

- Oxígeno disuelto (OD en % saturación)

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 llevo acabo 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 reflejan 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.

ESTIMACION DEL INDICE DE CALIDAD DE AGUA GENERAL “ICA”

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.

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

Tabla 1 CLASIFICACION DEL “ICA” PROPUESTO POR BROWN

CALIDAD DE AGUA	COLOR	VALOR
Excelente	Blue	91 a 100
Buena	Green	71 a 90
Regular	Yellow	51 a 70
Mala	Orange	26 a 50
Pésima	Grey	0 a 25

Fuente: Lobos, José. Evaluación de los Contaminantes del Embalse del Cerrón Grande PAES 2002.

Las aguas con “ICA” mayor que 90 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.

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.

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.

Las aguas con un “ICA” que caen en categoría “Pésima” pueden solamente poder apoyar un número limitado de las formas acuáticas de la vida, presentan problemas abundantes y normalmente no sería considerado aceptable para las actividades que implican el contacto directo con ella, tal como natación.

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.

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 (ICA_a) o una función ponderada multiplicativa (ICA_m). Estas agregaciones se expresan matemáticamente como sigue:

$$ICA_a = \sum_{i=1}^9 (Sub_i * w_i) \quad (1)$$

$$ICA_m = \prod_{i=1}^9 (Sub_i^{w_i}) \quad (2)$$

Donde:

w_i : Pesos relativos asignados a cada parámetro (Sub_i), y ponderados entre 0 y 1, de tal forma que se cumpla que la sumatoria sea igual a uno.

Sub_i : Subíndice del parámetro i .

Otros autores (Landwehr y Denninger, 1976), demostraron que el cálculo de los “ICA” mediante técnicas multiplicativas es superior a las aritméticas, es decir que son mucho más sensibles a la variación de los parámetros, reflejando con mayor precisión un cambio de calidad. Es por esta razón que la técnica que se aplicará en este estudio es la multiplicativa. Para determinar el valor del “ICA” es necesario sustituir los datos en la ecuación 2 obteniendo los Sub_i de distintas graficas como se explicará a continuación, dicho valor se eleva por sus respectivos w_i de la **Tabla 2** y se multiplican los 9 resultados obteniendo de esta manera el “ICA”.

Los pesos de los diversos parámetros son:

Tabla 2 Pesos relativos para cada parámetro del “ICA”

i	Sub_i	w_i
1	Coliformes Fecales	0.15
2	pH	0.12
3	DBO ₅	0.10

i	Sub _i	w _i
4	Nitratos	0.10
5	Fosfatos	0.10
6	Temperatura	0.10
7	Turbidez	0.08
8	Sólidos disueltos Totales	0.08
9	Oxígeno Disuelto	0.17

Los pasos a seguir para calcular los (Sub_i) del Índice de Calidad General son:

Si los Coliformes fecales son mayores de 100,000 Bact/100 mL el (Sub_i) es igual a 3. Si el valor de Coliformes fecales es menor de 100,000 Bact/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). El valor encontrado es el (Sub_i) de Coliformes fecales, se procede a elevarlo al peso w₁.

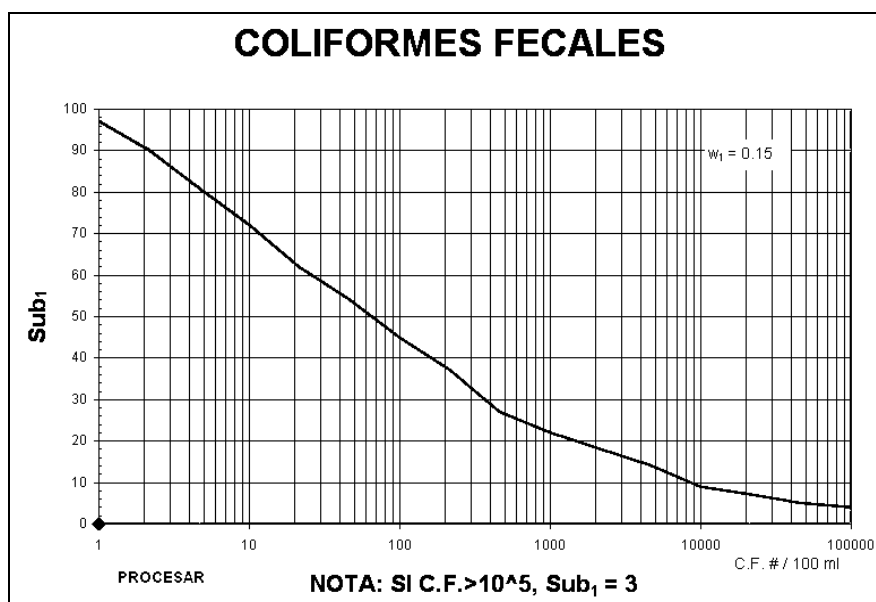


Figura 1 Valoración de la calidad de agua en función de Coliformes Fecales

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 elevarlo al peso w_2 .

