

Estado de las plantas de tratamiento de aguas residuales y calidad del agua en El Salvador

Baires, Abigail¹; Sevillano, Fernando¹ y Velásquez, José¹. Osegueda, Óscar².

Departamento de Ingeniería de Procesos y Ciencias Ambientales. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas¹.

Universidad Don Bosco².

El Salvador.

Abstract – El objetivo de este estudio es describir cualitativamente el estado actual de las tecnologías aplicadas al tratamiento de aguas residuales especiales de los rubros del sector manufacturero del país. Para ello se definen dichos sectores mediante la aplicación de la metodología del Proceso Analítico Jerárquico (AHP). Se descubrió que los rubros industriales más críticos para El Salvador en materia de aguas residuales son (en orden de importancia) la Industria Láctea, Industria de Papel y Cartón, la Industria Textil y, finalmente, la Industria de Bebidas. Se elaboró un instrumento el cual, luego de visitas técnicas a las empresas de los rubros anteriores, permitió describir cualitativamente sus tecnologías de tratamiento de aguas residuales. Los resultados muestran que la mayoría de las empresas visitadas siguen los lineamientos de las buenas prácticas de diseño en pre tratamiento, tratamiento primario y secundario, lo cual se ve reflejado en sus eficiencias globales de remoción de DBO y DQO (de hasta 96% y 98%, respectivamente).

Palabras claves – Agua residual, calidad del agua, planta de tratamiento, proceso analítico jerárquico, rubro industrial.

I. INTRODUCCIÓN

El Salvador es un país que se encuentra en una situación moderada de estrés hídrico. A eso hay que sumarle que las investigaciones señalan que únicamente el 12% de los ríos del país tienen una calidad de agua catalogada como “buena” y que el 74% de los mismos no cumplen los estándares ni siquiera como agua de riego debido a las altas cantidades de coliformes fecales, sólidos disueltos y otras sustancias nocivas [1]. Ningún río de El Salvador posee una calidad de agua excelente; el 59% posee calidad regular y el 9% una mala calidad. Pese a que hay 89 plantas de tratamiento de aguas administradas por la Administración Nacional de Acueductos y Alcantarillados (ANDA) no existe un inventario oficial de plantas de tratamiento de aguas residuales especiales y, mucho menos, si su funcionamiento y tecnologías son las adecuadas para sus procesos, aportando correctamente a la eliminación de la contaminación actual de los cuerpos de agua.

Luego de la creación de diversos organismos nacionales entre 1981 y 1997 destinados a la conservación y desarrollo de recursos silvestres y la protección de recursos naturales [2], en mayo de 1997 nace el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN) [3]. Luego de este suceso, en 1998 se presenta la Ley del Medio Ambiente la cual tendría como objetivo proteger, conservar y recuperar el medio ambiente, velar por el uso sostenible de los recursos naturales que permitan mejorar la calidad de vida de las

presentes y futuras generaciones; así como también, normar la gestión ambiental, política y privada como obligación básica del Estado, los municipios y los habitantes en general [4].

Dicha ley establece en el artículo 49 que será responsabilidad del MARN supervisar la calidad del agua y crear un reglamento para así asegurar que la calidad del agua se mantenga dentro de los niveles establecidos en las normas técnicas de calidad ambiental así como garantizar que todos los vertidos de sustancias contaminantes sean tratados previamente por parte de quien los ocasionare [5].

Actualmente se han presentado varios anteproyectos de ley a la Asamblea Legislativa, denominados como “Ley General de Aguas”. Sin embargo, esto sigue pendiente de discusión y aprobación.

Pese a que no se ha aprobado ningún anteproyecto, existen varios reglamentos y normas especiales para aguas residuales como:

- Aguas Residuales. Decreto Ejecutivo No. 39
- Normas Técnicas de Calidad Ambiental. Decreto Ejecutivo No. 40.
- Norma Salvadoreña Obligatoria de Aguas Residuales Descargadas a un Cuerpo Receptor. Acuerdo No. 249.

