

## Calidad del agua del río Luyanó: aplicación de un índice de calidad del agua

José Francisco Montalvo Estévez

Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH),

Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana.

e-mail: [montalvoe@cih.cujae.edu.cu](mailto:montalvoe@cih.cujae.edu.cu)

Teresita de Jesús Romero López

Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH),

Universidad Tecnológica de la Habana José Antonio Echeverría (Cujae), La Habana.

e-mail: [teresita@cih.cujae.edu.cu](mailto:teresita@cih.cujae.edu.cu)

Antonia Lozano Medina

Empresa de Servicios de Ingenieros Hidráulicos Occidente, La Habana.

e-mail: [toty@eahch.hidro.cu](mailto:toty@eahch.hidro.cu)

José de la Caridad Tierra Landa

Empresa de Servicios de Ingenieros Hidráulicos Occidente, La Habana.

e-mail: [landa@eahch.hidro.cu](mailto:landa@eahch.hidro.cu)

### RESUMEN

Este trabajo describe la aplicación del Índice de Calidad del Agua del Concilio Canadiense de Ministerios del Medioambiente (CCMEWQI) para cuatro estaciones situadas en el río Luyanó, La Habana, Cuba. El río fue evaluado desde diciembre del 2010 hasta noviembre del 2017. El CCMEWQI fue aplicado a seis parámetros de calidad de agua (pH, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, coliformes totales y coliformes fecales). El índice tuvo un valor de 14, que indica que el río tiene una pobre calidad debido al efecto de diversas fuentes de contaminación.

**Palabras clave:** contaminación, índice de calidad del agua CCMEWQI, río Luyanó.

## Luyano river water quality: application of a water quality index

### ABSTRACT

The present work describes the application of Canadian Council of Ministers of the Environment Water Quality Index (CCMEWQI) to four stations located in Luyanó river, Havana, Cuba. The river was evaluated from december 2010 to november 2017. CCMEWQI was applied using six parameters of water quality (pH value, dissolved oxygen, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, total coliforms and fecal coliforms). The index value was 14 which suggests that the river has a poor quality due to the effect of different pollution sources.

**Keywords:** contamination, water quality index CCMEWQI, Luyanó river.

## INTRODUCCIÓN

El agua es vital para la existencia de todas las formas de vida, pero este preciado recurso está siendo progresivamente amenazado por el crecimiento de la población que demanda más agua de alta calidad tanto para los fines domésticos, como para las actividades económicas (Al-Janabi et al. 2012).

Actualmente se considera el agua como un recurso esencial que requiere la máxima atención de las naciones, por ser indispensable para la preservación de la vida y encontrarse expuesta al deterioro, en ocasiones irreversible, ocasionado por un uso irresponsable e intensivo del recurso (Castro et al. 2014).

La forma más común de evaluar la calidad del agua es comparando las mediciones de parámetros físicos, químicos y bacteriológicos con los rangos establecidos por las líneas directivas o normas de calidad de agua.

Otra forma de determinar la calidad del agua es mediante el uso de índices de calidad.

Entre los índices de calidad más usados está el Índice de Calidad del Agua del Concilio Canadiense de Ministerios del Medioambiente, CCMEWQI, por sus siglas en inglés.

A partir de su creación en el 2001, ha sido empleado en la evaluación de la calidad del agua de fuentes de agua potable, ríos y lagos con un notable deterioro ambiental (Munna et al. 2013).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del agua en el río Luyanó entre los años 2010 y 2017, a partir de parámetros relacionados con la contaminación por materia orgánica, mediante la metodología propuesta por el CCMEWQI (2001).

