

---

# PROPUESTA DE ÍNDICE DE CALIDAD DE AGUA RESIDUAL UTILIZANDO UN MODELO ARITMÉTICO PONDERADO

---

Pablo Flores-Jacinto, Jorge Meléndez-Estrada y Myriam Adela Amezcua-Allieri

## RESUMEN

*El manejo de las aguas residuales es un problema mundial y México no es excepción. Sólo el 17,9% de las aguas residuales de la Ciudad de México son tratadas y la mayor parte se desvía fuera de la Cuenca de México a través de una red de drenaje. Por ello, antes de ser tratada o desviada, es necesario conocer la calidad del agua residual para evitar efectos adversos en la planta de tratamiento o en la red de drenaje. Una manera de determinar, cuantificar e informar sobre la calidad del agua residual es a través de un índice de calidad para*

*el agua que ingresa a la red de drenaje. En este estudio se propone un Índice de Calidad de Agua Residual (ICAR), utilizando un método aritmético ponderado. Además, se presenta una escala numérica para clasificar al agua con base en los efectos que se pueden presentar en el drenaje. Entre los resultados obtenidos al calcular el ICAR de varias empresas que operan en la ciudad de México, la industria de galvanoplastia fue identificada como la más contaminante, obteniéndose un ICAR de 80.*

## PROPOSAL OF A WASTEWATER QUALITY INDEX USING A WEIGHTED ARITHMETIC MEAN MODEL

Pablo Flores-Jacinto, Jorge Meléndez-Estrada and Myriam Adela Amezcua-Allieri

## SUMMARY

*Wastewater management is a worldwide issue and Mexico is no exception. Only 17.9% of Mexico City's wastewater is treated and most of it is diverted out of the Mexico Basin through a drainage network. Before treated or diverted, it is necessary to know the wastewater quality so as to prevent adverse effects in the treatment plant or drainage network. One way to identify, quantify and report on the quality of wastewater is through a quality index for water entering into*

*the drainage network. In this study, a Wastewater Quality Index (WQI) is proposed, using a weighted arithmetic mean model. A numerical scale to classify water based on the effects on the drainage is also presented. The results obtained from some typical industries located in Mexico City showed that electroplating industry was identified as the most contaminant one, with a WQI of 80.*

## Introducción

Las megaciudades de América Latina enfrentan problemas de contaminación cada vez más severos: De ahí que abastecer las ciudades con agua de buena calidad continúa siendo un problema sin resolver, pese a numerosos proyectos em-

prendidos en los últimos años. Se requiere urgentemente identificar nuevas fuentes de agua para aumentar la cobertura del servicio, así como para suplir la creciente demanda de la población.

La ciudad de México no es la excepción, pues en ella se generan grandes cantidades de aguas residuales, por lo que el

manejo hídrico se ha convertido en una compleja tarea. En la actualidad, se trata sólo el 17,9% de las aguas residuales industriales de la Ciudad de México (CONAGUA, 2010) y existen 200 diferentes plantas de tratamiento de aguas residuales con una capacidad en operación de  $339,31 \cdot s^{-1}$  (CONAGUA, 2010), pero al-

gunas de ellas operan con baja capacidad. El Programa Federal de Saneamiento de Aguas Residuales, (PROSANEAR) tiene como objetivo otorgar estímulos para el tratamiento de aguas residuales, proyectando con esto avanzar en el saneamiento de las aguas nacionales y en la reducción de la contaminación,

---

**PALABRAS CLAVE /** Agua Residual / Demanda Bioquímica de Oxígeno / Galvanoplastia / Índice de Calidad de Agua Residual / Modelo Aritmético Ponderado /

---

Recibido: 03/05/2012. Modificado: 25/02/2013. Aceptado: 28/02/2013.

**Pablo Flores-Jacinto.** Ingeniero Químico, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). M. en C. en Ing. Ambiental, Instituto Politécnico Nacional (IPN), México. Docente, en Tecnológico de Estudios Superiores de Chalhuacán, México.

**Jorge Meléndez-Estrada.** Hidrobiólogo, UNAM, México. M. en C. en Ingeniería Ambiental, IPN, México. Doctor en Biotecnología, Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados, México. Profesor, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, IPN, Zacatenco, México.

