

Energía eléctrica a partir de aguas residuales industriales en Guayaquil, Ecuador

Electrical energy from industrial wastewater in Guayaquil, Ecuador

Energia elétrica a partir de águas residuais industriais em Guayaquil, Equador

Byron Fernando Chere-Quiñónez

byron.chere@utelvt.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-1886-6147>

Facultad de Ingenierías de la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas-Ecuador

Raúl Clemente Ulloa-de Souza

raul.ulloa@utelvt.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-1885-0161>

Facultad de Ingenierías de la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas-Ecuador

Luis Jheovanny Reyna-Tenorio

luis.reyna.tenorio@utelvt.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-1415-1833>

Facultad de Ingenierías de la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas-Ecuador

María Elizabeth Canchingre-Bone

elizabeth.canchingre@utelvt.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5575-9327>

Vicerrectora de la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas-Ecuador

Guillermo Alfredo Mosquera-Quintero

guillermo.mosquera@utelvt.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-6779-6416>

Facultad de Ingenierías de la Universidad Técnica Luis Vargas Torres de Esmeraldas-Ecuador

RESUMEN

El objetivo general de este estudio contempla el análisis sobre los diferentes avances que existen hoy en día en términos del uso de aguas residuales industriales en los procesos de obtención de energía. La metodología se enmarcó en el paradigma cuantitativo, bajo una investigación de tipo descriptiva con un diseño de campo y con elementos de un estudio documental bibliográfico. La muestra de estudio quedó conformada por 08 sujetos. Para la recolección de la información se aplicó una encuesta mediante un cuestionario especialmente elaborado para tal fin a un grupo de profesionales de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil (EMAPAG-EP), quienes dieron su consentimiento informado para participar del estudio. Los resultados dan cuenta de que el 50% consideró que la ciudad cuenta con la infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales; 37.5% estimó que el tratamiento de aguas residuales industriales de la ciudad es adecuado en términos ambientales; el 62.5% estuvo de acuerdo con el uso de tecnologías y métodos innovadores para generar energía eléctrica a partir de aguas residuales industriales y 87.5% consideró que la energía a partir de biogás está contribuyendo a aprovechar el potencial energético de la materia orgánica de las aguas residuales industriales. Se concluyó que Ecuador está haciendo considerables esfuerzos para minimizar el impacto de la contaminación medioambiental que traen consigo las aguas residuales industriales y en este sentido, concretamente en la ciudad de Guayaquil, ha impulsado proyectos de inversión en plantas de tratamiento, además de promover la generación de energía a partir de las aguas residuales, particularmente el biogás.

Palabras Claves: Energía eléctrica, aguas residuales, tecnologías, inversión.

ABSTRACT

The general objective of this study contemplates the analysis of the different advances that exist today in terms of the use of industrial wastewater in the processes of obtaining energy. The methodology was framed in the quantitative paradigm, under descriptive research with a field design and with elements of a bibliographical documentary study. The study sample was made up of 08 subjects. To collect the information, a survey was applied through a questionnaire specially prepared for this purpose to a group of professionals from the Guayaquil Municipal Drinking Water and Sewerage Company (EMAPAG-EP), who gave their informed consent to participate in the study. The results show that 50% considered that the city has adequate infrastructure for wastewater treatment; 37.5% considered that the city's industrial wastewater treatment is adequate in environmental terms; 62.5% agreed with the use of innovative technologies and methods to generate electricity from industrial wastewater and 87.5% considered that energy from biogas is helping to take advantage of the energy potential of organic matter in wastewater industrial. It was concluded that Ecuador is making considerable efforts to minimize the impact of environmental pollution brought about by industrial wastewater and in this sense, specifically in the city of Guayaquil, it has promoted investment projects in treatment plants, in addition to promoting the generation of energy from wastewater, particularly biogas.

