

SITUACIÓN AMBIENTAL DE LOS RESIDUALES LÍQUIDOS EN LA UNIVERSIDAD DE MATANZAS

Ing. Dainerys Amaro Prieto¹, Dr. C. Elpidia Caridad Cruz Cabrera²

1, 2. Universidad de Matanzas, dainerys.amaro@umcc.cu

Resumen

La generación de aguas residuales es una consecuencia inevitable de las actividades humanas. En correspondencia con lo anterior se realiza una recopilación de información sobre esta situación en el mundo, así como los diferentes tratamientos a utilizar en función de las características de dichas aguas. Específicamente se investiga sobre el comportamiento de las aguas residuales en la Universidad de Matanzas Sede Camilo Cienfuegos. Se analizan las condiciones de la red de evacuación exterior y del sistema de tratamiento de los residuales líquidos que consiste en dos lagunas de oxidación. Se evidencia el estado de gravedad que presentan a causa del tiempo de utilización y a la falta de mantenimiento y atención del personal implicado.

Palabras claves: Aguas residuales; sistema de tratamiento.

El deterioro actual del medio ambiente, tanto en el ámbito global como local, es de tal magnitud que repercute en la disminución de la calidad de vida del hombre y amenaza el futuro del planeta, causando preocupación en todos los países, gobiernos, partidos políticos, instituciones, y otros. Habría que preguntarse si esa preocupación, que es real, no necesita de un verdadero cambio en las mentes de todos, basado en el respeto a todas las formas de vida, creando valores y acciones que contribuyan a la formación humana y social en pos de preservar la naturaleza.

América Latina no está excepta de esta situación ya que el acceso al agua potable, saneamiento y calidad es insuficiente e inadecuada, sumándole la limitada capacidad financiera de los organismos e instituciones de proveer este servicio. Un punto importante para los Objetivos de Desarrollo del Milenio está en la integración de las relaciones entre el agua, saneamiento e higiene (Luján Santana, 2016).

La generación de aguas residuales es una consecuencia inevitable de las actividades humanas. Estas actividades modifican las características de las aguas, las contaminan y evitan su posterior aplicación en otros usos (León Mier, 2015). A medida que crece la demanda global de agua, el volumen de aguas residuales que se generan y su nivel de contaminación se encuentran en constante aumento en todo el mundo.

Se estima que en el mundo más del 80 % de las aguas residuales (más del 95% en algunos países en desarrollo), las aguas residuales se vierten directamente al medio ambiente sin tratamiento alguno (UNESCO, 2017). Esto tiene repercusiones negativas en la salud humana, la productividad económica, la calidad de los recursos de agua dulce y los ecosistemas (PMERHNU, 2017).

La contaminación de los cuerpos naturales de agua es una de las causas antrópicas de mayor significación que se presenta en la actualidad, principalmente en los países en vías de desarrollo, debido a que los desechos domésticos e industriales se vierten a estos ecosistemas acuáticos sin tratamiento previo o pobremente tratados, por lo que constituyen una fuente constante de deterioro del medio ambiente (Montalván et al., 2014) ya que en su recorrido aguas abajo son utilizadas para consumo, para la agricultura y ganadería o en su defecto para distintos procesos industriales (Gil et al., 2012).

En la actualidad el desperdicio de agua es tal que, más de la mitad de esta sustancia se va por el drenaje o fugas que se tienen en las calles o en los sistemas de redes sanitarias (Calsina Ticona y Guerra Ramos, 2017).

Al constituir los residuales líquidos una de las vías de mayor riesgo de contaminación de los acuíferos, y al tenerse en cuenta los riesgos que presenta para la salud, se hace necesario el conocimiento del estado, transportación, tratamiento y disposición final de las aguas residuales, con vistas a impedir la transmisión de enfermedades que pudieran de manera inmediata o no, afectar al hombre y además conocer el grado de degradación del medio por la acción del vertimiento de las aguas residuales (Tans Pardo, 2016).

Los acuíferos tienen la capacidad de autodepuración, en mayor o menor medida según el tipo de roca y otras características. La mayoría de las cuentas hidrográficas de Cuba, constituyen cuerpos receptores de residuales crudos o parcialmente tratados. La carga contaminante que ingresa a las aguas terrestres compromete en muchos casos su capacidad de autodepuración, lo que constituye una amenaza a la salud humana (CITMA, 2016).

