



Evaluación de macrofitas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en la neutralización de pH y reducción de sólidos en suspensión de aguas residuales Pichanaqui, Junín (Perú)



ARTICULO ORIGINAL

Evaluación de macrofitas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en la neutralización de pH y reducción de sólidos en suspensión de aguas residuales Pichanaqui, Junín (Perú)

Evaluation of *Pistia stratiotes* sp. and *Eichhornia crassipes* sp. macrophytes in the neutralization and reduction of solids in suspension at the Pichanaqui treatment plant- Junín (Perú)

Benjamín Emerson Borda Luna¹ , Laos Wenseslao Vasquez Limaylla² , Lucero de Jesús Chulluncuy Julcarima² , Mariori Angie Inga Caja² , Morelia Nayeli Veliz Meza² , Nayeli Jhael Montes Granados² , Renzo Antony Barbaran Abregu² , Jessica Zaida Muñoz Hermitaño³ .

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la eficiencia de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), en la neutralización del pH y remoción de Sólidos Totales en Suspensión (SST) en las aguas residuales domésticas de la planta de tratamiento del distrito de Pichanaqui, Chanchamayo, Junín. La investigación fue de tipo experimental, para el cual se diseñó el reactor de biofiltro que emula el funcionamiento de la planta de tratamiento de agua residual compuesto por 3 subreactores en los cuales se realizó la fase experimental del tratamiento primario de las aguas en condiciones similares para ambas especies entre el 18 de octubre y 18 de diciembre del 2022. Se logró la remoción de los SST hasta un 75% utilizando la macrófitas *P. stratiotes*, y 72.5% mediante la aplicación de la especie *E. crassipes*. También, se analizó la eficiencia de neutralización del pH donde se logró neutralizar hasta en 11.2% con la aplicación de la *P. stratiotes*, y 10.8% mediante la aplicación de la *E. crassipes* sp., cumpliendo con los límites máximos permisibles (LMP) establecidos por el DS-003-2010-MINAM, para ambos parámetros. Finalmente, la macrófita *P. stratiotes*, logró mayor eficiencia de remoción de SST y neutralización de pH en comparación con la especie *E. crassipes*.

Palabras clave: Eficiencia; Fitorremediación; Jacinto de agua; Lechuga de agua.

ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the efficiency of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and water lettuce (*Pistia stratiotes*), in the neutralization of the pH and removal of Total Suspended Solids (TSS) in the domestic wastewater of the production plant. treatment of the district of Pichanaqui, Chanchamayo, Junín. The investigation was of an experimental type, for which the biofilter reactor was designed that emulates the operation of the wastewater treatment plant, made up of 3 subreactors in which the experimental phase of primary water treatment was carried out under similar conditions for both species between October 18 and December 18, 2022. Up to 75% TSS removal was achieved using the *P. stratiotes* macrophyte, and 72.5% by applying the *E. crassipes* species. Also, the pH neutralization efficiency was analyzed where it was possible to neutralize up to 11.2% with the application of *P. stratiotes*, and 10.8% through the application of *E. crassipes* sp., complying with the maximum permissible limits (LMP). established by DS-003-2010-MINAM, for both parameters. Finally, the macrophyte *P. stratiotes* achieved higher TSS removal efficiency and pH neutralization compared to the species *E. crassipes*.

Keywords: Efficiency; Phytoremediation; Water hyacinth; Water lettuce.

¹ Universidad Nacional de Ingeniería
Lima, Perú.

² Universidad Nacional Juan Santos Atahualpa
Chanchamayo, Perú.

