



Sistema de humedales artificiales en procesos de tratamiento de aguas en la refinería del cantón Esmeraldas, Ecuador

System of artificial wetlands in processes of water treatment in the refinery of the cantón Esmeraldas, Ecuador

Sistema de pavimentos artificiais em processos de tratamento de água na refinaria de cantón Esmeraldas, Equador

Napoleón Gustavo Padilla-Santillan ^I
napoleon.padilla.santillan@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6694-5523>

Erika Gina Ortiz-Díaz ^{II}
erika.ortiz@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-4083-1955>

Luis David Estupiñán-Rodríguez ^{III}
luis.estupinan@utelvt.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-1809-9750>

Correspondencia: napoleon.padilla.santillan@utelvt.edu.ec

Ciencias técnicas y aplicadas
Artículo de revisión

***Recibido:** 30 de marzo de 2021 ***Aceptado:** 22 de abril de 2021 * **Publicado:** 05 de mayo de 2021

- I. Ingeniero Químico, Magister en Administración de Empresas, Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Esmeralda, Ecuador.
- II. Licenciada en trabajo social, Master en Project Management, Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Esmeralda, Ecuador.
- III. Ingeniero en Planificación y Desarrollo Turístico, Magister en Desarrollo del Currículo, Universidad Técnica Luis Vargas Torres, Esmeralda, Ecuador.

Resumen

El presente ensayo tuvo como objetivo analizar el sistema de humedales artificiales como alternativa para el tratamiento de las aguas residuales de la Refinería de petróleo del Cantón Esmeraldas en Ecuador. El tipo de investigación realizada fue documental descriptiva, tomando como población a estudiar investigaciones realizadas referentes al tema, así como fuentes teóricas tomadas de documentos emanados por el gobierno del Ecuador. Se concluye que el sistema de humedales artificiales constituye un sistema eficiente de tratamiento de las aguas residuales, tomando como base la capacidad que tienen los humedales naturales para capturar y procesar los contaminantes que se han vertido en ellos, procedentes de descargas de agua residual industrial, constituye una manera eficiente de obtener una mayor remoción de contaminantes de una manera segura, confiable, económica y sustentable.

Palabras clave: Aguas residuales; refinería; humedal artificial; contaminantes.

Abstract

The objective of this trial was to analyze the artificial wetland system as an alternative for the treatment of wastewater from the Esmeraldas Canton Oil Refinery in Ecuador. The type of research carried out was descriptive documentary, taking as a population to study research conducted regarding the subject, as well as theoretical sources taken from documents issued by the government of Ecuador. It is concluded that the artificial wetland system constitutes an efficient wastewater treatment system, based on the ability of natural wetlands to capture and process the pollutants that have been poured into them, from industrial wastewater discharges, It is an efficient way to obtain a greater removal of pollutants in a safe, reliable, economical and sustainable way.

Keywords: Wastewater; refinery; artificial wetland; pollutants.

Resumo

O objetivo deste estudo foi analisar o sistema de zonas úmidas artificiais como uma alternativa para o tratamento de águas residuais da refinaria de petróleo de Esmeraldas, no Equador. O tipo de pesquisa realizada foi documental descritivo, tendo como população o estudo de pesquisas realizadas sobre o assunto, bem como fontes teóricas extraídas de documentos emitidos pelo governo do Equador. Conclui-se que o sistema de zonas úmidas artificiais constitui um sistema

eficiente de tratamiento de águas residuais, baseado na capacidade das áreas úmidas naturais de capturar e processar os poluentes que foram despejados nelas, a partir de descargas industriais de águas residuais, É uma maneira eficiente de obter uma maior remoção de poluentes de maneira segura, confiável, econômica e sustentável.

Palavras chave: Águas residuais; refinaria; pântano artificial; poluentes.

