

Evaluación del estado ambiental del lago en el Parque Metropolitano La Sabana, San José, Costa Rica, para la implementación de medidas de rehabilitación ecológica

Evaluation of the Environmental Status of the Metropolitan Park Lake at la Sabana, San José, Costa Rica, for the Implementation of Ecological Rehabilitation Measures

Carlos Chaves Ramírez ¹

DOI: 10.22458/rb.v33i2.4544

Recibido – Received: 29/04/2022 / Corregido – Revised: 02/09/2022 / Aceptado – Accepted: 06/12/2022

RESUMEN

Los lagos urbanos presentan una grave degradación ambiental y paisajística ya que las actividades antropogénicas han desencadenado y acelerado la contaminación del agua, comprometiendo su calidad y disponibilidad, pilar de la supervivencia humana. Entre los principales impactos se encuentran la alteración de la calidad del agua por vertidos puntuales o difusos de contaminantes, y la erosión hídrica con consecuencias en el aumento de la sedimentación y la eutrofización. El lago de la Sabana es un ejemplo puntual de cómo las actividades humanas degradan este humedal artificial a nivel de paisaje. Lo anterior, se ve también reflejado en la calidad fisicoquímica y principalmente microbiológica, presenta altas concentraciones de coliformes en el agua que lo convierten en un espacio no apto para el desarrollo de actividades recreativas. Se deben considerar estrategias para la gestión, conservación y recuperación en lagos urbanos, basadas en la rehabilitación ecológica y en obras de bioingeniería con el fin de ser valoradas y replicadas en el contexto del lago de la Sabana.

Palabras clave: degradación ambiental; calidad del agua; análisis microbiológicos; rehabilitación ecológica; sistemas urbanos de drenaje sostenible.

ABSTRACT

Urban lakes exhibit severe environmental and landscape degradation as anthropogenic activities have triggered and accelerated water pollution, compromising its quality and availability, pillar of human survival. Among the most important repercussions that can be mentioned are the alteration of water quality because of point or diffuse discharges of pollutants, water erosion with consequences for increased sedimentation and eutrophication. La Sabana Lake is a specific example of how human activities degrade this artificial wetland at a landscape level. High concentrations of coliforms in the water, reflected in the physicochemical and mainly microbiological quality, make it an inappropriate space for the development of recreational activities. Strategies for the management, conservation and recovery of urban lakes based on ecological rehabilitation and bioengineering actions should be considered in order to be valued and replicated in the context of La Sabana Lake.

Keywords: environmental degradation; water quality; microbiological analysis; ecological rehabilitation; sustainable urban drainage systems.

¹ Licenciado en Manejo de Recursos Naturales. Técnico de Apoyo a la Academia, Programa de Laboratorios de la Escuela de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad Estatal a Distancia, Costa Rica. cchaves@uned.ac.cr

ID: <https://orcid.org/0000-0002-8449-5754>

Antecedentes

Los lagos en zonas urbanas son un importante símbolo de la interacción del ser humano con la naturaleza, espacio en el que se desarrollan actividades recreativas y deportivas. Son espacios públicos necesarios para mejorar la calidad de vida de sus habitantes en armonía con el ambiente.

También brindan múltiples beneficios ambientales tales como un mejor diseño del paisaje, atenúa la contaminación, provee regulación microclimática, depuración y captación de aguas pluviales y residuales, favorece el ciclo de nutrientes, atenúa los impactos hidrometeorológicos, constituye una fuente de alimentación (pesca), contribuye a la mitigación de gases de efecto invernadero y alberga la biodiversidad local o estacional que se puede refugiar en un entorno urbano o periurbano.

Es importante recalcar que los lagos urbanos en su mayoría fueron construidos por el hombre y se consideran humedales artificiales, categoría establecida por la Convención RAMSAR y se encuentran protegidos por la legislación ambiental de Costa Rica. Sin embargo, los cuerpos de agua superficiales como ríos y lagos que se ubican en las periferias urbanas, se caracterizan por el grave impacto que recibe debido a las actividades antrópicas y la sobreexplotación, como, por ejemplo, vertidos de aguas residuales y negras, el desecamiento (por consumo de agua o sequía), la pérdida de la biodiversidad, la sedimentación, la eutrofización, entre otros. Así, el agua, el sedimento contaminado y la escasa diversidad biológica son un verdadero riesgo para la salud pública y el ambiente.