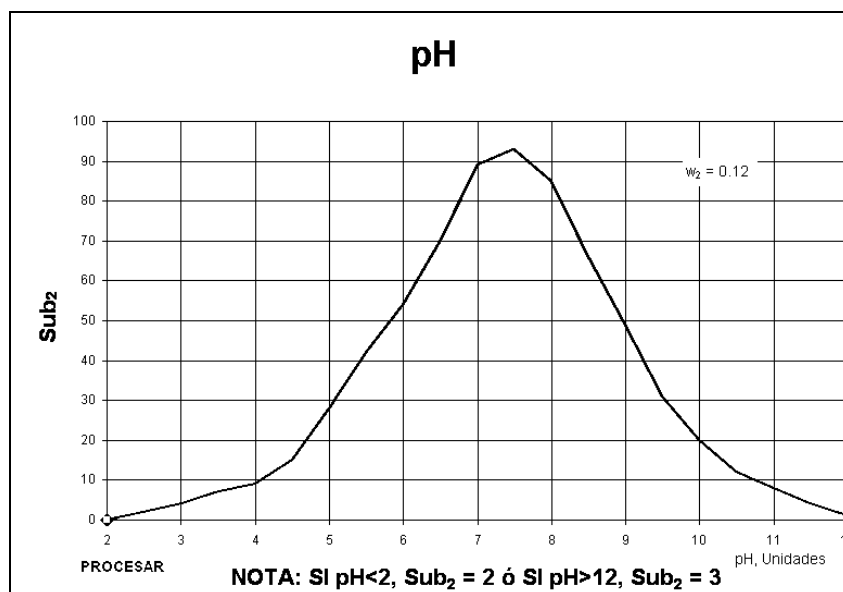


Figura 2 Valoración de la calidad de agua en función del pH

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 elevarlo al peso w_3 .

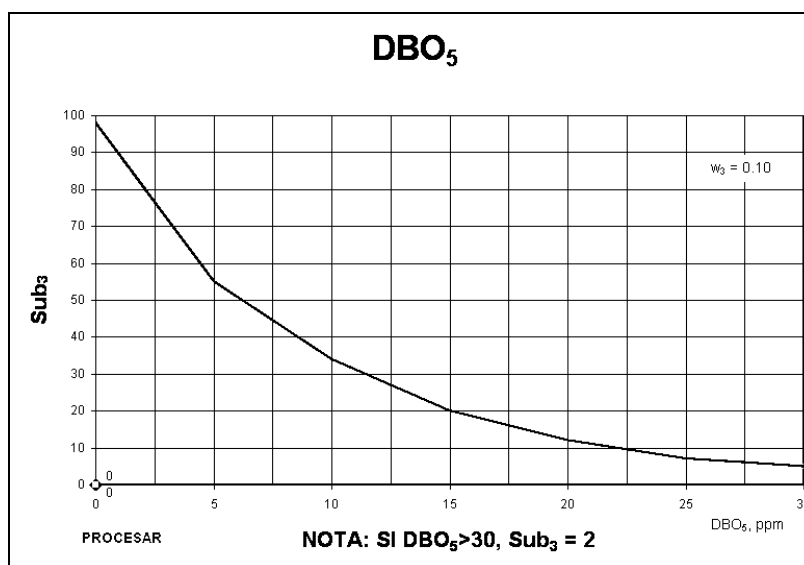


Figura 3 Valoración de la calidad de agua en función de la DBO₅

Si Nitratos es mayor de 100 mg/L el (Sub₄) 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 (Sub₄) de Nitratos y se procede a elevarlo al peso w_4 .