³ Universidad Nacional Mayor de San Marcos,
Lima, Perú

*Autor de correspondencia.
E-mail:
benjaminborda@gmail.com

Recibido: 14 de abr de 2023
Aprobado: 07 de Jul de 2023
Publicado: 26 de Jul de 2023

Para citar este artículo:

Borda Luna B., Muñoz Hermitaño J., Vasquez Limaylla L., Chulluncuy Julcarima L., Inga Caja M., Veliz Meza M., Montes Granados N., Barbaran Abregu R. (2023). Evaluación de macrofitas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en la neutralización de pH y reducción de sólidos en suspensión de aguas residuales Pichanaqui, Junín (Perú). *Yotantsipanko*, 3(1), 39 - 50. <https://doi.org/10.54288/yotantsipanko.v3i1.28>



Introducción

Las macrófitas acuáticas se refieren a una variedad de plantas y algas, incluidas las plantas vasculares, los musgos acuáticos y las algas más grandes (Sooknah y CWilkie, 2004).

El uso de macrófitos para tratar aguas residuales (AR) implica una combinación de procesos físicos y microbianos. Debido a su capacidad para eliminar nutrientes de manera efectiva, se consideran una alternativa prometedora para el tratamiento de aguas residuales domésticas (Sooknah y CWilkie, 2004).

La planta acuática flotante *Pistia stratiotes* ha sido estudiada durante muchos años y por ende se pudo demostrar que esta planta tiene muchos usos productivos como el de remover o depurar contaminantes presentes en el agua (Yang, Chen, y Zhang, 2014). Asimismo, la *Eichhornia crassipes* es una macrofita acuática flotante no enraizada, herbácea perenne de agua dulce (Camacho y Ordoñez 2008).

UNESCO (2017), menciona que el 80% de las AR retornan al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas, siendo uno de los grandes desafíos del agua; en nuestro país se genera aproximadamente 2 217 946 m³ por día de aguas residuales descargadas a la red de alcantarillado de las entidades prestadoras del servicio de saneamiento (EPS), de las cuales sólo el 32% de éstas recibe tratamiento, mientras que el 68% vierte directamente sus AR sin tratamiento al

mar, ríos, lagos y quebradas o las emplean para el riego de cultivos. Estas deficiencias se deben a la falta de implementación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y al déficit de cobertura por EPS a nivel nacional.

Actualmente, en el distrito de Pichanaqui, ubicado en la provincia Chanchamayo, departamento de Junín, no se tiene una PTAR correctamente implementada, debido a que no cuenta con un Informe de Gestión Ambiental (IGA) ni Registro Único para el Proceso de Adecuación Progresiva (RUPAP) (Sunass, 2022). No obstante, la PTAR viene recepcionando las AR de todo el distrito (Jiordye, 2019).

A razón de ello, es necesario que se apliquen alternativas para su debido tratamiento y depuración eficiente. Una opción viable es la llamada fitorremediación. Este procedimiento permite producir efluentes de una buena calidad, además que su funcionalidad presenta bajos costos en términos de inversión, operativos y mantenimiento (Correa *et al.* 2015).

Por ello, la finalidad de la investigación fue determinar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales con el proceso de fitorremediación con las macrófitas: *E. crassipes* y *P. stratiotes* utilizando un prototipo que simula el biofiltro de una planta de tratamiento de agua residual.

Materiales y métodos

Área de Estudio

Se tomó en consideración la PTAR del Distrito de Pichanaki, provincia de Chanchamayo, Junín;

que es una planta de tratamiento con tanque himhoff, situada en las coordenadas; Latitud: -10.9264, Longitud: -74.8731 y Altitud: 491 m.s.n.m (figura 1).



Figura 1. ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Fuente: Google Earth

Diseño experimental

La investigación se realizó mediante la aplicación del diseño experimental aleatorio (DCA), debido a que en la primera etapa se implementó un prototipo de biofiltro de 60L, que posteriormente fue dividido en 3 biorreactores equivalentes denominados tratamientos (T); 20L para la muestra control y de 20L por cada especie

de macrófitas cuya principal función fue remover, reducir, transformar, degradar, volatilizar y estabilizar los Sólidos Totales en Suspensión (SST) y pH que son indicadores de contaminación de las aguas residuales.

El detalle de los tratamientos se muestra a continuación:

T₀: Tratamiento control.

