la zona Quiroz Rancho (Sipe Sipe) hasta el puente de la ex vías del ferrocarril (Sipe Sipe)**

**Cuadro n.º 9**

| q <sub>i</sub>               | q <sub>i</sub> por parámetro para cada punto de muestreo en el tramo 7 |    |    |    |    |                    |              | Relación q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (1) para cada punto de muestreo en el tramo 7 |              |              |              |  |
|------------------------------|--|----|----|----|----|--------------------|--------------|---|--------------|--------------|--------------|--|
|                              | 49   | 53 | 57 | 63 | 59 | w <sub>i</sub> (1) | 49           | 53  | 57           | 63           | 59           |  |
| q <sub>OD</sub>              | 0  | 0  | 38 | 34 | 53 | 0,1825             | 0            | 0   | 6,94         | 6,21         | 9,67         |  |
| q <sub>colifecales</sub>     | 2  | 2  | 2  | 4  | 18 | 0,1625             | 0,33         | 0,33  | 0,33         | 0,65         | 2,93         |  |
| q <sub>SDT</sub>             | 20   | 20 | 20 | 20 | 20 | 0,0925             | 1,85         | 1,85  | 1,85         | 1,85         | 1,85         |  |
| q <sub>DBO<sub>5</sub></sub> | 2  | 2  | 2  | 2  | 14 | 0,1125             | 0,23         | 0,23  | 0,23         | 0,23         | 1,58         |  |
| q <sub>nitratos</sub>        | 66   | 64 | 69 | 92 | 83 | 0,1125             | 7,43         | 7,2   | 7,76         | 10,35        | 9,34         |  |
| q <sub>fosfatos</sub>        | 2  | 2  | 5  | 5  | 6  | 0,1125             | 0,23         | 0,23  | 0,56         | 0,56         | 0,68         |  |
| q <sub>pH</sub>              | 85   | 79 | 82 | 82 | 82 | 0,1325             | 11,26        | 10,47   | 10,87        | 10,87        | 10,87        |  |
| q <sub>turbidez</sub>        | 5  | 41 | 24 | 36 | 43 | 0,0925             | 0,46         | 3,79  | 2,22         | 3,33         | 3,98         |  |
| <b>ICA – NSF:</b>            |  |    |    |    |    |                    | <b>21,78</b> | <b>24,09</b>  | <b>30,75</b> | <b>34,04</b> | <b>40,88</b> |  |

Cálculo del ICA – NSF para el tramo 8 que comprende al río Rocha, desde el puente de las ex vías del ferrocarril (Sipe Sipe) hasta la altura de la tranca de Capinota

Cuadro n.º 10

| q <sub>i</sub>     | q <sub>i</sub> por parámetro para cada punto de muestreo en el tramo 8 |    |    |                    |                    | Relación q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (1) para los puntos de muestreo 59 y 61 |              | Relación q <sub>i</sub> *w <sub>i</sub> (2) para el punto de muestreo 62 |
|--------------------|--|----|----|--------------------|--------------------|---|--------------|--|
|                    | 59   | 61 | 62 | w <sub>i</sub> (1) | w <sub>i</sub> (2) | 59  | 61           | 62   |
| q OD               | 53   | 86 | 94 | 0,1825             | 0,206              | 9,67  | 15,70        | 19,36  |
| q colifecales      | 18   | 14 | -  | 0,1625             | -                  | 2,93  | 2,28         | -  |
| q SDT              | 20   | 20 | 20 | 0,0925             | 0,116              | 1,85  | 1,85         | 2,32   |
| q DBO <sub>5</sub> | 14   | 10 | 49 | 0,1125             | 0,136              | 1,58  | 1,13         | 6,66   |
| q nitratos         | 83   | 85 | 43 | 0,1125             | 0,136              | 9,34  | 9,56         | 5,85   |
| q fosfatos         | 6  | 11 | 20 | 0,1125             | 0,136              | 0,68  | 1,24         | 2,72   |
| q pH               | 82   | 77 | 72 | 0,1325             | 0,156              | 10,87   | 10,20        | 11,23  |
| q turbidez         | 43   | 38 | 78 | 0,0925             | 0,116              | 3,98  | 3,52         | 9,05   |
| <b>ICA – NSF:</b>  |  |    |    |                    |                    | <b>40,88</b>  | <b>45,46</b> | <b>57,20</b>   |

