

## Aplicación del índice de calidad de agua en el río Portoviejo, Ecuador

Luis Santiago Quiroz Fernández e-mail: [lquiroz@utm.edu.ec](mailto:lquiroz@utm.edu.ec)  
Universidad Técnica de Manabí, Ecuador.

Elena Izquierdo Kulich e-mail: [elenaik@fq.uh.cu](mailto:elenaik@fq.uh.cu)  
Universidad de La Habana, Cuba.

Carlos Menéndez Gutiérrez e-mail: [carlosm@tesla.cujae.edu.cu](mailto:carlosm@tesla.cujae.edu.cu)  
Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), Cuba.

### RESUMEN

El presente trabajo evalúa la calidad de agua del río Portoviejo (Manabí, Ecuador) mediante la aplicación del índice de calidad de agua bajo la metodología propuesta por la Fundación Nacional de Saneamiento (NSF). Los puntos donde se determinó el índice fueron seleccionados a partir de resultados previamente obtenidos mediante el uso de un modelo matemático y su estimación se efectuó mediante la toma de muestras de parámetros físico-químicos y microbiológicos. Independientemente que solamente uno de los indicadores evaluados sobrepasa los valores establecidos por los límites máximos permitidos (LMP), los resultados obtenidos demuestran que la calidad de agua va disminuyendo a medida que el río recorre la trayectoria de su cauce, debido a la alta carga contaminante producto del vertimiento de aguas residuales y a la disminución de su capacidad de autodepuración.

**Palabras clave:** aguas residuales, contaminación de ríos, índice de calidad de agua, río Portoviejo, vertimiento.

## Application of the water quality index in the Portoviejo River, Ecuador

### ABSTRACT

The present work evaluates the water quality of the Portoviejo River (Manabí, Ecuador), by applying the water quality index under the methodology proposed by the National Sanitation Foundation (NSF). The points where the index was determined were selected from previously obtained results using a mathematical model and its estimation was carried out by the sampling of physical-chemical and microbiological parameters. Regardless of the fact that only one of the indicators evaluated exceeds the values established by the maximum permissible limits (LMP), the obtained results show that the quality of water decreases as the river travels along the path of its channel, due to the high contaminant load coming from the discharge of waste water and the reduction of its capacity of self-purification.

**Keywords:** waste water, river pollution, water quality index, Portoviejo river, discharge.

## INTRODUCCIÓN

Desde épocas remotas los ríos han constituido fuente de riqueza, al proporcionar el agua imprescindible para la subsistencia y posterior desarrollo de las poblaciones humanas, propiciando la fertilidad de los suelos para la obtención de alimentos y facilitando la comunicación entre los pueblos.

Sin embargo, las aguas de los ríos experimentan un deterioro en su calidad debido principalmente a su uso como receptor de los vertimientos generados en los centros poblados, las zonas industriales, las actividades agropecuarias y escorrentías.

La caracterización de la calidad del agua de un río implica la determinación del grado, el nivel o la intensidad de la contaminación que posee, la cual puede ser de origen físico, químico o biológico, y la capacidad del sistema de restituir de manera natural las propiedades o condiciones que poseía antes de ser afectado por el agente contaminante.

La autodepuración en general y particularmente de las corrientes superficiales es un proceso inherente a la naturaleza misma. En los ríos y otros cuerpos receptores ésta se manifiesta cuando, de forma espontánea, sin participación directa del hombre, se restituyen de manera natural las características que existían inicialmente y que se habían modificado debido a la intrusión de un agente contaminante.

La capacidad de autodepuración de cualquier curso de agua no es ilimitada. El grado de contaminación alcanzado puede llegar a ser tal que las posibilidades de recuperación o depuración de la corriente en un tiempo considerado aceptable se vean sobrepasadas.

En este sentido, la capacidad de autodepuración de un río se encuentra relacionada con la velocidad de degradación biológica o de biodegradación de los compuestos vertidos al mismo, ya sea por causas naturales como antrópicas.

