



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Revisión Sistemática: Ecoeficiencia de las tecnologías del
tratamiento de aguas residuales domésticas en los últimos 10
años**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTOR:

Yucra Ramos, Giancarlo Jonathan (0000-0001-6274-0408)

ASESOR:

Dr. Lozano Sulca, Yimi Tom (0000-0002-0803-1261)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA-PERÚ

2021

Dedicatoria

A quienes me apoyaron en el íntegro de esta investigación, así como también a todas las personas que contribuyeron en mi formación profesional y personal.

Agradecimiento

A mis padres y hermana por el soporte incondicional que me brindaron para cumplir mis objetivos profesionales y personales, del mismo modo a mis familiares que me apoyaron a lo largo de mi carrera.

Al Dr. Yimi Lozano, por impartir sus conocimientos, paciencia y dedicación en esta investigación. Y a todos mis compañeros de la universidad.

Índice de contenidos

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Índice de abreviaturas.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	16
3.1. Tipo y diseño de investigación	16
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización.....	16
3.3. Escenario de estudio	19
3.4. Participantes	19
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	19
3.6. Procedimiento	19
3.7. Rigor científico	22
3.8. Método de análisis de datos.....	22
3.9. Aspectos éticos	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
V. CONCLUSIONES	32
VI. RECOMENDACIONES	33
REFERENCIAS.....	34
ANEXOS	

Índice de tablas

Tabla 1:	Parámetros categóricos de las AR.....	10
Tabla 2:	Identificación de aspectos de impactos ambientales de las PTARD.....	12
Tabla 3:	Matriz de categorización.....	17
Tabla 4:	Criterios de búsqueda.....	21
Tabla 5:	Ecoeficiencia de las TTAR.....	24
Tabla 6:	Rendimiento de las TTAR.....	26
Tabla 7:	Recursos de las TTAR.....	29
Tabla 8:	Impactos ambientales de las TTAR.....	31

Índice de figuras

Figura 1:	Aguas residuales domésticas.....	11
Figura 2:	Subdivisión de las clasificaciones de las TTARD.....	13
Figura 3:	Subdivisión de las clasificaciones de las TTAR.....	13
Figura 4:	Recopilación de información.....	20

Índice de abreviaturas

AR: Aguas Residuales

RH: Recurso Hídrico

ARD: Aguas Residuales Domésticas

PTAR: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

PTARD: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas

TAR: Tratamiento de Aguas Residuales

TTAR: Tecnologías del Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas

LMP: Límites Máximos Permisibles

DBO5: Demanda Biológica de Oxígeno

ST: Sólidos Totales

SST: Sólidos Suspendidos Totales

ERNC: Energías Renovables no Convencionales

TRH: Tiempo de Retención Hidráulica

OR: Optimización de Recursos

VB: Aumenta el Valor del Bien o Servicio

IA: Reducción de Impactos Ambientales

OE: Objetivo Especifico

PE: Problema Especifico

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el objetivo de determinar la ecoeficiencia de las TTARD en los últimos 10 años. El estudio de tipo básico, de enfoque cualitativo, asimismo, mediante la revisión sistemática, permitió el estudio y análisis de artículos recopilados de fuentes como: Scielo, Redalyc, ProQuest y repositorios priorizando una antigüedad no mayor a 10 años. Los resultados indicaron que las tecnologías no convencionales son más ecoeficientes comparadas con las tecnologías convencionales, actuando con o sin sinergia de otras tecnologías; dado que, el valor de estas aguas se ve aumentado como consecuencia del tratamiento recibido contrastando el valor de estas aguas tratadas con los límites máximos permisibles (LMP) para las plantas de tratamientos de aguas residuales (PTAR) según la normativa; en cuanto a la optimización de recursos, se consideró que disminuir la cantidad de materia orgánica es la función principal de las PTAR para lo cual se tomó como unidad funcional la remoción de 1Kg de DBO5 en un metro cubico de agua tratada y la minimización de impactos ambientales, como refieren diversas investigaciones. Se concluye que la tecnología del tratamiento de aguas residuales domésticas que tuvo mejor ecoeficiencia en los últimos 10 años corresponde las TTARD no convencionales.

Palabras clave: Aguas residuales domésticas, tratamiento de aguas residuales, aguas urbanas, aguas residenciales, aguas rurales.

ABSTRACT

The present investigation was carried out with the objective of determining the eco-efficiency of TTARDs in the last 10 years. The study of a basic type, with a qualitative approach, also, through a systematic review, allowed the study and analysis of articles collected from sources such as: Scielo, Redalyc, ProQuest and repositories, prioritizing an antiquity of no more than 10 years. The results indicated that unconventional technologies are more eco-efficient compared to conventional technologies, acting with or without synergy with other technologies; given that, the value of these waters is increased as a consequence of the treatment received, contrasting the value of these treated waters with the maximum permissible limits (LMP) for wastewater treatment plants (WWTP) according to the regulations; Regarding the optimization of resources, it was considered that reducing the amount of organic matter is the main function of the WWTP, for which the removal of 1Kg of BOD5 in a cubic meter of treated water and the minimization of impacts was taken as a functional unit. environmental, as reported by various investigations. It is concluded that the domestic wastewater treatment technology that had the best eco-efficiency in the last 10 years corresponds to the unconventional TTARD.