El Índice de Contaminación Ambiental (ICO) es empleado para obtener un valor cuantificable del grado de contaminación de un cuerpo de agua, el Índice de Prati modificado es empleado específicamente para la determinación del grado de contaminación orgánica. Por las características del río Rocha y el estudio «Contaminación orgánica del río Rocha» realizado por la Universidad Mayor de San Simón, a través del Centro de Agua y Saneamiento Ambiental (CASA), se considera a sólo 4 parámetros: Oxígeno Disuelto, DQO, DBO y nitratos. Los valores de los cuatro parámetros (Y) fueron transformados a Unidades de Contaminación (X) por medio de las ecuaciones de la siguiente tabla:

**Ecuaciones para transformar los valores de los parámetros seleccionados a Unidades de Contaminación**

Cuadro n.º 11

| Parámetros       | Unidades  | Unidades de contaminación   |
|------------------|-----------|---|
| % O <sub>2</sub> | 0 – 50%   | $X = 4.2 - 0.437 \left(\frac{100-Y}{5}\right) + 0.042 \left(\frac{100-Y}{5}\right)^2$ |
|                  | 50 – 100% | $X = 0.08 (100 - Y)$  |
|                  | >100      | $X = 0.08(Y - 100)$   |
| DBO <sub>5</sub> | (mg/l)    | $X = \frac{Y}{1.5}$   |
| DQO              | (mg/l)    | $X = 0.1Y$  |
| Nitratos         | (mg/l)    | $X = 2^{2.2 \log(\frac{Y}{4})}$   |

Fuente: "Contaminación Orgánica en el río Rocha", Ana María Romero, Paul Van Damme y Edgar Goitia, Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental N° 3, junio de 1998, pág. 14.

Dónde:

Y = Valores de los parámetros empleados en el cálculo del ICO.

X = Unidades de contaminación para los parámetros empleados en el cálculo del ICO.

En el caso del río Rocha el índice de Prati modificado (que para fines de la auditoría será denominado sólo como ICO, fue calculado según la siguiente ecuación:

$$ICO = PI = \frac{1}{m} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n X_{ij}$$

Dónde:

ICO = PI = índice de contaminación  
M = número de muestras  
n = número de parámetros  
X<sub>ij</sub> = unidad de contaminación

La fórmula anterior puede aplicarse también para determinar el ICO por punto de muestreo (donde m=1), lo que permite conocer en detalle el comportamiento del río en el área de estudio e identificar las actividades que contribuyen a la contaminación. Basándose en estas ecuaciones, se establecieron los siguientes seis niveles de contaminación del agua:

### Escala de colores representando el índice de contaminación del agua según el rango de clasificación ICO

Cuadro n.º 12

| Clase | PI ó ICO | Color de ICO              |
|-------|----------|---------------------------|
| 1     | 0 a 1    | No contaminada            |
| 2     | 1 a 2    | Poco contaminada          |
| 3     | 2 a 4    | Moderadamente contaminada |
| 4     | 4 a 8    | Contaminada               |
| 5     | 8 a 16   | Muy Contaminada           |
| 6     | >16      | Altamente contaminada     |

Fuente: "Contaminación Orgánica en el río Rocha" Ana María Romero, Paul Van Damme y Edgar Goitia, Revista Boliviana de Ecología y Conservación Ambiental N° 3, junio 1998, pág. 14.