Un aspecto que hay que considerar durante la evaluación de la capacidad de autodepuración de los ríos es la obtención de información, tanto histórica como actualizada, sobre la cuenca bajo estudio. Esto incluye el régimen de las precipitaciones, régimen hidrológico de la corriente y de los indicadores de calidad del agua.

Portoviejo es la capital de la provincia de Manabí, Ecuador. Los datos demográficos indican que en el año 2010 su población era de 280 mil habitantes, con un peso relativo mayoritariamente de población urbana, dado que el 74 % del total del cantón reside en esta zona.

El río Portoviejo drena un área de 2 108,29 km<sup>2</sup>. Está constituido por varias subcuencas y micro cuencas. Este río atraviesa de forma total o parcial cuatro cantones de la provincia de Manabí y es la principal fuente de agua para una población de aproximadamente 700 mil habitantes para sus diversos usos.

El objetivo del presente trabajo es evaluar la calidad del agua del río Portoviejo mediante la aplicación del índice propuesto por la National Sanitation Foundation (NSF), de Estados Unidos, tomando como referencia para el muestreo los distintos puntos a lo largo de su cauce, donde se

ha identificado mediante el uso de un modelo matemático que existen vertimientos que inciden en mayor grado a su contaminación.

### **EL ÍNDICE DE CALIDAD DEL AGUA (ICA)**

Se reconocen diferentes procedimientos para evaluar la calidad del agua. Éstos pueden ir desde brindar el valor independiente de las diferentes propiedades del agua, hasta la definición de expresiones en las que se combinan algunas de las propiedades, según un interés predeterminado.

Con estas expresiones se puede reducir la naturaleza multivariada de los análisis sobre calidad de agua a un valor único, y conocer rápidamente cual es el “estado de salud” del sistema monitoreado. Tal es el caso de los índices de calidad de agua.

Una manera de hacerlo es calcular un índice que combine matemáticamente a todas las medidas de calidad de agua y de esta manera provea una descripción general y fácilmente entendible de un cuerpo contaminado y reflejar la condición global del mismo (Fernández y Solano 2005).

Según Fernández y Solano (2005), se conocen más de 30 índices de calidad de agua que son de uso común, y consideran un número de variables que se encuentran entre 3 y 72.

La mayoría de estos índices incluyen al menos tres de los siguientes parámetros: OD (Oxígeno Disuelto), DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno), nitrógeno amoniacal y nitrógeno en forma de nitrato ( $\text{N-NH}_4^+$  y  $\text{N-NO}_3^-$ ), fósforo en forma de ortofosfato ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ), potencial de hidrógeno (pH) y sólidos disueltos totales (STD).

Entre los ICA más empleados se destaca el propuesto por (Brown et al. 1970) que es una versión modificada del Water Quality Index (WQI), desarrollada por la de la National Sanitation Foundation (ICA– NSF). Este índice goza de amplia difusión y aplicación.

Posteriormente han sido desarrollado otros, que de una manera u otra tienen similares fundamentos y sustentación a los considerados en el ICA-NSF.

García et al. (1981) definieron para Cuba un ICA para aguas superficiales en cuencas hidrográficas, seleccionando nueve parámetros como indicadores de la calidad del agua. Posteriormente, el Órgano del Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas (Gutiérrez y García 2014), simplificó el ICA de nueve parámetros por otro de cinco, en el que no son considerados los cloruros ( $\text{Cl}^-$ ), amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), ortofosfato ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ), y turbidez.

De esta manera se le da mayor importancia que con anterioridad, a la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y CF (minúscula), al asignarles mayores pesos relativos como indicadores de la contaminación orgánica y biológica.

Por otra parte, al OD se le da el mayor peso relativo dada su importancia en el estado sanitario de los cuerpos superficiales.

En la República del Ecuador la metodología que se utiliza para el cálculo del ICA es la propuesta por Brown (1970), basada en la evaluación de nueve parámetros o variables (TULAS 2015).