**Myriam Adela Amezcua-Allieri.** Bióloga, UNAM, México. M. en C. en Ingeniería Ambiental, IPN, México. Doctora en Geografía y Ciencias Ambientales, University of Birmingham, RU. Profesora, IPN, México. Dirección: Av. Juan de Dios Bátiz S/N, Edificio

12, Zacatenco. C. P. 07738, México, D.F., México. e-mail: myriamamezcua@hotmail.com

## PROPOSTA DE ÍNDICE DE CALIDADE DA ÁGUA RESIDUAL UTILIZANDO UM MODELO ARITMÉTICO PONDERADO

Pablo Flores-Jacinto, Jorge Meléndez-Estrada e Myriam Adela Amezcua-Allieri

### RESUMO

*O manejo das águas residuais é um problema mundial e o México não é exceção. Somente 10% das águas residuais da Cidade do México são tratadas e a maior parte é desviada fora da Bacia do México através de uma rede de drenagem. Por isto, antes de ser tratada ou desviada, é necessário conhecer a qualidade da água residual para evitar efeitos adversos na estação de tratamento na rede de drenagem. A necessidade de contar com um instrumento capaz de informar sobre a qualidade da água residual, pode ser suprida através de um índice de qualidade para as águas*

*acrescentadas à rede de drenagem. Neste estudo é proposto um Índice de Qualidade de Água Residual (IQAR), utilizando um método aritmético ponderado. Além disso, é apresentada uma escala numérica para classificar a água com base nos efeitos que se podem apresentar durante a drenagem. Entre os resultados obtidos durante o cálculo do IQAR de várias empresas que operam na cidade do México, a indústria de galvanoplastia foi identificada como a mais contaminante, obtendo-se um IQAR de 80.*

prevenir la incidencia de enfermedades de origen hídrico y contribuir al equilibrio ecológico. Para el año 2015 se espera que aumente la capacidad instalada ( $l \cdot s^{-1}$ ) de 4,122 a 5,200. Hoy en día, el 82,1% restante del agua residual no es tratada y se descarga en la cuenca de México a través de una extensa red de drenaje.

El agua residual en México es reglamentada por la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996 (DOF, 1998). En el Distrito Federal la Secretaría del Medio Ambiente realiza la inspección a empresas altamente contaminantes para regular sus vertidos hacia la red de drenaje (GODF, 2000).

El sistema de alcantarillado está conformado por una red de conductos, a través del cual se deben evacuar en forma eficiente y segura las aguas residuales domésticas y de establecimientos comerciales (CONAGUA, 2010), conduciéndose a una planta de tratamiento (CONAGUA, 2006) y finalmente a un sitio de vertido, tal y como lo establece la norma arriba citada (DOF, 1998).

Estas aguas residuales llevan en su seno toda clase de materias de desecho orgánicas y minerales; en estado sólido: materia fecal, arcillas, arenas y residuos de la industria; en estado líquido: orinas y colorantes; y en estado gaseoso:  $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2S$ ,  $NH_3$  y  $CH_4$ , los tres primeros

gases de común presencia en la atmósfera, mientras que el resto proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales (Tchobanoglous *et al.*, 2003). El vertimiento de estas aguas residuales tiene como resultado un decremento más acelerado de la vida útil de la red de drenaje.

Los contaminantes más perjudiciales que causan el deterioro de la red se describen a continuación. Las grasas y aceites, por lo general aceites, grasas, ceras e hidrocarburos (Romero-Rojas, 1999), que al solidificarse disminuyen la capacidad de flujo en las tuberías. Los sólidos sedimentables tienen que ver con el fenómeno de azolvamiento. Los sólidos suspendidos totales son sólidos sedimentables, sólidos inorgánicos y materia orgánica en suspensión y/o coloidal, que pueden ser retenidos en un elemento filtrante, según la norma NMX-AA-034-SECOFI-2001 (DOF, 2001). El arsénico en las aguas residuales suele encontrarse como aditivo para la aleación de metales (Metcalf-Eddy, 1991). El cadmio es utilizado en recubrimientos de metales por baños o electrodeposición. Las fuentes principales de cianuro en el agua son las descargas de algunos procesos de minado de minerales, industrias de sustancias químicas orgánicas, plantas o manufactura de hierro o acero (ATSDR, 2004). El cromo