Keywords: Electric power, wastewater, technologies, investment

RESUMO

O objetivo geral deste estudo contempla a análise dos diferentes avanços que existem hoje em termos de utilização de efluentes industriais nos processos de obtenção de energia. A metodologia foi enquadrada no paradigma quantitativo, sob uma pesquisa descritiva com desenho de campo e com elementos de um estudo documental bibliográfico. A amostra do estudo foi composta por 08 sujeitos. Para coletar as informações, foi aplicada uma pesquisa por meio de um questionário especialmente elaborado para esse fim a um grupo de profissionais da Empresa Municipal de Água Potável e Esgoto de Guayaquil (Empag-EP), que deram seu consentimento informado para participar do estudo. Os resultados mostram que 50% consideraram que a cidade possui infraestrutura adequada para tratamento de efluentes; 37,5% consideraram que o tratamento de efluentes industriais da cidade é adequado em termos ambientais; 62,5% concordaram com o uso de tecnologias e métodos inovadores para gerar eletricidade a partir de efluentes industriais e 87,5% consideraram que a energia a partir do biogás está ajudando a aproveitar o potencial energético da matéria orgânica em efluentes industriais. Concluiu-se que o Equador está fazendo esforços consideráveis para minimizar o impacto da poluição ambiental provocada pelos efluentes industriais e, nesse sentido, especificamente na cidade de Guayaquil, promoveu projetos de investimento em estações de tratamento, além de promover a geração de energia de águas residuais, especialmente biogás.

Palavras-chave: Energia elétrica, águas residuais, tecnologias, investimento

Introducción

Es de sobra conocido los daños que provocan las aguas residuales a los ecosistemas terrestres y en consecuencia a los seres vivos que en ellos habitan, para soportar tal afirmación, se remite al informe conjunto del Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (WWAP) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) donde se afirma que en todos los países, excepto los más desarrollados, la mayor parte de las aguas residuales se vierte directamente al medio ambiente sin un tratamiento adecuado, con repercusiones negativas en la salud humana, la productividad económica, la calidad de los recursos de agua dulce ambiental y los ecosistemas WWAP & UNESCO, (2017).

En otra instancia en el estudio efectuado por Tuholske et al, (2021) se encontró que las aguas residuales agregan alrededor de 6,2 millones de toneladas anuales de nitrógeno a las aguas costeras del mundo. El nitrógeno es uno de los peores contaminantes de los océanos del planeta, ya que causa proliferación tóxica de algas, eutrofización y zonas muertas. Asimismo, estos investigadores destacan que la contaminación por aguas residuales contribuye a la contaminación de nutrientes por nitrógeno, la degradación de la biodiversidad, el daño a los sistemas de agua dulce, la contaminación por nuevas entidades químicas y el cambio climático Tuholske et al, (2021).

Dirigiendo esta información, a América Latina y el Caribe, según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) en la región, alrededor del 20% de las aguas residuales, que provienen no solo de las viviendas, sino también de las actividades industriales y productivas, reciben algún tipo de tratamiento antes de ser vertidas en el ambiente, por lo general en ríos o lagos (BID, 2019). De allí pues, que afirma este organismo que la tarea de llevar saneamiento seguro para todos está rezagada, cerrar esta brecha es un compromiso para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) (BID, 2019). Según, Tuholske et al, (2021) el 63 % de la contaminación mundial por nitrógeno generada por aguas residuales proviene de los sistemas de alcantarillado; el 32 %, de la salida directa; y el 5 %, de los sistemas sépticos. Adicionalmente estos autores señalan que el problema es causado por la falta de acceso a un saneamiento adecuado, así como a sistemas de tratamiento que están obsoletos o no están diseñados para eliminar los nutrientes y otros contaminantes de los desechos Tuholske et al, (2021).

En el Ecuador, sobre el tema de las aguas residuales es considerada una problemática a la que se ha intervenido de forma poco eficaz debido a que existe ausencia de infraestructuras físicas suficientes para tratarlas, por esto se considera que el 90% de estas aguas se descargan en fuentes de agua dulce sin recibir tratamiento Montero et al, (2020) .

Visto lo anterior, las aguas residuales son una problemática de niveles globales por su impacto al medioambiente, por ello, el control y la optimización de las descargas de estas aguas son de suma importancia para reducir su huella dañina en la naturaleza, en este entendimiento, actualmente se proponen soluciones de tratamientos que permiten por un lado obtener la purificación de las aguas residuales, de modo que se pueden verter en mares o ríos sin afectación al ecosistema y por el otro, aprovechar la energía química almacenada en la materia orgánica contaminante en estos cuerpos hídricos. A tenor con esto, WWAP & UNESCO (2017) acentúan que las aguas residuales también pueden ser una fuente rentable y sostenible de energía, nutrientes y materia orgánica, entre otros subproductos útiles.