El índice de calidad de agua propuesto por la NSF se fundamenta en un procedimiento que tiene en cuenta el promedio aritmético ponderado de nueve variables, y se determina a través de la ecuación (1).

$$ICA = \sum_{i=1}^{i=n} Q_i w_i \quad (1)$$

donde:

$w_i$ : representa el factor de importancia o ponderación de la variable  $i$  respecto a las restantes variables que conforman el índice

$Q_i$ : corresponde con el factor de escala de la variable, depende de la magnitud de la variable y es independiente de las restantes

$i$ : representa la variable o parámetro considerado

El valor de  $Q_i$  se estima a partir de funciones de calidad, expresadas a partir de ecuaciones o curvas para cada variable con el objetivo de transformar los valores de las variables a una escala adimensional en razón de su expresión en diferentes unidades ( $\text{mgL}^{-1}$ , porcentaje, unidades, etc.), para permitir su agregación.

En las curvas conocidas como Curvas de Función se representa una escala de calificación para cada indicador, de tal forma que se establece una correlación entre los diferentes parámetros y su influencia en el grado de contaminación (CVC 2004).

En la tabla 1 se refleja la escala utilizada por Fernández y Solano (2005) para interpretar el resultado final de la calidad del agua de acuerdo con este índice.

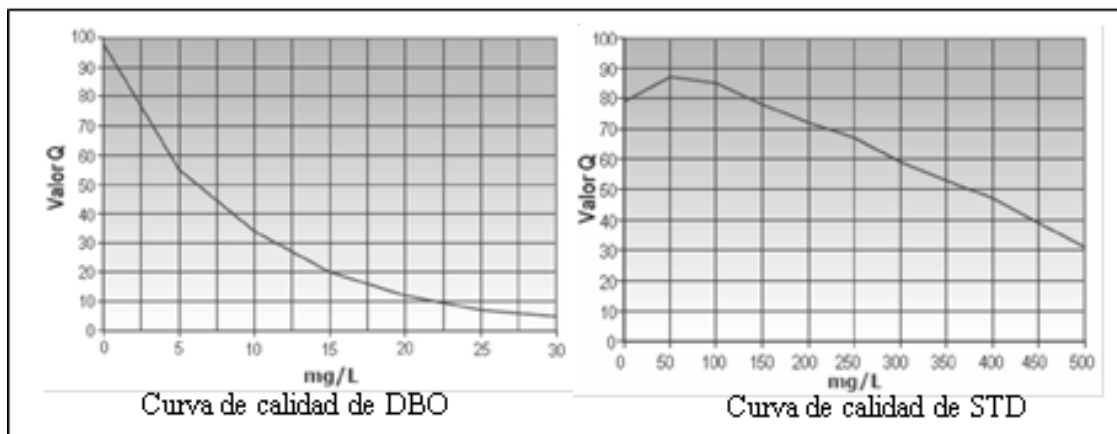
En la tabla 2 se presentan los pesos asignados a cada variable según González et al. (2013), y en las figuras 1, 2, 3, 4 y 5 aparecen las curvas de función según Brown (1970), modificadas por Samboni et al. (2007), que se utilizan para determinar por cada valor de la concentración de los parámetros contemplados en el ICA el valor de  $Q_i$  correspondiente.