## ÁREA DE ESTUDIO

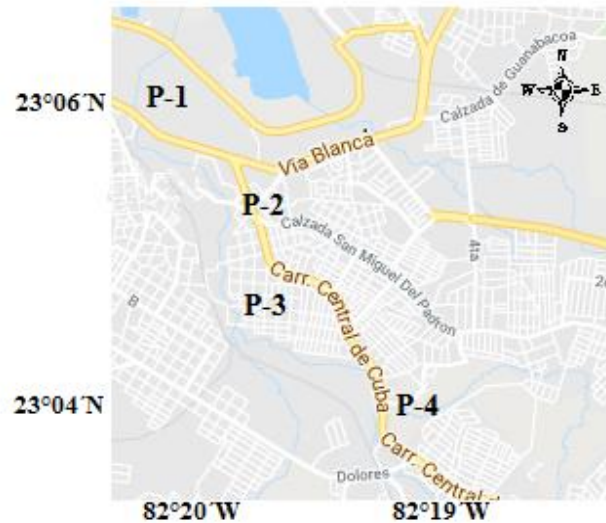
El río Luyanó desemboca en la ensenada de Guasabacoa, uno de los lóbulos que conforman la bahía de la Habana. El río tiene una longitud de 10,1 km, el área de su cuenca hidrográfica es de 30 km<sup>2</sup>. El río en toda su extensión recibe aguas residuales industriales, domésticas, de drenajes pluviales y de alcantarillado, con escaso o ningún tratamiento.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se evaluó el Índice de Calidad del Agua mediante la metodología propuesta por el CCMEWQI (2001), mediante los parámetros relacionados con la contaminación del agua por materia orgánica, potencial de hidrógeno pH, oxígeno disuelto OD, demanda bioquímica de oxígeno DBO<sub>5</sub><sup>20</sup>, demanda química de oxígeno DQO, coliformes totales CT y coliformes fecales CF, en nueve muestreos realizados al río Luyanó entre los años 2010 y 2017.

Las mediciones de pH y OD se realizaron *in situ* y los demás parámetros en el laboratorio de la Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos (ENAST).

Para los análisis se emplearon las metodologías propuestas por el APHA (2005) y los microbiológicos según la NC-1095:2015 (2015). La red de puntos de muestreo se presenta en la figura 1.



**Figura 1. Red de puntos de muestreo en el río Luyanó:  
P-1: Puente de Vía Blanca, P-2: Puente Mayor,  
P-3: Río Hondo, P-4: Arroyo Barcelona**

Los detalles del Índice de Calidad del Agua formulados por el CCMEWQI (2001) se resumen en tres medidas ( $F_1$ ,  $F_2$  y  $F_3$ ) descritas a continuación:

$F_1$ : Alcance: representa porcentaje de variables que no cumplen con los objetivos, respecto al número total de variables objeto de análisis.

$$F_1 = \left[ \frac{\text{No. de variables que no cumplen con los objetivos}}{\text{No. de variables analizadas}} \right] \times 100 \quad (1)$$

$F_2$ : Frecuencia: representa el porcentaje de casos que no cumplen con los objetivos, respecto al número total de casos ensayados.

$$F_2 = \left[ \frac{\text{No. de casos que no cumplen con los objetivos}}{\text{No. total de casos ensayados}} \right] \times 100 \quad (2)$$

*Salida*: número de veces en que una concentración individual es mayor o menor que el valor normalizado para la variable.

$$Salida = \left[ \frac{\text{valor del caso que no cumple con los objetivos}}{\text{valor normalizado de la variable analizada}} \right] - 1 \quad (3)$$

*nse*: razón entre la suma de las salidas individuales y el número de casos ensayados o el cálculo de la suma de las excusiones normalizadas.

$$nse = \frac{\sum salida}{No. total de casos} \quad (4)$$

$F_3$ : Amplitud: función asintótica de la escala de *nse*.

$$F_3 = \frac{nse}{(nse \times 0,01) + 0,01} \quad (5)$$

*CCMEWQI*: Índice de Calidad del Agua del Concilio Canadiense para Ministerios de Medioambiente por sus siglas en inglés.

$$CCMEWQI = \sqrt{\frac{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}{1,732}} \quad (6)$$

Los valores normalizados de los parámetros para agua, se tomaron de las normas WHO:2006 (2006); NC-22:1999 (1999); NC-25:1999 (1999) y NC-27:2012 (2012).

Los valores de los índices establecidos en estas normas para que un cuerpo sea clasificado de buena calidad son: OD > 5 mg/L; pH de 6,5 a 8,5; DBO<sub>5</sub><sup>20</sup> < 3 mg/L; DQO < 15 mg/L; CT < 5x10<sup>3</sup> NMP/100 mL y CF < 1x10<sup>3</sup> NMP/100 mL.

La calidad del agua del río se determinó de acuerdo con las cinco categorías establecidas por el CCMEWQI (2001) (tabla 1).