Introducción

En la actualidad, el sector industrial es clave para el progreso de las naciones y, en la mayoría de los procesos productivos para la generación de bienes y servicios se requiere la utilización de agua. Según el informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo y de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, (UNESCO, 2003), “a nivel global el 8 % del agua necesaria se usa a nivel doméstico, el 22 % se lo lleva la industria y el 70 % la agricultura.” Aunado a esto, el rápido crecimiento de la población mundial y los impactos ambientales derivados de las actividades industriales, como vertidos y contaminación, ejercen una gran presión sobre los recursos hídricos del planeta.

De acuerdo con, Veolia y el International Food Policy Research Institute IFPRI (2015) “se prevé que el deterioro se intensifique a medida que el cambio climático, el desarrollo económico y la expansión e intensificación de la agricultura continúen, generando así crecientes amenazas para la salud humana, los humedales y el desarrollo sostenible.”

En tal sentido, los humedales son considerados uno de los ecosistemas biológicamente más diversos, funcionales, y críticos para la vida del planeta, existen en todos los climas, continentes y regiones del mundo. En ellos se ha constatado que actúan como filtradores naturales de agua, son capaces de almacenar y procesar grandes cantidades de contaminantes y esto se debe a que los tejidos de las plantas hidrófitas que contienen poseen la propiedad de almacenar y liberar agua, realizando de esta forma un proceso de filtración. De acuerdo con el Convenio Internacional RAMSAR (1971) los humedales se definen como:

Todas aquellas extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua, ya sean éstas de régimen natural o artificial, de forma temporal o permanente, de forma estancada o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de 6 metros.

Según Rojas (2018:p. 2) “los humedales actúan como fuente y purificador del agua, protegen de las inundaciones, sequías y otros desastres, suministran alimentos y medios de vida a millones de personas, sostienen una rica biodiversidad y almacenan más carbono que ningún otro ecosistema.” En el mismo orden, la hoja técnica de divulgación científica de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México (2013: p.2) indica que “los humedales ocupan unos 5.7 millones de kilómetros cuadrados, lo que representa un 6% del total de la superficie terrestre. Tal vez los más conocidos sean los manglares, típicos de las costas tropicales de todo el mundo.” Así, también hay naciones que cuentan con humedales naturales en las cercanías de sus ciudades y parques industriales como los Everglades en Florida y Georgia en Estados Unidos, Alemania, los Países Bajos (Holanda, Bélgica y Luxemburgo) y los países nórdicos, Dinamarca, Noruega, Finlandia y Suecia.

A pesar de la importancia estos ecosistemas y de las funciones y beneficios que generan para el ser humano, este recurso se encuentra entre los mayormente amenazados, fundamentalmente por las actividades de origen antropocéntrico como la industrialización, la urbanización, el aumento poblacional, y la contaminación, cuyas consecuencias se ven en las variaciones de las condiciones naturales de los cuerpos de agua.

Actualmente en las conclusiones preliminares de un estudio liderado por investigadores del Centro Mundial de Monitoreo de la Conservación de Naciones Unidas, la región de Latinoamérica y el Caribe (LAC) “es la que ha experimentado la mayor reducción de sus humedales naturales a nivel mundial entre 1970 y 2015, con un declive de 59 por ciento de su superficie. A nivel global mermaron en 35 por ciento en ese período.”

En torno a esto, el sector industrial es después de la agricultura el de mayor consumo de agua. Sin embargo, no es el volumen de agua extraído de este recurso lo que genera preocupación, sino el hecho de que una vez utilizada es devuelta a los cuerpos de agua como agua residual, generalmente no tratada o tratada de forma inadecuada, causando contaminación y la reducción de los recursos hídricos. De acuerdo con Pérez, (2007) “la contaminación por petróleo y sus derivados es uno de los factores que más afecta a los ecosistemas acuáticos, causando serias afectaciones al suelo, flora, fauna y salud humana por la ruptura, en muchos casos, del equilibrio de restauración natural.”

Es importante señalar que la empresa del petróleo y gas, utiliza agua en casi todos los ciclos del proceso productivo. Así, las refinerías de petróleo se encuentran generalmente ubicadas en áreas

costeras cerca de la desembocadura del río, para aprovechar los recursos hídricos. Por ello, estas actividades ejercen una gran presión sobre los cuerpos de agua, tanto por el uso, como por los impactos ambientales derivados de dichas actividades, como vertidos y contaminación. De acuerdo con Veolia North America Oil Gas (2016:p.3) “Las industrias del petróleo y del gas,...son grandes consumidoras de recursos hídricos y energéticos y grandes generadoras de residuos peligrosos...”