Dichos reglamentos tienen como objeto el velar que las aguas residuales no alteren la calidad de los medios receptores, para contribuir a la recuperación, protección y aprovechamiento sostenibles del recurso hídrico respecto de los efectos de la contaminación. De esta manera, este reglamento establece que cualquier actividad que genere vertidos hacia un cuerpo receptor deberá tener un sistema de tratamiento para que las aguas residuales cumplan con las disposiciones establecidas en la Ley del Medio Ambiente. Para las aguas residuales del tipo industrial, se mencionan a continuación los tipos de análisis que se tendrán que realizar [6]:

- Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)
- Demanda Química de Oxígeno (DQO)
- Potencial de hidrógeno (pH)
- Grasas y aceites (G y A)
- Sólidos sedimentables (Ssed)
- Sólidos suspendidos totales (SST)
- Temperatura (T)

De esta manera, son requeridos los sistemas de tratamiento de agua residual en cada empresa que genere vertidos hacia un cuerpo receptor o hacia el alcantarillado. Dichas plantas tienen como

objetivo disponer de los efluentes industriales de tal manera que no representen ningún tipo de peligro a la salud y bienestar humano, así como también mitigar en la medida de lo posible los daños que pueda ocasionar al medio ambiente [7].

Las aguas industriales sin tratamiento suelen tener niveles elevados de DBO y DQO, así como sólidos totales, disueltos y suspendidos. Dependiendo de la actividad (como, por ejemplo, en la industria de papel y textil), el agua puede venir acompañada de un alto número de unidades de color. Los sólidos y el color hacen que el efluente adquiera distintas características organolépticas anormales al cuerpo de agua receptor. Por otro lado, niveles altos de DBO y DQO harán que el cuerpo de agua receptor escasee de oxígeno, llevando en un futuro a una pérdida de la vida animal y vegetal que pueda poseer y, en últimas instancias, a la destrucción del ecosistema.

Para ello, las plantas de tratamiento de aguas residuales son diseñadas con el objetivo de remover la mayor cantidad posible de materia orgánica (en sus formas de DBO, DQO, sólidos totales, sedimentables y suspendidos) así como corregir los parámetros de pH y temperatura. De esta manera, se diseñan en diversas etapas, las cuales se mencionan a continuación:

Pretratamiento: el agua industrial carga de sólidos gruesos pasa por equipos como barras o cribas que se encargan de remover sólidos de gran tamaño como ramas, piedras o plásticos. También existen trituradoras que rompen o desgarran los sólidos en suspensión, para posteriormente eliminarlos por sedimentación [7].

Tratamientos primarios: en esta etapa lo más usual es encontrar tanques de sedimentación [8], los cuales pueden remover entre el 25% al 50% de la DBO y entre el 50% al 70% de los sólidos suspendidos totales. También existen tanques de flotación por aire disuelto (DAF, por sus siglas en inglés) asistidos mediante procesos de coagulación/floculación con polímeros.

Tratamientos secundarios: en esta etapa se remueve la materia biodegradable, coloides y sólidos suspendidos mediante la aplicación de procesos biológicos los cuales pueden ser aeróbicos (como el uso de lodos activados, lagunas aireadas, filtros percoladores o lagunas de oxidación) o anaeróbicos. Así, la compleja materia orgánica es degradada por microorganismos generando productos finales de naturaleza inorgánica como agua, dióxido de carbono y amoníaco [9].

Tratamientos terciarios o avanzados: son sumamente especializados y se introducen al proceso cuando ciertos elementos no se pueden remover mediante los tratamientos secundarios como algunos sólidos suspendidos, iones inorgánicos, fósforo, nitrógeno y remoción de bacterias patógenas mediante cloración, ozonificación o aplicación de luz UV [9].

En las siguientes partes del artículo se expondrá la metodología utilizada para el estudio, sus resultados y conclusiones.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

Debido al gran número de rubros de la industria manufacturera en El Salvador, se escogieron los cuatro más críticos en materia de vertidos de aguas residuales. Para ello se utilizó el método propuesto por el Proceso Analítico Jerárquico el cual es una

herramienta diseñada para la toma de decisiones complejas basada en el análisis de múltiples criterios. Se evalúan aspectos tanto cualitativos como cuantitativos, organizando los componentes del problema en una estructura jerárquica similar a un árbol genealógico. Se establecen criterios para la toma de decisión y cada par de criterio es comparado, asignándose una importancia relativa entre criterios. Finalmente, se comprueba la veracidad de los resultados, buscando erradicar cualquier sesgo en la toma de decisión, mediante el cálculo de la razón de consistencia, el cual debe ser menor a 0.10 para validar los resultados [10].

