



POTENCIAL DE ELIMINACIÓN DEL NITRÓGENO Y FÓSFORO DE LAS AGUAS NEGRAS USANDO PISCINAS DE ALGAS: UN CASO DE ESTUDIO EN UNA UNIVERSIDAD DE ECUADOR.

José Hidalgo C.¹

Universidad de Guayaquil, Ecuador
jose.hidalgocr@ug.edu.ec

Judith Elizalde T.²

Universidad Politécnica Salesiana
jelizaldet@est.ups.edu.ec

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

José Hidalgo C. y Judith Elizalde T. (2018): "Potencial de eliminación del nitrógeno y fósforo de las aguas negras usando piscinas de algas: un caso de estudio en una Universidad de Ecuador.", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (mayo 2018). En línea:
[//www.eumed.net/rev/caribe/2018/05/estudio-universidad-ecuador.html](http://www.eumed.net/rev/caribe/2018/05/estudio-universidad-ecuador.html)

CONTENIDO

RESUMEN.....	2
ABSTRACT.....	2
1. Introducción.....	2
2. Materiales y Métodos.....	4
2.1 Equipos y Materiales a Usar.....	4
2.2 Caracterización de Aguas Residuales.....	4
3. Implementación.....	5
4. Resultados.....	5
5. Conclusión.....	7
6. Referencias.....	8

¹ Master of Sciences and Technologies in Project Management of Environment and Energy Engineering. Profesor investigador en la Universidad de Guayaquil, Facultad de Ingeniería Industrial en Guayaquil, Ecuador.

² Estudiante de Ingeniería Industrial en la Universidad Politécnica Salesiana en Guayaquil, Ecuador.

RESUMEN

El agua es uno de los elementos naturales de mayor abundancia en la tierra y responsable del desarrollo de las distintas formas de vida existentes, entre ellas el ser humano. Aproximadamente el 2.5% del agua del planeta es dulce, y si a esto, se suma la contaminación de las vertientes, el panorama futuro se oscurece. El principal objetivo del presente documento es introducir un procedimiento para reducir el exceso de nitrógeno y fósforo de las aguas negras mediante la implementación de una pecera de algas. El agua contaminada previamente sernida para remover los sólidos suspendidos fue colocada en una pecera con ingreso de aire por bomba y organismos fotosintéticos, en este caso algas, fueron utilizadas en la purificación del exceso de nutrientes. La especie *Eichhornia Crassipes*, fue la elegida debido a su gran presencia en el río Guayas, y que las condiciones meteorológicas son adecuadas para su crecimiento. Los resultados del procedimiento fueron la reducción de los nutrientes: nitrógeno y fósforo, dióxido de carbono (CO₂) y la generación de biomasa.

Palabras Clave: 330806 Regeneración del Agua, 330810 Tecnología de Aguas Residuales, 330811 Control de la Contaminación del Agua.

ABSTRACT

Water is one of the natural elements of greater abundance on earth and responsible for the development of the different life forms, including human beings. Approximately 2.5% of the planet's water is sweet, and if this is added to the contamination of the springs, the future scenario darkens. The main objective of this document is to introduce a procedure to reduce excess nitrogen and phosphorus from sewage by implementing a seaweed fishery. The previously contaminated water used to remove the suspended solids was placed in a fishery with the introduction of air by pump and photosynthetic organisms, in this case algae, were used in the purification of excess nutrients. The *Eichhornia Crassipes* species was chosen due to its great presence in the Guayas River, and the weather conditions are adequate for its growth. The results of the procedure were the reduction of nutrients: nitrogen and phosphorus, carbon dioxide (CO₂) and the generation of biomass.