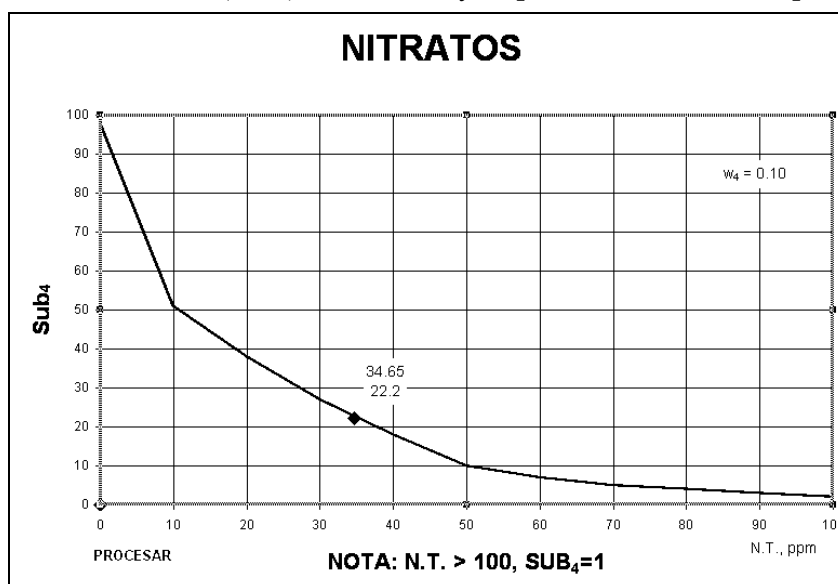


Figura 4 Valoración de la calidad de agua en función del Nitrógeno

Si el Fosfatos es mayor de 10 mg/L el (Sub₅) 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 (Sub₅) y se procede a elevarlo al peso w_5 .

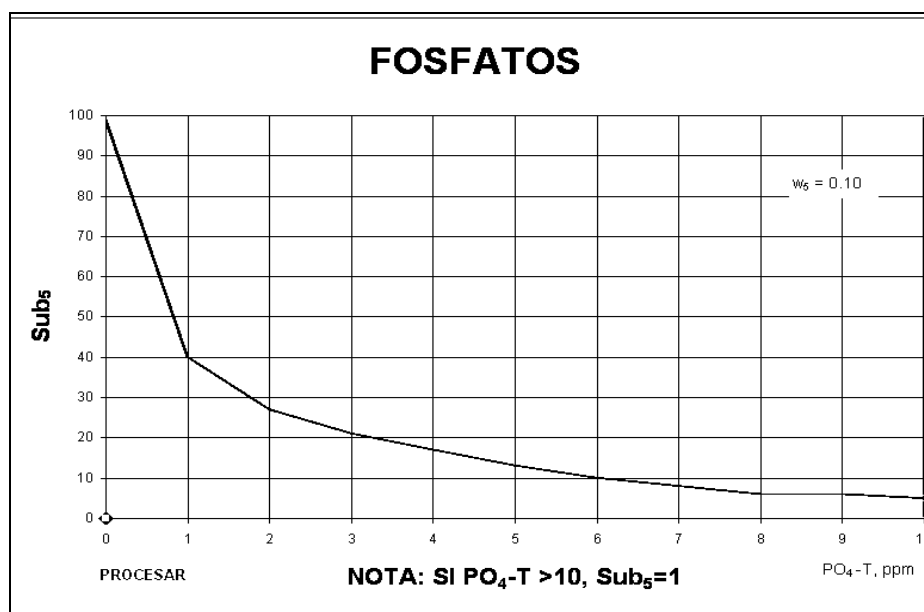


Figura 5 Valoración de la calidad de agua en función del Fósforo

Para el parámetro de Temperatura (Sub₅) primero hay que calcular la diferencia entre la T° ambiente y la T° Muestra y con el valor obtenido proceder. Si el valor de esa diferencia es mayor de 15°C el (Sub₅) 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 (Sub₆) de Temperatura y se procede a elevarlo al peso w_6 .