A continuación se presentan las tablas de cálculo del ICO por cada tramo determinado para la auditoría K2/AP06/M11:

### Cálculo del ICO para el tramo 1, que comprende el río Rocha, desde antes del puente Maylanco en Sacaba, hasta la zona El Castillo en el mismo municipio

Cuadro n.º 13

| Parámetro                  | Valores de los parámetros (Y) y de las Unidades de Contaminación (X) por punto de muestreo en el tramo 1 |                |                     |                |                     |                |
|----------------------------|--|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|
|                            | Punto de muestreo 1  |                | Punto de muestreo 3 |                | Punto de muestreo 5 |                |
|                            | Y <sub>1</sub>   | X <sub>1</sub> | Y <sub>3</sub>      | X <sub>3</sub> | Y <sub>5</sub>      | X <sub>5</sub> |
| OD (%)                     | 27,5   | 6,69           | 0,0                 | 12,26          | 0,0                 | 12,26          |
| DBO <sub>5</sub> (mg/l)    | 10,0   | 6,67           | 753,0               | 502,00         | 164,0               | 109,33         |
| DQO (mg/l)                 | 12,0   | 1,20           | 1175,0              | 117,50         | 209,0               | 20,90          |
| Nitratos (mg/l)            | 0,4  | 0,23           | 8,0                 | 1,55           | 2,6                 | 0,76           |
| <b>Sumatoria por punto</b> |  | 14,79          |                     | 633,31         |                     | 143,25         |
| <b>ICO por punto</b>       |  | 3,70           |                     | 158,33         |                     | 35,81          |

m=3, n=4;  $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n = 791,4$

ICO tramo 1 = 66 = Agua altamente contaminada



Cálculo del ICO para el tramo 2, que comprende al río Rocha, desde la zona El Castillo en Sacaba, hasta el puente peatonal Huayna Kapac en el municipio de Cercado

Cuadro n.º 14

| Parámetro                  | Valores de los parámetros (Y) y de las Unidades de Contaminación (X) por punto de muestreo en el tramo 2 |                |                     |                |                     |                |                     |                |                      |                 |                      |                 |
|----------------------------|--|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|---------------------|----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
|                            | Punto de muestreo 5  |                | Punto de muestreo 7 |                | Punto de muestreo 8 |                | Punto de muestreo 9 |                | Punto de muestreo 64 |                 | Punto de muestreo 12 |                 |
|                            | Y <sub>5</sub>   | X <sub>5</sub> | Y <sub>7</sub>      | X <sub>7</sub> | Y <sub>8</sub>      | X <sub>8</sub> | Y <sub>9</sub>      | X <sub>9</sub> | Y <sub>64</sub>      | X <sub>64</sub> | Y <sub>12</sub>      | X <sub>12</sub> |
| OD (%)                     | 0,0  | 12,26          | 0,0                 | 12,26          | 0,0                 | 12,26          | 0,0                 | 12,26          | 160,0                | 4,80            | 42,0                 | 4,78            |
| DBO <sub>5</sub> (mg/l)    | 164,0  | 109,33         | 106,0               | 70,67          | 55,0                | 36,67          | 62,0                | 41,33          | 68,0                 | 45,33           | 16,0                 | 10,67           |
| DQO (mg/l)                 | 209,0  | 20,90          | 132,0               | 13,20          | 73,0                | 7,30           | 70,0                | 7,00           | 75,0                 | 7,50            | 29,0                 | 2,90            |
| Nitratos (mg/l)            | 2,6  | 0,76           | 3,2                 | 0,87           | 3,6                 | 0,94           | 4,3                 | 1,05           | 5,0                  | 1,15            | 3,7                  | 0,95            |
| <b>Sumatoria por punto</b> |  | 143,25         |                     | 97,00          |                     | 57,16          |                     | 61,64          |                      | 58,78           |                      | 19,30           |
| <b>ICO por punto</b>       |  | 35,81          |                     | 24,25          |                     | 14,29          |                     | 15,41          |                      | 14,70           |                      | 4,83            |

$$m=6, n=4; \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n = 437,1$$

ICO tramo 2 = 18 = Agua altamente contaminada

Cálculo del ICO para el tramo 3, que comprende al río Rocha, desde el puente peatonal Huayna Kapac hasta el Puente Killman, en el municipio de Cercado