De la investigación científica y del desarrollo tecnológico sobre el tema, se tiene que para intentar aprovechar la energía química contenida en la materia orgánica de las aguas residuales, de acuerdo con Pistonesi et al, (2010) las posibilidades son múltiples: biogás, climatización con el calor constante del agua, o electricidad a partir de las bacterias de los residuos o mediante su uso en centrales hidroeléctricas.

Dadas las condiciones que anteceden, el objetivo general de este estudio contempla el análisis sobre los diferentes avances que existen hoy en día en términos del uso de aguas residuales industriales en

los procesos de obtención de energía e impulsar y promover el desarrollo e implantación de este tipo de tecnología en Guayaquil, Ecuador.

Desarrollo

Aguas Residuales

El agua residual, también llamada negra o fecal, es la que usada por el ser humano ha quedado contaminada. Lleva en suspensión una combinación de heces fecales y orina, de las aguas procedentes del lavado con detergentes del cuerpo humano, de su vestimenta y de la limpieza, de desperdicios de cocina y domésticos u otros Pistonesi et al, (2010). Las aguas residuales se componen, básicamente, de un 99% de agua y un 1% de sólidos disueltos, suspendidos o coloidales WWAP & UNESCO , (2017).

El vertido de aguas residuales sin tratar o con tratamiento inadecuado tendrá consecuencias que se clasifican en tres grupos, según tengan: i) efectos nocivos para la salud humana; ii) efectos ambientales negativos; iii) repercusiones desfavorables para las actividades económicas WWAP & UNESCO, (2017).

Algunas tecnologías para obtener energía eléctrica a partir de aguas residuales industriales

La tecnología en el devenir de los años ha evolucionado mucho, los equipos y sistemas de investigación, control, comunicación y transmisión de datos se han perfeccionado, han aumentado su eficiencia, se han reducido los costes y ha disminuido su complejidad de uso, lo que permite que puedan ser utilizados por un cada vez un mayor número de países e instituciones dedicadas al desarrollo del conocimiento para buscar soluciones a problemas que afectan al ser humano y al medioambiente como el que se ha venido mencionando sobre el vertido directo de las aguas residuales con ningún tipo tratamiento o en el mejor de los casos con un procedimiento ineficaz, lo que se traduce en efectos perniciosos a los ecosistemas planetarios.

En torno a ello, cabe precisar que vienen ejecutándose diversos procedimientos para mejorar la eficiencia del tratamiento de las aguas residuales y, como se menciona Santamaria, (2020) obtener a partir de ella energía limpia, libre de agentes contaminantes, económica y sostenible. En los apartados siguientes se revisan de manera sucinta los diferentes procesos que se utilizan para realizar las medidas de aprovechamiento del agua residual.

a.- Celdas Microbianas de Electrólisis

En el reporte de la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB), se hace mención de los hallazgos del grupo de investigadores del departamento de ingeniería Química, publicado en Water Research, quienes han obtenido energía eléctrica e hidrógeno de manera eficiente a partir del proceso de depuración de aguas residuales. El sistema, utiliza bacterias que consumen la materia orgánica y producen corriente eléctrica.

Las aguas residuales contienen una gran cantidad de energía química almacenada en la materia orgánica contaminante y para intentar aprovechar esta energía, se pueden usar las llamadas celdas microbianas de electrólisis, que consiste en la utilización de unas bacterias muy especiales, las bacterias exoelectrógenas, que son capaces de oxidar la materia orgánica y generar corriente eléctrica permitiendo producir hidrógeno (UAB, 2015). En estas celdas basta con añadir un poco de energía en forma de voltaje, mucha menos de la necesaria para hacer la electrólisis del agua, que se recupera con creces en forma de hidrógeno, consiguiendo generación neta de energía (UAB, 2015).