hexavalente es proveniente de la elaboración de fungicidas, conservantes de madera, recubrimientos metálicos y electrolizados (Arauzo *et al.*, 2004) y se han realizado esfuerzos importantes para pasar de compuestos hexavalentes a trivalentes, los cuales son menos tóxicos (EPA, 1998). El cobre se utiliza en las empresas de refinación; para ello en las celdas electrolíticas existen soluciones ácidas de sulfato de cobre y durante el procesamiento se liberan impurezas, cobre y arsénico (SMADF, 2002). El mercurio es utilizado en amalgamas, aparatos eléctricos de catálisis, cátodos para la producción de sosa cáustica y cloro, instrumentos, lámparas de vapor de mercurio, recubrimientos de espejos, entre otros (Metcalf-Eddy, 1991). El níquel es utilizado en la industria química, petroquímica, alimentaria, papelería y en laboratorios, mientras que el plomo tiene importancia ya que la incursión de este metal en el agua residual provoca una alta toxicidad en los organismos; el zinc es utilizado en los procesos de zincado en la industria de la galvanoplastia (Martínez-Delgado *et al.*, 2004).

La temperatura influye en la solubilidad de las sales y, sobre todo, en la de los gases y en la disociación de las sales disueltas y, por lo tanto, en la conductividad eléctrica y en el pH del agua. También

la densidad está en función de la temperatura (Romero-Rojas, 1999). El potencial de hidrógeno es una magnitud de importancia en el control de la contaminación, aunque el manejo de esta variable es en general difícil de realizar por su dependencia no lineal de los reactivos que ingresan al sistema (Amaya *et al.*, 2004). La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) indica contaminación orgánica (Chávez de Allain, 2007) y una DBO alta puede asociarse a una contaminación orgánica considerable (Romero-Rojas, 1999).

Con el fin de medir el deterioro del drenaje a consecuencia del agua residual, en este trabajo se propone un índice de calidad del agua. El Índice de Calidad de Agua Residual (ICAR) designa a un conjunto agregado o ponderado de parámetros (SEMARNAT, 2005) o indicadores (Chomczyńska *et al.*, 2009), con el fin de ser utilizado como una herramienta útil para poder evaluar la afectación provocada por los diferentes contaminantes que acompañan al agua residual. Los contaminantes que conforman al ICAR propuesto son los regulados por la Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996 (DOF, 1998).

### Métodos

El método para la construcción del ICAR se fundamenta en un modelo aritmético pon-

derado, basado en subíndices ambientales que son una expresión numérica de carácter adimensional (PNUMA, 2003), o instrumentos para medir la calidad ambiental (INECE, 2007), ponderados por un peso específico de importancia (León Vizcaino, 1991; Chomczyńska *et al.*, 2009) y utilizando solo aquellos parámetros que se encuentren excediendo la normatividad ambiental.

El ICAR propuesto proporciona valores de cada subíndice de la calidad del agua residual, de una serie de parámetros normados, estableciendo para los límites permisibles un valor de cero, ya que esos valores representan una calidad aceptable para ser vertida hacia el sistema de alcantarillado. Sin embargo, basta que un solo parámetro esté fuera de estos niveles para que se pueda calcular el ICAR, considerando también que el valor de los demás parámetros, por bajos que sean, no amortigüen el cálculo de la contaminación que se aporta (Lagód *et al.*, 2007). Se han considerado valores promedio para llegar a un valor máximo de 100 unidades.

Los valores máximos considerados en cada parámetro que conforman el ICAR igual a 100 son las concentraciones promedio encontradas en las empresas que presentan problemática ambiental en su descarga de agua residual.

El cálculo de índice de calidad se puede establecer con la Ec. 1, que relaciona a los subíndices de calidad que exceden la normatividad, con las ponderaciones de cada uno de éstos:

$$ICAR = K \frac{\sum_{i=1}^n C_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (1)$$

donde  $C_i$ : concentración del subíndice  $i$ , fuera de norma;  $P_i$ : peso específico asignado a cada parámetro  $i$ , fuera de norma;  $K$ : constante que toma el valor de 1,00 para aguas que no presentan coloración, espumas, ni vapores irritantes,

y de 1,5 para aguas que presentan coloración, espumas o vapores irritantes.