Cuadro n.º 15

| Parámetro                  | Valores de los parámetros (Y) y de las Unidades de Contaminación (X) por punto de muestreo en el tramo 3 |                 |                      |                 |
|----------------------------|--|-----------------|----------------------|-----------------|
|                            | Punto de muestreo 12   |                 | Punto de muestreo 14 |                 |
|                            | Y <sub>12</sub>  | X <sub>12</sub> | Y <sub>14</sub>      | X <sub>14</sub> |
| OD (%)                     | 42,0   | 4,78            | 0,0                  | 12,26           |
| DBO <sub>5</sub> (mg/l)    | 16,0   | 10,67           | 32,0                 | 21,33           |
| DQO (mg/l)                 | 29,0   | 2,90            | 69,0                 | 6,90            |
| Nitratos (mg/l)            | 3,7  | 0,95            | 3,6                  | 0,94            |
| <b>Sumatoria por punto</b> |  | 19,30           |                      | 41,43           |
| <b>ICO por punto</b>       |  | 4,83            |                      | 10,36           |

$$m=2, n=4; \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n = 685,4$$

ICO tramo 4 = 19 = Agua altamente contaminada

**Cálculo del ICO para el tramo 4, que comprende al río Rocha, desde el puente Killman (Cercado) hasta zona El Calvario (Quillacollo)**  
**Cuadro n.º 16**

| Parámetro                  | Valores de los parámetros (Y) y de las Unidades de Contaminación (X) por punto de muestreo en el tramo 4 |                 |                      |                 |                      |                 |                      |                 |                      |                 |                      |                 |                      |                 |                      |                 |                      |                 |
|----------------------------|--|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
|                            | Punto de muestreo 14   |                 | Punto de muestreo 17 |                 | Punto de muestreo 18 |                 | Punto de muestreo 20 |                 | Punto de muestreo 26 |                 | Punto de muestreo 27 |                 | Punto de muestreo 33 |                 | Punto de muestreo 34 |                 | Punto de muestreo 36 |                 |
|                            | Y <sub>14</sub>  | X <sub>14</sub> | Y <sub>17</sub>      | X <sub>17</sub> | Y <sub>18</sub>      | X <sub>18</sub> | Y <sub>20</sub>      | X <sub>20</sub> | Y <sub>26</sub>      | X <sub>26</sub> | Y <sub>27</sub>      | X <sub>27</sub> | Y <sub>33</sub>      | X <sub>33</sub> | Y <sub>34</sub>      | X <sub>34</sub> | Y <sub>36</sub>      | X <sub>36</sub> |
| OD (%)                     | 0,0  | 12,26           | 32,5                 | 5,96            | 12,5                 | 9,42            | 0,0                  | 12,26           | 0,05                 | 12,25           | 0,0                  | 12,26           | 0,0                  | 12,26           | 0,0                  | 12,26           | 0,0                  | 12,26           |
| DBO <sub>5</sub> (mg/l)    | 32,0   | 21,33           | 17,0                 | 11,33           | 65,0                 | 43,33           | 55,0                 | 36,67           | 60,0                 | 40,00           | 86,0                 | 57,33           | 107,0                | 71,33           | 144,0                | 96,00           | 152,0                | 101,33          |
| DQO (mg/l)                 | 69,0   | 6,90            | 24,0                 | 2,40            | 85,0                 | 8,50            | 69,0                 | 6,90            | 75,0                 | 7,50            | 108,0                | 10,80           | 154,0                | 15,40           | 181,0                | 18,10           | 192,0                | 19,20           |
| Nitratos (mg/l)            | 3,6  | 0,94            | 2,8                  | 0,80            | 5,9                  | 1,28            | 3,4                  | 0,90            | 6,2                  | 1,32            | 3,2                  | 0,87            | 7,2                  | 1,45            | 3,5                  | 0,92            | 6,4                  | 1,35            |
| <b>Sumatoria por punto</b> |  | 41,43           |                      | 20,49           |                      | 62,53           |                      | 56,73           |                      | 61,07           |                      | 81,26           |                      | 100,44          |                      | 127,28          |                      | 134,14          |
| <b>ICO por punto</b>       |  | 10,36           |                      | 5,12            |                      | 15,63           |                      | 14,18           |                      | 15,27           |                      | 20,32           |                      | 25,11           |                      | 31,82           |                      | 33,53           |