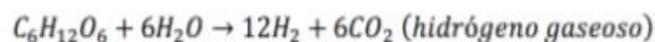
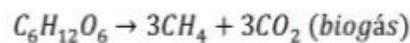
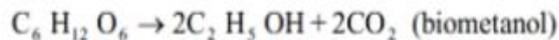
b.- Producción de Energía a Partir de Biogás

El biogás es una fuente de energía importante y abundante en las plantas de tratamiento de aguas residuales Ramírez et al, (2020). Sobre este aspecto, Barragán et al, (2019) acotan que actualmente se cuenta con diversos métodos tecnológicos para producir energía renovable, uno de ellos lo constituye la obtención de energía a partir de biogás de las aguas residuales. El procedimiento

utilizado se denomina “biogás de biodigestores” y consiste en estabilizar el lodo contenido en este recurso a través de métodos aeróbica o anaeróbica.

Se llama biogás a la mezcla constituida por metano (CH₄) en una proporción que oscila entre un 40% a un 70% y dióxido de carbono (CO₂) entre un 30% a un 6 0%, conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno (H₂), nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂) y sulfuro de hidrógeno (H₂S) Pistonesi et al, (2010).

En consideraciones de Pistonesi et al, (2010), a partir de la biomasa orgánica presente en residuos sólidos y líquidos se puede obtener una variedad de biocombustibles y subproductos, siendo la glucosa (C₆H₁₂O₆) la principal fuente de carbono. Entre las reacciones estequiométricas principales del metabolismo fermentativo microbiológico están:



c.- Celdas de Combustible Microbianas (MFCs)

Las celdas de combustible microbianas (MFCs, por sus siglas en inglés) requieren de microorganismos para convertir la energía química, presente en el agua como sustrato, en energía eléctrica, mediante la transferencia de electrones generados por su actividad metabólica oxidativa hacia el ánodo Sánchez et al, (2021). En un sistema de MFCs, la bioelectricidad se puede generar por organismos heterotróficos y fotosintéticos o combinados Ishii et al, (2013)

Este procedimiento es uno de los primeros en ser utilizados para obtener electricidad a partir de la depuración de las aguas residuales. El sistema se basa en someter la materia orgánica a un proceso de oxidación con microorganismos unidos al ánodo. Los electrones producidos durante el proceso de oxidación son trasladados al cátodo y usados en la generación de energía eléctrica Bosch et al, (2020).

d.- Energía a Partir de la Digestión Anaerobia

Este procedimiento se centra en descomponer la materia orgánica mediante la manipulación de un “ecosistema bacteriano” parcialmente complicado, no requiere de la presencia de oxígeno, lo cual facilita que la materia orgánica se transforme en metano y dióxido de carbono. En ese contexto, los tratamientos anaerobios contribuyen significativamente a depurar biológicamente el agua residual, puesto que no requiere oxígeno y adicionalmente produce biogás con un alto potencial energético, permitiendo crear a partir de ella fuentes sustentables de energía Mass & Medrano, (2013).

En la misma línea, Castro et al, (2016) señalan que el proceso de Digestión Anaeróbica (DA) se basa en la desintegración de la materia orgánica, pero sin la presencia de un proceso de oxidación, es decir, no requiere de aireación y se ejecuta a partir de las fases bioquímica de “hidrolisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis”. Cada una de estas fases se asocia a los requisitos metabólicos de una entidad microbiana, generadora de biogás (CH₄ y CO₂) y asimilado, lo cual garantiza la recuperación de energía en “forma de biogás” Santamaria, (2020).

Es una tecnología que ha venido calando en diversos sectores, especialmente en el industrial, quienes han implementado sistemas de tratamiento apoyados en reactores “Upflow Anaerobic Sludge Blanket” (UASB), en español conocidos como “Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente” (RAFA) y los “Expanded Granular Sludge Bed Digestion” (EGSB) de última generación Santamaria, (2020).

El tratamiento de aguas residuales a nivel industrial con este procedimiento va a depender de la constitución fisicoquímica del agua, del “tiempo de residencia hidráulico” pues esto garantiza la hidrólisis de los compuestos particulado y la determinación de requisitos operacionales del proceso

que sirvan de soporte a las fases de metanogénicas acetoclásticas, puesto que este conjunto nutre la catalización del biogás producido Santamaria, (2020).

Metodología

Esta indagación se enmarcó dentro del enfoque cuantitativo, bajo una investigación de nivel descriptivo, no experimental, tipo de campo y con elementos de una investigación documental bibliográfica. Es cuantitativa porque para obtener la información pertinente al estudio se hizo necesario realizar y analizar encuestas y comparar los datos obtenidos. Es no experimental, ya que la investigación se realizó, sin que el investigador manipule ninguna variable.