Las actividades como la industria, la urbanización y la agroindustria (antrópicas) son las principales causantes de la modificación de las características físicas, químicas y biológicas del agua y su entorno (Custodio & Pantoja, 2012). Por su parte, los vertidos en el agua generan un elevado costo ambiental, ya que contaminan las aguas superficiales y subterráneas; además, la capa fértil del suelo se ve afectada por la percolación e infiltración generada por la escorrentía superficial (GWP Centroamérica 2016, Ministerio de Salud 2016).

Estos vertidos que son tanto puntuales como difusos, contribuyen al ingreso de sedimentos, sólidos suspendidos o disueltos, enriquecimiento de nutrientes por la acumulación de sustancias orgánicas e inorgánicas -algunas bastante nocivas- lo cual provoca alteraciones en la composición hidrológica y afectación de la biodiversidad asociada a los cuerpos de agua.

Para ampliar el tema se tomará como ejemplo la situación ambiental del lago del Parque Metropolitano La Sabana, en San José, Costa Rica, basado en el objetivo de evaluar la calidad ambiental del lago de La Sabana para la implementación de medidas de rehabilitación ecológica que mejoren la funcionalidad ecosistémica.

Metodología

Se utilizó el método de investigación mixta (combina métodos cualitativos y cuantitativos) basado en un diseño exploratorio secuencial.

En la tabla 1 se indica el tipo de investigación aplicado para cada uno de los objetivos específicos desarrollados en la investigación.



Tabla 1

Tipos de investigación por objetivo específico

Tipo de investigación	Objetivos específicos
Exploratoria	Identificar las fuentes de contaminación que afectan la calidad del agua del lago de La Sabana.
Experimental	Determinar mediante indicadores fisicoquímicos y microbiológicos el grado de calidad del agua del lago de La Sabana. Utilizar como parámetro de comparación el Decreto n.º 33601 MINAE-S (2007), Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales.
Explicativa	Diseñar una propuesta de rehabilitación ecológica en pro de la funcionalidad ecosistémica del lago de La Sabana.

Nota. Elaboración propia con base en la investigación.

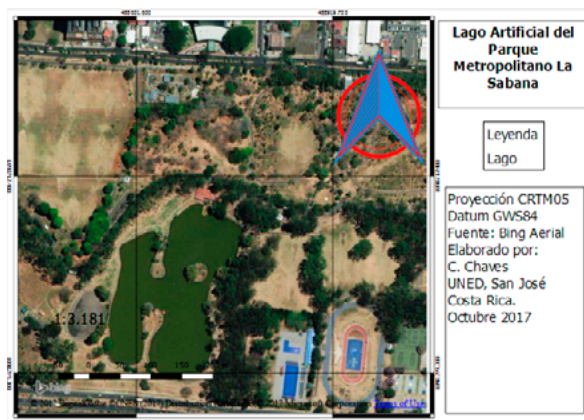
Área de estudio

El lago de La Sabana se ubica en las coordenadas geográficas 9°56'09" N y 84°06'12" O, a una altitud que varía desde los 1120 ms. n. m. a los 1150 ms. n. m.

El espejo de agua del lago tiene una extensión total de 43 389,2 m² (4,3 ha). Del área total, 90% (39 263,4 m²) corresponde al lago principal; mientras que el área restante (4 125,8 m²) corresponde a un embalse que se ha secado por la falta de disponibilidad de agua para su anegamiento. La profundidad máxima en el lago principal es de 2 m en el centro y 1,20 m en los bordes, con una capacidad de almacenamiento de unos 70 000 m³ de agua -figura 2-, (ICODER, 2017).

Figura 1

Ubicación del Lago de La Sabana, Costa Rica



Nota. Elaboración propia con base en la investigación.

Resultados y discusión

Identificación de las fuentes de contaminación que afectan la calidad del agua del lago de la Sabana

En el sitio de estudio, las fuentes de contaminación y alteración identificadas que potencialmente afectan la calidad del agua del lago de La Sabana son:

1. Fuentes puntuales de efluentes que ingresan al lago;
2. fuentes de contaminación difusa que ingresan al lago en especial en la época lluviosa;
3. un fenómeno de compactación del suelo que se satura por exceso de agua y acarrea problemas de erosión y sedimentación;
4. falta de cobertura vegetal nativa en el área de aporte al lago;
5. especies invasoras (aves y plantas);
6. excretas de animales endotérmicos y
7. desecamiento del espejo de agua en época seca por carecer de una fuente continua de agua para su anegamiento.