Se ha incluido una constante de afectación a la red de drenaje y a las plantas de tratamiento, que toma valores que van de 1 a 1,5. Esta constante juega un papel importante ya que existen situaciones que la normatividad no considera, entre las que se encuentran la detergencia, con valores que oscilan en las aguas residuales entre 1 y  $20\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$  (Romero-Rojas, 1999). En la industria el color del agua residual representa también la inclusión de materiales inorgánicos (anilinas, por ejemplo) que difícilmente son degradados (Metcalf-Eddy, 1991). Los hidrocarburos que en algunas ocasiones acompañan a las aguas residuales; son raros, pero altamente contaminantes y difíciles de degradar, aunque sus concentraciones sean bajas (Jarabo *et al.*, 2000). Los vapores irritantes son emitidos por una de las formas del azufre que se encuentra en el agua residual. Los sulfatos son un factor importante, ya que ocasionan problemas de olor y co-

rosión e incrustación en las alcantarillas (Romero-Rojas, 1999). El problema de olores se agrava cuando los sulfatos se reducen para formar ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) en condiciones anaerobias, y aunado a esto se produce el ataque del concreto de los tubos de la red de drenaje por el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).

## Resultados

De las visitas realizadas en materia de agua residual por parte de la SMADF en su

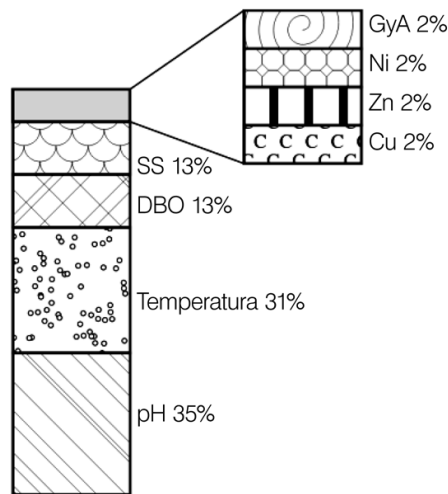


Figura 1. Parámetros fuera de norma en materia de agua residual en el 2006, según SMADF (2007). GyA: grasas y aceites, SS: sólidos suspendidos, DBO: demanda bioquímica de oxígeno.

Programa de Operación Anual, el 48% de las fuentes fijas presentaron problemas en sus descargas (Figura 1), siendo el pH el principal parámetro fuera de norma, seguido de la temperatura, DBO y los sólidos suspendidos (SS).

Con base en estos resultados, los subíndices del ICAR que representan a los parámetros de la DBO, pH, temperatura y grasas y aceites (GyA) son los que tienen un mayor peso específico, mientras que los metales como el Cd, Pb y el Ni son los que tiene un menor peso específico. Los pesos o ponderaciones de cada parámetro (Tabla I) dependen de la importancia que se le ha asignado a cada parámetro, pues es ya frecuente que los parámetros que exceden la normatividad sean los mismos.

Las ecuaciones que describen a cada parámetro (Tabla I) se obtuvieron a partir del comportamiento que presentan las aguas residuales típicas para la ciudad de México, provenientes de 50 compañías.

El ICAR, que puede ser entonces calculado usando la Ec. 1, proporciona valores de cada subíndice de la calidad del agua residual, de una serie de parámetros, establecien-

TABLA I  
ECUACIONES, PESOS ESPECÍFICOS Y UNIDADES PARA CADA PARÁMETRO O SUBÍNDICE QUE CONFORMA EL ICAR

Parámetro	Ecuación	Peso específico del parámetro	Unidades
Grasas y Aceites	$0,25[\text{GyA}] - 25$	0,080	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
Sólidos sedimentables	$1,25[\text{SS}] - 12,5$	0,055	$\text{ml}\cdot\text{l}^{-1}$
Arsénico total	$25[\text{As}] - 25$	0,040	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
Cadmio total	$25[\text{Cd}] - 25$	0,030	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
Cianuro total	$12,5[\text{CN}] - 25$	0,040	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
Cobre total	$1,25[\text{Cu}] - 25$	0,050	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
Cromo hexavalente	$25[\text{Cr}] - 25$	0,045	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
Mercurio total	$12500[\text{Hg}] - 25$	0,040	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
Níquel total	$12,5[\text{Ni}] - 100$	0,030	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
Plomo total	$12,5[\text{Pb}] - 25$	0,025	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
Zinc total	$12,5[\text{Zn}] - 150$	0,035	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$
Temperatura	$2[\text{T}] - 80$	0,115	$^{\circ}\text{C}$
Potencial de Hidrógeno	Ácido : $-18,182[\text{pH}] + 100$ Básico : $25[\text{pH}] - 100$	0,185	unidades de pH
Demanda bioquímica de $\text{O}_2$	$0,0741[\text{DBO}] - 11,111$	0,155	$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$