En tal sentido, Hernández et al, (2014) establece “la investigación no experimental es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Se observa el fenómeno tal y como se da en su contexto natural, para después analizarlo” (p.155) De acuerdo a las características del estudio, el tipo de investigación es de campo; por basarse en la recolección de datos, tomados directamente en sitio de estudio, conducentes a la obtención de información específica para llegar a las conclusiones pertinentes. Según Hernández et al, (2014) “un diseño de carácter descriptivo tiene como objetivo, indagar la incidencia y los valores en que se manifiesta una o más variables y proporciona su descripción” (p. 193).

En cuanto a la investigación documental; que ofrece insumos para obtener un panorama más amplio del objeto de estudio. En estimaciones de Tamayo & Tamayo, (2007) “la investigación documental es la que se realiza con base en revisión de documentos, manuales, revistas, periódicos, actas científicas, conclusiones y seminarios y /o cualquier tipo de publicación considerado como fuente de información” (p.130). Lo antes señalado, permitirá describir los elementos clave de la temática abordada.

Respecto a la población quedó conformada por ocho (08) personas que laboran en Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil (EMAPAG-EP), distribuidos de la siguiente manera: director ejecutivo (01), Gerente de proyectos (01) y 06 expertos consultores ambientales, quienes dieron su consentimiento informado para participar de este estudio. Sobre este particular, Palella & Martins, (2006) plantean “la población en una investigación es el conjunto de unidades de las que se desea obtener información y sobre las que se van a generar conclusiones” (p. 105). Por su parte, la muestra en la presente investigación se determinó mediante el muestreo no probabilístico intencional, definido por Hernández et al, (2014) como: “un subgrupo de la población en la que la elección de los elementos no depende de la probabilidad sino de las características de la investigación y se dirige a sujetos específicos seleccionados por las particularidades del estudio, información de que se dispone y disponibilidad de participación en el estudio” (p. 241). A este propósito, la muestra de la investigación quedó constituida por ocho (08) personas que ejercen sus quehaceres laborales en la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil (EMAPAG-EP) y, que estuvieron interesados en el suministro de información de la problemática sometida a indagación.

Con relación a las técnicas e instrumentos de recolección de datos, para la presente investigación fueron, la encuesta la cual se aplicó a través de un cuestionario de preguntas estructuradas. En lo concerniente a la encuesta Tamayo & Tamayo, (2007) “es aquella que permite dar respuestas a problemas en términos descriptivos como de relación de variables, tras la recogida sistemática de información según un diseño previamente establecido que asegure el rigor de la información obtenida” (p. 24).

Por su parte, el instrumento que se utilizó durante la aplicación de la técnica de la encuesta, fue el cuestionario. En palabras de Tamayo & Tamayo, (2007), “consiste en instrumento, herramienta o medio que recoge información” (p. 24). Con respecto, a las preguntas del cuestionario, éstas se plantearon siguiendo las instrucciones de una escala de Likert, en este sentido, Hernández et al,

(2014), señalan que escala consiste en un conjunto de ítems presentados en forma de afirmaciones o juicios ante los cuales se pide la reacción de los sujetos a los que se les administra (p. 256).

Adicionalmente, se empleó el análisis documental y análisis de contenido, debido a que forman parte integral de toda investigación, a objeto de facilitar el desarrollo y comprensión del tema. En opinión de Sierra Bravo, (2007) el análisis documental es una técnica de investigación para la descripción objetiva sistemática y cuantitativa del contenido de las publicaciones, con el fin de interpretarlas. Así, la información documental fue recogida de diferentes fuentes como revistas indexadas, trabajos de investigación, artículos, libros, otros. Al respecto Rojas, (2011) dice que constituyen las fuentes de información utilizadas en la investigación y se trata de personas, instituciones, documentos, cosas, bibliografías, publicaciones, estados del arte, estados del conocimiento, tesis, bases de datos, fuentes electrónicas situadas en la Web, etcétera.

Finalmente, los datos se procesaron bajo las técnicas que ofrecen las estadísticas descriptivas, los resultados se presentan en una tabla de frecuencias, de esta forma, la información recopilada y analizada permitió formular las conclusiones de rigor.