Determinación de la calidad fisicoquímica y microbiológica del agua del lago de la Sabana

Resultados fisicoquímicos

Positivamente, los parámetros de la temperatura, el potencial de hidrógeno, la turbiedad, el nitrógeno, el fosfato, los sólidos disueltos y los sólidos sedimentables, están por debajo del máximo permisible, según el Decreto n.º 33903-MINAE-S, como se muestra en la tabla 2. Sin embargo, la demanda química de oxígeno (DQO) superó el máximo permitido establecido en el Decreto n.º 33903-MINAE-S.

Tabla 2
Resultados de los análisis fisicoquímicos de la calidad del agua

Parámetros	Promedio obtenido	Máximo permitido Decreto n.º 33903	Cumple/ No cumple
Temperatura (°C)	27,7 ± 0,7	(1)	Cumple
Potencial de hidrogeno pH	7,9 ± 0,4	6,5 a 8,5	Cumple
Turbiedad (UNT)	36,9 ± 9,5	25 a <100	Cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)	25 ± 9,7	< = 3 a > 15	No cumple
Demanda Química de Oxígeno (mg/L)	111 ± 18,9	20 a <25	No cumple
Sólidos Disueltos (mg/L)	41,5 ± 1,8	250 a <500	Cumple

Notas. Elaboración propia con base en los datos de la investigación. **Promedio obtenido:** son los resultados de los parámetros monitoreados obtenidos en tres puntos de muestreo distintos en el lago por un lapso de 3 meses (abril, mayo y junio). **Máximo permitido Decreto n.º 33903:** valores límites permitidos que debe contener una muestra de agua para ser considerada para uso humano en actividades como la recreación. (1) Natural o que no afecte el uso indicado.

Análisis microbiológicos de la calidad del agua del lago de La Sabana

En el caso de los resultados obtenidos de los análisis microbiológicos de la calidad del agua, se demostró una alta concentración de coliformes totales y fecales en el lago de la Sabana. En promedio, según la tabla 3, la concentración de coliformes totales y coliformes fecales supera el máximo permitido en 1153% y 657%, respectivamente. La diferencia entre el máximo permitido según el Decreto n.º 33903 MINAE (2007) es de 1000 NMP/100 mL por cada muestra de agua. Lo anterior quiere decir que la calidad microbiológica del agua se encuentra bastante contaminada.

Tabla 3
Determinación de la calidad microbiológica de la calidad del agua

Parámetros	Promedio obtenido	Máximo permitido Decreto n.º 33903	Cumple/ No cumple
Coliformes totales (NMP/100 ml)	12530 ± 3595	20 a 1000	No cumple
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	7568 ± 1774	20 a 1000	No cumple

Notas. Elaboración propia con base en los datos de la investigación. **Promedio obtenido:** son los resultados de los parámetros monitoreados obtenidos en tres puntos de muestreo distintos en el lago por un lapso de 3 meses (abril, mayo y junio). **Máximo permitido Decreto n.º 33903:** valores límites permitidos que debe contener una muestra de agua para ser considerada para uso humano en actividades como la recreación. **NMP/100:** número más probable para la estimación del grupo coliforme por mililitro de agua.

Diversos autores como Almanza et al. (2016), Molina & Rubio (2016), García, Molina, Miranda, Soriano & Díaz (2014) y Quirós (2007), han evaluado la calidad del agua de lagos en zonas urbanas y han coincidido en

que estos presentan una precaria calidad del agua, impactada por la contaminación de los afluentes. Los autores indicaron que la contaminación de cada lago en estudio se debió a vertidos de aguas grises, domésticas e industriales, caída de lluvia ácida e ingreso de residuos sólidos. Un factor destacado por los autores es que el crecimiento poblacional en las urbes impacta cada vez más la calidad del agua de los lagos.

