

Caracterización de Lodos Activados en dos Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) aeróbicas en Costa Rica.

Ernesto Alfaro-Arrieta. Departamento de Aguas Residuales, Laboratorio Nacional de Aguas de Costa Rica. ealfaro@aya.go.cr.

RESUMEN

Las aguas residuales representan un gran problema de contaminación para los ríos y el ambiente, ya que en muchos casos no se llegan a tratar de manera correcta. Existen distintos tipos de tratamiento de aguas residuales entre los cuales resalta, debido a su eficacia, el tratamiento de lodos activados. Sin embargo, no existen muchos análisis en Costa Rica que sean específicos para estos lodos de manera que se pueda dar un criterio de la calidad de estos, y por lo tanto del buen funcionamiento de la planta de tratamiento. Países como España han generado un Índice de Calidad de Lodos Activados utilizando el estudio de sus componentes, que ha permitido la caracterización de estos avanzando enormemente en temas de tratamiento de aguas residuales. Con el objetivo de realizar una caracterización para la aplicación de dicho índice en Costa Rica, se realizaron 4 muestreos de lodos y efluentes de dos distintas Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales los cuales se analizaron y se les aplicó el índice. Se obtuvieron resultados positivos del índice categorizando los lodos activados como Buenos, coincidiendo con los análisis de calidad de los efluentes y demostrando que dicho índice es aplicable en las plantas de tratamiento aeróbicas de Costa Rica. Es necesario que el índice de Lodos Activados se realice como análisis de rutina para dar una caracterización de calidad a todas las PTAR de Lodos Activados.

Palabras clave

Lodos Activados, Aguas Residuales, Índice, Tratamiento, Protozoos

ABSTRACT

Wastewater represents a major pollution problem for rivers and the environment, this because in many cases they are not managed correctly. There are different types of wastewater treatment among which stands out, due to its effectiveness, the treatment of activated sludge. However, there are not many analyzes in Costa Rica that are specific to these sludges, so that a criterion of their quality can be given, and therefore of the good operation of the treatment plant. Countries such as Spain have generated a Quality Index of Activated Sludge using the study of its components, which has allowed the characterization of these, making enormous progress on issues of wastewater treatment. In order to carry out a characterization for the application of that index in Costa Rica, 4 samples of sludge and effluents from two different Wastewater Treatment Plants were carried out, which were analyzed and the index was applied to them. Positive results of the index were obtained by categorizing the activated sludge as Good, coinciding with the effluent quality analyzes and demonstrating that said index is applicable in the aerobic treatment plants of Costa Rica. It is necessary that the activated sludge index be performed as a routine analysis to give a quality characterization to all the activated sludge WWTP.

Keywords

Activated Sludge, Wastewater, Index, Treatment, Protozoa

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales son aguas a las cuales se les ha alterado su composición inicial y debido al impacto ambiental que representan, su estudio ha venido de la mano con el tratamiento de estas. Esto debido al crecimiento poblacional y a la mala planificación territorial que causan problemas como contaminación de los recursos debido al mal manejo de los residuos sólidos y líquidos (Torres 2012). El tratamiento de estas aguas residuales va desde tratamientos anaerobios como aerobios, tal es el caso de los lodos activados.

Estudios sobre lodos activados han sido llevados a cabo por Vilaseca-Vallvé (2001) obteniendo resultados de funcionamiento en plantas de tratamiento de aguas residuales en España a través de la observación microscópica de los fangos activos. Resultados similares obtuvieron Torres-Lozada *et al.* (2011) en estudios de lodos activados en Colombia en los cuales se demostraron que este tipo de tratamiento logra buenas eficiencias de reducción de DBO, DQO y SST superiores al 80%, lo cual demuestra que ante este tipo de tratamiento se debe de tener análisis sobre los lodos para garantizar su estado.