Análisis de los Resultados

Finalizado el proceso de recolección de información se procedió a realizar el correspondiente análisis, cuyos resultados se presentan a continuación.

Tabla 1. Distribución porcentual de los encuestados de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil (EMAPAG-EP), según información recibida sobre la interrogante ¿Considera Usted que la ciudad cuenta con la infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales?

| Alternativa | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|--------------------|-------------------|-----------------------|
| Siempre | 4 | 50% |
| Casi siempre | 2 | 25% |
| Algunas veces | 1 | 12.5% |
| Nunca | 1 | 12.5% |
| Total | 8 | 100 |

Fuente: Los autores (2022) datos aplicación de la encuesta

Interpretación y Análisis: Los resultados de la respuestas de la muestra de encuestados basados en la tabla 1 indican que la opción siempre fue la más representativos con el 50%; casi siempre con el 25%; algunas veces con el 12.5% y nunca con idéntico valor de 12,5%. Se evidencia que la mayoría de los participantes considera que la ciudad de Guayaquil cuenta con la infraestructura adecuada para el tratamiento de aguas residuales. En relación a esto en el reporte del Banco Mundial, (2019), se indica que Ecuador está haciendo importantes esfuerzos que incluye inversiones en infraestructura para asegurar el tratamiento adecuado de las aguas residuales generadas por casi 2 millones de habitantes en Guayaquil.

Tabla 2. Distribución porcentual de los encuestados de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil (EMAPAG-EP), según información recibida sobre la interrogante ¿Considera Usted que el tratamiento de aguas residuales industriales de la ciudad es adecuado en términos ambientales?

| Alternativa | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|---------------|------------|----------------|
| Siempre | 3 | 37.5% |
| Casi siempre | 2 | 25% |
| Algunas veces | 2 | 25% |
| Nunca | 1 | 12.5% |
| Total | 8 | 100 |

Fuente: Los autores (2022) datos aplicación de la encuesta

Interpretación y Análisis: la aplicación del instrumento indicó representado en la tabla 2 que 37.5% de los encuestados respondió siempre el tratamiento de aguas residuales industriales de la ciudad es adecuado en términos ambientales; 25% de las personas participantes señaló casi siempre; seguido de otro 25% que dijo algunas veces y 12,5% consideró la alternativa nunca. Conforme a esto, en el informe emitido por el Banco Mundial, (2019) se deja entrever que Guayaquil concentra la población más numerosa y la mayor actividad empresarial en todo Ecuador, por tanto, el tratamiento de aguas residuales generadas resulta fundamental para reducir los problemas de salud causados por la contaminación entre las personas más vulnerables, así como para mitigar los riesgos derivados del cambio climático.

Tabla 3. Distribución porcentual de los encuestados de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil (EMAPAG-EP), según información recibida sobre la interrogante ¿Considera Usted importante el uso de tecnologías y métodos innovadores para generar energía eléctrica a partir de aguas residuales industriales?

| Alternativa | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|---------------|------------|----------------|
| Siempre | 5 | 62.5% |
| Casi siempre | 2 | 25% |
| Algunas veces | 1 | 12.5% |
| Nunca | 0 | 0% |
| Total | 8 | 100 |

Fuente: Los autores (2022) datos aplicación de la encuesta

Interpretación y Análisis: En la tabla 3, se observa que es ampliamente marcada la tendencia que señala en un 62,5% que siempre es importante el uso de tecnologías y métodos innovadores para generar energía eléctrica a partir de aguas residuales industriales; por su parte 25% indicó casi siempre; 12,5% escogió la opción algunas veces y 0% nunca. En concordancia con ello, Martin Brault & Marmanillo, (2020) enfatizan que los proyectos de las plantas de tratamientos de aguas residuales Las Esclusas y Los Merinos, incorporaran instalaciones de cogeneración eléctrica que ayuden a minimizar los impactos contaminantes de estos vertido de agua en Guayaquil, al mismo tiempo que se aprovecha el potencial energético de la materia orgánica que podría cubrir entre el 35 % y el 40 % de las necesidades energéticas para operar las mencionadas plantas.

