



## Caracterización de lodos activados procedentes dos Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ubicadas en Costa Rica

## Characterization of activated sludge from two Wastewater Treatment Plants (WWTP) in Costa Rica

Alfaro-Arrieta Ernesto

Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados  
 Departamento de Aguas Residuales  
 Laboratorio Nacional de Aguas  
 Correo: [ealfaro@aya.go.cr](mailto:ealfaro@aya.go.cr)  
<https://orcid.org/0000-0002-1317-446X>

### Resumen

Las descargas de agua residual representan un gran problema de contaminación para el ambiente, ya que en muchos casos no se llegan a tratar de manera correcta y son depositados en los ríos y quebradas. Existen distintos tipos de tratamiento de agua residual entre los cuales resalta, debido a su eficacia, el tratamiento aerobio de lodos activados. Sin embargo, actualmente 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 agua residual. Con el objetivo de realizar una caracterización para la aplicación de dicho índice de Calidad de Lodos Activados en Costa Rica, se realizaron cuatro muestreos de lodos y de los efluentes de dos distintas Plantas de Tratamiento de Agua Residual, los cuales se analizaron tanto microbiológicamente como fisicoquímicamente, y se les aplicó el índice de lodos activados mencionado anteriormente. 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 aerobias de Costa Rica. Es necesario que el índice de lodos activados se realice como análisis de rutina para dar una caracterización completa de calidad a todas las PTAR de lodos activados.

**Descriptores:** Lodos activados, agua residual, índice, tratamiento, protozoos.

### Abstract

Wastewater discharges represent a major pollution problem for the environment, since in many cases it is not treated correctly and is deposited in rivers and streams. There are different types of wastewater treatment among which, due to its effectiveness, the aerobic treatment of activated sludge stands out. However, currently, there are not many analyzes in Costa Rica that are specific to these sludge so that a criterion of their quality can be given, and therefore the proper functioning of the wastewater treatment plant. Countries like Spain have generated an activated sludge Quality Index using the study of its components, which has allowed the characterization of these, making enormous progress in wastewater treatment issues. In order to carry out a characterization for the application of said Activated Sludge Quality Index in Costa Rica, four samplings of sludge and effluents from two different Wastewater Treatment Plants were carried out, which were analyzed, both microbiologically and physicochemically, and the activated sludge index mentioned above 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 showing 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 complete quality characterization of all activated sludge WWTPs.

**Keywords:** Activated sludge, wastewater, index, treatment, protozoa.

## INTRODUCCIÓN

El agua residual es un efluente líquido al cual se le ha alterado su composición inicial debido al impacto ambiental que representa, su estudio ha venido de la mano con el tratamiento de la misma.

La alteración se debe al crecimiento poblacional y a la mala planificación territorial, lo que causa problemas como la contaminación de los recursos debido al mal manejo de los residuos sólidos y líquidos (Torres, 2012). El tratamiento del agua residual va desde tratamientos anaerobios como aerobios, tal es el caso de los lodos activados.

Algunos estudios acerca de lodos activados se han realizado por Vilaseca (2001) obteniendo resultados de funcionamiento en plantas de tratamiento de aguas residuales en España a través de la observación microscópica de lodos activados. Resultados similares obtuvieron Torres *et al.*, (2011) en estudios de lodos activados en Colombia, donde se demostró que este tipo de tratamiento logra buenas eficiencias de reducción de DBO, DQO y SST superiores a 80 %, lo cual indica que ante la utilización de este tipo de tratamiento, es recomendable que se realicen 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 2007a) y al Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales (MINAE, 2007b) es de carácter obligatorio realizar análisis de calidad sobre los efluentes líquidos provenientes de las PTAR que se depositan en los ríos. Sin embargo, existen pocos estudios en Costa Rica sobre los lodos activados de las PTAR aerobias, por lo que se establece como objetivo de este estudio, caracterizar los lodos activados a través de la aplicación del índice y la metodología creada por Rodriguez *et al.* (2008) para el Estudio y Biomonitorio de los Lodos Activados, asimismo el correcto funcionamiento de dos Plantas de Tratamiento Aerobio de Aguas Residuales en San José, Costa Rica para establecer la metodología en el país y comenzar a crear una línea base de estudio en caracterización de lodos activados.

## DESARROLLO

### LUGAR DE ESTUDIO

Se analizaron dos plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con tratamiento aerobio, pertenecientes a la provincia de San José, Costa Rica. Se tomaron muestras puntuales del efluente según 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 & Greenberg, 2017), y de los lodos activados según Rodríguez *et al.* (2008) para realizar la caracterización de estos.

### MUESTREO Y ANÁLISIS DE LOS EFLUENTES DE LAS DOS PTAR

Se realizaron cuatro muestreos en los efluentes de las PTAR. Se midieron los parámetros obligatorios según el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales Decreto Ejecutivo Núm. 33601-MINAE-S y coliformes fecales para obtener los niveles de carga orgánica presentes en el efluente.