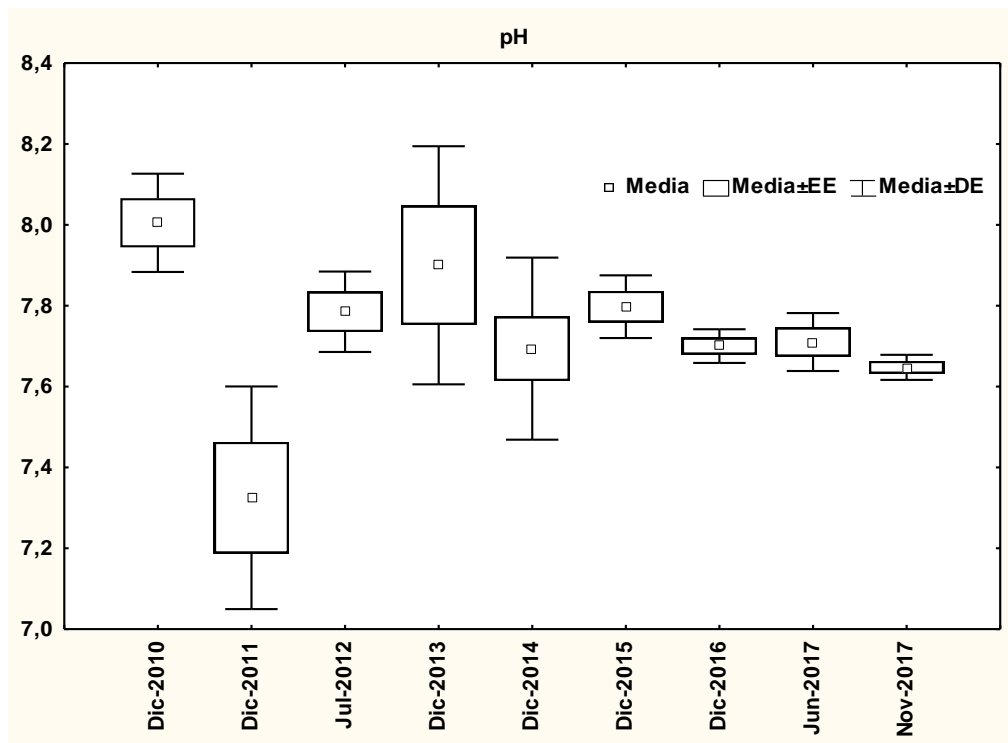
Mediante el programa STATISCA 7, se construyeron los diagramas de distribución temporal de los parámetros pH, OD, DBO<sub>5</sub><sup>20</sup> y DQO por muestreo, y el coeficiente de correlación de Spearman entre los parámetros, mediante el uso de la estadística no paramétrica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las figuras 2, 3, 4 y 5 se muestran los resultados de los análisis estadísticos de los parámetros químicos estudiados en el río. En todos los casos son los muestreos realizados en el río Luyanó entre diciembre/2010 y noviembre/2017

**Tabla 1. Categorías de calidad del agua establecidas por el CCMEWQI (2001)**

Categoría	Valor de CCMEWQI	Características del cuerpo de agua
Excelente	95-100	La calidad de agua está protegida con una virtual ausencia de amenaza o deterioro. Concuerda con niveles naturales o prístinos.
Buena	80-94	La calidad del agua está protegida con sólo un grado mínimo de amenaza o deterioro. Las condiciones raramente se alejan de los niveles naturales o deseables.
Asegurada	65-79	La calidad del agua está generalmente protegida, pero en ocasiones pudiera estar amenazada o deteriorada. Las condiciones algunas veces se alejan de los niveles naturales o deseables.
Marginal	45-64	La calidad del agua está continuamente amenazada o deteriorada. Las condiciones a menudo se alejan de los niveles naturales o deseables.
Pobre	<44	La calidad de agua está casi siempre amenazada o deteriorada. Las condiciones habitualmente se alejan de los niveles naturales o deseables.