Por tanto, contar con métodos para el tratamiento del agua residual en esta industria es fundamental, para reducir la huella medioambiental y cumplir con los compromisos legales. Veolia North America Oil Gas (2016:p.3) señala que “las industrias del petróleo y del gas...están sujetas a normas medioambientales cada vez más estrictas. Por ello se ven obligadas a revisar sus métodos de extracción, producción y distribución para obtener o mantener sus licencias de operación.”

Es evidente entonces que el tratamiento de aguas residuales de la industria del petróleo y gas, es importante por un lado por los efectos adversos que causan a los ecosistemas acuáticos y por el otro, con el fin de asegurar la continuidad de las operaciones mediante el cumplimiento de los compromisos relacionados con las normativas legales exigidas para el vertido de las aguas residuales a las fuentes de agua.

Para asegurar el cumplimiento de esta política ambiental y a la vez buscar soluciones a este problema es necesario implementar tecnologías que cumplan con dos funciones esenciales, la primera de ellas que sean tecnologías eficientes y en segundo lugar, que sean económicamente viables.

Frente a este panorama, el tratamiento de las aguas residuales de las empresas de petróleo y gas por un sistema de humedales artificiales que se basa en los principios de los sistemas naturales, surge como alternativa por su versatilidad y rentabilidad económica y como una solución amigable con el ambiente.

Haciendo particular énfasis en Ecuador, en la provincia de Esmeraldas hay nueve humedales. Seis de ellos pertenecen a la cuenca baja del río Cayapas, uno a la cuenca del río Esmeraldas y dos que no pertenecen a ninguna cuenca hidrográfica pero están influenciados por el Estero de Same.

Por otro lado, en Ecuador por ser el petróleo la fuente principal de generación de divisas y riquezas, no escapa de la contaminación por este material. Las principales actividades de refinación del crudo extraído en el país, se desarrollan en los complejos industriales: Refinería La Libertad,

Complejo Industrial Shushufindi, y Refinería Estatal Esmeraldas. Aquí, el puerto de Esmeraldas es importante para la zona norte del Ecuador, el puerto de Balao es el puerto petrolero de la nación. Teniendo en cuenta los planteamientos anteriores, este estudio tuvo como objetivo presentar una visión conceptual del manejo del agua de producción en la industria del petróleo, usando como medio de tratamiento un humedal artificial en la refinería del Cantón Esmeraldas, en Ecuador.

Desarrollo

La industria es un sector muy importante en el desarrollo de los países, ya que juega un papel fundamental en el progreso económico de todas las naciones a nivel global, y el agua es un elemento central en todas las actividades de producción. En tal sentido, la industria petrolera es una de las empresas más consumidoras de agua en el mundo. Según, Bailey (2000) “para el año 2000 se consumían cerca de 210 millones de barriles/día (d) (33,4 millones de m³ d⁻¹) que acompañaban a los 75 millones de barriles por día (11,9 millones m³ d⁻¹) de petróleo.” En efecto, las refinerías se encuentran entre los mayores consumidores del recurso hídrico debido a su uso para las torres y el proceso de enfriamiento. Al mismo tiempo, durante el tratamiento y refinado del petróleo crudo, se generan grandes cantidades de aguas residuales que requieren tratamiento. Según la Comisión Nacional del Agua de México (CONAGUAS: 2013), las aguas residuales se definen como: “Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas.” En consecuencia, estas actividades ejercen un gran impacto ambiental en los cuerpos de agua, no solo por su uso sino debido al deterioro causado por la contaminación.