El objetivo de la aplicación del método es clasificar en orden de prioridad a los distintos sectores manufactureros en cuanto a importancia en materia de aguas residuales. Los criterios utilizados para la toma de decisión fueron:

Aporte del sector industrial en el producto interno bruto salvadoreño: para ello se utilizaron valores históricos dados por el Banco Central de Reserva de El Salvador, utilizando el PIB desde 2010 hasta 2016. Se utilizó este criterio ya que se puede suponer que la aportación de cada sector al PIB es una medida indirecta de conocer su estabilidad financiera y que, a mayores aportes realice el sector en ese ámbito implicará mayores niveles de producción y, por tanto, un auge en el volumen de efluentes de aguas residuales.

Volumen de exportación anual del sector industrial en el mercado salvadoreño: se contó con la información brindada por la Asociación Salvadoreña de Industriales, mostrando los millones de kilogramos de producto exportado por sector entre los años 2010 a 2016. Este criterio es importante pues los valores de exportaciones anuales se pueden relacionar proporcionalmente con los niveles de producción (y por ende, con el volumen de producción de aguas residuales).

Tasa anual de crecimiento del sector industrial en la economía salvadoreña: se vuelve a recurrir a la información brindada por el Banco Central de Reserva de El Salvador donde se muestra la tasa efectiva de crecimiento anual por sector industrial desde 2010 hasta 2016. Este criterio permite realizar proyecciones de cómo se comportará el sector industrial. De esa manera, se supone que aquellos sectores que muestren una mayor tasa de crecimiento son más proclives a aumentar su producción en un futuro y por ende, sus efluentes de aguas residuales.

Volumen de agua residual por unidad de producto producido en el sector industrial: mediante relaciones propuestas en la literatura [9] es posible determinar una relación del tipo “volumen de agua residual descargada por unidad de producto producido”.

Intensidad del impacto ambiental de los vertidos del sector industrial: ya que no todas las aguas residuales tienen las mismas características se analizan cuatro criterios, de igual peso como DBO, DQO, DQO/DBO y los sólidos totales en el agua.

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Luego de aplicar el método con los criterios anteriormente señalados, en la Tabla 1 se presenta la importancia relativa por criterio:

Tabla 1
IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Criterio	Importancia relativa
Aporte al PIB salvadoreño	6.14%
Aporte en volumen anual de exportaciones	14.57%
Tasa de crecimiento anual	10.99%
Volumen de agua residual por unidad de producto final	16.93%
Intensidad de impacto ambiental de los vertidos	51.93%

Asimismo, luego de calificar cada uno de los rubros industriales, en la Tabla 2 se presenta el resumen de los resultados de la aplicación del método:

Tabla 2
RESUMEN DE LOS RESULTADOS FINALES

Ranking	Industria	Porcentaje
1	Lácteos	23.98%
2	Papel y Cartón	21.11%
3	Textiles	18.72%
4	Bebidas	18.36%
5	Química de Base	17.82%

De esta manera, al atender al objetivo inicial de la aplicación del método “clasificar en orden de prioridad a los distintos sectores manufactureros en cuanto a importancia en materia de aguas residuales”, se tiene que el rubro industrial más prioritario es el Lácteo, seguido de Papel y Cartón, Textiles, Bebidas y Química de Base.

Luego de la aplicación del método AHP, se elaboró un instrumento de descripción cualitativa y cuantitativa de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. La necesidad de elaboración de este documento radica en que no hay información que permita estandarizar metodologías de diseño y operación por rubro industrial, que permita responder a cuestiones técnicas en el manejo y uso de lodos y del agua tratada.

De esta manera, dicho instrumento describe el proceso seguido por la planta de tratamiento, tecnologías utilizadas en el pre tratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento avanzado, forma de operación (eventualmente, por lotes o continuo), cuerpo receptor, parámetros a la entrada y salida de la planta (DBO5, DQO, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, pH, temperatura), conocimiento sobre reglamentos vigentes en cuanto a la calidad de las aguas residuales, información de inversiones monetarias en las tecnologías de la planta, planes reutilización del agua tratada y/o de los lodos generados, entre otros.

Dicho instrumento fue aplicado a ocho empresas del país (cuatro del sector textil, dos del sector de bebidas y dos del sector de papel y cartón). Las empresas del sector lácteo no se describen en el estudio debido a que, pese a los intentos realizados, las empresas de la industria láctea no respondieron a las solicitudes de visitas.