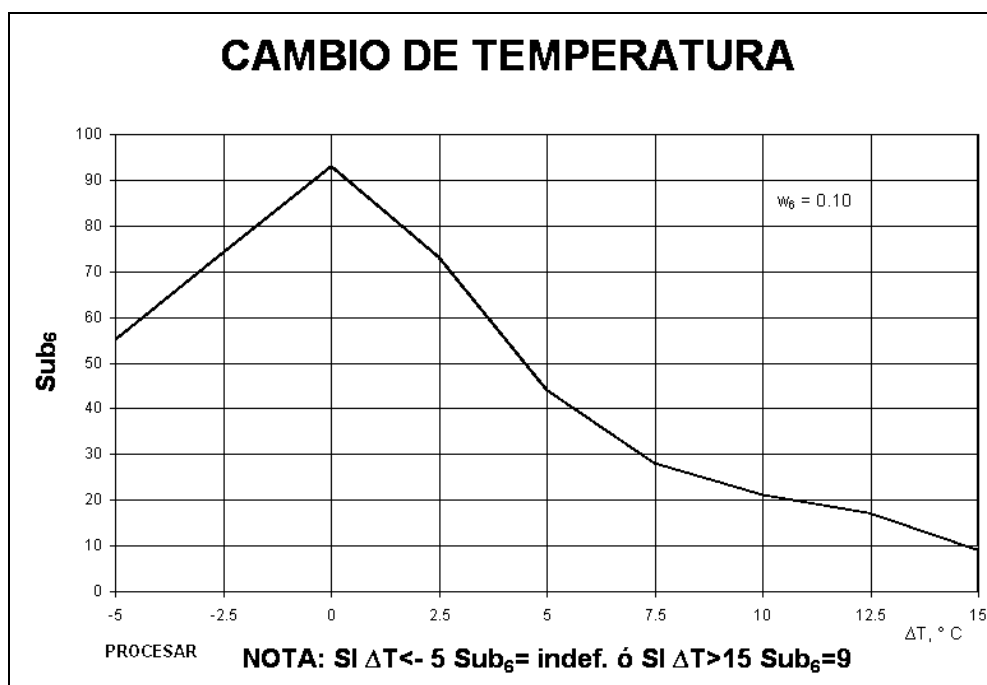


Figura 6 Valoración de la calidad de agua en función de la Temperatura

Si la Turbidez es mayor de 100 FAU el (Sub₇) es igual a 5. Si la Turbidez es menor de 100 FAU, 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 (Sub₇) de Turbidez y se procede a elevarlo al peso w_7 .

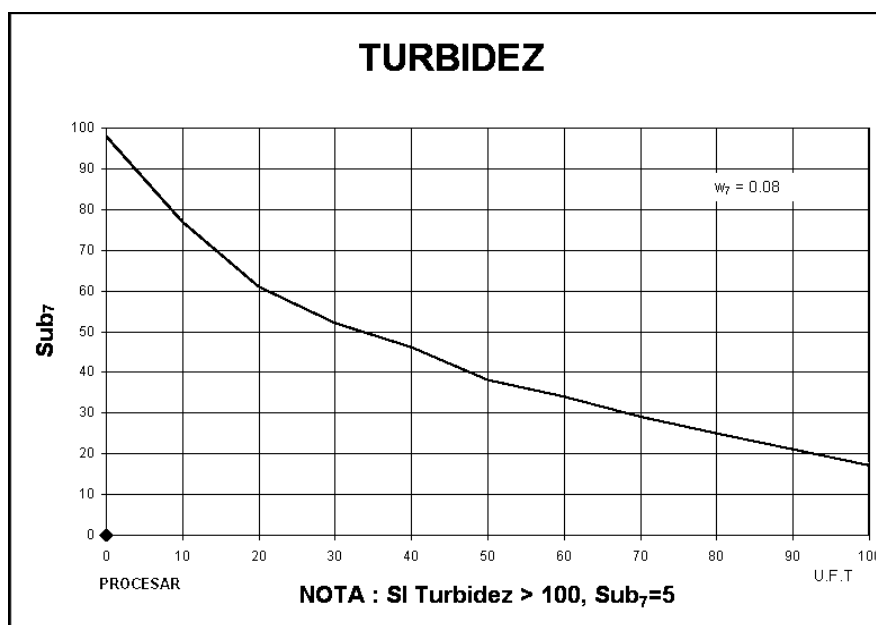


Figura 7 Valoración de la calidad de agua en función de la Turbidez

Si los Sólidos disueltos Totales son mayores de 500 mg/L el (Sub₈) 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 (Sub₈) de Residuo Total y se procede a elevarlo al peso w_8 .