En torno a esto, en las refinerías de petróleo se llevan a cabo una serie de operaciones, para la obtención de diversos productos que generan múltiples flujos de efluentes en la fase de refino, en las cuales se producen aguas residuales derivadas en las distintas fases de refinación, con un grado de contaminación que varía de una planta a otra de acuerdo con el tipo de crudo utilizado, el tipo de proceso aplicado, y la antigüedad de la refinería. De acuerdo con André (2014: p.34) “En la evacuación de lodos, el vertedero procedente de refinería provoca complicación en los acuíferos subterráneos” Del mismo modo, este autor plantea que:

El almacenamiento de productos intermedios da lugar a aguas residuales cargadas de polisulfuros, sulfuros de hierro y sólidos en suspensión. El almacenamiento de productos terminados puede originar efluentes alcalinos con una demanda bioquímica elevada (DBO5), y en ocasiones plomo tetravalente. Otros efluentes producidos se deben a fugas, derrames, filtros para secar el producto y limpieza de los tanques. André (2014: p.36)

En tal sentido, las refinerías generalmente están ubicadas cerca de un suministro ilimitado de agua para la elaboración de sus productos y, frecuentemente el recurso hídrico usado en los procesos de refinación proviene de aguas subterráneas, canales, ríos, lagos y, a veces, parcialmente del océano. Según un informe de la Organización de las Naciones Unidas (2010):

Cada día, 2 millones de toneladas de aguas residuales y otros efluentes son drenados hacia las aguas del mundo. El problema es más grave en los países en desarrollo, en los que más del 90% de los desechos sin procesar y el 70% de los desechos industriales sin tratar se vierten en aguas superficiales.

A tal efecto, la calidad de los cuerpos de agua se ve cada vez más amenazada por la contaminación, lo cual repercute en el deterioro del funcionamiento de los ecosistemas de aguas dulces y costeras, así como también de los humedales naturales y, en consecuencia se perjudica al medio ambiente y el bienestar de los seres humanos.

Asimismo, el departamento de Medio Ambiente de Naciones Unidas (PNUMA) en el informe denominado Perspectivas del Medio Ambiente Mundial (GEO:2019) entre sus conclusiones indica: "Muchos acuíferos se están agotando rápidamente por el exceso de extracción de agua para el riego, el consumo de agua potable y los usos en la industria y la minería" Este mismo documento se señala que:

La situación de los humedales también es preocupante y se advierte de que ha desaparecido desde 1970 el 40% de estos ecosistemas, que son clave en la lucha contra el cambio climático. Y culpa al desarrollo de la agricultura, la urbanización, las infraestructuras y la explotación excesiva de los recursos hídricos.

Sobre este particular, los acuíferos y humedales se consideran recursos renovables, siempre que no se rebasen determinados umbrales, es decir, que los recursos no se extraigan a una velocidad que no dé tiempo a que la naturaleza los renueve o lo haga muy lentamente y, donde la excesiva carga de contaminantes en estos ecosistemas, produzcan cambios irreversibles que den lugar a la proliferación de algas y al agotamiento del oxígeno, lo que hace imposible la vida de muchas

especies y el deterioro de la calidad del agua dulce. Cabe destacar que la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente (1992), estableció cuatro Principios, que siguen siendo válidos (Principio N.º 1), “El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.” Asimismo, la UNESCO (2003) señala que: “la humanidad depende de menos del 0,5 % del agua para todas sus necesidades y las de los ecosistemas de agua dulce.” Es así que los humedales desempeñan un papel crucial en el abastecimiento de agua dulce para usos domésticos, el riego y la industria. De acuerdo con la Organización para la cooperación y el desarrollo económico (OECD: 2012):

Se estima que la demanda mundial de agua (en términos de extracción de agua) aumentará cerca de un 55% para el año 2050, principalmente debido a la creciente demanda del sector de la producción o manufactura (400%), a la generación de energía eléctrica (140%) y el consumo doméstico (130%)

Sin embargo, según la UNESCO (2003) “en los últimos 50 años, la actividad humana ha provocado la contaminación de los recursos hídricos en una magnitud sin precedentes. Se estima que más de 2.500 millones de personas en el mundo viven sin un sistema adecuado de saneamiento.” En esta misma línea, un informe del Programa Mundial de los Recursos Hídricos que coordina la UNESCO (2015), advierte que “si no se toman medidas, el planeta tendrá que afrontar un déficit mundial de agua del 40% en los próximos 15 años, hasta 2030.”