Actualmente en Costa Rica debido al reglamento para la Evaluación y Clasificación de la calidad de Cuerpos de Agua Superficiales (MINAE 2007) y al Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales (MINAE 2007) es de carácter obligatorio realizar análisis de calidad sobre las aguas residuales provenientes de las PTAR que son depositadas en los ríos. Sin embargo, existen pocos estudios en Costa Rica sobre los lodos activados de las PTAR aeróbicas, por lo que se plantea en este proyecto es la aplicación de la metodología creada por Rodríguez *et al.* (2008) para el Estudio y Biomonitorio de los lodos activados sobre dos PTAR anaerobias para establecer la metodología en el país a raíz de la caracterización de los lodos.

El objetivo de este estudio es caracterizar, a través de la aplicación del índice, los lodos activados para la determinación del correcto funcionamiento de dos Plantas de Tratamiento Anaerobia de Aguas Residuales en San José, Costa Rica; esto a través de la identificación de las características macroscópicas y microscópicas de los lodos activados mediante la observación directa de la muestra, también la identificación de los protozoos y organismos encontrados en las muestras de lodos para lograr determinar el estado y calidad de este a través de la comparación de los resultados de calidad de agua de la PTAR con los resultados obtenidos del análisis de lodos activados.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de Estudio

Se analizaron dos plantas de Tratamiento de Aguas Residuales pertenecientes a la provincia de San José, Costa Rica. Se tomaron muestras puntuales del efluente según lo establecido en libro de Métodos Estandarizados para la Examinación de Agua y Agua Residual (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) (Eaton *et al.* 2017), y de los lodos activados según Rodríguez *et al.* (2008) para realizar la caracterización de estos.

Muestras y Análisis de Aguas Residuales

Se realizaron cuatro muestreos de aguas residuales en los efluentes de las PTAR. Se midieron los parámetros obligatorios según el Decreto Ejecutivo N° 33601-MINAE-S.

La toma de muestras fisicoquímicas, microbiológicas y sus respectivos análisis se realizaron de acuerdo con lo establecido en el libro de Métodos Estandarizados para la Examinación de Agua

y Agua Residual (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) (Eaton *et al.* 2017).

La toma de muestras fisicoquímicas se realizó con botellas de plástico de alta densidad previamente lavadas; las muestras microbiológicas en botellas de vidrio de estériles. Ambas se mantuvieron en refrigeración durante el transporte y fueron analizadas en el Laboratorio Nacional de Aguas del AyA, en donde se realizaron los análisis mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis fisicoquímico y métodos de referencia realizados a las muestras recolectadas de Aguas Residuales.

Fuente: Elaboración del Autor

Análisis	Método de Referencia
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	5220 D Reflujo Cerrado, Colorimétrico. SMEWW y 8000 USEPA
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	5210 B. DBO 5-Días. Incubación. SMEWW
Sólidos Suspendidos	2540 D Sólidos Suspendidos Totales secados a (103 - 105) °C.
Grasas y Aceites	5520 B. Extracción con Hexano- Gravimétrico SMEWW
pH	4500-HB. Electrométrico. SMEWW
Temperatura	2550 Temperatura en Campo. SMEWW
Sólidos Sedimentables	2540 F Sólidos Sedimentables. Volumétrico. SMEWW
SAAM	5540 C Surfactantes Aniónicos como MBAS. Colorimétrico. SMEWW
Coliformes Fecales	9221 E. Técnica de Tubos Múltiples. Serie de 5 Tubos. SMEWW

Muestras y Análisis de Lodos Activados.

La toma de muestra de los lodos activados se realizó con la siguiente metodología establecida por Rodríguez *et al.* (2008):

1. Se tomaron muestras en los tanques de lodo activado (Figura 1) en recipientes plásticos de 2000 mL, dejando $\frac{1}{4}$ del recipiente vacío, las cuales se transportaron en frío en hieleras al laboratorio para su respectivo análisis.

2. Una vez que las muestras llegan al laboratorio se procedió a analizar la muestra del lodo. Para la caracterización macroscópica se debe de poner 1000 mL de la muestra en una probeta de 1000 mL y dejar reposar por 20 minutos (Figura 2).