La toma de muestras para análisis fisicoquímicos y microbiológicos, así como 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 & Greenberg, 2017).

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

### MUESTREO Y ANÁLISIS DE LOS LODOS ACTIVADOS DE LAS DOS PTAR

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

1. Se tomaron muestras en los tanques de lodos activados (Figura 1) en recipientes plásticos de 2000 mL, dejando  $\frac{1}{4}$  del recipiente vacío, las muestras se transportaron en refrigeración dentro de hieleras hasta el laboratorio para su respectivo análisis.
2. Una vez que las muestras llegaron al laboratorio se procedió a analizar lodo. Para la caracterización macroscópica se vertió 1000 mL de la muestra en una probeta de 1000 mL y se dejó 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 flóculos en suspensión.
- c) La sedimentabilidad, dada por el tiempo en que es alcanzado el nivel de V30 (V30=cantidad de

Tabla 1. Análisis fisicoquímico y métodos de referencia realizados a las muestras recolectadas de aguas residuales

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 Suspensos*	2540 D Sólidos Suspensos 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**	Técnica de Tubos Múltiples. Serie de 5 Tubos. SMEWW

Fuente: Elaboración del autor

\*Parámetro obligatorio según Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales para vertidos en un cuerpo receptor

\*\*Parámetro no obligatorio según Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales para vertidos en un cuerpo receptor

- lodo sedimentado en 30 minutos medido en el campo).
- d) El olor de la muestra.
  3. Seguidamente se mezcló bien la muestra restante en el recipiente de 2000 mL.
  4. Una vez mezclada la muestra se continuó 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. Posteriormente se observó la muestra al microscopio de luz.
  6. Se observó:
    - a) La forma del folículo, 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 flóculo en la muestra.
    - e) La cantidad de filamentosas tanto en el flóculo como en la disolución.
  7. Se cuantificó la cantidad de protozoos en la muestra y se identificaron.
  8. A cada una de las variables se le otorgó 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 obtuvieron los resultados de la caracterización de los lodos activados a través del índice se compararon 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 lodos activados. Fuente: Autor

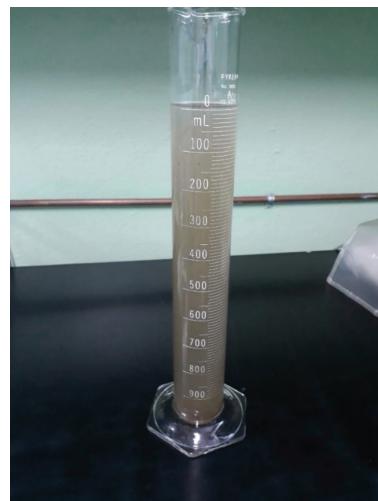


Figura 2. Muestra de los lodos activados en la probeta para análisis macroscópico. Fuente: Autor

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### ANÁLISIS DE LOS EFLUENTES DE LAS PTAR

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 observa que las PTAR realizan el tratamiento del agua de manera exitosa.

Los resultados de los análisis de los efluentes muestran que las PTAR analizadas tienen un buen funcionamiento, ya que según los valores máximos permisibles para los parámetros obligatorios exigidos por la legislación costarricense vigente, no se incumple en ninguno de los parámetros analizados, sin embargo, los coliformes fecales, los cuales no son un parámetro obligatorio, se salen por mucho del rango permitido, ya que muestran valores 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 & Nagarajan, 2014). Los valores de pH se encuentran entre 6.8 y 7.4 siendo adecuado para el desarrollo de microorganismos (Morales, 2014).

### ANÁLISIS DE LODOS ACTIVADOS

Al lodo activado recolectado en los cuatro muestreos realizados se le observaron 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 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).

La Tabla 4 muestra los resultados obtenidos del índice de lodos activados, la PTAR 1 presenta lodos activados que varían su estado, ya que en uno de los muestreos se obtuvo un índice de calidad malo, esto debido a que el lodo tenía muy poco nivel de sedimentación, mal olor, mucho floculo en suspensión y no se observaron especies de protozoos. Lo anterior indica que este lodo activado no tenía buena aireación en el momento del muestreo, lo cual concuerda con los niveles obtenidos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) (Tabla 3) que aumentan conforme se concentra la materia orgánica, lo cual sucede si no hay una buena aireación (Donia & 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 la DBO, la 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 DBO 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

Tabla 3. Resultados obtenidos de las muestras de agua residual

PTAR	Muestreo	DBO mg/L	DBO 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	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	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

Valores máximos permisibles según el Reglamento Costarricense de Vertido y Reúso de Aguas Residuales: DBO: 50mg/L, DQO: 150mg/L, Sólidos Suspensos: 50mg/L, Grasas y Aceites: 30 mg/L, pH: 5-9, Temperatura: 15 °C-40 °C, Sólidos Sedimentables: 1 mL/L, SAAM: 5 mg/L y Coliformes fecales: < 1000 NMP/100 mL  
Fuente: Elaboración del autor

de la materia orgánica, esta 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 (Chalasaniand & Sun, 2007).