La conciencia pública sobre los problemas de contaminación del agua ha crecido considerablemente en las últimas décadas y ha aumentado también el número de regulaciones cada vez más rigurosas en cuanto a la descarga de aguas residuales (Cornelli et al., 2014).

Según Salgado et al. (2015), precisamente, entre las principales problemáticas planteadas en el siglo XXI, como parte del deterioro del medio ambiente, se encuentra la situación del agua. A pesar de que Cuba no presenta una situación crítica al compararla con otras regiones del mundo, no se encuentra exenta de los problemas asociados a este recurso. En el país la contaminación de las aguas ha sido identificada como uno de los principales problemas ambientales, ya que se vierten residuales sin tratar o con tratamientos deficientes, a los ecosistemas.

Específicamente en la provincia de Matanzas, se identifican como los factores que más contribuyen a la contaminación ambiental, el deterioro de las condiciones higiénico-sanitarias y la baja cobertura de población servida por el alcantarillado, el deficiente manejo de las aguas residuales generadas por la población y las actividades productivas. Esta situación está dada por el déficit y el insatisfactorio estado técnico de los sistemas de tratamiento de residuales existentes, la utilización de tecnologías obsoletas y no idóneas para garantizar los requerimientos de remoción de los contaminantes de interés, principalmente en ciudades como Matanzas y Cárdenas (CITMA, 2016).

El establecimiento de sistemas de tratamiento de aguas residuales puede variar en función del país y de la región, atendiendo a las características y nivel de desarrollo que presenten (PMERHNU, 2017). Tiene gran importancia ya que permite proteger la salud pública y reducir la contaminación del agua, y de esta manera también disminuir los impactos ambientales (Matsumoto y Sánchez Ortiz, 2016). Si las aguas residuales van a ser vertidas a un cuerpo receptor natural (mar, ríos, lagos), será necesario realizar un tratamiento para evitar enfermedades causadas por bacterias y virus en las personas que entran en contacto con esas aguas, y también para proteger la fauna y flora presentes en el cuerpo receptor natural (Lizarazo Becerra y Orjuela, 2013).

Antes de tratar cualquier agua servida se debe conocer su composición. La caracterización permite conocer qué compuestos químicos y biológicos están presentes y da la información necesaria para que los ingenieros expertos en tratamiento de aguas puedan diseñar una planta apropiada al agua servida que se produce. El reuso del agua tratada, riego de áreas verdes, riego de cultivos, uso industrial y de servicios, confirma que el tratamiento de las aguas residuales debe garantizar la inexistencia de efectos nocivos a la salud (UNEPGEC,

2014). Esto implica la evaluación de los diferentes tipos de tratamiento y el correcto aprovechamiento de los mismos en correlación con la normatividad vigente (Lizarazo y Orjuela Gutiérrez, 2013).

El tratamiento de aguas residuales tiene por objetivo lograr que los efluentes de los procesos domésticos e industriales sean dispuestos sin peligro para la salud humana y con la menor afectación posible para el ambiente (Barrantes Barrantes y Cartín Núñez, 2017).

Según (León Mier, 2015), y (Crombet et al., 2016), el tratamiento de aguas residuales domésticas se realiza al aplicar una combinación de procesos físico-químicos y biológicos, que persiguen eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes antes de su vertido, de forma que los niveles de contaminación que queden en los efluentes tratados, cumplan los límites legales existentes y puedan ser asimilados de forma natural por los cuerpos receptores.

Los procesos físicos-químicos son menos aconsejables desde el punto de vista económico que los métodos biológicos, por el aporte continuo de reactivos y el tiempo de operación que requieren (Crombet et al., 2016).

La capacidad y la eficiencia del sistema de tratamiento a aplicar esta en función de su diseño. La selección de un proceso de tratamiento está en base a un estudio individual de cada proyecto, de acuerdo a las eficiencias de remoción requeridas y el presupuesto destinado para las posibles soluciones técnicas (Valencia López, 2014).