En ese tiempo se observó:

- a. La turbidez observando el nivel de visibilidad a través de la probeta.
- b. La cantidad de floc en suspensión
- c. La sedimentabilidad, dada por el tiempo en que es alcanzado el nivel de V30 (V30=cantidad de lodo sedimentado en 30 minutos medido en el campo)
- d. El olor de la muestra.

3. Seguidamente se mezcla bien la muestra restante en el recipiente de 2000 mL.
4. Una vez mezclada la muestra se continúa con el análisis de las características microscópicas del lodo colocando dos gotas en un portaobjetos y cubriendo con un cubreobjetos evitando la formación de burbujas.
5. Una vez realizado esto se observa la muestra al microscopio de luz.
6. Se debe de observar:
 - a. La forma del floc, si es regular o irregular
 - b. El tamaño y la estructura, si es compacta o abierta
 - c. La textura por punción para observar si es fuerte o débil
 - d. La cobertura del floc en la muestra
 - e. La cantidad de filamentosas tanto en el floc como en la disolución.
7. Se deben de observar la cantidad de protozoos en la muestra e identificarlos.
8. A cada una de las variables se le otorgará un puntaje para dar un resultado según el índice planteado por Rodríguez *et al.* (2008) (Tabla 2).

Tabla 2. Puntajes asignados para la caracterización de los Lodos Activados. Fuente: Rodríguez *et al.* (2008)

Puntaje	Calidad del Lodo Activado
0-19	Pésimo
20-39	Malo
40-59	Regular
60-79	Bueno
80-100	Óptimo

9. Una vez que se tengan los resultados de la caracterización de los lodos activados a través del índice se deben comparar con los resultados obtenidos de la calidad del agua del efluente de la PTAR para observar si coinciden los resultados con los obtenidos en el índice



Figura 1. Tanque de Lodo Activado. Fuente Fotografía: Autor



Figura 2. Muestra del lodo activado en la probeta para análisis macroscópico. Fuente Fotografía: Autor

RESULTADOS

Análisis de Aguas Residuales

Los resultados obtenidos para cada parámetro se presentan en la Tabla 3. Se obtuvieron resultados que cumplen con lo establecido en el reglamento, por lo que se obtiene que las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales que tratan las aguas de manera exitosa.

Tabla 3. Resultados obtenidos de Aguas Residuales. Fuente: Elaboración del Autor

PTAR	Muestreo	DBO mg/L	DQO mg/L	Sólidos Suspendidos mg/L	Grasas y Aceites mg/L	pH	Temperatura °C	Sólidos Sedimentables mL/L	SAAM Mg/L	Coliformes Fecales NMP/100 mL
1	1	28	85	10	4.1	7.3	31.3	0	0.66	13,000,000
	2	36	61	48	6.3	7.1	31.0	0.3	0.33	3,300,000
	3	16	68	10	4.4	7.1	32.8	0.2	0.29	7,900,000
	4	35	118	40	4.4	7.2	27.5	0.3	0.46	4,600,000
2	1	53	86	30	5.2	7.1	29.5	0	0.21	230,000
	2	13	102	34	4.4	6.8	33.5	0.2	0.68	230,000
	3	44	97	38	4.4	7.1	31.0	0.3	0.53	2,300,000
	4	12	38	8	3.5	7.4	33.0	0.3	0.3	2,300,000

Análisis de Lodos Activados

En los cuatro muestreos realizados se tomaron muestras de lodos activados las características macroscópicas y microscópicas para obtener el puntaje según el índice. Los resultados se muestran en la tabla 4.