Tabla 4. Distribución porcentual de los encuestados de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Guayaquil (EMAPAG-EP), según información recibida sobre la interrogante ¿Cuál de estas tecnologías considera Usted está contribuyendo a obtener energía a partir de aguas residuales industriales?

| Alternativa | Frecuencia | Porcentaje (%) |
|--------------------------------------------|------------|----------------|
| Energía a Partir de Biogás | 7 | 87.5% |
| Celdas Microbianas de Electrólisis | 1 | 12,5% |
| Celdas de Combustible Microbianas (MFCs) | 0 | 0% |
| Energía a Partir de la Digestión Anaerobia | 0 | 0% |
| Total | 8 | 100 |

Fuente: Los autores (2022) datos aplicación de la encuesta

Interpretación y Análisis: la muestra indico según se observa en la tabla N. 4 que 87.5% de los encuestados considera la energía a partir de biogás como la de mayor contribución para obtener energía a partir de aguas residuales industriales; al menos un 12,5% indicó que las celdas microbianas de electrólisis, siendo que la opción relativa a las celdas de combustible microbianas (MFCs) obtuvo 0% y en idéntica proporción la opción energía a partir de la digestión anaerobia alcanzó 0%. Esto altamente indicativo de que la energía a partir de biogás es un medio de alcance y con potencial para aprovechar el potencial que trae consigo la materia orgánica de las aguas residuales de la ciudad de Guayaquil.

Debe destacarse, en relación con lo precedente que Martin Brault & Marmanillo, (2020) han señalado que en términos del uso de aguas residuales industriales en Guayaquil, en los procesos de obtención de energía se impulsará y promoverá el desarrollo del biogás.

Conclusiones

Las aguas residuales se han convertido en un verdadero problema para los ecosistemas terrestres globales y en consecuencia para todos los seres vivos que en ellos habitan, los datos cuantitativos ofrecidos en este documento dan una idea de la magnitud de estas dificultades.

En la búsqueda de soluciones viables y adecuadas a partir de las investigaciones científicas y con el apoyo de los avances tecnológicos, se han encontrado posibles soluciones para aprovechar el potencial energético contenido en forma de energía química contenida en la materia orgánica de las aguas residuales.

De este modo la generación de energía a partir de las aguas contaminadas puede llevarse a cabo mediante diversos procedimientos, tales como, las celdas microbianas de electrólisis; producción de energía a partir de biogás; celdas de combustible microbianas (MFCs) y energía a partir de la digestión anaerobia, entre otras.

Ecuador está haciendo considerables esfuerzos para minimizar el impacto de la contaminación medioambiental que traen consigo las aguas residuales industriales y en este sentido, concretamente en la ciudad de Guayaquil, ha impulsado proyectos de inversión en plantas de tratamiento, además de promover la generación de energía a partir de las aguas residuales, particularmente el biogás, mucho queda aún por hacer para disminuir paulatinamente y neutralizar las acciones desestabilizadoras que vienen ejecutándose sobre el equilibrio de la naturaleza.