Según (Calsina Ticona y Guerra Ramos, 2017), los tres criterios claves en la selección de sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas naturales, son la disponibilidad del terreno, características del terreno y las condiciones climáticas, estos marcan la diferencia entre las diferentes alternativas de tratamiento.

En base a su ubicación en el proceso de limpieza los tratamientos para aguas residuales se clasifican en cuatro grupos: pretratamientos, tratamientos primarios, tratamientos secundarios, y tratamientos terciarios o avanzados siendo estos últimos utilizados para fines más específicos (Valencia López, 2014).

Pretratamiento

Las aguas residuales antes de su tratamiento, propiamente dicho, se someten a un pretratamiento, que comprende una serie de operaciones físicas y mecánicas, que tienen por objetivo separar del agua residual la mayor cantidad posible de materias, que, por su naturaleza o tamaño, pueden dar lugar a problemas en las etapas posteriores de tratamiento (Chaux et al., 2009; León Mier, 2015) o que, en algunos casos, son incompatibles de ser tratados conjuntamente con los demás componentes del agua residual (Andreas Angelakis y Shane Snyder, 2015).

Tratamiento Primario

Es el tratamiento de aguas residuales mediante un proceso físico o físico-químico que incluya la precipitación o sedimentación de sólidos en suspensión u otros procesos que permitan la reducción de la DBO por lo menos en un 20 % antes del vertido y la reducción del total de sólidos en suspensión por lo menos en un 50 % (León Mier, 2015).

Su objetivo principal es la eliminación de sólidos en suspensión y consigue además una reducción de la materia biodegradable, dado que una parte de los sólidos que se eliminan están constituidos por materia orgánica. Los tratamientos más habituales son la decantación primaria y los tratamientos físico-químicos (León Mier, 2015; CENTA, 2016). Según Díaz Betancourt (1987), este tratamiento también permite preparar el residual para el tratamiento secundario y en el mismo se eliminan los sólidos suspendidos, para esto se emplean diferentes operaciones como: cribado, sedimentación y flotación; además se ajusta el pH mediante la neutralización.

Tratamiento Secundario

Constituye una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos -entre las que destacan las bacterias- para llevar a cabo la eliminación de componentes indeseables del agua, se aprovecha la actividad metabólica de los mismos sobre esos componentes (León Mier, 2015; Freire Espín, 2012; Cornelli et al., 2014, Martínez et al., 2013). La aplicación tradicional consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable, tanto soluble como coloidal, así como la eliminación de compuestos que contienen nutrientes (N y P) (Giler Delgado, 2018). Es uno de los tratamientos más habituales que se utilizan para las aguas residuales doméstica (Freire Espín, 2012; Rodríguez et al., 2016). En este tipo de tratamiento se logra una eficiencia de remoción de la DBO entre el 85 % y el 95 % (Valencia López, 2014).

Según Giler Delgado (2018), en el metabolismo bacteriano juega un papel fundamental el elemento aceptor de electrones en los procesos de oxidación de la materia orgánica. Atendiendo a cuál es dicho aceptor de electrones se distinguen dos casos:

Sistemas aerobios

La presencia de O_2 hace que este elemento sea el aceptor de electrones, por lo que se obtienen unos rendimientos energéticos elevados, provocando una importante generación de fangos, debido al alto crecimiento de las bacterias aerobias. Su aplicación a aguas residuales puede estar muy condicionada por la baja solubilidad del oxígeno en el agua. Según (Lorenzo y Obaya, 2006), en este tipo de sistema se encuentran por ejemplo los lodos activados, los filtros biológicos y algunos tipos de lagunas.

Sistemas anaerobios

En este caso el aceptor de electrones puede ser el CO₂ o parte de la propia materia orgánica, obteniéndose como producto de esta reducción el carbono en su estado más reducido, CH₄. Según Ramalho (2003), citado por Giler Delgado (2018), en este tipo de sistema no existe oxígeno, las bacterias son capaces de hidrolizar y fermentar la materia orgánica y la reducen a compuestos más simples. En este tipo de sistema se encuentran por ejemplo las lagunas anaeróbicas y los reactores anaeróbicos tipo UASB *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* por sus siglas en inglés (Lorenzo y Obaya, 2016).