En la PTAR 1 se obtuvo un valor de Malo para uno de los muestreos, sin embargo, en los otros muestreos se tuvieron resultados de Regular a Bueno en dos ocasiones. En la PTAR 2 se obtuvieron resultados Óptimos en dos ocasiones. Los lodos activados de las PTAR estudiadas son Lodos Activados que se encuentran en buen estado según lo establecido por Rodríguez *et al.* (2008)

Tabla 4. Resultados del Índice de Lodos Activados. Fuente: Elaboración del Autor

PTAR	Muestreo	Puntaje	Índice
PTAR 1	1	61	Bueno
	2	33	Malo
	3	40	Regular
	4	67	Bueno
PTAR 2	1	67	Bueno
	2	94	Óptimo
	3	56.5	Regular
	4	90	Óptimo

Se realizó un promedio geométrico de los resultados obtenidos para cada uno de los parámetros analizados en las PTAR. Los resultados se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Promedios de los resultados obtenidos. Fuente: Elaboración del Autor

PTAR	Promedio DBO mg/L	Promedio DQO mg/L	Promedio Sólidos Suspendidos mg/L	Promedio Grasas y Aceites mg/L	Promedio pH	Promedio Temperatura °C	Promedio Sólidos Sedimentables mL/L	Promedio SAAM
1	28.75	83	27	4.8	7.175	30.65	0.2	
2	30.5	80.75	27.5	4.375	7.1	31.75	0.2	

PTAR	Promedio DBO mg/L	Promedio DQO mg/L	Promedio Sólidos Suspendidos mg/L	Promedio Grasas y Aceites mg/L	Promedio pH	Promedio Temperatura °C	Promedio Sólidos Sedimentables mL/L	Promedio SAAM mg/L	Promedio Coliformes Fecales NMP/100mL	Promedio Índice de Lodos Activados
1	28.75	83	27	4.8	7.175	30.65	0.2	0.435	7200000	50.25
2	30.5	80.75	27.5	4.375	7.1	31.75	0.2	0.43	1265000	76.87

Se cuantificó la cantidad de protozoos encontrados en las muestras de lodos activados. Los resultados se muestran en la Figura 3. La mayor cantidad de protozoos se encontraron en la PTAR 2, que muestra una mejor calidad de lodo activado según el valor obtenido del índice (Tabla 4). En el muestreo 2 de la PTAR 1 no se encontraron especies de protozoos. Lo que coincide con los resultados del índice en el cual dio resultado Malo.

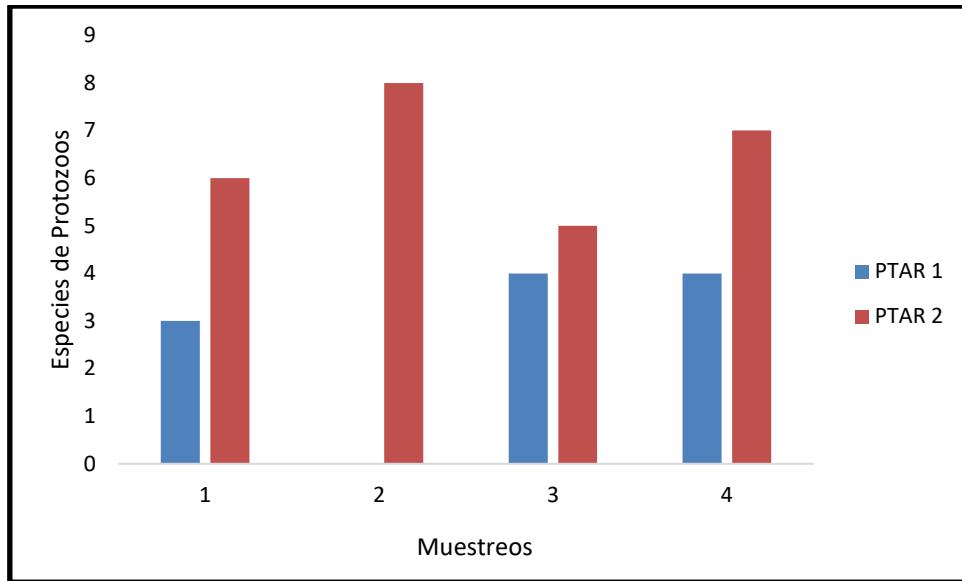


Figura 3. Cantidad de Especies de Protozoos encontrados en las muestras de Lodos Activados.
Fuente: Elaboración del Auto