Keywords: domestic wastewater, wastewater treatment, urban water, residential water, rural water

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente se conoce la existencia del crecimiento exponencial de la población. La ONU (2011) refiere que la población mundial aumentó casi un 40% al llegar a los 5 mil millones de habitantes en 1987; lo que indica el crecimiento demográfico (p. 1). Por tanto, se infiere que la mayor parte de las actividades realizadas por la población implican el uso de agua de manera cotidiana, las cuales se vierten al sistema de alcantarillado con una alta carga de contaminantes (Benavides y Chavez, 2020, p. 11), y a su vez los caudales de afluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas (PTARD) son afectados directamente en cantidad debido al aumento del volumen de ARD (Aguas residuales domésticas) de origen antrópico, los cuales terminan vertiéndose en cuerpos de aguas como ríos o lagos sin un previo tratamiento; generando impactos negativos en los ecosistemas y seres humanos (Zurita-Martínez, Castellanos-Hernández y Rodríguez-Sahagún, 2011, p. 143).

Los tratamientos de aguas residuales (TAR) son una alternativa para minimizar los contaminantes sosteniblemente, evitando impactos ambientales y en la salud humana (Rubina, 2018, p. 9) entre ellas las ARD; sin embargo, no todos los países pueden tener accesos a las PTARD que permiten recuperar las aguas contaminadas, pues en la mayoría de países subdesarrollados el alto costo de mantenimiento e implementación de las PTARD son limitantes para el acceso al saneamiento de los cuerpos de agua (Zurita-Martínez *et al.*, 2011, p. 141). Entonces, las ARD de estas naciones desembocan a un cuerpo receptor sin previo tratamiento, con un perjuicio significativo al medio ambiente, a diferencia de los países desarrollados (UNESCO, 2017, p. 1); del mismo modo, Castillo y Chimbo (2021) aseveran que el inadecuado manejo de estos cuerpos de agua con alta carga de contaminantes constituye un problema de polución ambiental y la salud pública al ser vertidas directamente (p. 80). Una situación haciendo referencia a lo anterior mencionado es lo que sucede en Moquegua- Perú, donde solo el 27,96% de aguas residuales son tratadas debido a la escasez de las PTARD y las existentes no cuentan con un diseño adecuado según las normas de sanitarias, siendo este un problema a nivel nacional (Gobierno Regional Moquegua, 2014, p. 12).

Por tal razón, es vital emplear alternativas amigables con el ambiente, eficientes y rentables para tratar las ARD (Sosa, Viguera y Holguín, 2014, p. 56). Como Abello-Pasteni (2020) menciona que existen tecnologías ecoeficientes que permiten el tratamiento de aguas residuales domésticas, (TARD) presentando menor uso de recursos naturales, cumpliendo con las normas vigentes y reduciendo los impactos ambientales de estos procesos (p. 198). De este modo, TTARD ecoeficientes favorecen que los países puedan tener acceso a la construcción de las PTARD para la recuperación de las aguas, permitiendo que exista mayor cobertura de saneamiento, la optimización de recursos naturales que es de vital importancia en la sociedad y garantiza un desarrollo sostenible a comparación de otras tecnologías.

Teniendo en cuenta la realidad problemática en esta investigación se planteó como **problema general** ¿Cuál es la ecoeficiencia de las TTARD en los últimos 10 años? A partir del problema general se plantean de problemas específicos los siguientes:

PE1: ¿Cuáles son los rendimientos de las TTARD en los últimos 10 años?

PE2: ¿Cuáles son los consumos de recursos de las TTARD en los últimos 10 años?

PE3: ¿Cuáles son los impactos ambientales de las TTARD en los últimos 10 años?

Según Abello-Passteni *et al.* (2020) las PTARD permiten atenuar los impactos al medio ambiente de las aguas residuales domésticas en especial si estas presentan una tecnología ecoeficiente (p. 191). Por tal motivo, es importante el uso de una tecnología ecoeficiente en el proceso del TARD.

Esta investigación se justifica al concentrar la información para decisiones futuras en la construcción de nuevas PTARD acorde a una tecnología ecoeficiente. Así como, brindar información de las tecnologías del tratamiento de agua residual domésticas (TTARD) con mayor rendimiento y menor impacto ambiental en los últimos 10 años. Por ello, el presente estudio recae en tres contextos de justificación: teórico, social y práctico.

A nivel teórico, se enfoca en explicar cómo una adecuada TTARD mejora el rendimiento del proceso, optimiza el consumo de recursos, minimiza los impactos ambientales generados y como estos en conjunción favorecen al desarrollo sostenible. Además, se busca establecer conocimientos científicos en relación a las TTARD. Si bien existen investigaciones sobre el tema, se debe tener presente que existe escasa información científica disponible sobre la ecoeficiencia de las TTARD.

Por otro lado, desde una perspectiva social es de suma importancia investigar la ecoeficiencia de las TTARD, ya que existen investigaciones que demuestran que el uso de una adecuada tecnología minimiza la contaminación del medio ambiente y de este modo la población se beneficie con una mejor calidad de vida; por lo tanto, esta investigación permitirá tomar medidas de acción para un desarrollo sostenible en la población.

Asimismo, a nivel práctico es de interés apreciar de manera objetiva la importancia de la ecoeficiencia de las TTARD, con el fin de brindar información que permita contrarrestar las TTARD en ecoeficiencia, explicando la problemática existente en el medio ambiente lo cual repercute en la salud de la población y así informar para elaborar programas en la creación de futuras PTARD que permitirán mitigar la contaminación en el medio ambiente, con un trabajo multidisciplinario para un equilibrio económico, ambiental y social para la población; así como, de pretender servir para futuras investigaciones.