T₁: Tratamiento con 20 plantas de *P. stratiotes* en etapa fenológica adulta.

T₂: Tratamiento con 20 plantas de *E. crassipes* en etapa fenológica adulta.

Se construyó el reactor biofiltro utilizando envases de plástico de diferentes volúmenes, tuberías de conexión, válvulas y llaves de paso, el cual sirvió para realizar la prueba experimental de la investigación, luego de ello se realizó la implantación de las especies de *P. stratiotes* y *E. crassipes*.

Muestreo

Se realizó el muestreo del agua antes y después del tratamiento, siguiendo estrictamente los procedimientos establecidos en el protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales en conformidad con el Artículo 4 del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM que aprueba los límites máximos permisibles para los efluentes de Plantas de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, y siguiendo las normas de bioseguridad y procedimiento de tomas de muestras establecidos por el laboratorio de la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa (UNISCJA).

Las muestras fueron registradas cada 15 días calendarios durante un periodo de 2 meses teniendo en cuenta el tiempo de vida útil de las macrofitas empleadas en la investigación.

Variables de Estudio

Para los SST se utilizó el método gravimétrico de diferencia de pesos de marca digital con precisión con $\pm 0.01g$

Para el pH se utilizó un potenciométrico de uso manual.

Análisis de datos

Se empleó AutoCAD (para el diseño del reactor biofiltro) y la plataforma de Google maps y GPS (para la ubicación del lugar de estudio y desarrollo de la investigación) y el Microsoft Excel 2017 (para el análisis de los resultados).

Resultados

Después de los 15 primeros días, las especies empleadas, comenzaron a reaccionar negativamente debido a la excesiva eutrofización en el agua; las hojas y tallos llegaron a un estado de marchitez del 70% en *E. crassipes* y 50% en *P. stratiotes* sp.; no obstante, durante el transcurso de la investigación a partir de la cuarta quincena, las macrófitas se acondicionaron; teniendo como resultado su adaptación a las aguas residuales donde tornaron sus hojas de color verde, mejorando su clorofila y comenzando su expansión mediante su reproducción, dicho proceso redujo la eutrofización registrada en la primera quincena, tal como se muestra en la figura 2.



Figura 2. Resultados de la *P. stratiotes* y *E. crassipes*

En la segunda etapa se evaluaron los parámetros de SST y pH, por lo que esta etapa se realizó en el laboratorio de la UNISCJSA.

Para los sólidos totales en suspensión (SST)

En la tabla 1, se muestran los resultados de la evaluación y control de los SST en muestreos quincenales.

Tabla 1
Resultados de la evaluación del parámetro Sólidos Totales Suspendidos del agua según los tratamientos con reactor biofiltro mediante el método gravimétrico.

Parámetro	Unidad de medida	Fecha	T ₀	T ₁	T ₂
SST	mg/L	18/10/2022	400 mg/L	400 mg/L	400 mg/L
		02/11/2022	400 mg/L	300 mg /L	350 mg/L
		17/11/2022	300 mg/L	230 mg/L	250 mg/L
		02/12/2022	200 mg/L	190 mg/L	180 mg/L
		17/12/2022	200 mg/L	100 mg/L	110 mg/L

Fuente: Elaboración propia.

En los 15 primeros días, la muestra evaluada en T₀ presentó 400 mg/L de SST, en T₁ el valor disminuyó a 300 mg/L y el resultado obtenido mediante T₂ se logró disminuir la concentración

a 350 mg/L. Para la segunda muestra realizada a los 30 días, en T₀ se obtuvo un valor de 300 mg/L de SST, en el caso de los tratamientos con T₁ y T₂., se determinó una cantidad de 230 mg/L y

250 mg/L respectivamente. Asimismo, en el día 45, en T₀ se obtuvo un valor de 200 mg/L, mientras que en el tratamiento con T₁ se evidenció una concentración de 190 mg/L y en T₂ una concentración de 180 mg/L. Finalmente, en el día 60 en T₀ resultó con 200 mg/L, por consiguiente, en los valores de SST en T₁ y T₂ se evidenció una reducción a 100 mg/L y 110 mg/L respectivamente tal como se muestra en la figura 3.