**Tabla 1. Calidad del agua asociada al valor del ICA  
(Escala de clasificación del ICA-NSF)**

Calidad del agua	Valor del ICA
Excelente	91 – 100
Buena	71 – 90
Media	51 – 70
Mala	26 – 50
Muy Mala	0 – 25

**Tabla 2. Valores relativos asignados a cada variable según el ICA-NSF**

Coliformes fecales (CF)	0,15
Potencial de hidrógeno (pH)	0,12
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	0,10
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-1</sup> )	0,10
Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0,10
Cambio de la Temperatura	0,10
Turbidez	0,08
Sólidos totales disueltos (STD)	0,08
Oxígeno disuelto (OD)	0,17



**Figura 1. Curvas de calidad de DBO y STD**

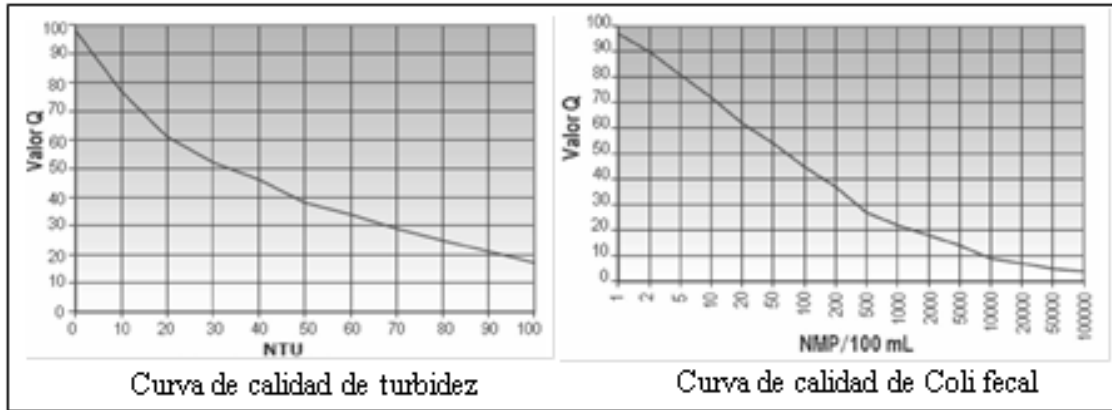


Figura 2. Curvas de calidad de turbidez y CF

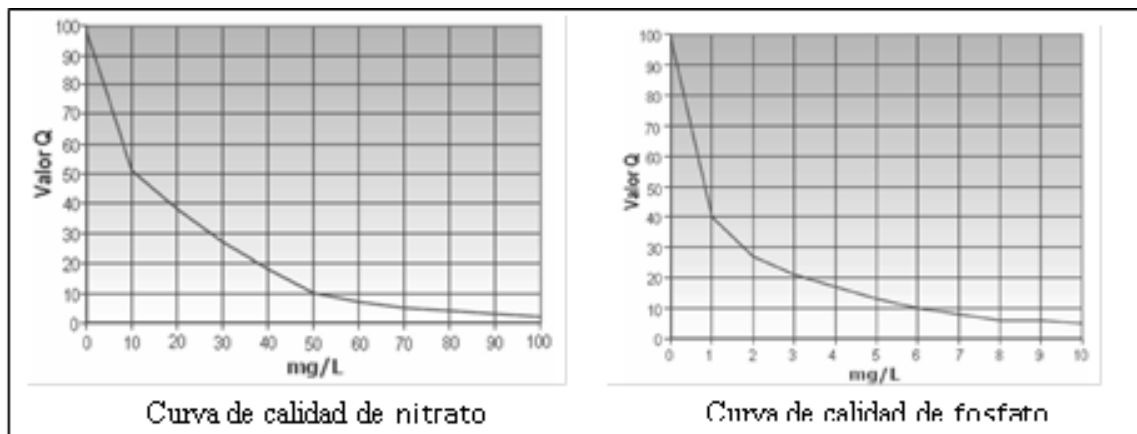