Por motivos de confidencialidad, se utilizaron nombres genéricos para hacer referencia a cada empresa, los cuales se muestran en la Tabla 3:

Tabla 3
EMPRESAS VISITADAS POR RUBRO

Nombre de la empresa	Rubro industrial	Ubicación (municipio, departamento)
Empresa A	Textil	San Juan Opico, La Libertad
Empresa B	Textil	Ilopango, San Salvador
Empresa C	Textil	San Juan Opico, La Libertad
Empresa D	Textil	Apopa, San Salvador
Empresa E	Bebidas	Colón, La Libertad
Empresa F	Bebidas	San Salvador, San Salvador
Empresa G	Papel y cartón	San Juan Opico, La Libertad
Empresa H	Papel y cartón	San Juan Opico, La Libertad

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presenta la discusión de los resultados obtenidos de la aplicación del instrumento en cada una de las empresas visitadas por rubro industrial.

- Rubro textil

Uno de los primeros pasos es mezclar e igualar las corrientes de agua residuales descargadas al sistema de tratamiento. Puede utilizarse un cribado previo antes de la igualación o una trampa de aceite y/o sólidos. El proceso de homogenización forma un efluente con características uniformes en cuanto a carga, pH y temperatura. Tanto en la Empresa A, Empresa B como en la Empresa D hay tanques de homogenización, encargados de esta tarea. En los tres ejemplos se iguala la carga de contaminante y/o pH, como se observó en las tres visitas [11].

Luego de la homogenización, se procede a realizar una clarificación auxiliada por coagulantes y/o floculantes. Se observó dicho proceso en la Empresa A, posterior al reactor biológico, en el clarificador. En la Empresa B se encuentra estudiando la implementación de esa técnica para disminuir el color del efluente. En la Empresa D se realiza la clarificación posterior al reactor biológico.

Asimismo, a parte del tanque de homogenización de carga y pH y del tanque de clarificación en el proceso primario, se propone un tanque de aireación, para llevar a cabo un proceso aeróbico y reducir la carga de DBO y DQO [12]. Otras fuentes mencionan el uso de filtros percoladores para el tratamiento biológico. Se observó el uso de sistemas de lodos activados en el esquema de operación aeróbico tanto en la Empresa A, como en la Empresa B y Empresa D. En las tres empresas se valen de sopladores para el aseguramiento de las condiciones aeróbicas, mediante la difusión forzada de aire en las aguas residuales.

También se propone un clarificador secundario, posterior al reactor biológico [12]. Dicho equipo estuvo presente en la Empresa A, Empresa B (utilizando un clarificador de tipo lamelar) y en Empresa D. Finalmente, propone una desinfección a través de cloración (hipoclorito de sodio) para controlar los parámetros microbiológicos. Otros autores mencionan una desinfección utilizando ozono (el cual, al poseer características oxidantes,

también puede ayudar a remover carga orgánica). Tanto en la Empresa A, Empresa B y en Empresa D, se observó una desinfección por medio de cloración. Inclusive, en la Empresa D hubo una desinfección mediante el uso de ozono [13].

Las eficiencias globales de DBO y DQO son, respectivamente, 78.60% y 90.33% para la Empresa A; 6.29% y 32.00% para la Empresa B; 92.60% y 84.90% para la Empresa C; 87.32% y 86.84% para la Empresa D.

- Rubro de bebidas

Debido a la contaminación por materia orgánica y sólidos suspendidos, se recomienda la eliminación de componentes físicos a través de cribas inclinadas para atrapar los sólidos. Asimismo, propone el uso de trampas de grasa y aceites, para luego alimentar el efluente a un tratamiento biológico aeróbico (introduciendo aire u oxígeno puro al tanque o agitando mecánicamente la superficie para transferir oxígeno). Finalmente hace alusión a un sistema de filtración con arena y cloración [14].

En la Empresa E se observaron las descripciones en la literatura [14], ya que, en efecto, como pre tratamiento se tiene un doble cribado (de sólidos gruesos y pequeños), seguido de una trampa de grasas. Posteriormente se bombea el efluente a un tanque de igualación para luego alimentar al tanque aeróbico, bajo el esquema de lodos activados. Dicho tanque, como lo recomienda Abdel-Fatah, utiliza sopladores para mantener el régimen aeróbico.

Además, el efluente que sale del reactor aeróbico pasa a un sedimentador, para aumentar la remoción de materia oxidada. Si bien no se utiliza al final un filtro de arena, se utiliza la tecnología de microfiltración, con una cloración para desinfectar al final.

En la Empresa F se observaron las descripciones hechas por en la literatura [14], debido al uso inicial del cribado rotatorio que elimina sólidos de tamaño mayor a 1 mm. Asimismo, se observó la aplicación del tanque de homogenización de temperatura y pH, principalmente.