**Figura 2. Valor de la media; media ± EE y media ± DE del PH**

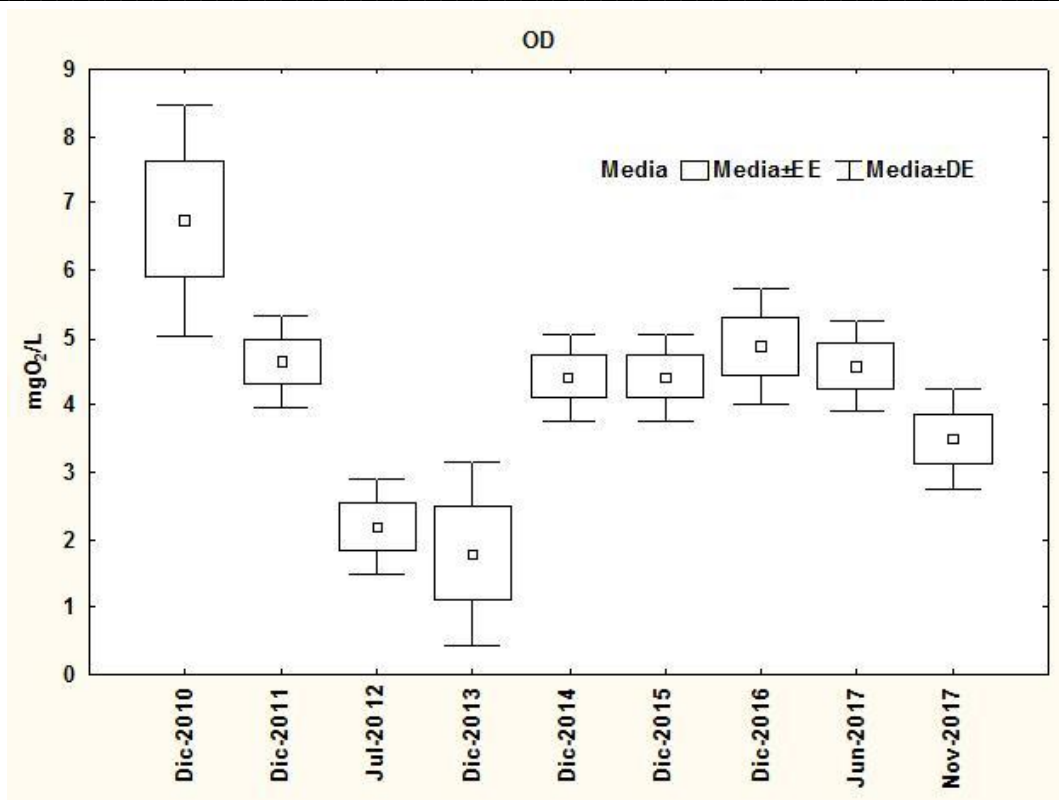


Figura 3. Valor de la media; media ± EE y media ± DE del OD

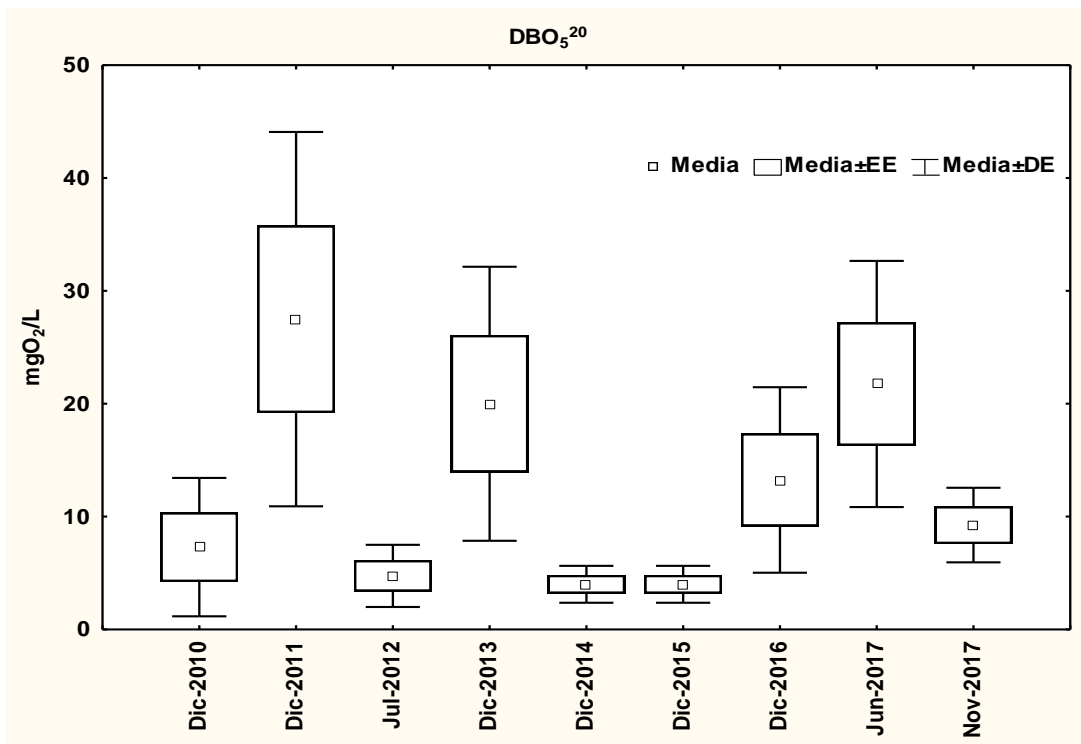


Figura 4. Valor de la media; media ± EE y media ± DE de la DBO<sub>5</sub><sup>20</sup>