Estas estadísticas aportan información relevante sobre la importancia que tiene el tratamiento y la reutilización de aguas residuales en el sector industrial en el mundo y particularmente la empresa petrolera por ser uno de los sectores productores que no sólo es el que más gasta agua, sino también uno de los que más contamina. A este respecto, Sato y cols. (2013) señala que:

El tratamiento de aguas residuales industriales y municipales generalmente está correlacionado con los ingresos de un país. Como promedio, los países de ingresos altos tratan el 70% de las aguas residuales, los países de ingresos medios altos el 38%, los países de ingresos medios bajos el 28% y los países de ingresos bajos sólo el 8%.

Por lo tanto, es vital la protección y el mantenimiento del medio acuático para asegurar la sostenibilidad de los servicios más importantes de sus ecosistemas: el agua dulce y los humedales naturales cuya función es filtrar de forma natural los nutrientes y las sustancias tóxicas que pueda

contener el agua. De acuerdo con la WWAP (2012) “A escala mundial, más del 80% de las aguas residuales se vierten en los humedales sin un tratamiento adecuado.”

Es así que, muchos países del mundo que cuentan con humedales naturales en las cercanías de sus ciudades y parques industriales, han dedicado gran número de trabajos de investigación a evaluar los impactos ambientales hacia estos ecosistemas como consecuencia de la descarga de aguas residuales y han constatado que estos ecosistemas son capaces de almacenar y procesar grandes cantidades de contaminantes.

Es evidente que el sector industrial es muy importante para el desarrollo de los países a escala mundial, por tanto, la necesidad de maximizar los resultados en términos de beneficios económicos debe tener en cuenta la protección del medio ambiente en sus procesos y en su planificación. Por ello, siendo el agua un recurso valioso para la industria es imprescindible realizar intervenciones adecuadas en la manera como se utiliza este recurso y en las mejoras de los sistemas de tratamiento para su reutilización y de esta manera, contribuir al mantenimiento de los ecosistemas saludables fundamentales para el mantenimiento de la vida.

En relación con estos planteamientos, la adopción de políticas comprometidas con los propósitos de protección de los sistemas hídricos, por parte de las empresas petroleras para el tratamiento y la descarga de las aguas residuales es primordial para evitar la contaminación de los cuerpos de agua. De acuerdo con Romero y cols. (2009) “Se considera que el agua está contaminada cuando se ven alteradas sus características químicas, físicas, biológicas o su composición, por lo que pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas.”

En Ecuador de acuerdo a las cifras de la Asociación de Municipalidades Ecuatorianas (AME) y el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (AME-INEC: 2016:p.15) “el 56,3% de municipios dispone el agua residual no tratada en los ríos, el 30,4% en quebradas y el restante 13,3% en acequias de riego, canales, mar, entre otros.” Esto indica que se requiere de propuestas innovadoras que permitan implementar el tratamiento en diferentes condiciones ambientales y socioeconómicas.

En tal sentido, la ciudad de Esmeraldas se lleva a cabo actividades de refinación desde mediados de la década de los años 70, y a medida que las reglamentaciones ambientales se han ajustado y actualizado a la protección del entorno, las actividades de producción de la Refinería Esmeraldas

también han tenido que adecuarse a las nuevas tendencias y exigencias legales de protección al medio ambiente.

Por tanto, el tratamiento físico, químico y biológico de las aguas residuales de la refinería es indispensable para el cumplimiento de las medidas legales de protección medioambiental. Dentro de los tratamientos biológicos, de acuerdo con Fenoglio (2000) “los humedales artificiales (HA) son utilizados para aguas residuales de tipo doméstico, aunque también han funcionado para aguas de origen industrial. De este modo, Gerba (1999) define los humedales artificiales como: “sistemas que simulan una zona de transición entre el ambiente terrestre y el acuático, pero que son específicamente construidos para el tratamiento de aguas residuales bajo condiciones controladas de ubicación, dimensionamiento y capacidad de tratamiento.” Igualmente, Rocha (2007) señala que: “son cuerpos de agua de baja profundidad que retienen temporalmente el agua con la finalidad de promover la degradación con ayuda de bacterias aerobias y anaerobias, oxigenar el sistema, y remover la mayor parte de los patógenos.”