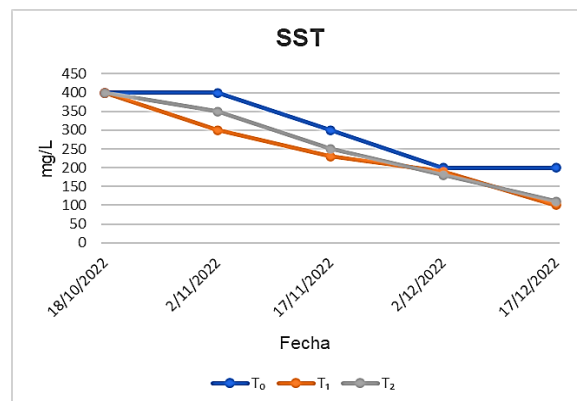


Figura 3. Variación de los Sólidos Totales Suspensos (SST) del agua en tres tratamientos (T₀: control, T₁: 20 plantas de *P. stratiotes*, T₂: 20 plantas de *E. crassipes*).

Potencial de Hidrógeno (pH)

En la tabla 2, se muestran los resultados de la evaluación de los tres puntos de muestreo en cada quincena.

Tabla 2

Resultados de la evaluación del parámetro de Potencial de Hidrógeno del agua según los tratamientos con reactor biofiltro.

Parámetro	Unidad de medida	Fechas	T ₀	T ₁	T ₂
pH	pH	18/10/2022	8.82	8.82	8.82
		02/11/2022	8.0	8.0	8.5
		17/11/2022	8.0	7.84	8.28
		02/12/2022	7.99	7.51	7.75
		17/12/2022	7.99	7.83	7.87

Fuente: Elaboración propia.

En el día 15, en T₀ resultó un pH de 8.0, pero, en T₁ y T₂, se obtuvo un pH de 8.0 y 8.5, respectivamente. Asimismo, en los días 30 y 45 el T₀ obtuvo los resultados de pH en la muestra control de 8.0 y 7.99, seguidamente el T₁

resultados de 8.28 y 7.75 y para el T₁ resultados de 7.84 y 7.51, en el orden dado. Finalmente, para el día 60, el T₀ reflejó un pH de 7.99, de la misma manera hubo una reducción en pH consecuente del T₁ y T₂, en 7.87 y 7.83,

correlativamente, tal como se muestra en la figura 4.

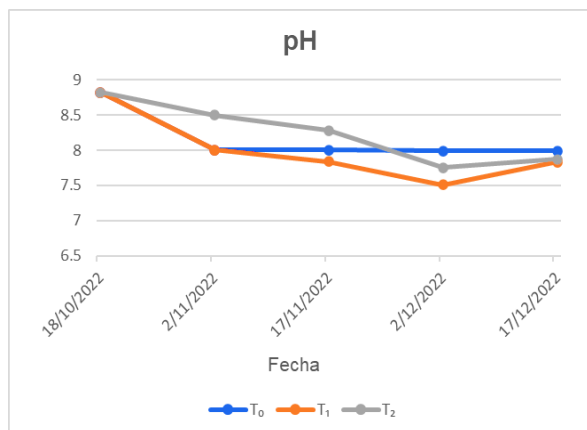


Figura 1. Variación del pH del agua en tres tratamientos (T₀: control, T₁: 20 plantas de *P. stratiotes*, T₂: 20 plantas de *E. crassipes*).