Los tratamientos aerobios y anaerobios constituyen las dos grandes alternativas de depuración biológica de aguas residuales y residuos orgánicos fermentables. Sin embargo, el hecho de no necesitar aireación y la generación de biogás, que se puede utilizar en la misma planta con finalidades energéticas, hacen que la digestión anaerobia resulte mucho más favorable económicamente. Otro aspecto muy ventajoso es que la generación de lodos en exceso es mucho menor en el proceso anaerobio que en el aerobio, por lo que también se reducen los costes de tratamiento de los lodos (Nakasima et al., 2014; Gandarillas et al., 2017). Es una tecnología que se puede implementar en sistemas compactos que requieren menor área de terreno, que los sistemas de lagunajes (Crombet et al., 2016). Por todo esto, la digestión anaerobia es considerada el proceso más rentable, pero sobre todo por su limitado impacto ambiental (Nakasima et al., 2014).

Tratamiento Terciario

Los tratamientos terciarios, conocidos también como tratamientos avanzados, más rigurosos y complementarios, permiten obtener efluentes finales de mejor calidad para que puedan ser vertidos en zonas donde los requisitos son más exigentes o puedan ser reutilizados. La eliminación de materia particulada y coloidal puede lograrse mediante la paliación de tratamientos físicoquímicos (coagulación, floculación) y la posterior etapa de separación (decantación y filtración). Para la eliminación de nutrientes (Nitrógeno y Fósforo) se recurre cada vez más al empleo de procesos biológicos (León Mier, 2015).

Según Martínez et al., 2013, desde el punto de vista conceptual no aplica técnicas diferentes que los tratamientos primarios o secundarios, sino que utiliza técnicas de ambos tipos destinadas a pulir o afinar el vertido final, mejorando alguna de sus características, incluyendo diferentes procesos biológicos, químicos o físicoquímicos (Díaz Betancourt, 1987). Si se emplea intensivamente pueden lograr hacer el agua de nuevo apta para el abastecimiento de necesidades agrícolas, industriales, e incluso para potabilización (reciclaje de efluentes).

Según Díaz Betancourt (1987), los requisitos que deben cumplir todos los tratamientos de residuales son:

- Ser efectivos en la remoción de materia orgánica.

- Ser relativamente económicos en lo referente a los costos de inversión.
- Ser energéticamente aceptables.
- No deben aportar impurezas adicionales al agua tratada.

La selección de las tecnologías más adecuadas depende del tipo de componente, de la carga contaminante, del uso anticipado de las aguas residuales tratadas y de la asequibilidad económica (ONU-Agua, 2015).

En el caso de las universidades cubanas más del 65 % de los estudiantes son becarios y se presta especial atención a la gestión de las aguas residuales domésticas generadas en estas comunidades y residencias universitarias y actualmente se fomentan los estudios relacionados con el medioambiente, la gestión ambiental y el desarrollo sustentable (Crombet et al., 2016). La composición promedio de un agua residual universitaria es casi el doble de un agua residual urbana (Martínez et al., 2013).

Al considerar la responsabilidad social de la universidad, así como el triángulo de relaciones existentes entre la educación superior, la sociedad y el Estado, y además la importancia en un país como Cuba, sin grandes extensiones de recursos hídricos, de conservar los ecosistemas dulceacuícolas, se realiza una investigación sobre la red de evacuación de los residuales líquidos y el sistema de tratamiento que se utiliza en la Universidad de Matanzas Sede Camilo Cienfuegos que consiste en dos lagunas de oxidación. De la misma se obtiene como resultado lo siguiente:

La sede universitaria cuenta con una red de alcantarillado que fue construida en su mayoría en la década del 70 del siglo pasado y por causa de la falta de mantenimiento durante su explotación y deficiencias en el funcionamiento, actualmente se encuentra. Esto implica que los residuales no lleguen al sistema de tratamiento establecido para la evacuación de dichos residuales en el centro, por lo que se considera como una red exterior sanitaria destruida. Ante esta situación se presume que gran parte del residual líquido, o prácticamente todo el que se genera, se infiltra hacia el manto freático por medio de las cavidades rocosas que componen el subsuelo de la institución objeto de estudio.