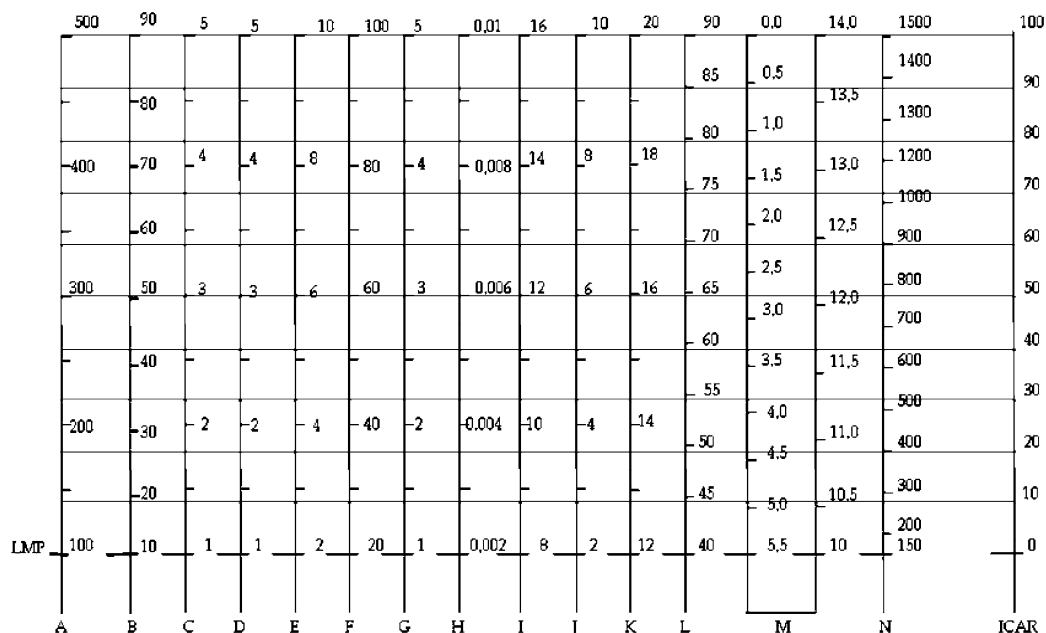


Figura 2. Valores de los subíndices de calidad que conforman el ICAR. LMP: límite máximo permisible en mg·l<sup>-1</sup> (excepto sólidos sedimentables en ml·l<sup>-1</sup> y temperatura en °C), A: grasas y aceites, B: sólidos sedimentables, C: As, D: Cd, E: CN<sup>-</sup>, F: Cu, G: Cr<sup>6+</sup>, H: Hg, I: Ni, J: Pb, K: Zn, L: temperatura, M: pH, N: DBO.

do para los límites permisibles un valor de cero, lo que representa una calidad aceptable para ser vertida hacia el sistema de alcantarillado; sin embargo, basta que un solo parámetro esté fuera de estos niveles para que se pueda calcular el ICAR, considerando también que el valor de los demás parámetros, por bajos que sean, no impacten el cálculo de la contaminación que se aporta. Esta distribución de los límites inferiores y superiores se puede visualizar también mediante columnas (Figura 2).

Después de calcular el ICAR con los datos de diferentes tipos de industrias de la Ciudad de México (información confidencial proporcionada por la Jefatura de Supervisión y Dictamen a Descargas de la Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal), las siguientes industrias fueron consideradas como las más contaminantes: galvanoplastia (ICAR: 80 ±5), textiles (ICAR: 74 ±5), alimentos (ICAR: 70 ±5) y productos de limpieza (ICAR: 68 ±5). Los problemas de contaminación de la industria de galvanoplastia principalmente

son debidos a los metales y el pH, tal y como lo describió previamente Martínez-Delgado (2004). La industria textil tuvo un elevado ICAR a causa de su temperatura y pH, la de comida por el alto contenido de materia orgánica (DBO), y la de productos de limpieza debido a la temperatura, pH, grasas y aceites, y detergentes.