Por lo antes mencionado, el **objetivo general** es determinar la ecoeficiencia de las TTARD en los últimos 10 años el cual tiene como objetivos específicos:

OE1: Comparar bibliográficamente los rendimientos de las TTARD en los últimos 10 años.

OE2: Contrastar bibliográficamente los consumos de recursos de las TTARD en los últimos 10 años.

OE3: Cotejar bibliográficamente los impactos ambientales de las TTARD en los últimos 10 años.

II. MARCO TEÓRICO

A fin de respaldar la investigación se presentan algunos estudios nacionales relacionados a la variable de investigación:

En Lima, se realizó la investigación sobre las técnicas para el TAR de lavandería, su objetivo fue comparar y analizar sus pros y contras de las técnicas de aguas residuales. Se utilizó la técnica de compilación de información de análisis documental siendo el 73% artículos. Mostrando que el proceso en conjunción de coagulación – floculación y filtración tuvo como resultado una eliminación de surfactantes (99.2%), DQO (98.9%), color (99.9%) y turbidez (99.4%) para un intervalo de tiempo (50–150 min), la técnica de oxidación foto catalítica dio unas resultantes máximas de surfactantes (46%), Nitratos (51%) y DQO (53.2%) en un lapso de un día; y la técnica de humedales artificiales arroja una mitigación máxima de surfactantes (97%), Sólidos suspendidos totales (95.51%) y DQO (91%) para una duración de 15 días. Por tanto, concluyeron que la sinergia entre coagulación – floculación y filtración presenta mayor eficiencia en remoción y tiempo. (Benavides y Chavez, 2020, p. 9).

En Arequipa, se estudió sobre la optimización del TARD usando el sistema MBBR en la provincia Caylloma – AQUAFIL, el propósito fue mejorar la funcionalidad de las PTARD, para ello evaluaron, analizaron y optimizaron el TAR mediante Biocarriers los cuales se adicionaron en los biorreactores para la transformación de los sistema de lodos activados a un sistema “Moving Bed Biofilm Reactor” -MBBR- que permitió el deterioro orgánico aumentando el 40% de la capacidad total de tratamiento de la PTARD. Como resultado se obtuvo que la PTARD presenta la capacidad de trata el caudal promedio de 280 m³ /d de la ciudad. (Reyes, 2020, p. 9).

En Tarapoto, estudiaron la eficiencia del lombrifiltro y biofiltro en la remoción de DBO y DQO en ARD con el objeto de comparar y analizar 6 tratamientos en la remoción de DBO y DQO en las ARD, para ello realizaron pruebas de valor a fin de sintetizar la información. Determinaron que el tratamiento de Lodos activados en el TARD del distrito de San Miguel presentó un valor de 17 por tanto,

concluyeron que es más eficiente y amigables con el ambiente (Cuesta y Díaz, 2020).

En Juliaca, se investigó la eliminación de nitrógeno (N) y fósforo (P) de las ARD por la biomasa de microalgas del riachuelo Torococha en circunstancias de laboratorio mediante el proceso de eutrofización, utilizando las metodologías biológicas y químicas con el objetivo de señalar la capacidad de eliminación de nitratos y fosfatos utilizando biomasa de microalgas *Chlorella sp*, se utilizaron metodologías estandarizadas para analizar aguas potables y residuales, la técnica del peso seco y el método colorimétrico. Los resultados encontrados fueron: Incremento de biomasa del 143%, eficiencia de eliminación para los Nitratos (78.42%) y para los Fosfatos (86.34%). Por tanto, concluyeron que existe una remoción mayor al 70%, haciendo uso de la biomasa de microalgas *Chlorella sp*. (Sanca, 2019, p. 11).

En Moquegua, estudiaron a la lombriz roja californiana en el TARD, el propósito de la investigación fue evaluar la eficiencia de la lombriz roja californiana para el TARD, para ello tomaron como muestra ARD (afluente), considerando parámetros físicos, químicos y microbiológicos para el estado inicial. Los afluentes pasaron por el tratamiento con lombrices para ser evaluadas en función de diferentes flujos de riego: A₁ (0,5 [m³/día]/m²), A₂ (1 [m³/día]/m²) y A₀ (grupo control), considerando los mismos parámetros para efluentes y afluentes. Se utilizó el ANOVA y la prueba de Tukey. Los resultados mostraron alto nivel de remoción de STS en A₁, mayor descenso de la temperatura y coliformes termo tolerantes en A₂; sin embargo, en ambas evidenciaron eficiencia en DBO₅ y pH, determinando un descenso medio de 0,82 °C, 61,11% de STS, 50,14% de DBO₅, 99,71% de coliformes termo tolerantes, y un pH final de 8,27 (Cáceres, Calisaya y Bedoya, 2018, p. 13).