En este particular, se han estudiado cada vez con mayor detalle los procesos biológicos y físico-químicos que subyacen en la capacidad de los humedales naturales para amortiguar los efectos nocivos que la descarga de contaminantes puede generar sobre el medio ambiente y la salud humana. En relación a esto los humedales artificiales pueden simular las funciones de los humedales naturales. Según Rocha (2007)

Pueden ser construidos de tal forma que el agua se ve en la superficie (superficiales) o bien, cuya superficie de agua se encuentre por debajo de un lecho de piedras, en donde el agua no se ve (subsuperficiales). Son sistemas muy sencillos de construir puesto que no requiere elementos complejos de diseño ni componentes especiales; así mismo requiere de un mínimo de energía ya que se usa sólo para el bombeo del agua para riego.

Así, los humedales artificiales “son una tecnología efectiva y segura para el tratamiento y recirculación del agua si se mantienen y operan adecuadamente.” (Miranda 2000). De acuerdo Brix (2001) dentro de los componentes de los humedales artificiales se encuentran:

Las plantas, el sustrato y la población microbiana. Las plantas pueden ser de diferentes especies y hábitos de enraizamiento y entre sus principales funciones se encuentra la absorción de nutrientes, la relación simbiótica que se establece con los microorganismos, el suministro de oxígeno y la filtración de partículas.

De esta manera un humedal artificial diseñado adecuadamente puede ser utilizado como un sistema de tratamiento para la eliminación de contaminantes del agua, como son sólidos suspendidos, nitrógeno, fósforo, hidrocarburos y metales de las aguas municipales, industriales y las de lluvia.

Figura 1: Vegetación utilizada en Humedal Artificial



Fuente: Datos proporcionados por el autor. Elaboración propia

En relación al sustrato Faulkner y Richardson (1989) señalan que es el soporte para las plantas y un medio de fijación para los microorganismos en el sistema y funciona como conductor hidráulico. Por su parte, de acuerdo con Gopal (1999) “las especies de plantas acuáticas que se utilicen son importantes, debido a que difieren en su capacidad de depuración del agua residual, en la remoción de nutrientes específicos, de elementos traza y de compuestos potencialmente tóxicos como los metales pesados.” Por otro lado, según Faulkner y Richardson (1989)

Los microorganismos son la parte fundamental del funcionamiento de los humedales artificiales, ya que de ellos depende la eficiencia en la remoción de los contaminantes: contribuyen a la degradación de la materia orgánica y a la transformación de compuestos nitrogenados y de fósforo contenidos en las aguas residuales, a compuestos más simples.

Cabe agregar que, el funcionamiento de estos sistemas de tratamiento se basa en la actividad combinada de plantas, microorganismos y sustrato, que en conjunto propician una depuración eficiente. En general para el manejo y construcción de los humedales y la formulación de políticas al respecto no se requiere de un seguimiento costoso y sofisticado. Con los avances tecnológicos, la recopilación de datos de manera eficaz es cada vez más factible. Tulloch y cols. (2013)

Figura 2: Humedal Artificial



Fuente: Datos proporcionados por el autor. Elaboración propia

Metodología

El estudio se circunscribe en una investigación documental de carácter descriptivo, apoyada en la revisión de fuentes bibliográficas relacionadas a los sistemas de tratamientos de aguas residuales a través de la utilización de humedales artificiales, a partir de las cuales se realizó un análisis cualitativo de la información con el fin de identificar los aportes que diferentes autores han realizado como producto de sus investigaciones en el área; además de llevar a cabo un análisis crítico en relación a cada una de las fuentes consultadas de tal forma que pueda contribuir con el alcance de los objetivos planteados.