Según documento elaborado por los especialistas de la Empresa Militar de Proyectos e Investigaciones (EMPI, 2014), las lagunas de oxidación se encuentran ubicadas en las coordenadas 356.6 N y 447.4 E, limita al Norte con la carretera Vía Blanca-Varadero, al Sur con la Sede Universitaria Camilo Cienfuegos, al Este el campo de tiro Buey Vaca y al Oeste con el reparto Reynold García.

Según acuerdos tomados entre la dirección de la Universidad y EMPI, a las lagunas de oxidación deben tributar los residuales pertenecientes a la Sede Universitaria y además los provenientes de la población de la comunidad militar de Gelpi, aledaña a dicho Centro. En

estos momentos dichas lagunas se encuentran totalmente secas, por lo que no llega el residual perteneciente de ninguno de los dos emisores de vertido.

Según (EMPI, 2014), hacia las lagunas deben tributar 570 viviendas con capacidad para 4 personas, para una población total de 2 280. Según información de esta propia fuente, las lagunas cuentan con una capacidad de depuración para 7 000 habitantes.

Por parte de la universidad hacia las lagunas debe tributar el residual líquido proveniente de todas las áreas, el cual se vierte sin tratamiento previo.

La no existencia o inadecuada funcionalidad de los tratamientos preliminares y primarios necesarios para los diferentes tipos de residuales que se generan de estas actividades, ha contribuido en gran medida a la situación actual en que se encuentra la red de evacuación de dichos residuales y por tanto que no lleguen a su destino final, o sea a las lagunas de oxidación.

En recorridos efectuados por la autora de este trabajo, por las diferentes áreas del centro, se verifica el funcionamiento de la red exterior y del sistema de lagunas y se puede concluir que:

En cuanto a la red de evacuación

1. En los planos de la red de evacuación aparecen registros que no se encuentran físicamente en el terreno.
2. La mayoría de los colectores se encuentran físicamente en buenas condiciones, tapados y en buen estado constructivo.



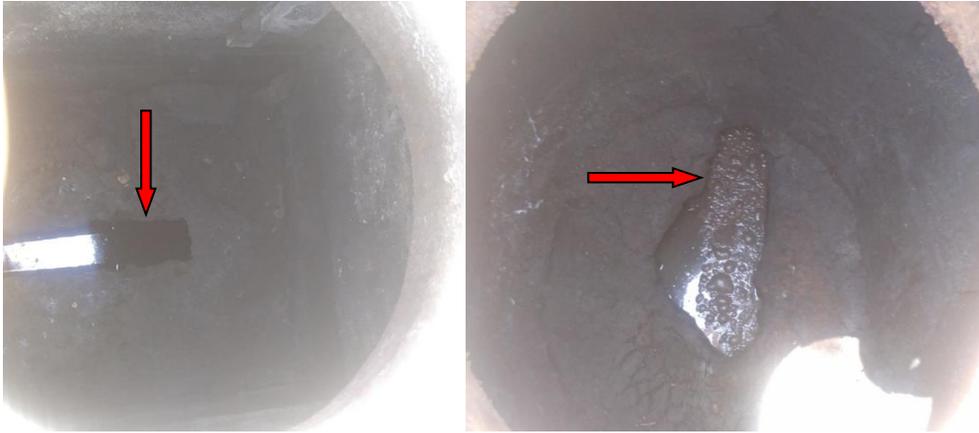
3. Existen tramos de tuberías en explotación con vertimiento de residuales al terreno, lo que ocasiona una gran acumulación de residuales sólidos y líquidos en forma de laguna, lo que propicia la presencia de vectores y de malos olores.



4. Registros y tapas de registros deterioradas que propician la acumulación de residuales sólidos y la ocurrencia de accidentes.



5. Hay registros en los que se aprecia que no existe flujo de agua, pero sí hay acumulación de residual y algunos en estado de fermentación.



6. Existen registros a los que no llega el agua residual



7. Acumulación de residuales líquidos y sólidos por tupición dentro de los registros, lo que impide el paso de los líquidos hacia el sistema de tratamiento.



En cuanto a las lagunas de oxidación

Además de detectados los problemas existentes, se realiza una comparación con los resultados obtenidos en investigaciones anteriores en el año 2014, donde se aprecia que existe similitud en los problemas detectados.