En Lima, se investigó la evaluación de la eficiencia del tratamiento secundario de ARD utilizando un biofiltro con *eisenia foetida* y un biofiltro convencional. El objetivo fue determinar la eficiencia entre los dos TARD para la remoción de los parámetros de turbiedad, SST, aceites & grasas, DBO₅ y Coliformes termo tolerantes, con fines de riego agrícola; los afluentes de los mismos fueron evaluados por un periodo de 4 semanas, obteniendo como resultados que el

biofiltro con la especie *Eisenia foetida* fue eficiente en remoción de parámetros de calidad de agua con turbiedad (89%), SST(40%), Aceites & grasas (45,95 – 89,69%), DBO5 (65 – 88,57 %) y coliformes termo tolerantes (99,97 – 99,99%); sin embargo, el biofiltro convencional presenta una eficiencia de calidad de agua de turbiedad (95-99%) , SST (54,27 - 75%), Aceites & grasas (88,11 – 89,69%), DBO5 (94,17 – 95,83%) y Coliformes termo tolerantes. (99,99%) determinando que el biofiltro con la especie *Eisenia foetida* es menos eficiente a comparación del biofiltro convencional. (Loro, 2018).

Mientras que, en Trujillo, se investigó la determinación de remoción de BDO de las ARD utilizando un biofiltro de piedra pómez teniendo como objetivo mejorar la calidad del agua; por tal motivo, construyeron un sistema de Biofiltración a escala laboratorio empleándose Hongos del tipo levadura de la especie *Saccharomyces cerevisiae*, adheridas a un soporte de piedra pómez. Acondicionaron y adaptaron al hongo con solución azucarada, para medir la concentración de Oxígeno Disuelto, utilizó el método Winkler, pH, sólidos totales y en un periodo de 4 días se obtuvieron remociones de OD=17.41%, pH=8.97%, ST=38.49%. Para la verificación de eficiencia del Biofiltro, el ARD sin coliformes fecales, se ensayó 5 días por cada mes durante un trimestre para obtener la DBO5, pH, ST. Los resultados obtenidos demostraron tener eficiencias de remoción promedio DBO5= 73.79%, pH= 34.55%, ST=85.65%. Concluyendo que el sistema de biofiltración es eficiente en la remoción de materia orgánica, con un óptimo del pH y reducción de los ST (Cornejo, 2015).

En Moyobamba, se estudió la eficiencia de un filtro sumergido y un filtro percolador en el tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas con el objetivo en determinar la remoción de contaminantes del efluente de tanque séptico en una filtración biológica. Se determinó que existió concentraciones de DBO, DQO y SST, es decir, una remoción de 83%, 95% y 89% respectivamente. Por lo que concluyeron que cumplen con el límite máximo permisible para las PTAR la normativa peruana (Rodríguez, 2014).

Asimismo, es importante conocer algunos estudios internacionales.

En Ecuador, estudiaron experimentalmente la remediación de materia orgánica usando vermifiltros en ARD para zonas rurales, con el propósito de evaluar la eficiencia de los mismo; para ello diseñaron el vermifiltro usando de base el sistema Tohá. Evaluaron el valor de carga orgánica del influente los cuales obtuvieron valores altos de concentrados de Demanda Biológica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Suspendidos Totales y Sólidos Totales, alcanzando altos valores de remoción con un caudal de 1.8×10^{-2} l/s y un tiempo de retención hidráulica de 0.92 horas obtuvo 52.25 % para Demanda biológica de oxígeno y Demanda química de oxígeno, 66.74 % de Sólidos suspendidos totales y 52.91 % de ST en el primer tratamiento. Determinaron el tratamiento de vermifiltro con *Eisenia foetida* para la mitigación de materia orgánica, es una tecnología amigable con el medio ambiente con costos bajos y eficiente (Castillo y Chimbo, 2021, p. 80).

En Chile, realizó una investigación de ecoeficiencia de TTARD, su objeto fue evaluar la ecoeficiencia en diversas TTARD según la norma ISO 14045 (2012). examinaron 15 PTAR, haciendo uso del método de análisis de ciclo de vida; de este modo, calcular el impacto al medio ambiente. Los resultados encontrados indicaron que la principal fuente de consumo es la electricidad en los impactos estudiados, el vermifiltro como tecnología eco eficiente en lo climático y eutrofización. Concluyendo que las tecnologías no convencionales son ecoeficientes a comparación de las tecnologías convencionales. (Abello-Passteni, Muñoz, Lira y Garrido-Ramírez, 2020, p. 192).

En Bolivia, con el objetivo de vincular la eficiencia de plantas de tratamiento de pequeñas poblaciones en el departamento de Cochabamba, así como los tipos de operaciones y mantenimientos en su implementación; se investigó la eficiencia relacionada a la manera de operar y de mantener las micro PTARD, en este sentido se realizaron diagnósticos a cinco PTAR rurales más una urbana, teniendo en cuenta en las tecnologías la eficiencia, la operación y el mantenimiento. La metodología se basó en trabajo de campo para recopilar información de las plantas de tratamiento. Lo obtenido mostró que la puntuación en la manera de operar y mantener estos sistemas se relaciona con los parámetros de DQO y DBO en las eficiencias de tratamiento de los sistemas investigados. (Mercado, Cossío y Copa, 2020, p. 524).

Por otro lado, en Colombia, realizaron una investigación de revisión bibliográfica para analizar los más destacados procesos biológicos de TARD, para integrar, examinar y analizar los diversos procesos de TARD para reconocer las mejoras continuas que tuvieron dichas tecnologías como sus variantes; reconociendo sus etapas de mitigación, costos y la viabilidad en su forma de operar. Los resultados señalan que las tecnologías más usadas son: humedales artificiales, lodos activados y lagunas de estabilización; asimismo, se corroboró que la eliminación del 80% de DBO5, DQO y SST se produce por los tratamientos biológicos, resaltan la viabilidad económica, funcional y operacional. (Vargas, Jimmy Calderón, Velásquez, Castro y Núñez, 2019, p. 315).