Discusión y resultados

Hoy día, el sector industrial en general y las empresas petroleras en particular ejercen una gran presión sobre los recursos hídricos del planeta. Así, en el proceso de producción de bienes en el proceso de refino del petróleo se utiliza una gran cantidad de agua y al mismo tiempo se genera una importante cuantía de aguas residuales que son vertidas a los cuerpos de agua. De este modo, los ecosistemas acuáticos se ven afectados constantemente por la acción humana. Muchos de los contaminantes del agua tienen efectos perjudiciales a largo plazo sobre la calidad del agua, lo cual constituye un riesgo para la salud de las personas. Según se constata en el informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo, Agua para todos, agua para la vida (2003) “el 59% del consumo total de agua en los países desarrollados se destina a uso industrial, el 30% a consumo agrícola y un 11% a gasto doméstico.” En consecuencia, el uso indebido del

agua y la infraestructura industrial, así como el tratamiento y la descarga de las aguas residuales están ocasionando una reducción importante de los recursos hídricos.

En tal sentido, los humedales desempeñan un papel importante en el ciclo del agua pues reciben, almacenan y liberan agua, regulan los flujos y contribuyen a sustentar la vida y regulan los ciclos de los nutrientes y de los residuos de metales y pueden filtrar estos y otros contaminantes. Ramsar (2018:p.7)

En tal sentido, en la actualidad como forma de generar tecnologías de tratamientos de aguas residuales amigables con el ambiente, los humedales artificiales constituyen una alternativa viable y económicamente. También, así se garantiza que los beneficios de los humedales contribuyan al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas, las Metas de Aichi para la Diversidad Biológica, el Acuerdo de París sobre el Cambio Climático y otros compromisos internacionales conexos. Ramsar (2018:p.7)

Conclusiones

Se concluye que los humedales constituyen un sistema eficiente de tratamiento de las aguas residuales que contribuyen a amortiguar los efectos nocivos de los contaminantes que son vertidos a los cuerpos de agua como producto principalmente de las actividades industriales y que generan el deterioro del medio ambiente y del bienestar de los seres humanos.

Al mismo tiempo, implementar un sistema de humedales artificiales, para el tratamiento de agua residual tomando como base la capacidad que tienen los humedales naturales para capturar y procesar los contaminantes que se han vertido en ellos, procedentes de descargas de agua residual industrial, constituye una manera eficiente de obtener una mayor remoción de contaminantes de una manera segura, confiable, económica y sustentable.

Referencias

1. AME-INEC. (2016) Asociación de Municipalidades Ecuatorianas (AME) y el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). Documento Técnico Estadística Ambiental. Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales. Gestión de Agua Potable y Alcantarillado 2016. [Documento en línea] Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web->

- inec/Encuestas_Ambientales/Municipios_2016/Documento%20tecnico%20APA%202016.pdf
2. André, P. (2014). Procesos de Depuración de los Efluentes Líquidos de Actividades Petrolíferas. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Caminos, Canales y Puertos. [Tesis Doctoral] Disponible en: http://oa.upm.es/32320/1/Pedro_Andre.pdf
 3. Caria, S. (2019). Caracterización del perfil económico-productivo de Ecuador. Trayectorias históricas, desafíos y oportunidades para la transformación de la matriz productiva en formas social y ambientalmente sostenibles. Análisis. [Documento en línea] Disponible en: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/quito/15667.pdf>
 4. CONAGUA (2013). Ley de Aguas Nacionales y su Reglamento. Subdirección General de Administración del Agua. Mexico. [Documento en línea] Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGAA-4-13.pdf>
 5. Faulkner S. y Richardson C. (1989). Physical and chemical characteristics of freshwater wetlands soils. Lewis Publishers. Tennessee. 805 pp.
 6. Fenoglio L. (2000). Bases de diseño para la construcción de un reactor biológico experimental basado en los sistemas de humedales de flujo vertical. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
 7. Garcia, M, Sanchez, F, Marin, R, Guzman, H, Vedugo, N, Dominguez, E, Vargas, O, Panizzo, L, Sanchez, N, Gomez, J y Cortes, G. (s/f). El Agua. [Libro en línea] Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/000001/cap4.pdf>
 8. Gerba C, Thurston J, Falabi J, Watt P y Kar-piscak M. (1999). Optimization of artificial wetlands design for removal of indicator microorganisms and pathogenic protozoa. Wat. Sci. Tech. 40, 363–368.
 9. Gopal B. (1999). Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: potentials and problems. Water Sci. Technol. 40, 27–35.
 10. Hojas técnicas de divulgación científica. (2013). Humedales. Hoja técnica Nro. 3. Enero-junio.2013.Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México. Instituto de Ciencias Biomédicas. Programa de Biología. Unidad de Exhibición Biológica. [Documento en línea]