Key Words: 330806 Water Regeneration, 330810 Residual Water Technology, 330811 Water Contamination Control.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de algas ha sido objeto de estudio durante las últimas décadas debido al interés suscitado tanto por su capacidad para combatir el efecto invernadero (eliminar el CO₂ de corrientes gaseosas industriales) como para la obtención de productos de valor añadido (nutrición, farmacia, química fina, etc.) y, principalmente, como fuente alternativa a los combustibles fósiles tradicionales como la producción de biodiesel y biometano [A. Ruiz, 2011]. El principal potencial de las microalgas en depuración de agua residual radica en su capacidad de asimilación, y por tanto eliminación del medio, de nutrientes, principalmente nitrógeno y fósforo. Es por ello que la mayoría de estudios se centran en el uso de las microalgas como tratamiento terciario de las aguas, es decir, aquel tras el cual el agua es devuelta al medio, y previo al cual se ha eliminado la mayor parte de materia orgánica disuelta y suspendida. En concreto, algunas especies de microalgas verdes presentan especial tolerancia a medios altos en nutrientes. Estas especies son *Chlorella* y *Scenedesmus*, y existe gran cantidad de estudios sobre ellas. [A. H. Pérez, 2014].

Las aguas residuales tratadas estaban por lo tanto lejos de ser suficientemente para cumplir con normas y el paso posterior al tratamiento era indispensable en términos técnicamente exigente. Además, la reutilización del agua ya ha sido ampliamente practicada, especialmente en algunas zonas secas, pero invariablemente requiere más energía para el tratamiento, debido principalmente a la mayor calidad del agua y los requisitos de reutilización. Las células de combustible microbianas (MFC) se han demostrado como una tecnología para abordar los problemas energéticos y medioambientales particularmente en zonas remotas, que están equipadas con biosensores y producción de biohidrógeno, así como fuente de energía in-situ para biorremediación y tratamiento de aguas residuales. Generalmente, seis ventajas hacen más sostenibles los MFC cuando se implementan en el tratamiento de aguas residuales: (1) la conversión directa de energía de sustrato a electricidad; (2) menos exceso de lodo activado en comparación con los procesos de AD y CAAS; (3) insensible al ambiente, incluso a bajas temperaturas; (4) sin ningún tratamiento de gas; (5) sin ninguna entrada de energía para aireación; (6) una aplicación generalizada en lugares con infraestructuras eléctricas. Las aguas residuales son el subproducto de una amplia gama de actividades domésticas, industriales, comerciales o agrícolas y por lo tanto son de propiedades químicas y biológicas altamente variables. El contenido de nitrógeno y fósforo en las aguas residuales es más preocupante desde el punto de vista ambiental y una extensa investigación se ha dirigido hacia su eliminación de aguas residuales [L. He, 2017]. El objetivo general de esta experimentación es de dar a conocer la eliminación de nutrientes de (nitrógeno, fósforo) de aguas negras en la utilización de piscina de algas y a su vez específicamente obtener resultados de acuerdo con los días y horas de la eliminación de nitrógeno y fosforo demostrando mediante graficas entre dichos nutrientes.

En consecuencia, un cuerpo significativo de la literatura científica se dedica a la capacidad de las algas para eliminar el nitrógeno o el fósforo de las aguas residuales o la capacidad de las aguas residuales para sostener el crecimiento de las algas. En primer lugar, las aguas residuales sintéticas carecen de un agua residual activa microbiana. En segundo lugar, las aguas residuales químicas complejas de materia orgánica que varían ampliamente con los tipos y el alcance del tratamiento, bastante difícil de replicar sintéticamente. Dado al amplio y rápido desarrollo del campo de cultivos de algas en aguas residuales, vale la pena detenerse a intentar comprender la variabilidad en los perfiles de nutrientes en las aguas residuales utilizadas para el cultivo de algas, para apoyar finalmente un enfoque experimental coherente que facilite la comparabilidad y reproducibilidad de los resultados [E. Monfet, 2016].