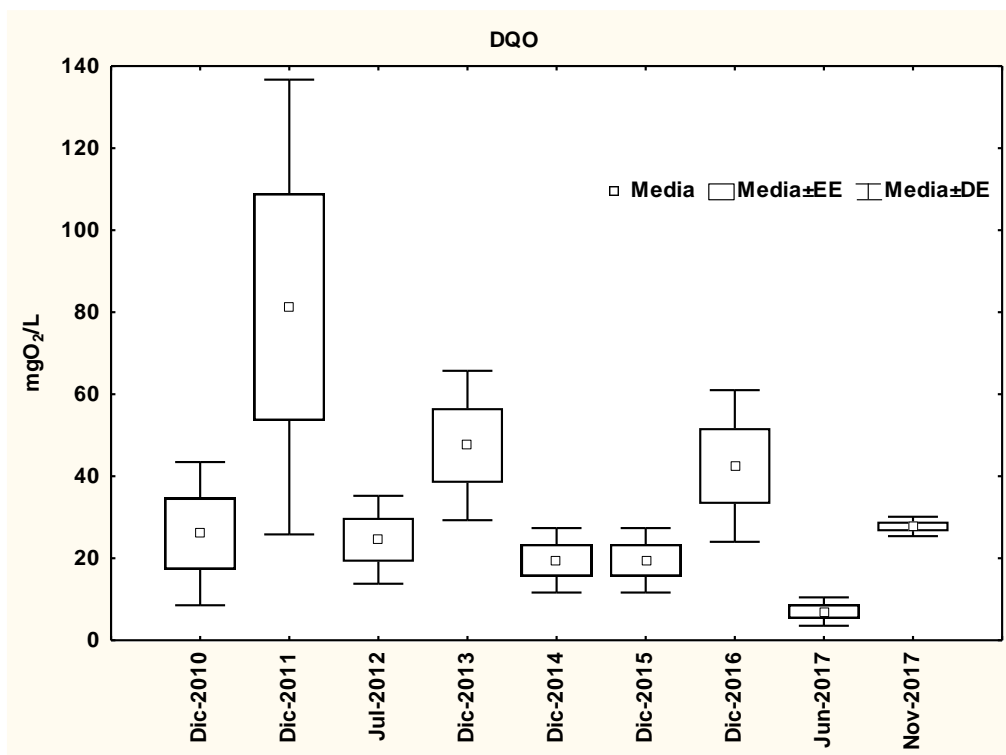


Figura 5. Valor de la media; media ± EE y media ± DE de la DQO

El pH del agua osciló entre 7,0 y 8,2, prevalecieron los valores inferiores a 8, que corresponden a un agua ligeramente alcalinizada y estuvieron influidos por la carga de materia orgánica que llega al río, lo que aparece avalado por las correlaciones inversas entre ese parámetro con la DBO<sub>5</sub><sup>20</sup> y los CT y CF (tabla 2).

Tabla 2. Matriz de correlación de Spearman entre los parámetros de calidad del agua, a partir de los muestreos realizados entre diciembre/2010 y noviembre/2017

	pH	OD	DBO <sub>5</sub> <sup>20</sup>	DQO	CT	CF
pH	1,000					
OD	0,089	1,000				
DBO <sub>5</sub> <sup>20</sup>	<b>-0,384</b>	0,064	1,000			
DQO	-0,271	-0,074	<b>0,517</b>	1,000		
CT	<b>-0,607</b>	0,190	<b>0,452</b>	-0,083	1,000	
CF	<b>-0,530</b>	0,154	<b>0,388</b>	-0,154	<b>0,875</b>	1,000

(en negrita las correlaciones significativas para  $\alpha = 0,05$ )

Las concentraciones de OD fueron < 5 mg/L, excepto en el muestreo realizado en diciembre/2010. La distribución temporal fue poco homogénea (figura 3).

La zona del río con menor disponibilidad del gas en agua se ubicó en la intersección del mismo con el Arroyo Barcelona (P-4). En los restantes puntos los valores medios fueron inferiores a 4,4 mg/L, típicos de un cuerpo de agua hipóxico.