$m=9, n=4; \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n = 685,4$

**ICO tramo 4 = 19 = Agua altamente contaminada**

**Cálculo del ICO para el tramo 5 que comprende al río Rocha, desde la zona El Calvario (Quillacollo) hasta la zona Loma Linda - Vinto Chico (Vinto)**

**Cuadro n.º 17**

| Parámetro                  | Valores de los parámetros (Y) y de las Unidades de Contaminación (X) por punto de muestreo en el tramo 5 |                 |                      |                 |                      |                 |
|----------------------------|--|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
|                            | Punto de muestreo 36   |                 | Punto de muestreo 39 |                 | Punto de muestreo 40 |                 |
|                            | Y <sub>36</sub>  | X <sub>36</sub> | Y <sub>39</sub>      | X <sub>39</sub> | Y <sub>40</sub>      | X <sub>40</sub> |
| OD (%)                     | 0,0  | 12,26           | 0,0                  | 12,26           | 0,0                  | 12,26           |
| DBO <sub>5</sub> (mg/l)    | 152,0  | 101,33          | 85,0                 | 56,67           | 74,0                 | 49,33           |
| DQO (mg/l)                 | 192,0  | 19,20           | 97,0                 | 9,70            | 87,0                 | 8,70            |
| Nitratos (mg/l)            | 6,4  | 1,35            | 6,9                  | 1,41            | 5,8                  | 1,26            |
| <b>Sumatoria por punto</b> |  | 134,14          |                      | 80,04           |                      | 71,56           |
| <b>ICO por punto</b>       |  | 33,53           |                      | 20,01           |                      | 17,89           |

$m=3, n=4; \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n = 285,7$

**ICO tramo 5 = 24 = Agua altamente contaminada**

**Cálculo del ICO para el tramo 6 que comprende al río Rocha, desde la zona Loma Linda - Vinto Chico (Vinto) hasta la zona Quiroz Rancho (Sipe Sipe)**

**Cuadro n.º 18**

| Parámetro                  | Valores de los parámetros (Y) y de las Unidades de Contaminación (X) por punto de muestreo en el tramo 6 |                 |                      |                 |                      |                 |                      |                 |                      |                 |
|----------------------------|--|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
|                            | Punto de muestreo 40   |                 | Punto de muestreo 41 |                 | Punto de muestreo 42 |                 | Punto de muestreo 46 |                 | Punto de muestreo 49 |                 |
|                            | Y <sub>40</sub>  | X <sub>40</sub> | Y <sub>41</sub>      | X <sub>41</sub> | Y <sub>42</sub>      | X <sub>42</sub> | Y <sub>46</sub>      | X <sub>46</sub> | Y <sub>49</sub>      | X <sub>49</sub> |
| OD (%)                     | 0,0  | 12,26           | 0,0                  | 12,26           | 0,0                  | 12,26           | 0,0                  | 12,26           | 0,0                  | 12,26           |
| DBO <sub>5</sub> (mg/l)    | 74,0   | 49,33           | 172,0                | 114,67          | 147,0                | 98,00           | 50,0                 | 33,33           | 48,0                 | 32,00           |
| DQO (mg/l)                 | 87,0   | 8,70            | 206,0                | 20,60           | 210,0                | 21,00           | 59,0                 | 5,90            | 69,0                 | 6,90            |
| Nitratos (mg/l)            | 5,8  | 1,26            | 1,5                  | 0,54            | 1,0                  | 0,42            | 6,4                  | 1,35            | 6,3                  | 1,33            |
| <b>Sumatoria por punto</b> |  | 71,56           |                      | 148,06          |                      | 131,68          |                      | 52,84           |                      | 52,49           |
| <b>ICO por punto</b>       |  | 17,89           |                      | 37,02           |                      | 32,92           |                      | 13,21           |                      | 13,12           |

$$m=5, n=4; \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n = 456,6$$

**ICO tramo 6 = 23 = Agua altamente contaminada**

**Cálculo del ICO para el tramo 7 que comprende al río Rocha, desde la zona Quiroz Rancho (Sipe Sipe) hasta el puente de las ex vías del ferrocarril (Sipe Sipe)**