El cultivo de algas para fines de tratamiento de aguas residuales puede realizarse en sistemas de células suspendidas o inmovilizadas. Para un proceso eficaz de cultivo y remediación, algunos parámetros, como la luz, la temperatura, el pH, el suministro de nutrientes y la mezcla deben ser cuidadosamente controlados. Cultivo en suspensión es la forma más comúnmente utilizado para el crecimiento de microalgas. Los sistemas típicamente usados para el crecimiento de microalgas en suspensión incluyen biorreactores cerrados o abiertos. Los fotobiorreactores cerrados (PBRs) para el crecimiento de algas pueden ser más ventajosos porque (1) las condiciones de cultivo y parámetros de crecimiento, tales como el pH, la temperatura, la mezcla, las concentraciones de dióxido de carbono (CO_2) y de oxígeno (O_2), pueden controlarse estrictamente; (2) la evaporación y las contaminaciones pueden ser fácilmente evitadas; y (3) las mayores concentraciones celulares se pueden lograr [A. Goncalves, 2016].

A pesar de estas ventajas, los PBR tienen algunas limitaciones en términos de sobrecalentamiento, dificultades en la ampliación y mayores costos de construcción. Los PBR más comúnmente utilizados incluyen reactores de placa plana, reactores de columna de burbuja y reactores tubulares. La producción de microalgas en sistemas abiertos es menos costosa en términos de construcción y operación y tiene una mayor capacidad de producción. Sin embargo, debido a una mezcla insuficiente, las oscilaciones en las condiciones de cultivo y una mayor susceptibilidad a contaminaciones, productividades de la biomasa y eficiencias de eliminación de nutrientes son menores que las obtenidas en PBR cerrados. Además, estos sistemas son más propensos a la difusión de CO_2 a la atmósfera, las pérdidas por evaporación del agua y la utilización de la luz pobres por las células. Los sistemas abiertos se pueden dividir en dos categorías: estanques naturales, que incluyen lagos, lagunas y estanques, y estanques artificiales o contenedores. Los sistemas más utilizados son los estanques grandes, los tanques, los estanques circulares y los estanques de conductos. El crecimiento de consorcios de microalgas en sistemas de cultivo suspendidos ya ha sido reportado en la literature [E. Estrada, 2013].

Los principales nutrientes necesarios para el crecimiento de algas son el carbono, el nitrógeno y el fósforo. Dado que las aguas residuales presentan concentraciones considerables de estos nutrientes, varios estudios han reportado el potencial de crecimiento de microalgas en aguas residuales de diferentes fuentes: (i) doméstica; (ii) lixiviados; (iii) productos agrícolas; (iv) refinería; y (v) industrial. Estos estudios han revelado que el uso de aguas residuales para el cultivo de algas promueve un tratamiento efectivo de estas aguas (las eficiencias de remoción de nitrógeno y fosforo reportadas corresponden a 60-99 y 54-95%, respectivamente); al mismo tiempo que contribuye a la producción de biomasa de algas a costos reducidos y con menores impactos ambientales, ya que el suministro de nutrientes y agua dulce no son necesarios. Además, el cultivo de microalgas en aguas residuales

atrae una atención mundial, ya que a largo plazo el uso de fertilizantes químicos como fuente de nutrientes será insostenible, particularmente en la producción de productos de bajo costo, como los biocombustibles [E. Rott, 2017].

La norma técnica ambiental ecuatoriana es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional. Los criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico, se entiende por aquella que se emplea en actividades como: bebida y preparación de alimentos para consumo, satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal, limpieza de elementos, materiales o utensilios y fabricación o procesamiento de alimentos en general. Esta Norma se aplica durante la captación de la misma y se refiere a las aguas que únicamente requieran de tratamiento convencional, deberán cumplir con los siguientes criterios. Los límites máximos permisibles de descarga a un cuerpo de agua dulce de fósforo y nitrógeno son: fósforo total (P) es de 10 mg/L y nitrógeno total (N) es de 15 mg/L. [Libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente,2015].