Tabla 4. Resultados del Índice de lodos activados

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

Fuente: Elaboración del autor

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.

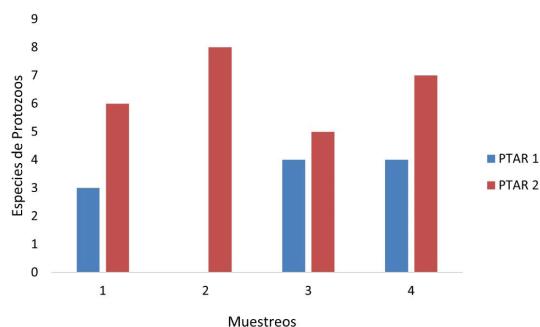


Figura 3. Cantidad de especies de protozoos encontrados en las muestras de lodos activados. Fuente: Elaboración del autor

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

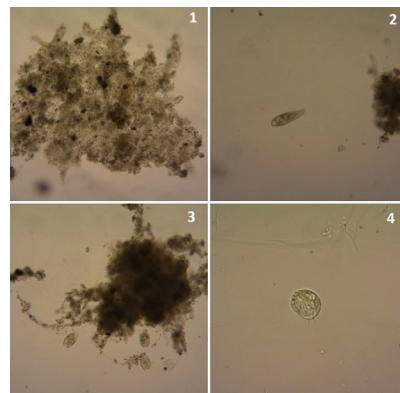


Figura 4. Muestra del análisis microscópico de lodos activados:  
1. Flóculos en Suspensión, 2. Ciliado Litostomado, 3. Complejo de Vorticella sp., 4. Reptante Bacterívoro. Fuente de Fotografía: Autor. Fuente de Identificación: Rodríguez *et al.* (2008)

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 identificaron 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 Pellizaro *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, el lodo activado de esas PTAR estudiadas se encuentra en un estado, si bien no óptimo, 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

observó 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 respecto a los análisis 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 estos activados mantengan una diversa cantidad de especies de protozoos, ya que estos son los principales organismos encargados del buen funcionamiento de los lodos activados.

El índice de lodos activados se debe 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*, 3(1), 8.
- Chalasani, G., & Sun, W. (2007). Measurement of temperature effects on oxygen uptake rate in activated sludge treatment. Report Michigan State University College of Engineering, 28.
- Colorado, S., Leal, A., Castillo, E., & González, M. (2012). Análisis microbiológico en el arranque de una planta de lodos. XXII Congreso Nacional de Hidráulica, Acapulco, Guerrero.
- Donia, N., & Bahgat, M. (2016). Water quality management for Lake Mariout. *Ain Shams Engineering Journal*, 7(2), 527-541. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2015.05.011>
- Eaton, A., Clesceri, L., & Greenberg, A. (2017). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23ed. Washington DC: American Public Health Association.
- 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(1), 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2005.08.015>
- MINAE. (2007). Reglamento para la evaluación y clasificación de la calidad de cuerpos de agua superficiales. Establecido por el decreto ejecutivo Núm. 33903-MINAE-S.
- MINAE. (2007). Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales. Establecido por el decreto ejecutivo Núm. 33903-MINAE-S.
- Morales, G. (2014). Evaluación de la estabilidad de un sistema de lodos activados mediante indicadores fisicoquímicos y biológicos. (Tesis). Centro de Ciencias Ambientales. Chile.
- 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.* 10(4), 329-338. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522005000400009>
- Rodriguez, E., Isac, L., Salas, D., Fernández, N., Zornoza, A., Pérez, 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.
- Santos, G., Venícius, C., & Santos, J. G. (2009). Microbiología de sistema de lodos ativados e sua relação com o tratamento de efluentes industriais: a experiência da Cetre. *Eng Sanit Ambient.* 14(2), 183-192. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522009000200006>
- Sivaraja, R., & Nagarajan, K. (2014). Levels of indicator microorganisms (total and fecal coliforms) in surface waters of rivers Cauvery and Bhavani for circuitously predicting the pollution load and pathogenic risks. *International Journal of PharmTech Research*, 6(2), 455-461.
- Torres, P., Vásquez, N., Pérez, A., Madera, C. A., & Rodríguez, 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, M. M. (2001). Observación microscópica de fangos activados en los tratamientos de depuración biológica. *Boletín Intertexter del Instituto de Investigación Textil y de Cooperación Industrial*, 119(9), 67-74. <http://hdl.handle.net/2099/1726>

## Cómo citar:

Alfaro-Arrieta E. (2023). Caracterización de lodos activados procedentes, dos Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) ubicadas en Costa Rica. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 24 (03), 1-6. <https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2023.24.3.019>