Referencias Bibliográficas

- Banco Mundial. (2019). Gestión mejorada de aguas residuales y acceso equitativo a los servicios de saneamiento en Reseña de resultados. <https://www.bancomundial.org/es/results/2019/10/15/improved-wastewater-management-and-equitable-access-to-sanitation-services-in-guayaquil>.
- Barragán, E., Zalamea, E., Terrados, J., & Vanegas, P. (2019). Factores que influyen en la selección de energías renovables en la ciudad. *Eure*, 45(134). <https://doi.org/10.4067/S0250-71612019000100259>, pp.259–277.
- BID. (2019). ¿Cómo esta América Latina en Términos de Saneamiento? . *Banco Interamericano de Desarrollo (BID)*. <https://www.iadb.org/es/mejorandovidas/como-esta-america-latina-en-terminos-de-saneamiento>.
- Bosch, P., Molognoni, D., Corbella, C., & Borrás, E. (2020). Sistemas bioelectroquímicos para aumentar la sostenibilidad en procesos de tratamiento de aguas. *Automática e Instrumentación*, (156). <http://www.automaticaeinstrumentacion.com/es/notices/2020/02/sistemasbioelectroquimicos-para-aumentar-lasostenibilidad-en-procesos-de-tratamiento-deaguas46162.php#.Xtv0JTpKjIV>, pp.29–31.
- Castro, L., Escalante, H., Gómez, O., & Jiménez, D. (2016). Analysis of methanogenic and energetic potential from slaughterhouse wastewater using anaerobic digestion. *DYNA*; 83(199). <https://doi.org/10.15446/dyna.v83n199.56796>, pp.41- 49.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGraw- Hill.
- Ishii, S., Suzuki, S., Norden, T., Wu, A., Yamanaka, Y., Nealon, K., y otros. (2013). Identifying the microbial communities and operational conditions for optimized wastewater treatment in microbial fuel cells. *Water research*, 47(19). <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.07.048>, pp.7120-7130.
- Martin Brault, J., & Marmanillo, I. (2020). Tres soluciones para una mejor gestión de las aguas residuales en Guayaquil, Ecuador. *Banco Mundial*. <https://blogs.worldbank.org/es/latinamerica/tres-soluciones-para-una-mejor-gestion-de-las-aguas-residuales-en-guayaquil-ecuador>.
- Mass, K., & Medrano, Y. (2013). Tratamiento de Aguas Residuales a Partir de Digestión Anaerobia. *Tecnología al Día*, 49(24). <https://bibliotecadigital.usb.edu.co/server/api/core/bitstreams/830f7956-5ff2-4ff7-881d-dabb64a733ac/content>, pp.1–17.
- Montero, F., Molina, C., Pillco, B., Sarduy, L., & Diéguez, K. (2020). Evaluación del impacto ambiental de la construcción de una planta de tratamiento de aguas residuales. Caso río Pindo Chico, Puyo, Pastaza, Ecuador. *Ciencia, Ambiente y Clima*, 3(1). DOI.10.22206/cac.2020.v3i1.pp23-39. <https://revistas.intec.edu.do/index.php/cienacli/article/view/1803>, pp.23–39.
- Palella, S., & Martins, F. (2006). *Metodología de la investigación cuantitativa*. Caracas, Venezuela: FEDUPEL. 2ª edición.
- Pistonesi, C., Haure, J., & D'Elmar, R. (2010). Energía a partir de las aguas residuales. https://www.academia.edu/8640075/ENERG%C3%8DA_A_PARTIR_DE_LAS_AGUAS_RESIDUALES_CONTENIDO, pp.64.
- Ramírez, T., Medrano, O., & Escobedo, L. (2020). Generación de energía en plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). El caso de la PTAR zona noreste, Villahermosa, México. *ENERLAC Revista de Energía de Latinoamérica y el Caribe. Vol. 4 Núm. 1*. <https://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/128>.
- Rojas, R. (2011). Elementos para el diseño de técnicas de investigación: una propuesta de definiciones y procedimientos en la investigación científica. *Tiempo de Educar. Vol. 12. Núm. 24*, pp. 277-297.
- Sánchez, M., Fernández, L., & Espinoza, P. (2021). Generación de energía eléctrica y tratamiento de aguas residuales mediante celdas de combustible microbianas. *Revista Digital Novasinergia. Vol.4. No.1. Riobamba. Ecuador*. <https://doi.org/10.37135/ns.01.07.10>. http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2631-26542021000100164.
- Santamaria, A. (2020). Producción de Energía a Partir de Aguas Residuales Industriales . *Universidad de Alcalá/Universidad Rey Juan Carlos. Trabajo de Fin de Máster*. https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/44119/TFM_Santamaria_Garcia_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y, pp.56.
- Sierra Bravo, R. (2007). *Técnicas de investigación social: Teoría y ejercicios*. Madrid, España: International Thomson Editores y Paraninfo, S.A. 14ava edición.
- Tamayo, M., & Tamayo. (2007). *El proceso de investigación científica*. México: Editorial Limusa.
- Tuholske, C., Halpern, B., Blasco, G., Villasenor, J., Frazier, M., & Caylor, K. (2021). Mapping global inputs and impacts from of human sewage in coastal ecosystems. *PLoS ONE 16 (11): e0258898*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258898>. <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0258898>.
- UAB. (2015). Obtienen energía renovable a partir de aguas residuales. *Universitat Autònoma de Barcelona (UAB)*. <https://www.uab.cat/web/sala-de-prensa/detalle-noticia-1345667994339.html?noticiaid=1345681692138>.
- WWAP & UNESCO . (2017). Aguas residuales: El recurso desaprovechado. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas (WWAP)/Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), París, Francia*. https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A, pp.85.