- Disponible en:
<http://www3.uacj.mx/ICB/UEB/Documents/Hojas%20tecnicas/HOJA%20TECNICA%20HUMEDALES.pdf>
11. Miranda R. (2000). Desarrollo, situación actual y aplicaciones potenciales de los humedales artificiales de flujo horizontal de México. Tesis de Licenciatura, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México.
 12. OECD. (2012). Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. Environmental Outlook to 2050: The Consequences of Inaction, OECD Publishing, Paris (2012).
 13. ONU (2010). Oficina de Naciones Unidas. Día mundial del agua. 22 Marzo 2010 Zaragoza, España. [Documento en línea] Disponible en:
https://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/pdf/world_water_day_2010_zaragoza_final_report_spa.pdf
 14. Pérez, L. (2007). Efecto de Hidrocarburos en los Ecosistemas. Bogotá: Archivos Ecopetrol, 2007. 1.
 15. RAMSAR. (2018). Convención sobre los Humedales. Perspectiva Mundial Sobre los Humedales. [Documento en línea] Disponible en:
https://static1.squarespace.com/static/5b256c78e17ba335ea89fe1f/t/5b9ffde60e2e7277f629f8df/1537211926308/Ramsar+GWO_SPANISH_WEB.pdf
 16. Rocha, R. (2007). Educación y capacitación ambiental. [Documento en línea] Disponible en:
http://ss1.webkreator.com.mx/4_2/000/000/00b/586/Tratamiento%20de%20aguas%20grises.pdf
 17. Rojas, M. (2018). Perspectiva Mundial Sobre Los Humedales. [Documento en línea] Disponible en:
https://static1.squarespace.com/static/5b256c78e17ba335ea89fe1f/t/5b9ffde60e2e7277f629f8df/1537211926308/Ramsar+GWO_SPANISH_WEB.pdf
 18. Romero, M, Colín, A, Sánchez, E y Ortiz, M. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. Revista internacional de contaminación ambiental. Vol.25. No.3 México ago. 2009.

19. Sato, T, Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T. y Zahoor, A. (2013). Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, 130, 1-13.
20. Tulloch, A, Possingham, H, Joseph, L, Szabo, J. y Martin, T. (2013). Realising the full potential of citizen science monitoring programs. *Biological Conservation*, 165, 128-138.
21. UNESCO (2003). Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, (UNESCO, 2003) [Documento en línea] Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000261494>
22. UNESCO. (2015) Agua para un mundo sostenible. Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015. [Documento en línea] Disponible en: WWDR 2015.
23. USGS. (2015). United States Geological Survey. Los recursos hídricos en el mundo: cuantificación y distribución. [Documento en línea] Disponible en: Dialnet-LosRecursosHidricosEnElMundo-6115629.pdf
24. Veolia and IFPRI. (2015). The murky future of global water quality. A White paper by Veolia and the International Food Policy Research Institute.
25. Veolia North América Oil Gas (2016). Los nuevos desafíos de la industria del petróleo y del gas. [Documento en línea] Disponible en: https://www.veolia.com.br/sites/g/files/dvc2061/files/document/2016/10/Veolia_North_America-Oil-Gas-ES_LD.pdf
26. WWAP. (United Nations World Water Assessment Programme) (2012). The United Nations World Water Development Report 2012: managing water under uncertainty and risk. Paris: UNESCO.

© 2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

[\(https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)