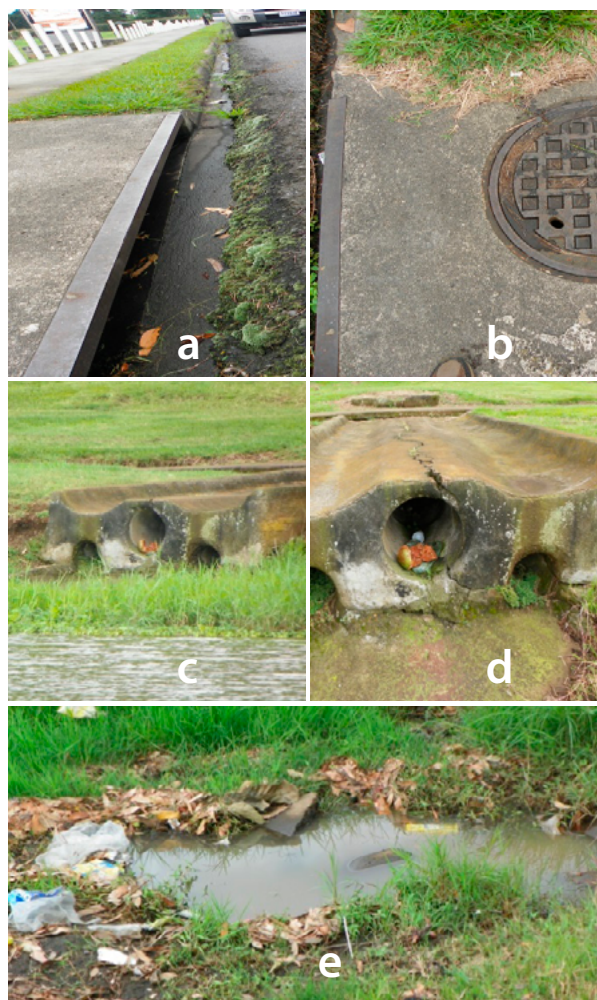
En el caso de los indicadores microbiológicos (coliformes) han sido ampliamente utilizados en otros lagos urbanos y el panorama no es tan diferente como el del lago de la Sabana. Según Sánchez et al. (2012) y Almanza et al. (2016), se registraron en la laguna La Pólvara concentraciones de coliformes totales y fecales entre los 7500 a 15 000 NMP/100 ml, y en el caso de los lagos de Concepción, las concentraciones de coliformes totales y fecales fueron de 49 010,82 NMP/100 ml y de 39 483,25 NMP/100 ml, respectivamente siendo el máximo permitido en su legislación por 1000 NMP/100 ml. Estos indicadores evidencian una de las mayores problemáticas que deteriora la calidad del agua de los lagos urbanos por la presencia de las coliformes totales y fecales.

Ante la concentración de coliformes en el lago de la Sabana, es importante identificar de dónde proviene el ingreso de esta fuente de contaminación microbiológica. Existen fuentes difusas difíciles de detectar, como el colapso de tanques sépticos o drenajes de agua negra, arrastre de sedimentos por las lluvias e infiltración a través del nivel freático por aguas subterráneas contaminadas de las zonas aledañas al lago. En la época lluviosa, en los meses de mayo - junio se logra constatar la mayor concentración de coliformes

fecales y totales, lo cual representa un posible desbordamiento de aguas negras y éstas son interceptadas por los sistemas de alcantarillado que descargan en el lago. En la figura 2, se observan los sedimentos, residuos sólidos y líquidos que ingresan por la red de conexión pluvial de la ruta 27 con el lago de La Sabana.

Figura 2

Red pluvial de la ruta 27 que ingresa como efluente al lago de La Sabana en el año 2017



Notas. Fotografías de Carlos Chaves, 2018. Secuencia: **a.** Entrada por donde ingresan las aguas pluviales de la ruta 27; **b.** Caja de registro de la Red pluvial ruta 27; **c.** y **d.** Conexión de la red pluvial de la ruta 27 con el lago de La Sabana; **e.** Detalle de los sedimentos, residuos sólidos y líquidos que ingresan por la Red Pluvial de la ruta 27 y son depositados en las orillas del espejo de agua.