Se realiza una etapa aeróbica bajo el proceso de lodos activados (utilizando sopladores para mantener el esquema aeróbico); sin embargo, al tratarse de una empresa fabricante de bebida fermentada, le precede un proceso anaeróbico, para potenciar la eliminación de contaminantes (DQO y DBO, principalmente) a través de una etapa de acetogénesis y metanogénesis.

Para aumentar la purificación, hay una sedimentación luego del proceso aeróbico y una biofiltración utilizando grava de distinto tamaño como medio filtrante (en vez de arena o un filtro multimedia, como lo propone el autor [14]).

Las eficiencias globales de DBO y DQO son, respectivamente, 98.54% y 98.91% para la Empresa E; 96.80% y 96.53% para la Empresa F.

- Rubro de papel y cartón

Los procesos unitarios comunes como clarificación con tanques de sedimentación y/o floculación son recomendados para los tratamientos primarios; asimismo, uso de lodos activados para el tratamiento biológico [15].

Otros autores proponen iniciar con un cribado a través de rejillas de diferentes tamaños. Posteriormente, el efluente se lleva a una etapa de coagulación – floculación o flotación para lograr la clarificación del agua y separar los lodos. Recomienda también el uso de un tanque de igualación antes de entrar al proceso biológico (dentro de los cuales destacan los lodos activados, filtros percoladores y lagunas de oxidación) [16].

Otras fuentes sugieren para el tratamiento biológico una combinación de procesos aeróbicos y anaeróbicos [17]. En los primeros menciona el uso de lodos activados o filtros percoladores para reducir la DQO (impulsados por sopladores). Para la etapa anaeróbica sugiere el esquema de flujo ascendente [15] donde se aprovecha la generación de biogás como subproducto.

En la Empresa G si bien no había un proceso de cribado, sí había una eliminación de sólidos mediante un filtro de aspas rotatorias. Así como sugieren distintos autores, se utiliza un reactor aeróbico trabajando mediante lodos activados [15], [16], [17]. El régimen aeróbico es posible gracias al uso de los tres sopladores que el equipo utiliza. Tal como sugiere la literatura, antes del reactor biológico hay un tanque de igualación y un tanque DAF, donde se elimina la materia orgánica por flotación [16].

Por otra parte, en la Empresa H se observó un cribado para remover sólidos mayores a 10 mm y un screening para separar los sólidos mediante las rejillas [16]. Dicho autor también recomienda el uso de un sistema de coagulación – floculación, el cual se lleva a cabo en dos etapas (en el tanque DAF y en el KWI) para remover sólidos por flotación con burbujas. También es sugerida una mezcla de procesos aeróbicos y anaeróbicos para el tratamiento secundario. Sin embargo, solo se observó una parte aeróbica, la cual funcionaba bajo el esquema de lodos activados [17].

Las eficiencias globales de DBO y DQO son, respectivamente, 96.70% y 96.50% para la Empresa G; 95.15% y 94.91% para la Empresa H.

IV. CONCLUSIONES

1. Mediante la aplicación del proceso analítico jerárquico se determinó que los rubros más importantes en materia de aguas residuales del sector manufacturero del país (en orden de importancia) son la industria láctea, la industria de papel y cartón, industria textil y, finalmente, la industria de bebidas. Dicha selección se realizó tomando en cuenta criterios económicos como aporte de cada rubro al PIB salvadoreño, volumen anual de exportaciones y tasa de crecimiento anual; asimismo, se utilizaron criterios ambientales como el volumen de agua residual generado por unidad de producto final y la intensidad del impacto ambiental de los vertidos (en términos de DBO, DQO, DQO/DBO y sólidos totales).
2. La Norma Salvadoreña Obligatoria provee los parámetros que deben cumplir las aguas residuales de las industrias. En el sector textil el 75% de las empresas visitadas cumplen los parámetros; en los sectores de bebidas, papel y cartón, el 100% de las empresas visitadas tienen los parámetros en control.

3. En la mayoría de las empresas visitadas se observaron las tecnologías propuestas por las prácticas de diseño en todas las etapas de tratamiento, lo cual es congruente con las eficiencias de remoción de DBO y DQO por rubro (de hasta 92% y 90% para el rubro textil; 98% y 98% para el rubro bebidas; 96% y 96% para el rubro papel y cartón, respectivamente).
4. El instrumento elaborado es capaz de registrar la información necesaria para identificar los tipos de tratamientos, parámetros de entrada y salida, eficiencias y otros aspectos, permitiendo describir el estado tecnológico actual de las empresas visitadas.