### Discusión

El ICAR que se propone es una nueva herramienta para expresar el problema de vertimiento de aguas residuales que excede los límites máximos permisibles sobre la base de la legislación ambiental mexicana. Por estar diseñado bajo la observancia de una norma que aplica en toda la República Mexicana (NOM-002-SEMARNAT-1996), el ICAR puede aprovecharse en cualquier entidad del país.

En el ICAR se ha incluido una constante de afectación a la red de drenaje y a las plantas de tratamiento, que toma valores que van de 1 a 1.5; explicados en la sección de Métodos. Esta constante juega un papel importante ya que

existen situaciones que la normatividad no considera, tales como la detergencia, representada por el parámetro de sustancias activas al azul de metileno (SAAM), aunque recientemente se le ha dado la importancia a utilizar detergentes biodegradables, por lo que se espera que en poco tiempo los valores típicos encontrados en las aguas residuales (1 a 20mg·l<sup>-1</sup>) disminuyan; la coloración en las aguas residuales, que por lo general es grisácea y dependiendo del tiempo del agua residual adquiere un color negro y que, sin embargo, en la industria el color incluye materiales inorgánicos como las anilinas, difícilmente degradables; y los vapores irritantes.

Los problemas que el ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) ocasiona son particularmente importantes, ya que el olor desagradable a huevo podrido que causa malestar y el gas es tóxico, pudiendo hasta causar la muerte o daños físicos al personal de mantenimiento (concentraciones >20mg·l<sup>-1</sup> son tóxicas y producen parálisis), el gas es explosivo, como sucede al mezclarse con el aire en concentraciones entre 4 a

46% en volumen, y cuando forma H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ataca estructuras metálicas y de concreto.

Por lo anterior, el ICAR puede ser incrementado hasta en un 50% del valor calculado mediante los subíndices, al encontrar esas condiciones en campo. Es importante recalcar que el cálculo del índice solo lo integrarán los subíndices que se encuentren excediendo los límites que señala la normatividad ambiental.

En términos de la Ley Ambiental del Distrito Federal, este ICAR puede ser empleado para identificar a los causantes de la afectación del sistema de la red de drenaje y de la operación de las plantas de tratamiento. Es decir, el Gobierno del Distrito Federal, con base al valor obtenido del ICAR puede imponer la obligación de reparar los daños causados. Para lograr esto se deberá instrumentar la relación entre el valor del índice y un monto que equipare el daño ambiental producido.

Algunos de los beneficios que puede tener la aplicación de este ICAR pueden ser fiscales, accediendo a ellos aquellas fuentes fijas que tengan un ICAR de cero, es decir, para parámetros dentro de la normatividad, una reducción respecto del impuesto sobre la nómina, de acuerdo a lo establecido en el artículo 294 del Código Financiero del Distrito Federal.

### Conclusiones

El ICAR propuesto representa una nueva herramienta cuantitativa que expresa el problema de vertimiento de agua residual que excede los límites máximos permisibles con base a la legislación ambiental, considerando una alta sensibilidad debido a que está diseñado para que los parámetros que se encuentren dentro de los intervalos permitidos no amortigüen a aquellos parámetros que excedan la normatividad ambiental.

El poder aplicar el índice de calidad para el agua residual en el Distrito Federal representa las ventajas de

cumplir la política ambiental de promover la creación de estándares e indicadores de calidad ambiental como lo requiere la Ley Ambiental.

## Agradecimientos

Los autores agradecen el apoyo del Instituto Politécnico Nacional y al Sistema de Aguas de la Ciudad de México. P. Flores-Jacinto agradece a Catalina Cárdenas Ascención su ayuda durante el desarrollo del trabajo. M. Amezcua-Allieri y J. Meléndez-Estrada agradecen al SNI por la distinción otorgada.