1. Falta de tratamiento primario (trampas de sólidos y grasas), presencia de grasas y petróleo lo que implica la obstrucción de la red y afectación el sistema de tratamiento.



2014



2019

2. Mal estado de conservación del depósito de entrada a las lagunas, con abundante vegetación en sus lechos.



2014



2019

3. El acceso a la segunda laguna está imposibilitado por la predominante vegetación



2014



2019

4. No se visualiza completamente el espejo de agua



2014



2019

5. Malas condiciones en los alrededores



6. El registro se encuentra destapado.



7. No existe ningún tipo de cerca perimetral. (Paso de personal)



El vertido de las aguas residuales sin tratamiento o con tratamiento insuficiente constituye una de las principales fuentes de contaminación ambiental existentes hoy en día. La recolección, conducción, tratamiento y adecuada disposición final de los residuales líquidos que se generan en los asentamientos humanos son acciones de vital importancia para garantizar el bienestar social. La red de evacuación de las aguas residuales junto con el sistema de tratamiento de las mismas (lagunas de oxidación), pertenecientes a la Universidad de Matanzas Sede Camilo Cienfuegos se encuentran en estado deficiente. Con los estudios realizados se demuestra que esta situación se presenta al menos desde el año 2014 en las mismas condiciones.

Referencias bibliográficas

ANDREAS ANGELAKIS, N.; SHANE SNYDER, A. Wastewater Treatment and Reuse: Past, Present, and Future. *Water*, 7, 2015, pp. 4887-4895.

BARRANTES BARRANTES, E. A.; CARTÍN NUÑEZ, M. Eficacia del tratamiento de aguas residuales de la Universidad de Costa Rica en la Sede de Occidente, San Ramón, Costa Rica. *Cuadernos de Investigación UNED*, no. 9 vol. 1, 2017, pp. 193-197.

CALSINA TICONA, M. R.; GUERRA RAMOS, C. E. Design of a tertiary treatment system of domestic residual water with intermediate technology, in unfamiliar houses of the city of Juliaca. *Revista Científica Andina - Science and Humanities*, no. 1 vol. 1, 2017, pp. 41-42, 50-53.

CENTRO DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS DEL AGUA (CENTA). Manual de depuración de las aguas residuales urbanas. Monográficos Aguas en Centroamérica, 2016.

CORNELLI, R.; GONÇALVES AMARAL, F.; FERREIRA DANILEVICZ, A. M.; BUARQUE DE MACEDO GUIMARÃES, L. Métodos de Tratamiento de Esgotos Domésticos: Uma Revisão Sistemática. *Revista de Estudos Ambientais*, no. 2 vol.16, 2014, pp. 20-36.

CROMBET GRILLET, S.; ABALOS RODRÍGUEZ, A.; RODRÍGUEZ PÉREZ, S.; PÉREZ POMPA, N. Evaluation of the anaerobic treatment of domestic wastewaters of a university campus, *Rev. Colombiana Biotecnológica*, no. 18 vol. 1, 2016, pp. 49-56.

CHAUX, G.; ROJAS, G.L; BOLAÑOS, L. Cleaner Production and Feasibility of Biological Treatment for Slaughterhouses Effluents in Small Towns Case: Municipality of Tambo (Colombia). *Facultad de Ciencias Agropecuarias*. no. 1 vol. 7, 2009, pp. 109-113.

DÍAZ BETANCOURT, R. *Tratamiento de aguas y aguas residuales*. La Habana: Editorial ISPJAE, 1987.

EMPRESA MILITAR DE PROYECTOS E INVESTIGACIONES (EMPI). Proyecto PID: Rehabilitación del Alcantarillado de la Universidad de Matanzas. Código: 077-02-03M-08, 2014.

FREIRE ESPÍN, P. A. *Análisis y evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales para la empresa Teimsa-Ambato*. Tesis de grado en opción al título de Ingeniero Mecánico. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2012.