Figura 3. Curvas de calidad de  $\text{NO}_3^{-1}$  y  $\text{PO}_4^{3-}$

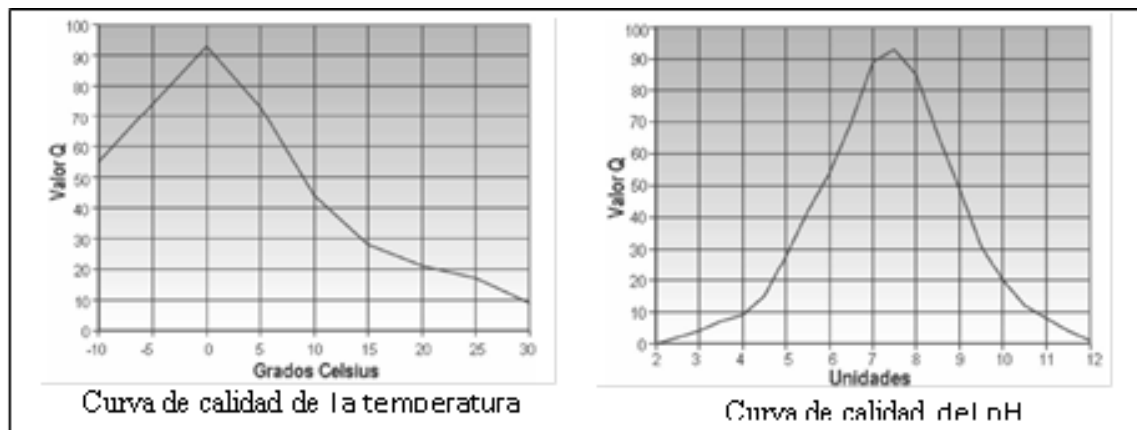
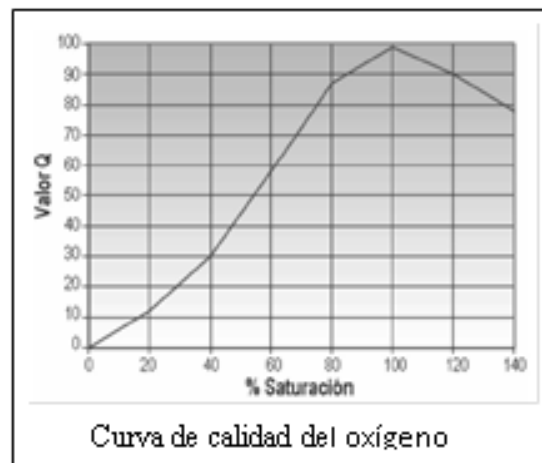


Figura 4. Curvas de calidad cambio de temperatura y pH



**Figura 5. Curvas de calidad de OD**

## PROCEDIMIENTO

La información primaria empleada en el análisis de la calidad del agua del río Portoviejo se corresponde con muestreos puntuales.

La selección de los lugares para la toma de muestras se realizó a partir de los resultados arrojados en la aplicación en el curso del río de un modelo matemático previamente desarrollado y cuyos parámetros se ajustaron a partir de los resultados experimentales observados en relación con la variación de la concentración de OD a lo largo del curso del río (Quiroz et al. 2016).