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Equipos y Materiales a usar

La eliminación de los nutrientes se va a llevar a cabo por medio de un recipiente (pecera) donde se procederá a ubicar los diferentes materiales los cuales se tiene como: aguas residuales libres de sólidos en suspensión y con los nutrientes (nitrógeno y fósforo) de esta misma, la cual por medio de las algas se hará la experimentación de la eliminación de los nutrientes antes mencionado y a su vez inyectar aire a través de la bomba de aire o aireador, el cual comprime aire hacia el interior de la pecera (en forma de pequeñas burbujas gracias al empleo de un difusor) para oxigenar o airear el agua del tanque para evitar que las bacterias cambien a una forma anaeróbica y produzcan metano. En la implementación del presente experimento se debe utilizar diferentes materiales, herramientas y máquinas que ayuden o faciliten la elaboración del mismo.

En la tabla 1, se recopilan los materiales que se utilizaron en el armado del prototipo, además de establecer cuáles son las herramientas que fueron necesarias en dicha estructura. Se procedió a ensamblar todas las piezas siguiendo el diseño elegido en conjunto como la mejor opción. Una vez establecidos los materiales necesarios se procedió a la implementación de nuestro proyecto.

TABLA 1.

LISTA DE MATERIALES A UTILIZAR

Nº	Materiales	Cantidad
1	Algas	920 gr
2	Agua negra	7 lt
3	Bomba	1
4	Pecera	1
5	Reactivo de Nitrógeno	7,5 gr
6	Reactivo de Fósforo	15 gr
7	Cedazo de arena	1

2.2 Caracterización de aguas residuales

Las aguas residuales pueden definirse como líquidos desechables o desechos de agua derivados de prácticas domésticas, agrícolas, de urbanización e industriales. Por lo general, las aguas residuales pueden contener grandes cantidades de residuos que requieren oxígeno, organismos patógenos, contaminantes orgánicos, nutrientes, como nitrógeno y fósforo, compuestos inorgánicos y sedimentos [R. Fuentes,2017]. En general, las aguas residuales de la industria porcina presentan mayores niveles de nitrógeno y niveles de fósforo que las aguas residuales municipales. Por otra parte, las aguas residuales resultantes de las industrias cerveceras, de

almidón y de productos lácteos y las aguas residuales de procesamiento de patatas presentan altas concentraciones de DQO soluble. Para considerar el uso de algas en el tratamiento de aguas residuales, la composición del efluente a tratar debe evaluarse previamente, ya que las relaciones molares de nitrógeno a fósforo (N: P) influyen fuertemente en la producción de biomasa de algas y, por tanto, en la absorción de nutrientes. Según la composición elemental media de la biomasa de algas, las relaciones molares N: P inferiores a 5: 1 dan lugar a la limitación del nitrógeno, mientras que las relaciones molares N: P superiores a 30: 1 dan lugar a la limitación del fósforo. Relaciones molares N: P determinadas para las aguas residuales descritas en el intervalo entre 1: 1 (para las aguas residuales de la industria cervecera y de la industria del almidón) y 42: 1 (para el lixiviado del vertedero). Con las proporciones molares N: P de 9: 1, 11: 1, 14: 1 y 15: 1, la industria de la porcicultura y las aguas residuales domésticas, así como el estiércol lácteo y las aguas residuales municipales anaerobiosamente digeridas son consideradas las más apropiadas para el crecimiento de algas. De hecho, la eliminación de nutrientes de algas de las aguas residuales de la industria doméstica y de la industria de la porcicultura ha sido ampliamente reportada en la literatura [F. Zahra, 2015].

3. IMPLEMENTACIÓN

Para realizar el objetivo principal de este experimento se necesita cierto tipo de elementos auxiliares, entre los cuales se encuentran la fuente de oxigenación que en este caso sería la bomba de aire, el recipiente en el cual será colocados los materiales para el desarrollo del mismo, las algas que son las que ayudarán a la eliminación de los nutrientes, agua sucia previamente filtrada con ayuda de un sedaso de arena y los reactivos del nitrógeno y fósforo. La concentración de nitrógeno y fosforo se medirá durante 2 semanas para observar si su concentración aumenta o disminuye con el pasar del tiempo mediante el cultivo de algas dentro de la pecera, al finalizar el experimento se obtendrá los resultados de la concentración a través del tiempo.