En toda su extensión, el río es receptor de aguas residuales de variada naturaleza, con un alto consumo biológico de OD.

El predominio de concentraciones de OD, inferiores a los valores fijados por las normas de calidad del agua NC-25:1999 (1999) y WHO:2006 (2006) con tenores inferiores a 4 y 5 mg/L, es un indicador del deterioro de la calidad del agua del río.

Las concentraciones medidas durante las horas de luz solar pueden incidir en la reducción de la supervivencia de cualquier forma de vida. No obstante, en horas de la noche debió manifestarse la anaerobiosis, atentando contra la mayoría de las formas de vida.

Los valores puntuales de  $DBO_5^{20}$  y DQO correspondieron a agua de mala calidad, la  $DBO_5^{20} > 3$  mg/L y la DQO  $> 15$  mg/L, todo ello de acuerdo con los rangos establecidos por las NC-22:1999 (1999) y NC-25:1999 (1999).

El patrón de distribución temporal de ambos parámetros fue similar (figuras 4 y 5) y la materia orgánica biodegradable representó el 40% de la materia orgánica total en el río.

Los sitios con mayor presencia de materia orgánica fueron las locaciones de muestro ubicadas en la intersección del mismo con el Arroyo Barcelona (P-4) y la próxima al Puente de Vía Blanca (P-1).

Entre los parámetros hubo una correlación directa, y la  $DBO_5^{20}$  se correlacionó significativamente con los CT y los CF (tabla 2). Estas correlaciones indican que la materia orgánica en el río tuvo un origen común: los residuales que llegan al cuerpo de agua de forma directa y las fuentes no puntuales del río.

Las concentraciones de CT y CF en todos los muestreos y a lo largo del río, superaron los umbrales fijados por la WHO:2006 (2006) y las NC-22: 1999 (1999) y NC-25:1999 (1999), restringiendo el empleo del agua del río para consumo humano, actividades recreativas y pesca. Las concentraciones más elevadas se obtuvieron en junio/2017.

Aunque hubo una tendencia al incremento de estos organismos patógenos en el tiempo (tabla 3), la presencia de estos microorganismos se vincula al vertimiento de aguas residuales domésticas no tratadas cuyo origen son los barrios asentados en sus márgenes.

La mayor presencia de CT y CF se encontró en el área cercana al Puente de Vía Blanca (P-1), con un valor promedio de  $4,1 \times 10^7$  NMP/100 mL, ligeramente superior al reportado para la etapa marzo/2015 – febrero/2016 (tabla 4).

No obstante, en la zona cercana al Puente de Vía Blanca (P-1), las concentraciones de OD en 12 muestreos realizados en el río entre marzo 2015 y febrero 2016 por el Centro de Investigación



y Manejo Ambiental del Transporte (CIMAB), fueron típicas de un cuerpo de agua donde prevaleció la anoxia, con un valor promedio de  $0,37 \pm 0,78$  mg/L (Arla et al. 2016), a diferencia de este estudio donde se observó una tendencia a la hipoxia con una concentración media de  $4,1 \pm 1,0$  mg/L.

**Tabla 3. Valores medios de las concentraciones de CT y CF, en los muestreos realizados al río Luyanó realizados entre dic./2010 y nov./2017**

Muestreo	CT NMP/100 mL	CF NMP/100 mL
Diciembre/2010	$5,0 \times 10^3$	$2,0 \times 10^3$
Diciembre/2011	$2,0 \times 10^6$	$7,0 \times 10^5$
Junio/2012	$5,1 \times 10^4$	$1,1 \times 10^4$
Diciembre/2013	$2,1 \times 10^4$	$2,6 \times 10^3$
Diciembre/2014	$3,2 \times 10^4$	$3,9 \times 10^3$
Diciembre/2015	$3,2 \times 10^4$	$3,9 \times 10^3$
Diciembre/2016	$2,4 \times 10^7$	$9,4 \times 10^6$
Junio/2017	$2,0 \times 10^8$	$1,0 \times 10^8$
Noviembre/2017	$2,1 \times 10^6$	$6,4 \times 10^4$

Arla et al. (2016) plantearon que el origen de la materia orgánica en el río Luyanó se relaciona con el vertimiento de las aguas residuales domésticas y de 22 fuentes industriales sin tratar o tratadas deficientemente.

A lo largo de su recorrido, fundamentalmente en sus tercios medio y superior, recibe importantes aportes urbanos e industriales, directos e indirectos, a través del arroyo Pastrana.