Discusión

En los reactores T₀, T₁, T₂, para los contaminantes físicos y químicos en las aguas servidas, mostró un porcentaje de remoción de acuerdo con la interacción que sostuvo cada macrófita por un periodo de 60 días, con la instalación del biofiltro en un lugar con iluminación favorable para su desarrollo y crecimiento. Según Pérez (2009) las plantas acuáticas cuando mueren liberan grandes cantidades de nutrientes, por lo que es crucial recolectarlas antes de esto para evitar un exceso de nutrientes en el agua y mantener un buen nivel de oxígeno. En el presente estudio se observó que las especies se marchitaban constantemente hasta que los niveles de eutrofización fueron aceptables para las plantas acuáticas. Es decir, la investigación logró adaptar correctamente ambas especies a las aguas

residuales, demostrando su capacidad de tratamiento y adaptación a este tipo de entornos. En la investigación realizada por Fonseca y Coleman (2021) titulada "Evaluación de la eficiencia de las plantas flotantes *E. crassipes* sp. y *P. stratiotes* sp., en el proceso de transferencia de oxígeno para el mejoramiento de la calidad de las aguas residuales provenientes de la granja demostrativa de peces de la UNA", mencionan que el proceso de adaptación de las plantas una vez instalada es regularmente bueno, puesto que los envases que contenían las plantas macrófitas con el residual estaban ubicados en una zona de amplia cobertura lumínica para favorecer a la interacción del sistema radicular con las muestras de aguas residuales. Todo esto favoreció en su adaptación para la neutralización y reducción de los parámetros analizados.

Los resultados obtenidos de las macrófitas en comparación con los Límites Máximos Permisibles establecidos por el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, no sobrepasaron los 150 mg/L en Sólidos Totales en Suspensión, ello significa que se encuentran dentro de los parámetros establecidos. En la presente investigación realizada, el reactor T₁ muestra una mayor eficiencia de 300 mg/L en reducción; que equivale al 75%, respecto al reactor T₂ que solo mostró 290 mg/L que es igual a 72.5%. Resultados similares a los obtenidos por Chang y Huamán (2019) en su tesis "Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas

mediante las macrofitas *Eichhornia crassipes sp.* y *Pistia stratiotes sp.*, plantas típicas de la Selva Peruana”, identificaron que al iniciar el ARD sin tratamiento tenía 20 mg/L de SST, al pasar dos meses de tratamiento con las macrofitas “*E. crassipes sp.* y la *P. stratiotes sp.*”, se redujeron estos valores a 6 mg/L en 70% de remoción de SST y 2 mg/L en un 90% de remoción de SST respectivamente, siendo favorable para ambos casos.

El potencial de hidrógeno se debe al equilibrio carbónico y a la actividad vital de los microorganismos acuáticos Alvares (2006). De acuerdo a los resultados de la investigación, se muestra que para el reactor T₁ se obtuvo una efectividad de 0.99 que representa al 11.2% de eficacia a comparación con el reactor T₂ con un 0.95 equivalente a 10.8%. Por consiguiente, según los LMP establecidos por el DS-003-2010-MINAM, los valores de pH obtenidos están dentro de los estándares aceptables, el cual considera un pH entre 6.5 - 8.5. Estos resultados guardan relación con lo obtenido por Aranda y Pinche (2020), donde detallan que su muestra control presentó un valor alcalino de 8.19, los

tratamientos con macrofitas mostraron un cambio semejante en cuanto a nivel de pH. Obteniendo en ambos tratamientos un pH de 6 el cual equivale a un 26.8% de eficiencia de remoción, convirtiéndose en un pH ligeramente ácido. No obstante, Limache y Tirado (2022) en su investigación “Acción de dos macrofitas para el tratamiento del agua residual de las lagunas de estabilización de Magollo, Tacna – Perú” obtuvieron valores de pH que fluctuaron entre los 7.22 y 7.46 en un periodo de 60 días.

Conclusión

Mediante la aplicación de las plantas macrofitas *P. stratiotes sp.* y la *E. crassipes sp.* en las aguas residuales se logró una eficiencia de remoción de SST entre 70 y 90% de su concentración y la neutralización del pH.

La especie de macrofita *stratiotes sp.* logró la remoción de SST en un 75% y el pH hasta en 11.2%; mientras que para la especie de *E. crassipes sp.* se obtuvo una reducción de SST equivalente a 72.5% y el pH hasta en 7.87%, ambos en 60 días.