El proceso de este experimento consiste en eliminar el nitrógeno y fosforo mediante el cultivo de algas dentro de una pecera para lo cual se procede de la siguiente manera:

- A. Colocar bomba dentro de la pecera.
- B. Filtrar agua negra (sucia) a través el cedazo de arena.
- C. Verter el agua negra filtrada dentro de la pecera.
- D. Colocar las algas dentro de la pecera.
- E. Medir la concentración de N Y P diariamente durante 5 días.

4. RESULTADOS

En la experimentación del proyecto se realizó 15 muestreos durante 5 días, una muestra tres veces al día respectivamente para lo cual se realizó los siguientes pasos:

- A. Verter 7 litros de agua sucia filtrada dentro de la pecera.
- B. Colocar el filtro o la bomba para que oxigene el agua.



Foto 1. Pecera con 7 litros de agua sucia del Río Guayas.

- C. Pesar las algas mediante una gramera.
- D. Colocar algas en nuestro proyecto(lechugines)



Foto 2. Pecera con 7 litros de agua sucia y algas

Para obtener el porcentaje de fósforo, se agrega 20 ml de la muestra de la pecera a un tubo de ensayo y se añade 1 pastilla o bolsa de polvo del reactivo de fosfato, se agita para mezclar y se espera 8 minutos para que actúe el fosfato en el agua y dentro de los 10 minutos se lee el resultado a través de una caja comparador donde se colocan 2 tubos de ensayo; uno con la muestra preparada y otro con la muestra simple del agua con 20 ml también para luego visualizar a través de un disco de colores que nos muestra algunos resultados dependiendo del color del mismo.

A su vez el porcentaje del nitrógeno se obtiene a través de la caja comparador en el cual se coloca los dos tubos de ensayos, uno con la muestra preparada donde se añade 5 ml de agua de la pecera y se agrega 3 gotas del reactivo de nessler, se agita para mezclar donde aparece un color amarillo, se debe esperar 1 minuto y leer el resultado dentro de los 5 minutos aproximadamente, se coloca el otro tubo con la muestra simple del agua de 5 ml también y se compara con el disco de colores, obteniendo el resultado.

Con respecto a la Tabla II en una temperatura de 27 ° C con un volumen de 7 litros durante un tiempo de 5 días con diferentes horas, se observa que en el día 1 a las 10:00 am aún no se ha purificado el agua tanto el nitrógeno como el fósforo, a las 15:00 pm nos damos cuenta que sus valores de purificación van cambiando el N con un resultado de 0.8 bajo lo que tenía 1, el P con un resultado de 8,5 bajo de lo que tenía 10. En cierta hora de 11:00 pm nos damos cuenta que sigue eliminándose un poco el agua sucia con un N de 0,75-y con un P de 7,5. Ahora el día 2 en los mismos horario de 10.00 am en N 0,7 y el P de 7 mg/L, a las 15:00 pm un N de 0,65 y el P con un valor de 6,5 y la última hora de 11.00 pm el nitrógeno se mantiene con la misma cantidad de 0,6 mientras que el P sigue bajando a 6 mg/L.

En el día 3 a las 10.00 am el nitrógeno comienza recién a bajar con una cantidad de 0,55 y se mantiene en la hora de 15.00pm con 0,5, el P a las 10:00 am sigue bajando a 5 y al llegar 15.00pm continua bajando mientras que a las 11,00pm el N recién va a bajar a 0,45 y el P sigue sucesivamente a esa hora con un valor de 4 mg/L. El día 4 nos damos cuenta que en el horario de 10:00 am el N sigue manteniéndose en 0,4 mg/L mientras que el P sigue bajando a 3,5. En el horario de las 15:00 pm recién baja el N a 0,4 mg/L y a las 11:00 pm, con un valor de 0,35 mg/L, el P a las 15:00 pm baja a 3 mg/L y a las 11:00pm, baja a 2,5 mg/L. Así sucesivamente el día 5, siendo el último día el agua tiene 0,2 mg/L de nitrógeno y 1 mg/L de fósforo, siendo estos nutrientes eliminados con la ayuda de las algas podemos observar que el fósforo se va eliminando más rápido en los últimos días del experimento.