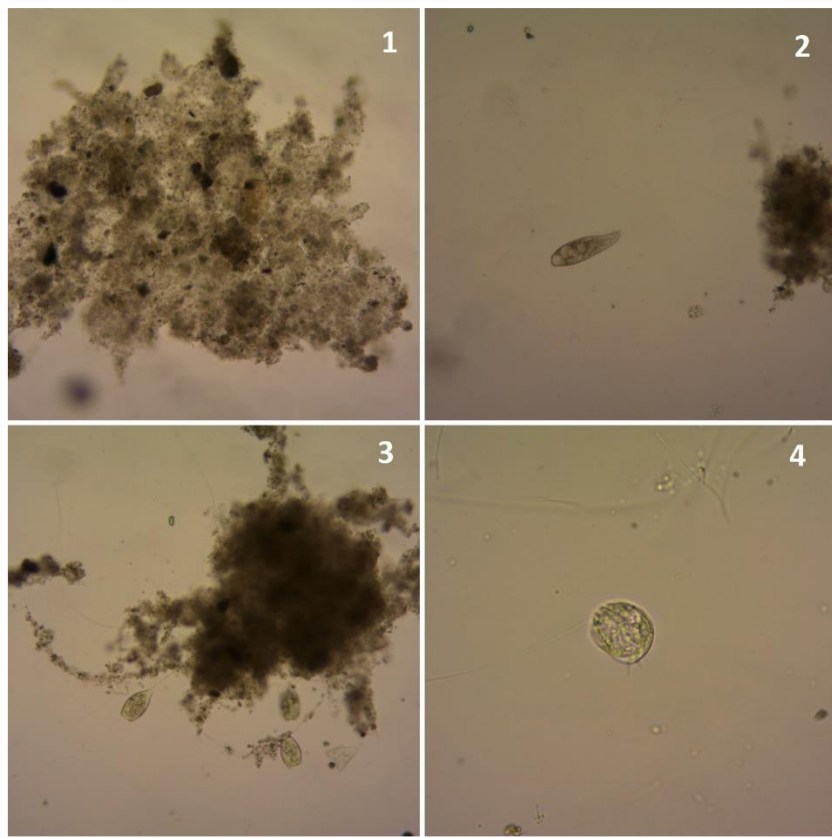


Figura 4. Muestra del análisis microscópico de Lodos Activados: 1. Floc en Suspensión. 2. Ciliado Litostomado. 3. Complejo de Vorticella sp. 4. Reptante Bacterívoro.

Fuente de Fotografía: Autor. Fuente de Identificación: Rodríguez *et al.* (2008)

DISCUSIÓN

Los resultados de los análisis de los efluentes aguas residuales muestran que las PTAR analizadas tienen un buen funcionamiento, ya que según los máximos permisibles por la legislación vigente en el Decreto Ejecutivo N°33601-MINAE-S (Tabla 1), no se incumple con la misma en ninguno de los parámetros analizados, con la excepción de los coliformes fecales que se salen por mucho del rango permitido ya que muestran valores de que van desde los 3,300,000 NMP/100 mL hasta los 13,000,000 NMP/100 mL para la PTAR 1 y para la PTAR 2 desde los 230,000 hasta los 2,300,000 NMP/100 mL, dichos indicadores muestran la alta contaminación fecal presente que pueden relacionarse incluso con patógenos presentes en el agua (Sivaraja y Nagarajan 2014). Los valores de pH se encuentran entre 6,8 y 7,4 siendo adecuado para el desarrollo de microorganismos (Morales 2014).

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos del índice de lodos activados, la PTAR presenta lodos activados que varían su estado, ya que en uno de los muestreos muestran un índice de calidad malo, esto debido a que el lodo en ese muestreo se presentaba con muy poco nivel de sedimentación, mal olor, mucho floc en suspensión y no se observaron especies de protozoos. Lo anterior indica que este lodo no tenía buena aireación en ese momento, lo cual concuerda con los niveles obtenidos de DBO para ese muestreo (Tabla 3) que aumentan conforme se concentra la materia orgánica, lo cual sucede si no hay una buena aireación (Donia y Bahgat 2016). De igual manera coincide con los resultados obtenidos por Pellizzaro *et al.* (2005) donde resalta la importancia de los lodos activados ya que estos regulan el equilibrio bacteriano de una comunidad, eliminan *E. coli*, reducen de DBO₅, floculación y remueven sólidos suspendidos.