En México, estudiaron el Biotratamiento de efluentes secundarios municipales utilizando microalgas, analizaron la asimilación de C, N y P, la repercusión de los factores dependientes del pH y su relación con el nivel terciario del tratamiento de aguas municipales durante la elaboración de biomasa de microalgas. Llegando a la conclusión que las tecnologías biológicas, como el cultivo de microalgas, es una alternativa viable (Beltrán-Rocha *et al.*, 2017, p. 417).

Otro estudio realizado en Chile, se basó en el modelo integrado de un sistema de biodepuración en origen de ARD para comunidades periurbanas del centro sur de Chile, con uso de biofiltro, el cual está compuesto de lombifiltro además de una conjugación de humedales artificiales de flujo subsuperficial y libre. Lo obtenido determina el aporte de beneficios medioambientales como alternativa para la sostenibilidad de los recursos naturales. (Parra y Chiang, 2013, p. 39).

En México, realizaron una investigación sobre la biofiltración en materiales orgánicos, con el objetivo de llevar a cabo una escala real de una tecnología sustentable para el TAR en comunidades de poco tamaño e industrias y de qué manera impactan en zonas urbanas, agropecuario, agroalimentario en México y Canadá. Después de seis años de operación a una escala real se obtuvieron como resultados que la eficiencia mundial de la tecnología de biofiltración interaccionando con un lecho orgánico se posiciona alrededor de 90 y 99%, respecto a los diversos parámetros investigados; determinando que, la tecnología de biofiltración sobre lecho orgánico es robusta, segura, simple y

eficaz, adecuada para solucionar problemas ambientales de naciones en vías de desarrollo. Tanto su operación como mantenimiento tienen bajos costos lo que hace de esta una elección bastante factible para tratar aguas residuales que tienen como origen comunidades pequeñas, zonas rurales e industrias agropecuarias. (Garzón-Zúñiga, Buelna, Moeller-Chávez, 2012, p. 153).

En México, realizaron un estudio para tratar AR municipales en las zonas rurales con el objetivo de investigar el acontecer contemporáneo sobre el tratado de AR municipales en las zonas rurales y también lo que se interpone para seguir aumentando la red de las plantas de tratamiento. Para ello recopilaron información de diversas fuentes con el fin de analizar y procesarlos. Concluyeron que para el tratamiento de caudales abultados en áreas reducidas se necesita tecnología de alto costo; sin embargo, para brindar tratamiento a comunidades rurales es recomendable el uso de tecnologías naturales como humedales artificiales y lagunas de estabilización la razón principal son sus bajos costos de edificación, mantenimiento y operación (Zurita-Martínez, Castellanos-Hernández y Rodríguez-Sahagún, 2011, p. 139).

A continuación, se explicarán las bases teóricas de la Ecoeficiencia de las TTARD.

Los derivados del sistema de agua potable son las aguas residuales que después de su uso por actividades humanas cambiaron su composición (León, 2020, p. 4). las cuales deben recibir un tratamiento previo a ser consumidas o vertidas a los cuerpos de agua y redes de alcantarillado (Cárdenas, 2019, p. 14). Es decir; las aguas residuales derivan producto de las actividades antropogénicas ya sean industriales o domésticas, las cuales deben recibir un tratamiento previo a su vertimiento.

En el año 2014 la Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental clasifica las AR en tres tipos (Cárdenas, 2019, p. 14):

Aguas residuales domésticas: Son aguas resultantes de actividades humanas, las cuales pueden tener origen domiciliario y/o comercio. Provenientes de la cocina, baños, lavandería u otros.

Aguas residuales industriales: Son aguas producto del parque industrial, las cuales alteran su composición química, física, biológica en los diversos subsectores industriales llámese minero, agrario, cervecería, curtiembres, etc.

Aguas residuales urbanas: Son resultantes de la conjunción de las domiciliarias, industriales y/o precipitaciones atmosféricas.

Por otro lado, CENTA en el 2008 clasifica las aguas residuales según su origen, estas son: domésticas, comerciales, industriales, agrícolas, de infiltración, lluvia o aguas blancas y superficiales (León, 2020, p. 4).

Para Qasim (como se citó en, León, 2020, pp. 5-6) existen parámetros que definen en la calidad de AR y se dividen 3 categorías que la **Tabla 1** explica:

Tabla 1. *Parámetros Categóricos de las AR*

CATEGORÍAS DE LOS PARÁMETROS DE AR		
FÍSICOS	BIOLÓGICOS	QUÍMICOS
		Sólidos suspendidos, sólidos disueltos y sólidos sedimentables
	Helmintos	DQO, DBO y COT
Temperatura	Virus	Nitrógenos totales (nitrógeno orgánico, amonio, nitrito y nitrato)
Color	Protozoos	Fósforos totales (fósforo orgánico y fósforo inorgánico)
Olor	Hongos	
Turbiedad	Algas	pH
	Arqueas y Bacterias	Alcalinidad
		Cloruros
		Aceites y grasas

Fuente: Elaboración propia.

Las aguas residuales domésticas (ARD) derivan de las áreas de residencia, comercios e instituciones las cuales generan desechos orgánicos e inorgánicos (Sanca, 2017, p. 28). En la **Figura 1** se puede apreciar la división de aguas residuales domésticas.