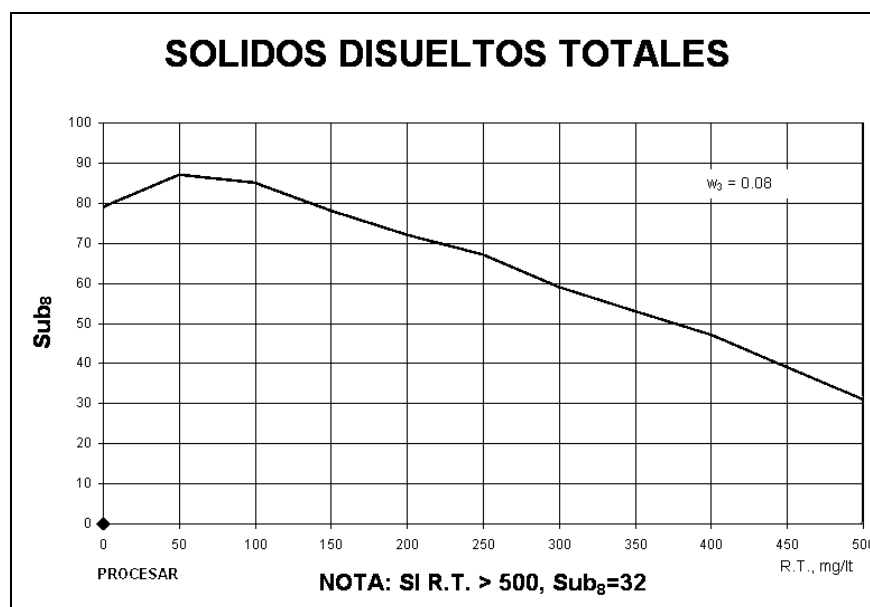


Figura 8 Valoración de la calidad de agua en función del Residuo Total

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 3).

Tabla 3 Solubilidad del Oxígeno en Agua Dulce

Temp. °C	OD mg/L	Temp. °C	OD mg/L	Temp. °C	OD mg/L	Temp. °C	OD mg/L
1	14.19	12	10.76	23	8.56	34	7.05
2	13.81	13	10.52	24	8.4	35	6.93
3	13.44	14	10.29	25	8.24	36	6.82
4	13.09	15	10.07	26	8.09	37	6.71
5	12.75	16	9.85	27	7.95	38	6.61
6	12.43	17	9.65	28	7.81	39	6.51
7	12.12	18	9.45	29	7.67	40	6.41
8	11.83	19	9.26	30	7.54	41	6.31

9	11.55	20	9.07	31	7.41	42	6.22
10	11.27	21	8.9	32	7.28	43	6.13
11	11.01	22	8.72	33	7.16	44	6.04

FUENTE: Tabla 3-140 de PERRY "Manual del Ingeniero Químico"

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 elevarlo al peso w_9 .

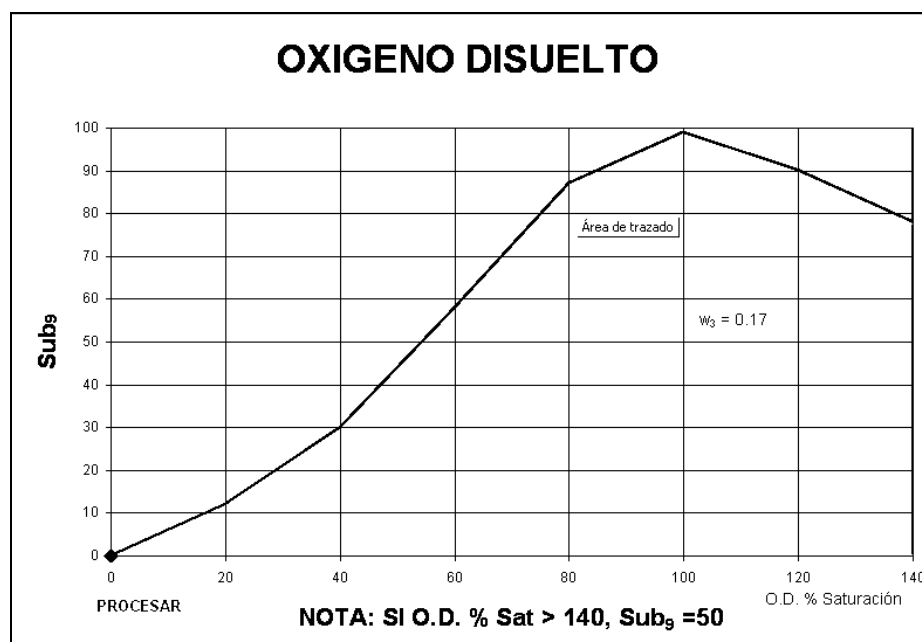


Figura 9 Valoración de la calidad de agua en función del % de Saturación del Oxígeno disuelto

Los datos obtenidos se incorporan en la siguiente Tabla para obtener el valor del "ICA" en el punto de muestreo deseado.

Tabla 4 Hoja para el calculo del "ICA_m"

Parámetro	Valor	Unidades	Sub _i	w _i	Total
1 Coliformes Fecales		NMP/100 mL		0.15	

2	pH		unidades de pH		0.12	
3	DBO ₅		mg/ L		0.10	
4	Nitratos		mg/ L		0.10	
5	Fosfatos		mg/ L		0.10	
6	Cambio de la Temperatura		°C		0.10	
7	Turbidez		FAU		0.08	
8	Sólidos disueltos Totales		mg/ L		0.08	
9	Oxígeno Disuelto		% saturación		0.17	
Valor del "ICA"					Σ	