**Cuadro n.º 19**

| Parámetro                  | Valores de los parámetros (Y) y de las Unidades de Contaminación (X) por punto de muestreo en el tramo 7 |                 |                      |                 |                      |                 |                      |                 |                      |                 |
|----------------------------|--|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
|                            | Punto de muestreo 49   |                 | Punto de muestreo 53 |                 | Punto de muestreo 57 |                 | Punto de muestreo 63 |                 | Punto de muestreo 59 |                 |
|                            | Y <sub>49</sub>  | X <sub>49</sub> | Y <sub>53</sub>      | X <sub>53</sub> | Y <sub>57</sub>      | X <sub>57</sub> | Y <sub>63</sub>      | X <sub>63</sub> | Y <sub>59</sub>      | X <sub>59</sub> |
| OD (%)                     | 0,0  | 12,26           | 0,0                  | 12,26           | 42,5                 | 4,73            | 41,0                 | 4,89            | 57,0                 | 3,4             |
| DBO <sub>5</sub> (mg/l)    | 48,0   | 32,00           | 68,0                 | 45,33           | 75,0                 | 50,00           | 59,0                 | 39,33           | 19,0                 | 12,67           |
| DQO (mg/l)                 | 69,0   | 6,90            | 75,0                 | 7,50            | 55,0                 | 5,50            | 69,0                 | 6,90            | 27,0                 | 2,70            |
| Nitratos (mg/l)            | 6,3  | 1,33            | 7,1                  | 1,44            | 5,3                  | 1,19            | 1,8                  | 0,61            | 2,9                  | 0,82            |
| <b>Sumatoria por punto</b> |  | 52,49           |                      | 66,53           |                      | 61,42           |                      | 51,73           |                      | 19,62           |
| <b>ICO por punto</b>       |  | 13,12           |                      | 16,63           |                      | 15,36           |                      | 12,93           |                      | 4,91            |

$$m=5, n=4; \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n = 251,8$$

**ICO tramo 7 = 13 = Agua muy contaminada**

Cálculo del ICO para el tramo 8 que comprende al río Rocha, desde el puente de las ex vías del ferrocarril (Sipe Sipe) hasta la altura de la tranca de Capinota (Capinota)

Cuadro n.º 20

| Parámetro                  | Valores de los parámetros (Y) y de las Unidades de Contaminación (X) por punto de muestreo en el tramo 8 |                 |                      |                 |                      |                 |
|----------------------------|--|-----------------|----------------------|-----------------|----------------------|-----------------|
|                            | Punto de muestreo 59   |                 | Punto de muestreo 61 |                 | Punto de muestreo 62 |                 |
|                            | Y <sub>59</sub>  | X <sub>59</sub> | Y <sub>61</sub>      | X <sub>61</sub> | Y <sub>62</sub>      | X <sub>62</sub> |
| OD (%)                     | 57,0   | 3,4             | 80,0                 | 1,6             | 92,5                 | 0,6             |
| DBO <sub>5</sub> (mg/l)    | 19,0   | 12,67           | 22,0                 | 14,67           | 6,0                  | 4,00            |
| DQO (mg/l)                 | 27,0   | 2,70            | 32,0                 | 3,20            | 10,0                 | 1,00            |
| Nitratos (mg/l)            | 2,9  | 0,82            | 2,2                  | 0,69            | 16,4                 | 2,44            |
| <b>Sumatoria por punto</b> |  | 19,62           |                      | 20,15           |                      | 8,04            |
| <b>ICO por punto</b>       |  | 4,91            |                      | 5,04            |                      | 2,01            |

$m=3, n=4; \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n = 47,81$

**ICO tramo 8 = 4 = Agua moderadamente contaminada**

----0----