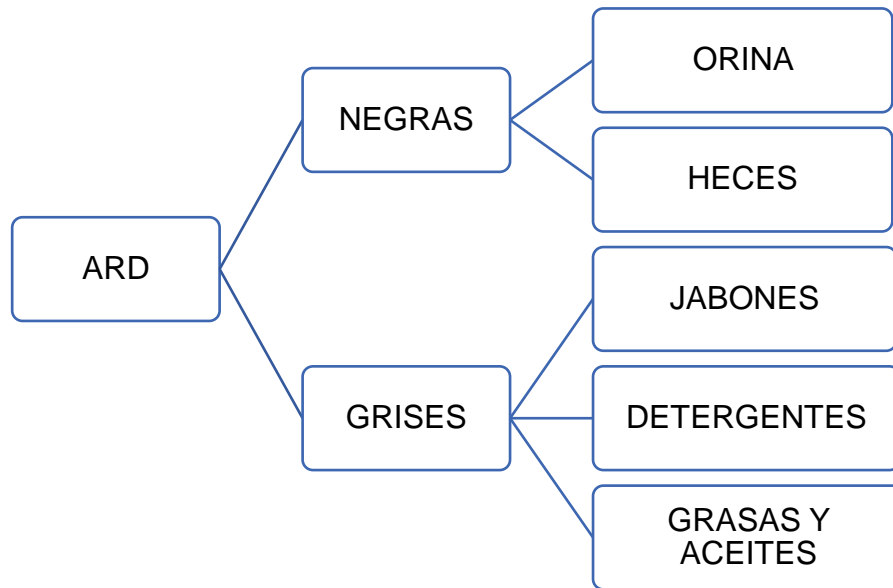


Figura 1: Aguas Residuales Domésticas

Fuente: Elaboración propia adaptado de Benavides y Chávez, 2020, p. 13.

Las aguas residuales domésticas (ARD) están compuestas de heces provenientes de los inodoros, lípidos de la cocina además de otros restos orgánicos producto de la elaboración de las comidas. En consecuencia, dada su procedencia, son aguas residuales con una gran concentración de materia de origen biológico (elevado DBO5 y elevada concentración de sólidos), así como también un gran número de contaminantes de origen biológico, los cuales son patógenos entéricos de los residuos de origen antrópico primordialmente, estos efluentes se caracterizan por una variedad de parámetros que se dividen en 3 tipos: Físicos, químicos y biológicos. Mediante estos parámetros se mide el grado de contaminación y de este modo se propone una meta de tratamiento previo a su vertimiento en los cuerpos de agua receptores (Segami, 2018, p. 3).

Es importante mencionar sobre las PTARD, las cuales son una secuencia de operaciones y procesos necesarias para el TARD en la reducción de la concentración de patógenos físicos, biológicos y químicos. La función principal de las PTARD es la de mitigar la contaminación que contienen estas aguas residuales, estos tratamientos son esenciales para el cumplimiento de las normatividades que impone cada país para prever la contaminación de sus aguas (Abello-Passteni *et al.*, 2020, p. 194). Los impactos ambientales generados por las ARD se expresan en la siguiente **Tabla 2**.

Tabla 2. Identificación de aspectos de impactos ambientales de las PTARD

NIVELES	COMPONENTE	ASPECTOS	IMPACTOS AMBIENTALES
Primario y/o preliminar	Suelo	Generación de residuos sólidos	Degradación de Suelos
Secundario	Aire	Emisión de gases Consumo de electricidad Consumo de combustible	Contaminación Atmosférica
	Suelo	Derrame de lodos	Contaminación de Suelos
Terciario	Aire	Derrame de químicos desinfectantes	Contaminación Atmosférica
Descarga de Efluente	Agua	Emisión de aguas tratadas	Contaminación de cuerpos receptores

Fuente: Elaboración propia.

Por ello León (véase en León, 2020, p. 4) refiere que todos los sistemas de TARD, poseen 3 etapas fundamentales:

- **La conducción y recogida:** mediante las redes de tuberías de los desagües las cuales dirigen el agua residual domestica desde su origen hacia las PTAR.
- **El tratamiento:** Aquí se llevarán a cabo los procesos y operaciones unitarias (químicos, físicos y/o biológicos) los cuales ayudarán a reducir la mayor cantidad de contaminación contenida previa a su liberación.
- **La evacuación:** Es el producto de los procesos y operaciones propios del TARD, este efluente contiene lodos y agua tratada. Por último, con la liberación de estos se finaliza el TAR.

Abello-Passteni *et al.* (2020) menciona que de acuerdo al DS N°90/00 en Chile, el 80% de agua potable se convierte en ARD, siendo el TARD de importancia en base a las normativas de prevención de contaminantes a los cuerpos de agua (p. 194), ya que las ARD presentan alteraciones considerables en su composición por diversos usos, cuales son recogidas por una red de alcantarillado siendo conducida hacia PTARD. (CENTA, citado por León, 2020, p. 4), retornando a las plantas de tratamiento de aguas potables (PTAP). En la **Figura 2** se aprecia la secuencia de las ARD según lo mencionado por los autores.