Almanza et al. (2016) estiman que el aporte de nutrientes y coliformes inciden en la contaminación fecal y “proviene del desbordamiento de aguas residuales y sistemas sépticos defectuosos de la ciudad, excrementos de las aves acuáticas y escorrentía de fertilizantes de jardines adyacentes” (p. 11). Se debe considerar que las altas concentraciones de coliformes totales y fecales son indicadores particulares que contribuyen a un exceso de materia orgánica que agota el oxígeno y alienta de forma paulatina la eutrofización en un lago.

Figura 3

Espejo de agua del lago de la Sabana con presencia de condiciones de un lago eutrófico



Nota. Fotografía de Carlos Chaves, lago de la Sabana, 2018.

Ante los impactos antrópicos a los que se ven sometidos los lagos en entornos urbanos, los gobiernos y la sociedad deben de prestar una mayor atención en la gestión y conservación de estos cuerpos de agua, en especial si se toma en consideración que son un modelo referente que refleja el estado ambiental y la salud de un territorio al ser estos importantes bioindicadores. Por tanto, se describen algunas medidas de rehabilitación ecológica y bioingeniería para mejorar la funcionalidad ecosistémica en un lago urbano.

Estrategias para la gestión, conservación y recuperación de los lagos urbanos que se propone replicar en el lago de la Sabana

Rehabilitación del régimen hídrico por medio de Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS)

Los sistemas urbanos de drenajes sostenibles (SUDS) han sido utilizados por Abellán (2018), Fuentes (2015) y Molina, Gutiérrez y Salazar (2011). Los SUBS se adaptan a contextos de lagos urbanos para el control de escorrentía y contaminantes durante la época lluviosa y seca, los cuales tienen por meta “filtrar, retener, infiltrar, transportar y almacenar agua de lluvia” (Fuentes, 2015, p. 3), con capacidad depurativa en eliminar contaminantes. Como ejemplos se pueden mencionar los pavimentos porosos, las áreas de biorretención, las cunetas verdes y las zonas buffer.

Humedales artificiales conocidos como “Surface Flow Constructed Wetlands (FWS)”

Los humedales artificiales son sistemas de flujo de agua horizontal superficial que recorren un área determinada a través de una depresión, con una profundidad no mayor de 1 m. Estos diseños poseen una capa de material permeable en el fondo, canales de entrada y salida de las aguas, y vegetación acuática en diferentes puntos. Su uso es trabajar como importantes filtros depuradores del agua al eliminar sustancias contaminantes (Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade 2010, Fernández, De Miguel, De Miguel y Curt, 2009).



Oxigenación y recirculación del agua en los lagos

López, García, Reynoso, González y Larroudé (2016), recomiendan aplicar acciones de bombeo de chorros de agua, por ejemplo, una fuente o un molino de paletas para generar el intercambio y aumentar el oxígeno disuelto, disminuir la acumulación de materia orgánica en el agua con el fin de reducir la demanda bioquímica de oxígeno (DQO -mide la cantidad de oxígeno en el agua, necesaria para oxidar la materia orgánica), la demanda biológica de oxígeno (DBO -mide la cantidad de oxígeno que consumen los microorganismos en el agua durante la degradación de la materia orgánica) y el grupo coliforme (fecales y totales).

Revegetación y otros elementos paisajísticos naturales

Para el control de la erosión y la sedimentación se propone establecer estructuras de bajo impacto ambiental como jardines y elementos paisajísticos en contorno. Es decir, proveer una cobertura vegetal adecuada en las zonas aledañas a un lago para que disminuya la escorrentía, la erosión y la sedimentación en los taludes en sus orillas.

Una consideración importante es que, a través del tiempo, este tipo de plantas van a formar importantes asociaciones vegetales entre sí. Producto de ello son las islas flotantes de plantas macrófitas, jardines en setos que permiten formar hábitats para numerosas especies faunísticas y florísticas.

Recomendaciones

Se citan las principales recomendaciones que se desprenden de la investigación.