Contribución de los autores

LWVL Elaboración y redacción del artículo

LJCJ Elaboración y redacción del artículo.

MAIG Elaboración y redacción del artículo.

MNVM Elaboración y redacción del artículo.

NJMG Elaboración y redacción del artículo.

RABA Elaboración y redacción del artículo.

BEBL Asesor, redacción, edición y revisión final del artículo.

JZMH Elaboración y redacción del artículo.

Conflictos de interés

No presenta conflicto de intereses.

Referencias

- Alvarez, A., Rubiños, E., Gavi, F., Alarcón, J., Hernández, E., Ramirez, C., . . . Salazar, E. (2006). Índice de calidad del agua en la cuenca del río Amajac, Hidalgo, México: Diagnóstico y Predicción. *Scielo*. Obtenido de <http://www.scielo.org.ar/pdf/phyton/v75/v75a07.pdf>
- Aranda, G., y Pinchi, X. (2020). Eficiencia de las macrófitas Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y repollo de agua (*Pistia stratiotes*) en la remoción de nutrientes en las aguas contaminadas de la laguna Ricuricocha por los efluentes de la ganadería del Águila–Morales-San Martín. repositorio upeu. Obtenido de https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3120/Gloria_Tesis_Licenciatura_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Camacho, J. y Ordoñez, L. (2008). Evaluación de la eficiencia de un sistema de recuperación de aguas residuales con *Eichhornia crassipes* para el postratamiento del efluente del reactor anaerobio a flujo pistón de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana, p. 2740. Obtenido de <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/4238/000004197T-AMBIENTAL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chang G y Huamán, T. (2019). Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante las macrófitas *Eichhornia Crassipes* y *Pistia Stratiotes*, plantas típicas de la Selva Peruana. Alicia. Obtenido de https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UEPU_47401401f977d5584a7bec64b6f83f1e
- Correa, S. (2015). Evaluación del Aporte de las Plantas Acuáticas *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes* en el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Obtenido de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642018000200205

- Fonseca, K., y Coleman, E. (2021). Evaluación de la eficiencia de las plantas flotantes *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*, en el proceso de transferencia de oxígeno para el mejoramiento de la calidad de las aguas residuales provenientes de la granja demostrativa de peces de la UNA. Repositorio UNA. Obtenido de <https://repositorio.una.edu.ni/4600/1/tnp10f676.pdf>
- Jiordye, A. A. (2019). Informe de planta de tratamiento de aguas residuales. Obtenido de https://compress-pdf.lesv.info/?fileurl=https://docdownloader.com/get/informe-de-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-jiordy-acua-anguiz-pdf-free&title=%5BPDF%5D+Informe+de+Planta+de+Tratamiento+de+Aguas+Residuales+%28Jiordy+Acu%C3%B1a+Anguiz%29&utm_source=dlconvert&utm_medium=queue&utm_campaign=64396a43a069880a458b4585
- Limache, F., y Tirado, L. (2022). Acción de dos macrófitas para el tratamiento del agua residual de las lagunas de estabilización de Magollo, Tacna – Perú. *UNJBG*. Obtenido de <https://revistas.unjbg.edu.pe/index.php/cyd/article/view/1239/1698>
- Perez, E. (2009). “Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de Durango”. *Repositorio institucional*. Obtenido de <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/598/1/Tesis%20Ma.%20Elena%20P%C3%A9rez%20L%C3%B3pez.pdf>
- Sooknah, R. , y CWilkie, A. (2004). Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater. *Ecological Engineering* Vol. 22, 27-42. Obtenido de https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3230/Karina_Tesis_Licenciatura_2020.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Sunass. (2022). Diagnóstico de plantas de tratamiento de las aguas residuales (PTAR) en el ámbito de empresas prestadoras. Lima. Obtenido de <https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>
- UNESCO, (2017). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos, 2017: Aguas residuales: el recurso no explotado. Obtenido de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>