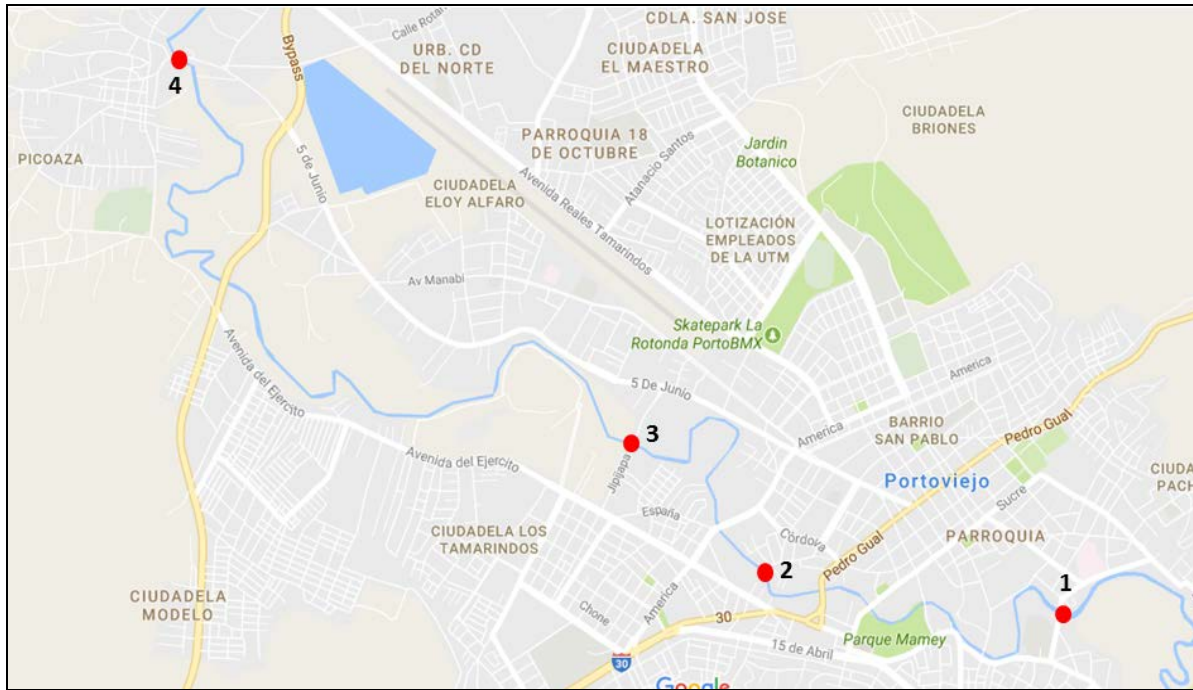
Los puntos escogidos y los criterios tomados en cuenta para esta selección son:

- Punto 1. Puente Santa Cruz: inicio del tramo de estudio;
- Punto 2. Ciudadela La Paz: el modelo predice que a partir de este punto disminuyen los valores de la concentración de OD en el río;
- Punto 3. Puente Las Piedras: el modelo predice que en algunos de los tramos anteriores a este punto no existe capacidad de autodepuración;
- Punto 4: Puente 5 de Junio: es el punto final en el área de estudio. En la figura 6 aparecen identificados los puntos de muestreo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 3 se expresan los valores obtenidos de la concentración de los nueve parámetros utilizados para la determinación del ICA en los cuatro puntos de muestreo y en tres períodos o momentos, así también la asignación del peso ponderado a cada uno de ellos.

Tal como se aprecia en la tabla 3, los valores de las variables en cada punto, para cada período, pueden ser tomados como consistentes.



**Figura 6. Puntos identificados de muestreo en el río Portoviejo**

**Tabla 3. Valores de concentración de parámetros contemplados para la obtención del ICA**

Parámetro	Unidades	PUNTO 1			PUNTO 2			PUNTO 3			PUNTO 4			w <sub>i</sub>	
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3		
1	Colif. fecales	NMP/100 mL	1 300	1 250	1 310	3 000	3 100	2 800	120	150	120	5 200	5 000	5 400	0,15
2	pH	unidad pH	7,41	7,35	7,55	7,00	7,68	7,84	7,57	8,07	7,15	8,00	8,40	7,80	0,12
3	DBO <sub>5</sub>	mg/ L	14,00	15,00	13,00	16,00	17,00	17,50	26,00	28,00	30,00	38,00	42,00	46,00	0,10
4	Nitratos	mg/ L	1,72	1,53	1,63	1,87	1,78	1,65	7,53	6,70	6,31	3,32	4,20	5,45	0,10
5	Fosfatos	mg/ L	0,23	0,28	0,30	0,26	0,35	0,43	0,43	0,48	0,55	0,56	0,67	0,58	0,10
6	Cambio temp.	°C	1,70	2,00	2,00	3,40	3,32	3,37	3,00	2,56	2,23	2,30	1,50	2,80	0,10
7	Turbidez	NTU	48,00	45,00	50,00	50,00	51,00	55,00	60,00	65,00	70,00	70,00	68,00	72,00	0,08
8	Sólidos disueltos totales	mg/ L	95,00	98,00	92,00	465,0	450,0	420,0	450,0	437,0	415,0	527,0	518,0	530,0	0,08
9	Oxígeno Disuelto	% saturac.	97,29	95,20	98,87	76,37	75,86	72,02	39,72	50,74	47,64	56,43	59,40	53,46	0,17