1. Diagnóstico biofísico y plan de manejo: Actualmente, en conjunto con autoridades competentes se está en la tarea de desarrollar una línea base para el desarrollo de un plan de manejo que dicte pautas para una gestión sostenible en el lago de la Sabana.
2. Consolidar un equipo interdisciplinario: Conformar equipos interdisciplinarios (instituciones, empresas y sociedad civil) de intervención, es un punto clave de atención temprana ante un mayor deterioro de los lagos urbanos.
3. Sensibilización y educación ambiental: Identificar los grupos focales que se encuentran relacionados de forma directa o indirecta al lago para generar acciones relacionadas con la educación ambiental y la divulgación de información en los grupos de interés.
4. Monitoreo e investigación: Los lagos son hipersensibles a las variaciones climáticas y son un bioindicador que refleja las condiciones de una sociedad en términos ambientales, económicos y culturales, es imprescindible mantenerlos en óptimo estado y destinar inversión en su diagnóstico biofísico, en investigación y en monitoreo a mediano y largo plazo.

Referencias

- Abellán, A. (2018). Las comparaciones son odiosas, SUDS vs alcantarillado. *Connecting Waterpeople* iA-gua. <https://www.iagua.es/blogs/ana-abellan/comparaciones-son-odiosas>
- Almanza, V., Figueroa, R., Parra, O., Fernández, X., Baeza1, C., Yáñez, J. y Urrutia, R. (2016). Bases limnológicas para la gestión de los lagos urbanos de Concepción, Chile. *Lat. Am. J. Aquat. Res.* 44(2), 313-326.



- Delgadillo, O. Camacho, A. Pérez, L. Andrade, M. (2011). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. ISBN: 978-99954-766-2-5. http://blogdelagua.com/wpcontent/uploads/2013/02/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf
- Decreto n.º 33601 MINAE-S (2007). Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales. n.º 33601-MINAE-S. *La Gaceta* 55, lunes 19 de marzo de 2007. <http://www.regenciaquimica.ucr.ac.cr/sites/default/files/33601-s-minae.pdf>
- Fernández, F. De Miguel, E. De Miguel, J. y Curt. M. (2009). *Manual de Fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación*. [Archivo PDF]. https://issuu.com/eriborri/docs/manual_depuracion_macrofitas
- MINAE (2007). *Reglamento para la clasificación y la evaluación de la calidad de cuerpos de agua superficiales*. N.º 33903 MINAE-S. *Gaceta* #178, 17 de septiembre de 2007. San José, Costa Rica. <http://www.digeca.go.cr/legislacion/decreto-33903-reglamento-para-la-evaluacion-y-clasificacion-de-la-calidad-de-cuerpos-de>
- Custodio, M. y Pantoja, R. (2012). Impactos antropogénicos en la calidad del agua del río Cunas. *Apunt. Cien. Soc.* 2(2).
- Fuentes, A. (2015). *Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenibles. Una Alternativa de Futuro*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura Sevilla. España.
- García, J., Molina, I., Miranda, E., Soriano, M. & Díaz, M. (2014). *Variación fitoplanctónica en un lago urbano del municipio de Cuernavaca, Morelos, México*. *Acta Universitaria*. ISSN 0188-6266
- GWP Centroamérica. (2016). *Situación de los Recursos Hídricos en Centroamérica*. http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/srh_costa-rica_2016.pdf
- ICODER (2017). *Datos Lago de La Sabana*. Documento impreso. San José, Costa Rica.
- López, E. M., García, B., Reynoso, Y., González, P. y Larroudé, V. (2016). Calidad del agua para usos recreativos desde las perspectivas de la seguridad e higiene laboral y la salud pública. Estudio de caso. http://www.palermo.edu/ingenieria/investigacion-desarrollo/pdf/Trabajo_Completo_Lopez_Sardi_Estela_Monicav3.pdf
- Ministerio de Salud (2016). *Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2016-2021*. San José, Costa Rica.
- Molina, M., Gutiérrez, L. & Salazar, J. (2011). *Sistemas Urbanos De Drenaje Sostenible Suds Para El Plan De Ordenamiento Zonal Norte Pozn*. Secretaría Distrital de Ambiente, Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. Bogotá, Colombia.
- Quiros, R. (2007). *Manejo y Recuperación de Lagos Urbanos*. https://www.agro.uba.ar/users/quiros/Working/Manejo_de_Lagos_Urbanos.pdf
- Sánchez, A., Salcedo, M., Macossay, A., Fera, Y., Vázquez, L., Ovando, N. y Rosado, L. (2012). Calidad ambiental de la laguna urbana La Pólvora en la cuenca del río Grijalva. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 3(3), 143-152.