REFERENCIAS

- [1] Global Water Partnership. (2017) La situación de los recursos hídricos en Centroamérica: Hacia una gestión integrada. [En línea]. Available: https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/situacion-de-los-recursos-hidricos_fin.pdf.
- [2] Imprenta Nacional de El Salvador. (1994) Diario Oficial. [En línea]. Available: http://www.diariooficial.gob.sv/diarios/do-1994/08-agosto/agosto-1994_Parte18.pdf.
- [3] Imprenta Nacional de El Salvador. (1994) Diario Oficial. [En línea]. Available: http://www.diariooficial.gob.sv/diarios/do-1994/06-junio/junio-1994_Parte45.pdf.
- [4] Imprenta Nacional de El Salvador. (1998) Diario Oficial. [En línea]. Available: <http://www.diariooficial.gob.sv/diarios/do-1998/05-mayo/04-05-1998.pdf>.
- [5] MARN. (1998) Ley del Medio Ambiente. [En línea]. Available: <http://www.marn.gob.sv/descarga/ley-del-medio-ambiente-2/?wpdmdl=14734&ind=zcvn2KuNM89G381InOo2nYSFpN8DaGVyt7QuBE5go582IUFEvC--OE76gUAsYYNL>.
- [6] MARN. (2001) Reglamento Especial de Aguas Residuales. [En línea]. Available: http://www.marn.gob.sv/descarga/reglamento-especial-aguas-residuales/?wpdmdl=23915&ind=jYd-2-DhEVVjgNc_f7o_I4lfqJrxj-cv2BW7gJSsIfrAkGAQ6sVg1NEsQq7hNO22vpgYRuHus_Qfp0lJveoQqA.
- [7] FAO. (2015) Datos de recursos hídricos en Centroamérica. [En línea]. Available: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/americas/figures_ca_all_esp.pdf.
- [8] R. Ramalho, *Tratamiento de Aguas Residuales*, Sevilla: Editorial Reverté S.A., 1996.
- [9] Metcalf & Eddy, inc., *Ingeniería de Aguas Residuales. Tratamiento, Vertido y Reutilización*, 1st ed., Mexico, D.F.: McGraw-Hill, 1996.
- [10] M. Pereyra - Rojas. (2017) Practical Decision Making. [En línea]. Available: http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ALPA5htNUUoJ:www.springer.com/cda/content/document/cda_downloaddocument/9783319338606-c2.pdf%3FSGWID%3D0-0-45-1585878-p179965167+&cd=4&hl=es-419&ct=clnk&gl=sv.
- [11] C. Van Schalkwyk, T. J. Britz y Y. Hung. (2006) Treatment of Dairy Processing Wastewaters. [En línea]. Available: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4025074/mod_folder/content/0/material%20para%20a%20elabora%C3%A7%C3%A3o%20de%20projotos/Treatment%20of%20Dairy%20Processing%20Wastewaters.pdf?forcedownload=1.
- [12] F. Hasan, S. Mia, A. jahid, A. Mueeid y W. Xu (2016) Implementation & Performance analysis of Effluent treatment plant for waste water treatment in the dyeing textile industries. [En línea]. Available: <https://www.ijser.org/researchpaper/Implementation-Performance-analysis-of-Effluent-treatment-plant-for-waste-water-treatment-in-the-dyeing-textile-industries.pdf>.
- [13] F. Mazille y D. Spuhler. (2018) Adsorption (Activated Carbon). [En línea]. Available: <https://www.sswm.info/sswm-university-course/module-6-disaster-situations-planning-and-preparedness/further-resources-0/adsorption-%28activated-carbon%29>.
- [14] M. A. Abdel-Fatah, H. Sherif y S. Hawash. (2016) Design parameters for waste effluent treatment unit from beverages production. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447916300375>.
- [15] O. Ashrafi, L. Yerushalmi y F. Haghghat. (2015) Wastewater treatment in the pulp-and-paper industry: A review of treatment processes and the associated greenhouse gas emission. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479715300621>.
- [16] C. Darnica. (2013) Alternativas de gestión de lodos papeleros en la industria de papel tisú y kraft. [En línea]. Available: <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/12462/GarnicaDazaCatalina2013.pdf;sequence=1>.
- [17] R. Steffen y Kirsten. (1990) Water and waste-water management in the paper and pulp industry. [En línea]. Available: <http://www.wrc.org.za/Knowledge%20Hub%20Documents/Research%20Reports/TT-49-90.pdf>.