La PTAR 2 mantiene una calidad mejor en su lodo a lo largo de los muestreos (Tabla 4) y se puede observar que el índice establece el lodo activado de esta planta como óptimo, lo cual se ve reflejado en los resultados obtenidos de la calidad del efluente en donde incluso llega a tener valores de coliformes fecales bajos también. Estos resultados coinciden con Alpírez *et al.* (2017) quienes demostraron que los lodos activados tienen capacidad de remoción de sólidos y DBO₅ de hasta un 70%, lo que demuestra la importancia de la vigilancia de la calidad de los lodos activados.

Según Morales (2014), el conocimiento de la actividad biológica es esencial para evaluar la degradación de la materia orgánica, ésta puede verse disminuida por condiciones que no sean favorables en el sistema (Fall *et al.* 2006). La medida de la bioactividad del lodo puede evidenciar la presencia de alzas repentinas en la carga orgánica o el ingreso de elementos tóxicos (Chalasanian y Sun 2007).

La Figura 3 muestra la cantidad de especies de protozoos encontrados. Los valores bajos de protozoos en las plantas pueden indicar según Colorado *et al.* (2012) la existencia de sustancias tóxicas como metales pesados y cianuros, ya que son los más afectados por este tipo de compuestos, sin embargo, esos valores bajos también se pueden deber a errores de operación durante la aireación de los tanques.

Dentro de las especies que se lograron identificar en la PTAR 1 está *Paramecium sp.*, que su presencia puede indicar baja oxigenación, sin embargo, estos organismos también aparecen cuando el lodo se empieza a estabilizar (Santos *et al.* 2009). Villaseca (2001) asocia la presencia de especies como *Paramecium sp* como indicadores de buenos procesos de depuración, lo cual concuerda con los resultados obtenidos.

En la PTAR 2 se pudo identificar protozoarios ciliados como *Vorticella sp.* y *Opercularia sp.*, que son considerados indicadores de tiempos de retención media de la planta, pues al formarse colonias de estos microorganismos, se determina que el tiempo de retención media es alto mejorando la calidad del tratamiento (Villaseca, 2001). Otras especies encontradas como los reptantes bacterívoros (Figura 4), son indicadores de efluentes de buena calidad y aguas residuales poco cargadas (Rodríguez *et al.* 2008), concordando también con Pellizzaro *et al.* (2005) donde exponen resultados altos de rendimiento en sistemas con predominancia de

ciliados pedunculados, y relacionando directamente el rendimiento y las buenas condiciones de depuración con las especies dominantes en los lodos activados.

El Índice de Lodos Activados se ajusta muy bien a los resultados obtenidos del análisis del efluente, y muestra concordancia con lo obtenido en los análisis de agua, es decir, los promedios de los valores del índice de cada muestreo, dan como resultado un valor de 50,2 para la PTAR 1 y 76,8 para la PTAR 2 (Tabla 5) que indica un lodo Regular y un lodo Bueno respectivamente, esto indica que el lodo activado de esas PTAR estudiadas se encuentra en un estado si bien no óptimo, es aceptable para el funcionamiento de la planta, como se pudo observar en los resultados obtenidos de los efluentes que son de calidad aceptable ya que ninguno de los dos efluentes incumple con la legislación vigente de vertido.

CONCLUSIONES

El objetivo de esta investigación era realizar una caracterización de los lodos activados a través de la utilización de un índice, al realizar dicha metodología se pudo observar que el índice funciona y es aplicable para las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con Tratamiento de Lodos Activados de Costa Rica. Los resultados fueron positivos con respecto a los análisis de aguas del efluente mostrando la validez del índice, ya que no difieren uno de otro en cuanto a un criterio de calidad.