TABLA 2.

Días con sus respectivas horas en el momento de purificación

N°	Día	Hora	N(mg/l)	P(mg/l)
1	1	10:00 a. m.	1	10
2	1	15:00 PM	0,8	8,5
3	1	11:00 p. m.	0,75	7,5
4	2	10:00 a. m.	0,7	7
5	2	15:00 PM	0,65	6,5
6	2	11:00 p. m.	0,6	6

7	3	10:00 a. m.	0,55	5
8	3	15:00 PM	0,5	4,5
9	3	11:00 p. m.	0,45	4
10	4	10:00 a. m.	0,4	3,5
11	4	15:00 PM	0,4	3
12	4	11:00 p. m.	0,35	2,5
13	5	10:00 a. m.	0,3	2
14	5	15:00 PM	0,2	1
15	5	11:00 p. m.	0,2	1
Prom			0,5233	4,8

Estos datos se tomaron a medida que transcurrió el tiempo durante 5 días para poder graficar los puntos de cada muestra de nitrógeno y fósforo como se muestra en la figura 1.

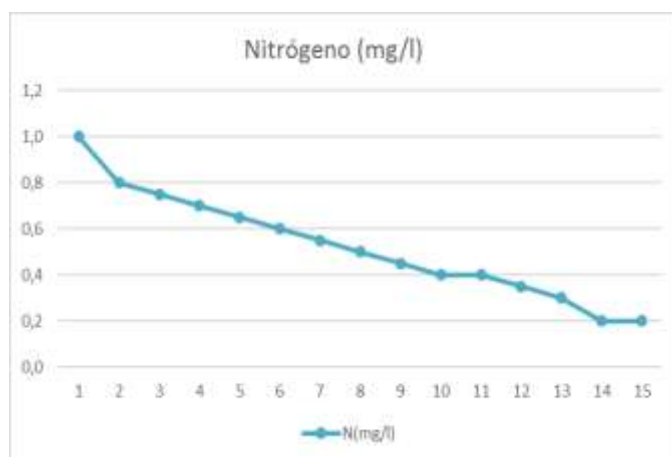


Figura 1. Gráfica de Nitrógeno(N) Vs Tiempo

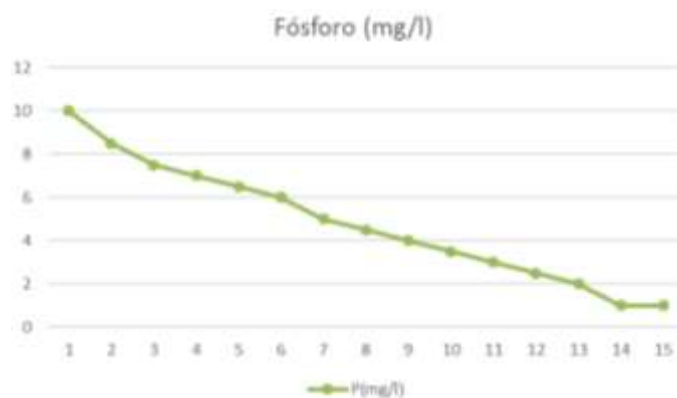


Figura 2. Gráfica de Fósforo (P) Vs Tiempo

5. CONCLUSIÓN

Se puede evidenciar que mediante el kit de medición de nitrógeno y fósforo se puede obtener resultados satisfactorios dentro de los 5 días de experimentación. Se puede observar como se muestra en las figuras 1 y 2 que el fósforo se elimina más rápido que el nitrógeno, y al final del último día de experimentación, se puede evidenciar un valor final de 1 mg/L de fósforo representando una reducción de casi el 95 % y a su vez el nitrógeno tiene un valor final de 0,2 mg/L con un porcentaje final de 80% de eliminación, es decir que la

eliminación actúa más rápido en el fósforo que en el nitrógeno ya que este es un nutriente un poco más complejo de eliminar.