Las mayores diferencias de valores máximo y mínimo determinados son para el fosfato, en casi los cuatro puntos evaluados: 26 %; 42,8 %; 24,5 % y 18 %, para los puntos 1, 2, 3 y 4 respectivamente.

Excepto para los registros de la concentración de nitrato en el punto 4 de vertimiento, con una máxima diferencia de 49 % del valor medio, en los restantes parámetros las diferencias de los valores en cada punto para los cuatro períodos no son notables.

Fue encontrado incremento de la concentración de fosfato a partir del Puente Las Piedras (punto 3 de medición), donde fueron identificadas lavadoras y lubricadoras de vehículos, y un mayor incremento aún en la concentración de fosfato en el Puente 5 de Junio (punto 4 de medición), ubicado inmediatamente aguas debajo de la descarga al río de la laguna de oxidación que sirve como estación depuradora de aguas residuales de la población de Portoviejo.

En estos mismos puntos de medición, 3 y 4, fue donde se registraron los mayores valores de DBO<sub>5</sub>, turbidez, sólidos disueltos y menor concentración de OD.

Se hace evidente que la mayoría de los nueve parámetros tomados como referencia para el cálculo del ICA se deterioran a lo largo de la sección estudiada del río.

Sin embargo, cuando los valores encontrados para estos parámetros fueron comparados con los regulados por la Norma Ecuatoriana como valores límites máximos permisibles en cuerpo de agua dulce, solamente para los CF (LMP 3 000/100 mL) se obtuvieron valores cercanos o superiores a los permitidos.

En la tabla 4 se muestra el resumen de los ICA obtenidos aplicando la ecuación (1) en cada punto de muestreo y los gráficos de las figuras 1, 2, 3, 4 y 5.

**Tabla 4. Resultados del ICA en los puntos de tomas de muestras**

Puntos de toma de muestras								
	1 (Santa Cruz)		2 (Ciudadela La Paz)		3 (Puente Las Piedras)		4 (Puente 5 de Junio - Picoazá)	
Semanas	ICA	CALIDAD	ICA	CALIDAD	ICA	CALIDAD	ICA	CALIDAD
1	59,19	Media	51,03	Media	41,55	Mala	38,41	Mala
2	59,14	Media	50,09	Mala	43,74	Mala	33,07	Mala
3	59,22	Media	49,74	Mala	43,37	Mala	32,81	Mala

Como se evidencia en la tabla 4 los ICA van disminuyendo en la trayectoria del cauce del río, en el orden promedio de 59,18; 50,28; 42,88 y 34,76 desde el punto 1 al punto 4 respectivamente.

Este resultado es coherente con el deterioro paulatino, a lo largo del curso del río, de los valores de los parámetros, tal como fue comentado anteriormente.

En ninguno de los períodos en que se tomaron muestras en todo el tramo evaluado, los resultados arrojaron valores de ICA que permitieran considerar el agua como de buena calidad, deteriorándose más en todos los casos a partir de La Ciudadela La Paz (punto 2), y con características críticas a partir del Puente Las Piedras y 5 de Junio (puntos 3 y 4).

Las conclusiones de los estudios llevados a cabo se corroboran con los realizados anteriormente por la Dirección de Medio Ambiente del Municipio de Portoviejo y otras investigaciones (DMAP 2011) (Macías y Díaz 2010), coincidiendo en que la escasa cobertura del sistema de alcantarillado, el notable incremento del asentamiento poblacional en las márgenes del río, la deficiente operación de la estación depuradora existente, son los aspectos fundamentales que han contribuido a la degradación paulatina de la calidad ambiental del río hasta llegar a la situación actual de grave deterioro.