## REFERENCIAS

- Amaya W, Cañón O, Avilés, O (2004) Control de pH para planta de tratamiento de aguas residuales. *Cienc. Ing. Neogran. 14*: 86-95.
- Arauzo M, Rivera M, Valladolid M, Noreña C, Cedenila O (2004) *Contaminación por Cromo en el Agua Intersticial, en el Agua del Cauce y en los Sedimentos del Río Jarama*. Centro de Ciencias Medioambientales. Madrid, España. 222 pp.
- ATSDR (2004) *Draft Toxicological Profile for Cyanide*. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. United States Department of Health and Human Services. Atlanta, GA, EEUU. [www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp8.pdf](http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp8.pdf) (Cons. 16/02/2010).
- Chávez de Allain AM (2007) Aspectos físicos, químicos, bioquímicos y microbiológicos de la contaminación de aguas. En *Índices e Indicadores Ambientales*. Universidad de Piura. Lima, Perú: pp. 44-49.
- Chomczyńska M, Montusiewicz A, Malicki J, Lagód G (2009) Application of saprobes for bioindication of wastewater quality. *Env. Eng. Sci.* 26: 289-295.
- CONAGUA (2006) *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y Tratamiento de Aguas Residuales en Operación*. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Comisión Nacional del Agua. México. pp. 109-111.
- CONAGUA (2010) *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Edición 2010*. Subdirección General de Agua Potable, Drenaje y Saneamiento. Comisión Nacional del Agua. México. 189 pp.
- DOF (1998) *Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales a los Sistemas de Alcantarillado Urbano o Municipal*. Secretaría de Gobernación. Diario Oficial de la Federación. Distrito Federal, México.
- DOF (2001) *Norma Oficial Mexicana NMX-AA-034-SCFI-2001. Análisis de Agua. Determinación de Sólidos y Sales Disueltas en Aguas Naturales, Residuales y Residuales Tratadas. Método de Prueba*. Secretaría de Gobernación. Diario Oficial de la Federación. Distrito Federal, México.
- EPA (1998) *Toxicological Review of Trivalent Chromium* (CAS No. 16065-83-1). Integrated Risk Information System (IRIS). Environmental Protection Agency. Washington, DC, EEUU. 44 pp.
- GODF (2000) *Ley Ambiental del Distrito Federal*. Gaceta Oficial del Distrito Federal. Vol. 10. Gobierno del Distrito Federal. México. 48 pp.
- INECE (2007) *Introduction to Performance Indicators and Environmental Compliance*. International Network for Environmental Compliance and Enforcement. Washington, DC, EEUU. 246 pp.
- Jarabo F, Elortegui E, Jarabe U (2000) *Fundamentos de Tecnología Ambiental*. 1ª ed. Neografis. México. 85 pp.
- Lagód G, Malicki J, Chomczyńska M, Montusiewicz A (2007) Interpretation of the results of wastewater quality biomonitoring using saprobes. *Env. Eng. Sci.* 24: 873-880.
- León Vizcaíno LF (1991) *Índices de Calidad del Agua (ICA). Forma de Estimarlos y Aplicación en la Cuenca Lerma-Chapala*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec, México. 32 pp.
- Martínez-Delgadillo SA, Rodríguez M, Aguilar R, Soto G (2004) Evaluación del desempeño de reactores electroquímicos para la remoción de Cr (VI) de aguas residuales. *Ing. Hidr. Méx. XIX-4*: 97-103.
- Metcalf-Eddy (1991) *Wastewater Engineering, Treatment Disposal, Reuse*. Metcalf & Eddy Inc. Mac Graw Hill. New York, EEUU. 128 pp.
- PNUMA (2003) *Indicadores Ambientales*. XIV Reunión del Foro de Ministros de Medio Ambiente de América Latina y el Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Panamá. 133 pp.
- Romero-Rojas JA (1999) *Calidad del Agua*. Escuela Colombiana de Ingeniería. Alfaomega. Medellín, Colombia. 146 pp.
- SMADF (2002) *Alcantarillado Sanitario*. Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal. México. 8 pp.
- SEMARNAT (2005) *Indicadores Básicos del Desempeño Ambiental de México: 2005*. Dirección de Análisis e Indicadores Ambientales y Dirección General de Estadística e Información Ambiental. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. 14 pp.
- Tchobanoglous G, Burton FL, Stensel HD (2003) *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. McGraw Hill. New York, EEUU. 1771 pp.