Además, tributan alrededor de 30 industrias y más de siete colectores de aguas residuales urbanas procedentes de los municipios periféricos de la ciudad, así como alrededor de 16 drenajes pluviales y ramales de alcantarillado.

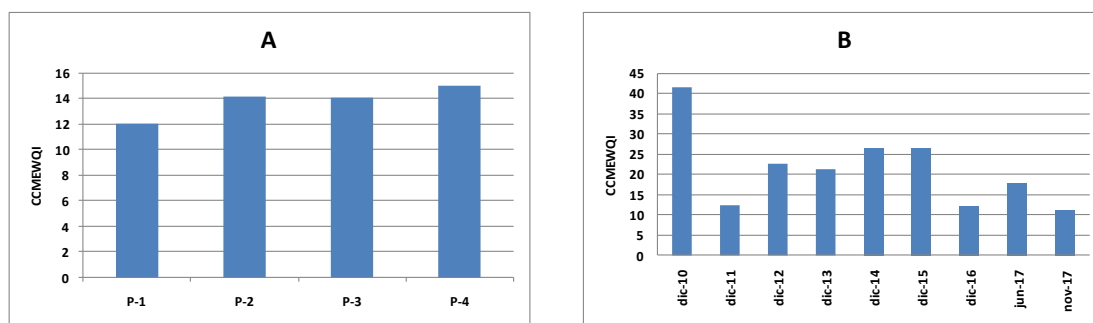
Los valores medidos de  $DBO_5^{20}$  y DQO en el presente estudio, fueron inferiores en la mayoría de los casos a los consignados por estos autores en los muestreos realizados en el Puente de Vía Blanca (P-1) entre marzo/2015 y febrero/2016 (tabla 4).

**Tabla 4. Valores mínimos, máximos, promedios y desviación estándar de los parámetros de calidad de agua estudiados en las aguas del puente de Vía Blanca en los muestreos realizados al río Luyanó entre marzo/2015 y febrero/2016**

	pH	OD mg/L	$DBO_5^{20}$ mg/L	DQO mg/L	CF NMP/100 mL
Mínimo	6,78	0	0	15	$1,4 \times 10^4$
Máximo	7,89	2,2	485	485	$1,6 \times 10^8$
Promedio	7,52	0,38	137	150	$3,4 \times 10^7$
DE	0,33	0,78	133	123	$5,8 \times 10^7$
(tomado de Arla et al. 2016)					

El valor del Índice de calidad del agua en los puntos de muestreo y en toda la etapa de estudio fue menor que 44 (figuras 6A y 6B), y el análisis global del período de estudio dio un valor 14. Por tanto, la calidad del agua del río fue siempre pobre de acuerdo con la escala establecida por el CCMEWQI (2001).

El mayor deterioro en la calidad ambiental del agua en el río se halló fundamentalmente en lugares alejadas de su nacimiento, siendo superior en la zona del puente de Vía Blanca (P-1), algo que concuerda con lo planteado por Arla et al. (2016) durante el período 2015-2016. En este punto el CCMEWQI tuvo un valor de 12.



**Figura 6. Valores de CCMEWQI encontrados en el presente estudio en los distintos puntos de muestreo del río Luyanó (A) y en estudios realizados entre los años 2010 y 2017 (B)**

Estas aguas residuales generan un déficit de OD, asociado con los procesos de degradación aeróbica de la materia orgánica de origen antropogénico en la columna de agua y sedimento, con una posible alta concentración de material suspendido y compuestos de nitrógeno y fósforo fundamentalmente en la zona del Puente de Vía Blanca (P-1), cercana a la desembocadura del río.

En dicha área las altas concentraciones de materia orgánica y de bacterias relacionadas con la contaminación fecal, superaron los umbrales fijados por los sistemas normativos.

El deterioro constante de la calidad del agua en este río se asocia con el vertimiento de aguas residuales industriales, las procedentes de los colectores de aguas domésticas y de la red de alcantarillado, que superan los límites máximos permisibles (LMP) para las descargas de aguas residuales en un cuerpo de agua Clase (A): ríos, embalses y zonas hidrogeológicas que se utilizan para la captación de aguas, destinadas al abasto público y uso industrial en la elaboración de alimentos.

Esta clasificación comprende a los cuerpos de aguas situados en zonas priorizadas de conservación ecológica (NC-27:2012 2012).