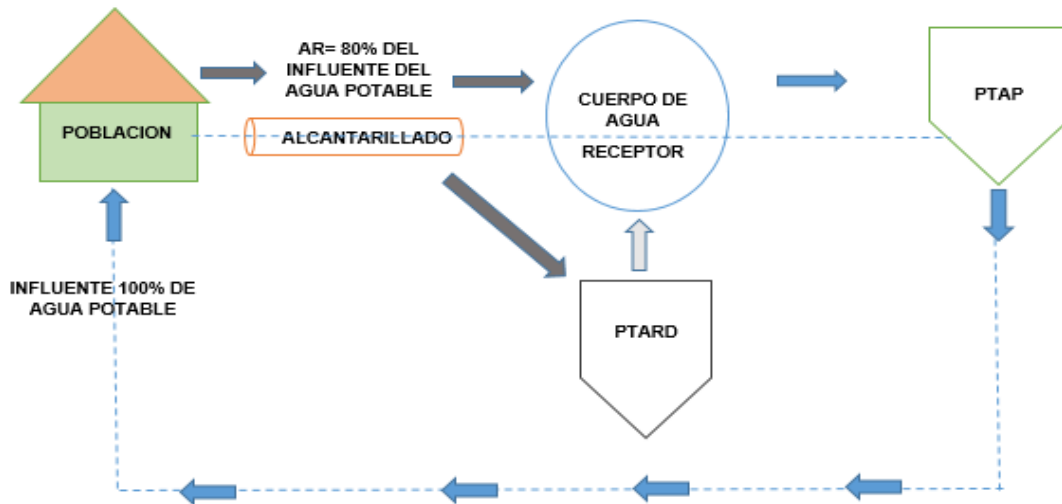


Figura 2. Secuencia del agua reutilizable.

Fuente: Elaboración propia.

Zurita-Martínez *et al.* (2011) mencionan la existencia de dos tipos de tecnologías para el TARD y subdivisiones (p. 140), las cuales se observan en la **Figura 3**.

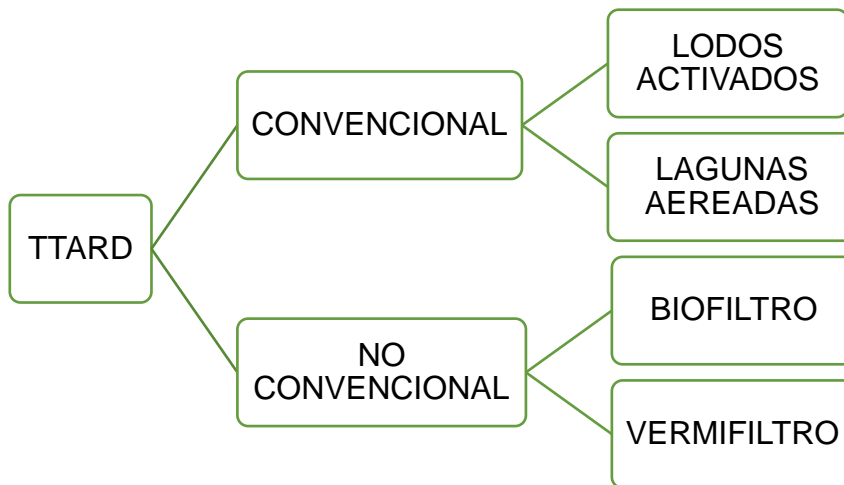


Figura 3. Subdivisión de las clasificaciones de las TTARD.

Fuente: Elaboración propia.

Los lodos activados es la tecnología conformada por 2 procesos claramente marcados, oxidación por microorganismos y segregación de líquido-sólido; la oxidación de carga orgánica se da en el biorreactor, el agua residual se mantiene aireada interactuando con el cultivo biológico. Este cultivo se denomina líquido de mezcla conformado por organismos microscópicos reagrupados en flocs en conjunción con materia orgánica y otros compuestos, estos organismos

microscópicos degradan la carga orgánica mediante procedimientos aerobios con una retención hidráulica entre 4 a 8 h promedio. La población de microorganismos, deben mantener una relación constante con los sólidos suspendidos para crear condiciones ideales, luego de oxidar lo suficiente en el proceso a la carga orgánica, la mezcla continua su paso al decantador secundario en esta parte se sedimentaron los flóculos separándose del agua clarificada, parte de los fangos floculados son recirculados de vuelta al reactor biológico para mantener una concentración suficiente de microorganismo, los excedentes irán a un estabilizador de fangos (Bendezú, Mervin y Jurado, 2021, p. 32).

Las lagunas aireadas, es uno de los tratamientos que consigue remover mayor concentración de materia orgánica, que intensifican la reducción y lo transforman con los organismos aerobios (Montoya, 2017, p. 79-81). Además, de utiliza para evitar la proliferación de algas generadas por exceso de materia orgánica y cambios de temperatura estacional, para una retención hidráulica corta tiene remociones de DBO aceptables a comparación de lagunas sin aireación (Sánchez, 2015, p. 19).

Según Márquez (como se citó en Cornejo, 2015, p. 10) refiere que los biofiltros son conocidos filtros biológicos permiten eliminar una gama de compuestos contaminantes desde una corriente de fluido de aire y/o agua. Asimismo, Cornejo (2015) menciona que esta tecnología son tratamientos secundarios donde el AR pasa a través de un medio filtrante donde un grupo de bacterias y otros microorganismos, se desarrollan progresivamente adhiriéndose al empaque o medio filtrante que permiten la degradación biológica de la materia orgánica.