Las características macroscópicas y microscópicas de los lodos son capaces de dar un criterio de calidad de estos, así también es importante que los lodos activados mantengan una diversa cantidad de especies de protozoos ya que estos son los principales organismos encargados del buen funcionamiento de los lodos.

El Índice de Lodos Activados se debe de realizar como un análisis de rutina, para dar un criterio de calidad más ajustado a la realidad y posibles opciones de mejoras ante la operación de estos.

REFERENCIAS

- Alpírez, J., Avilés, K., Castillo, H., Pinzón, I., Poveda, R. & VAllester, E. 2017. *Evaluation of a biological system of laboratory scale activated sludge*. Revista de Iniciación Científica. Vol.3. N°1. Junio 2017. 8 pp.
- Chalasanani, G. and Sun, W. 2007. *Measurement of temperature effects on oxygen uptake rate in activated sludge treatment*. Report Michigan State University College of Engineering, 28 pp.
- Colorado, S., Leal, A., Castillo, E & Gonzáles, M. 2012. *Análisis Microbiológico En El Arranque De Una Planta De Lodos*. XXII Congreso Nacional De Hidráulica Acapulco, Guerrero, México, Noviembre 2012.
- Donia, N & Bahgat, M. 2016. *Water quality management for Lake Mariout*. Ain Shams Engineering Journal (2016) 7, 527–54.
- Eaton, A., Clesceri L. & Greenberg A. 2017. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 23ed. Washington DC: American Public Health Association.430pp.

- Fall, Ch., Cuenca, F., Bâ, K. & Solís, C. 2006. *Respirometry-based evaluation of the fate and possible effects of antifreeze on activated sludge*. Journal of Environmental Management, 80: 83–89.
- MINAE. 2007. *Reglamento para la Evaluación y Clasificación de la Calidad de Cuerpos de Agua Superficiales*. Establecido por el Decreto Ejecutivo n° 33903-MINAE-S.
- MINAE. 2007. *Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales*. Establecido por el Decreto Ejecutivo n° 33903-MINAE-S.
- Morales, G. 2014. *Evaluación de la Estabilidad de un sistema de Lodos Activados mediante Indicadores Físicoquímicos y biológicos*. Tesis. Centro de Ciencias Ambientales Chile. 83 pp.
- Pellizzaro, A., Sezerino, P. H., Philippi, L. S., Reginatto, V., Lapolli, F. R. (2005). “*Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo*”. Eng. Sanit. Ambient. Vol.10, No. 4, Octubre/Diciembre 2005, pp. 329-338.
- Rodriguez, E; Isac, L; Salas, D; Fernández, N; Zornoza, A; Pérez-Uz, B; Serrano, S; Arregui, L; Calvo, P; Guinea, A & Estévez, F. 2008. *Manual Práctico para el Estudio de Grupos Bioindicadores en Fangos Activos*. Grupo Bioindicación Sevilla. 220 pp.
- Santos, G., Venícius, C., Santos, J. G. (2009). *Microbiologia de sistema de lodos ativados e sua relação com o tratamento de efluentes industriais: a experiência da Cetre*. Eng Sanit Ambient. Vol.14, No. 2, Abril/Junio 2009, pp.183-192.
- Sivaraja, R. & Nagarajan, K., 2014. *Levels of indicator microorganisms (total and fecal coliforms) in surface waters of rivers Cauvery and Bhavani for circuitously pre-dicting the pollution load and pathogenic risks*. Cell 6, 455–461.
- Torres-Lozada, P., Vásquez-Sarria, N., Pérez-Vidal, A., Madera-Parra, C. A., & Rodríguez-Victoria, J. A. (2011). *Alternativas de tratamiento biológico aerobio para el agua residual doméstica del municipio de Cali, Colombia*. Afinidad, 68(555), 381–388.
- Torres, P. (2012). *Perspectivas Del Tratamiento Anaerobio De Aguas Residuales Domésticas En Países En Desarrollo*. Revista EIA, (18), 115–129.
- Vilaseca Vallvè, M. M. (2001). *Observación microscópica de fangos activados en los tratamientos De depuración biológica*. Boletín Intexter Del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial, (119), 67–74.