Arla et al. (2016) concluyeron que el río Luyanó impacta de forma más severa a la bahía de la Habana que los otros ríos que desembocan en esta rada habanera, contribuyendo con más del 71 % de la carga de DBO<sub>5</sub>, aproximadamente el 74 % de la carga de DQO y más del 74 % de la

carga de nutrientes. Además aporta más de las tres cuartas partes de los sólidos disueltos y un caudal que representa casi el 66 % del volumen total de las aguas entregadas a la bahía por estas corrientes fluviales.

## CONCLUSIONES

- Los indicadores de calidad del agua OD, DBO<sub>5</sub><sup>20</sup>, DQO, CT y CF, presentaron valores que correspondieron a un cuerpo de agua muy contaminado por materia orgánica, cuyo origen son las numerosas y variadas fuentes de contaminación que llegan al río de forma directa e indirecta.
- La pobre calidad del agua en el río Luyanó está condicionada por el vertimiento de aguas residuales de origen múltiple con escaso o ningún tratamiento, dando lugar a valores de DBO<sub>5</sub><sup>20</sup>, DQO, CT y CF, superiores a los fijados por las normas de calidad del agua, impidiendo que el preciado líquido pueda ser usado como agua potable por la industria alimenticia y actividades relacionadas con la recreación y la pesca.

## REFERENCIAS

- Al-Janabi Z. Z., Al-Kubaisi A. R. and Al-ObaidA H. M. J.** (2012). “Assessment of water quality of Tigris River by using water quality index (CCME WQI)”, Journal of Al-Nahrain University, vol. 15, no. 1, pp. 119-126, ISSN:18145922, IRAQI Academic Scientific Journals. Al-Jadriya, Baghdad, Irak.
- APHA** (2005). “Standard methods for the examination of water and wastewater”. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 21st edition, ISBN-13:978-0875530475. Public Health Association, Washington, USA.
- Arla O. E., Peña C. R., Alfonso F. R. R., Solar G. F. B., Álvarez V. R., Rodríguez B. R., Fernández P. J. M., Gómez D. Y., Estévez L. D., Rodríguez V. J. G., Fernández C. N. E., Sende O. V. M. y Eirea S. L.** (2016). “Carga contaminante anual aportada por la cuenca de la bahía de La Habana a través de los ríos Luyanó, Martín Pérez y Arroyo Tadeo, GTE Bahía Habana”. Informe Final (Período: marzo 2015 – febrero 2016). Centro de Ingeniería y Manejo Ambiental de Bahías y Costas (CIMAB). Ministerio CITMA, La Habana.
- CCMEWQI** (2001). “Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: CCME Water Quality Index 1.0, User’s Manual”. In: Canadian environmental quality guidelines 1999, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Canada.
- Castro M., Almeida J., Ferrer J. y Díaz D.** (2014). “Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global”, Ingeniería Solidaria, vol. 10, no.17, pp. 111-124, e-ISSN: 2357-6014, ResearchGate. Bogotá, Colombia, extraído de: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.811> en julio 2015.

**Munna G. M., Chowdhury M. M. I and Ahmed M.** (2013). “A Canadian Water Quality Guideline-Water Quality Index (CCME-WQI) based assessment study of water quality in Surma River”, Journal of Civil Engineering and Construction Technology, vol. 4, no.3, pp. 81-89. ISSN: 2141-2634, Academic Journals, Sylhet, Bangladesh.

**NC 22:1999** (1999). “Lugares de baño en las costas y en masas de aguas interiores: Requisitos higiénico sanitarios”. pp. 13. Norma Cubana. Oficina Nacional de Normalización (NC), Ciudad de La Habana. Cuba.

**NC 25:1999** (1999). “Evaluación de objetos hídricos de uso pesquero. Especificaciones”. pp. 13. Oficina Nacional de Normalización (NC), Ciudad de La Habana. Cuba.

**NC 27:2012** (2012). “Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado – Especificaciones”. pp. 14. Oficina Nacional de Normalización (NC), Ciudad de La Habana. Cuba.

**NC 1095:2015** (2015). “Microbiología del agua. Detección y enumeración de coliformes. Técnica del número más probable (NMP)”. Oficina Nacional de Normalización (NC), Ciudad de La Habana. Cuba.

**WHO** (2006). “Guidelines for drinking-water quality”. First addendum to third edition, Volume 1, Recommendation, ISBN 92-4-154696-4, pp. 515. World Health Organization. Geneva, Switzerland.