Según el artículo 33 de la ley de gestión ambiental se establece la aplicación de la normas de descargas de efluentes dentro de los límites permisibles de descargas fue posible evidenciar que si cumplen los límites permisibles establecidos dentro de la norma ecuatoriana.

6. REFERENCIAS

- [1] A. Ruiz, "Puesta en marcha de un cultivo de microalgas para la eliminación de nutrientes de un agua residual urbana previamente tratada anaeróbicamente," M.S. tesis, Universidad Politécnica de Valencia., España, 2011.
- [2] A. H. Pérez and J. I. Labbé, "Microalgas. Cultivo y beneficios," *Revista de Biología Marina y Oceanografía.*, Chile, (II), 2014, vol. 49.
- [3] Advances in microbial fuel cells for wastewater treatment ELSEVIER, China, 2017 Sciencedirect
- [4] Defining wastewaters used for cultivation of algae ELSEVIER, Canada, 2016, Science Direct
- [5] Simulation of phage dynamics in multi-reactor models of complex wastewater treatment systems Konrad Krysiak-Baltyn Gregory J.O. Martin 2016
- [6] Diversidad microbiológica de lodo anaerobio durante el tratamiento / Ingeniería e Investigación Tecnológica / 2013
- [7] Applied photoelectrocatalysis on the degradation of organic pollutants in wastewaters-Fotoquímica - Sergi Garcia-Segura, Enric Brillas 2017
- [8] Humedal de flujo vertical para tratamiento terciario del efluente físico químico de una estación depuradora de aguas residuales domésticas / Ingeniería e Investigación tecnológica / 2012
- [9] Identificación y cuantificación emergentes en aguas residuales por micro-extracción en fase solida - 2015 / Araceli Peña Álvarez
- [10] Journal of Environmental Management – Influence of ozonation and biodegradation on toxicity of industrial textile wastewater / ELSEVIER - 2016
- [11] Removal of phosphorus from phosphonate-loaded industrial wastewaters via precipitation/flocculation-2017 - ELSEVIER
- [12] La maximización del beneficio en las empresas depuradoras de aguas residuales (El caso de Valencia) / José Manuel Brotons Martínez - 2010
- [13] A review on the use of microalgal consortia for wastewater treatment – 2016 / ALCEVIER
- [14] Presencia y tratamiento de compuestos disruptores endócrinos en aguas residuales de la Ciudad de México empleando un biorreactor con membranas sumergidas – 2013 / Ingeniería e Investigación tecnológica
- [15] Problemas de identificación de los compuestos fenólicos durante la degradación microbiana de las aguas residuales del aceite de oliva
- [16] Productivity of wastewater treatment plants in the Valencia Region of Spain– 2017 / ELSEVIER
- [17] Segmentation and 3D Reconstruction of
- [18] Options and limitations for bromate control during ozonation of wastewater – 2017 / Soltermann, F., Abegglen, C.
- [19] Carbon and energy footprint analysis of tannery wastewater treatment: - 2017 / ELSEVIER
- [20] Urban wastewater treatment by seven species of microalgae and an algal bloom: Biomass production, N and P removal kinetics and harvestability-2015/Science Direct.
- [21] Enhanced nitrogen and phosphorus removal from domestic wastewater via algae-assisted sequencing batch biofilm reactor-2017/Science Direct.
- [22] Nutrients utilization and contaminants removal. A review of two approaches of algae and cyanobacteria in wastewater-2016/Science Direct.
- [23] Libro VI del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente-Norma de calidad ambiental y de descargas de efluentes al recurso agua-2015.