## CONCLUSIONES

- Excepto los coliformes fecales, ningún otro indicador de los considerados en este trabajo para medir la calidad del agua supera los límites de tolerancia establecidos por la autoridad ambiental reguladora.
- A pesar de que la mayoría de los nueve parámetros tomados como referencia para el cálculo del ICA cumplen con los valores máximos permisibles regulados por la Norma Ecuatoriana, la integración de ellos en el índice cualifica la calidad del agua del río Portoviejo como mala.
- En función de los resultados obtenidos mediante la aplicación del ICA determinados en los cuatro puntos evaluados mediante la metodología propuesta por la NSF, se evidencia que la calidad de agua del río Portoviejo va disminuyendo a medida que avanza su cauce debido a los vertimientos de aguas residuales que existen a lo largo de su trayectoria. Ello provoca que la corriente vaya disminuyendo en su capacidad de asimilar la carga contaminante y en la restitución de su calidad de forma natural.

## REFERENCIAS

**Brown R. M., McClelland N. I., Deninger R. A. and Tozer R. G.** (1970). "A water quality index: do we dare?", *Water & Sewage Works*, vol 117, no. 10, pp. 339-343., Gillette Pub. Co., Chicago, USA.

CVC (2004). "Estudio de la calidad del agua del río Cauca y sus principales tributarios mediante la aplicación de índices de calidad y la contaminación tramo Salvajina-la Virginia", Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) & Universidad del Valle, Convenio Interadministrativo 0168 de Noviembre 27 de 2002, Santiago de Cali, Colombia.

**DMAP** (2011). “Situación actual de los recursos naturales del Cantón Portoviejo”, Dirección de Medio Ambiente del Municipio de Portoviejo (DMAP), Portoviejo, Ecuador.

**Fernández N. y Solano F.** (2005). “Índices de Calidad de Agua e Índices de Contaminación”, Universidad de Pamplona, Colombia.

**García J., Beato O. y Gutierrez J.** (1981). “Un índice para evaluar la calidad de las aguas superficiales”, Voluntad Hidráulica, vol. 20, no. 62, pp. 47-52, ISSN 0505-9461, Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, La Habana, Cuba.

**González V., Caicedo O. y Aguirre N.** (2013). “Aplicación de los índices de calidad de agua NSF, DINIUS y BMWP”. Revista Gestión y Ambiente, vol 16, no. 1, pp 97-108, Mayo, ISSN 0124-177X, Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Colombia.

**Gutiérrez J. y García J.** (2014). “Resumen metodológico: Un índice para evaluar la calidad de los recursos hídricos superficiales en cuencas hidrográficas (ICA\_sp 2014)”. Consejo Nacional de Cuencas Hidrográficas, pp 1-14, La Habana, Cuba.

**Macías R. y Díaz S.** (2010). “Estrategias generales para el control y prevención de la contaminación del agua superficial en la cuenca del río Portoviejo”, Ciencias Biológicas, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, vol. 41. pp. 1-7, ISSN 0253-5688, La Habana, Cuba.

**Quiroz L., Izquierdo E. y Menéndez C.** (2016). “Modelación matemática de la capacidad de autodepuración de corrientes superficiales. Caso de estudio: Río Portoviejo, Ecuador”, Revista Cubana de Ingeniería, vol 7, no. 2, pp. 64-70, ISSN 2223-1781, Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana, Cuba.

**Samboni N., Carvajal Y y Escobar J.** (2007). “Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua”. Revista Ingeniería e Investigación, vol. 27, no. 3, pp. 172-181, ISSN 0120-5609, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

**TULAS** (2015). Texto Unificado de Legislación Secundaria, Medio Ambiente, Libro VI. Decreto Ejecutivo 3516, Ministerio del Ambiente, Ecuador.