GANDARILLAS, V.; SAAVEDRA, O.; ESCALERA, O.; MONTOYA, R. Experiences Review in Domestic Wastewater Treatment Through UASB Reactors in Cochabamba-Bolivia Compared to Latinamerica, India and Europe. *Revista Investigación y Desarrollo*, Cochabamba, no. 17 vol. 1, 2017.

GIL, M.; SOTO, A.; USMA, J.; GUTIÉRREZ, O. Contaminantes emergentes en agua, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*, Antioquia, Colombia, no. 2 vol. 7, 2012, pp. 52-63.

GILER DELGADO, M.G. *Plan de mejoramiento en el sistema de tratamiento de aguas residuales en la empresa Novacero S.A.* Tesis de grado en opción al título de Ingeniero Industrial. Universidad de Guayaquil, Ecuador, 2018.

LEÓN MIER, E. *Tratamiento de Aguas Residuales Urbanas*. Tesis de Maestría en opción al título de Máster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales, 2015.

LIZARAZO BECERRA, J. M.; ORJUELA GUTIÉRREZ, M. I. *Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia*. Monografía presentada como requisito parcial para optar al título de: Especialización en Administración en Salud Pública. Universidad Nacional de Colombia, 2013.

LORENZO, Y.; OBAYA, M.C. La digestión anaerobia y los reactores UASB. Generalidades. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, no. 1 vol. 40, 2006, pp. 13-21.

LUJÁN SANATA, N.B. *Propuesta de Programa Integral de Gestión de los Recursos Hídricos*. Tesis en opción al grado académico de Máster en Gestión y Control Ambiental. Universidad de Matanzas, Cuba, 2016.

MARTÍNEZ, J. D.; RIVERA, J. N.; HOUBRON, E.; CALVARIN, A. C.; CARRERA, O. M.; GARCÍA, E. J.; SORIANO, R.; TEPOLE, M. *Caracterización de aguas residuales universitarias y determinación de la eficiencia de tratamiento de las PTAR de la UV existentes de la región Cordoba-Orizaba*. Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas. Orizaba, Veracruz, 2013.

MATSUMOTO, T.; SÁNCHEZ ORTIZ, I.A. Performance of the Sewage Treatment Plant of Sao Joao de Iracema, Brazil. *Revista Ingeniería*, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, no. 2 vol. 21, 2016, pp. 177.

MINISTERIO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE (CITMA). *Estrategia Ambiental Provincial-Matanzas: 2016-2020*.

MONTALVÁN ESTRADA, A.; AGUILERA CORRALES, Y.; VEITIA RODRÍGUEZ, E.; BRÍGIDO FLORES, O. System of indicators for the integrated management of industrial wastewaters. *Revista Avanzada Científica*, no. 17 vol. 3, 2014, pp. 1-3.

NAKASIMA, M.; VELÁZQUEZ, N.; OJEDA, S.; SANTILLÁN, N.; URIBE1, L.; PANDO, G.; RUELAS, A. Diseño de un digestor anaeróbico de flujo ascendente y estudio de adaptación a la variabilidad de los residuos sólidos orgánicos. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, no. 3 vol. 1, 2014, pp. 42- 50.

ONU-Agua. Wastewater Management: A UN-Water Analytical Brief. ONU-Agua, 2015.

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA. (UNESCO). Cuarto Informe sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, Londres, 2012.

ROJAS, R. Conferencia Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales, Curso Internacional: Gestión Integral de Tratamiento de Aguas Residuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, 2002.

PROGRAMA MUNDIAL DE EVALUACIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS DE LAS NACIONES UNIDAS (PMERHNU). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas Residuales: El Recurso Desaprovechado, París, 2017.

TANS PARDO, M. L. *Propuesta de un sistema de tratamiento para los residuales líquidos que generan los centros de sacrificio de ganado*. Tesis en opción al título académico de Máster en Gestión y Control Ambiental. Universidad de Matanzas, Cuba, 2016.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME AND GLOBAL ENVIRONMENT CENTRE FOUNDATION. (UNEPGEC). Water and Wastewater Reuse: An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management. Osaka, Japan: UNEPGEC, 2014.

VALENCIA LÓPEZ, A. E. *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la Cabecera Parroquial de San Luis-Provincia de Chimborazo*. Tesis en obtención al título de Ingeniería Ambiental. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador, 2014.