Los vermi filtros son los procesos de TAR donde existe una acción conjunta de lombrices de tierra y microorganismos, minimizan cuantiosamente la carga orgánica del agua y contaminantes físicos, químicos y biológicos (Ramón, León y Castillo, 2015, p. 47). Existe un diseño lombrifiltración, en base al diseño Tohá, donde se observa en la primera capa un lecho de lombriz con aserrín, continuado con el lecho de carbón activado y en la tercera y cuarta capa respectivamente un lecho con grava con otro de piedra de río, el objetivo de estos lechos es mejorar la filtración y la oxigenación evitando así olores fétidos; el último

recipiente se utiliza para la recolección del agua tratada (Castillo y Chimbo, 2021, p. 84).

Autores como ESCAP y Robaina *et al.* (como se citó en Abello-Passteni *et al.*, 2020, p. 196) sostiene que ecoeficiencia es reconocida cual instrumento que pretende difundir variaciones indispensables en la forma de elaborar y usar recursos, esto da pie a calcular la mejora orientada a la sostenibilidad entre ellos el incrementar el precio del producto o servicio, optimizar el uso de materias primas y disminuir los impactos ambientales. Entendiendo que el valor de producto está relacionado con la funcionalidad en calidad o valor monetario, dependiendo del interés refiere, Ribarova y Stanchev (como se citó en Abello Passteni, 2020, p. 197).

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Se entiende por tipo de estudio básico de enfoque cualitativo aquella que tiene como finalidad incrementar el conocimiento de los principios fundamentales de la realidad, se orienta a la descripción con la finalidad de comprender, no existe una intervención ni se manipulan variables (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). Acorde a lo mencionado, el tipo de estudio es básico de enfoque cualitativo porque busca conocer y describir la ecoeficiencia de las TTARD en los últimos 10 años. Asimismo, tiene un diseño de revisión sistemática, ya que es estructurada, concreta y centrada en un tema en específico resalta características primordiales para abordar un determinado problema y encuentra procedimientos idóneos para establecer investigaciones posteriores, pues en esta investigación se recopila información de los últimos 10 años sobre la variable de estudio.

3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

A continuación, en la **Tabla 3**, se observa la matriz de categorización donde se detallan los problemas y objetivos planteados en la investigación.

Tabla 3. Matriz de categorización

PROBLEMA GENERAL	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CATEGORÍAS	SUB CATEGORÍAS	UNIDAD DE ANÁLISIS
¿Cuál es la ecoeficiencia de las TTARD en los últimos 10 años?	¿Cuáles son los rendimientos de las TTARD en los últimos 10 años?	Determinar la ecoeficiencia de las TTARD en los últimos 10 años	Comparar bibliográficamente los rendimientos de las TTARD en los últimos 10 años	Rendimientos de las Tecnologías	Remoción de DBO5	Abello-Passteni <i>et al.</i> , 2020 Parra y Chiang, 2013 Vargas <i>et al.</i> , 2020 Mercado, Cossío y Copa, 2020 Benavides y Chavez, 2020 Garzón <i>et al.</i> , 2012 Garzón, González, García, 2016 Castillo y Chimbo, 2021 Meseth, 2013 Mañunga, Rodríguez, Torres-Lozada, 2012 Rodríguez, Ortiz, Rodríguez, Santos, 2018

¿Cuáles son los consumos de recursos de las TTARD en los últimos 10 años?	Contrastar bibliográficamente los consumos de recursos de las TTARD en los últimos 10 años	Consumos de recursos de las tecnologías	Energía eléctrica Combustible	Abello-Passteni <i>et al.</i> , 2020 Parra y Chiang, 2013 Zurita-Martínez <i>et al.</i> , 2011 Garzón <i>et al.</i> , 2012
¿Cuáles son los impactos ambientales de las TTARD en los últimos 10 años?	Cotejar bibliográficamente los impactos ambientales de las TTARD en los últimos 10 años	Impactos ambientales de las tecnologías	Emisiones de CO ₂ Contaminación de Suelos Contaminación de agua Receptor de Agua	León, 2020 Parra y Chiang, 2013 Vargas <i>et al.</i> , 2020 Zurita-Martínez <i>et al.</i> , 2011 Mercado, Cossío y Copa, 2020 Vargas, 2020 Garzón <i>et al.</i> , 2012

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Escenario de estudio

El estudio prescinde de un escenario de estudio, ya que se trata de una revisión sistemática; por lo tanto, en la evaluación se tuvieron en cuenta artículos científicos internacionales, nacionales y/o locales.

3.4. Participantes

La investigación se obtuvo mediante la recopilación de información de diferentes plataformas mediante búsqueda avanzada en Scielo, Alice, Redalyc, ProQuest y repositorios, para obtener la búsqueda utilizamos palabras claves: aguas residuales, tratamiento de aguas residuales, aguas urbanas en diversos idiomas. Se consideraron los artículos dentro de los años 2011 – 2021.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Durante el proceso de esta investigación diversos instrumentos fueron utilizados, los cuales permitieron recabar datos, tales como: FICHA DE ANÁLISIS DE PALABRAS CLAVE y FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS. Para disgregar los artículos científicos a evaluar se realizaron mediante las PALABRAS CLAVES para numerar los artículos científicos obtenidos y posteriormente clasificar según su título y resumen. Para terminar, se seleccionaron los artículos científicos según antigüedad y procedencia.

3.6 Procedimiento

Se procedió a elaborar la formulación del problema, así como, definir los objetivos, para recolectar fuentes bibliográficas, lo cual permitió seleccionar la información de la investigación. Asimismo, se diseñó una fuente de datos para analizarlos, finalizando en la redacción de los resultados.

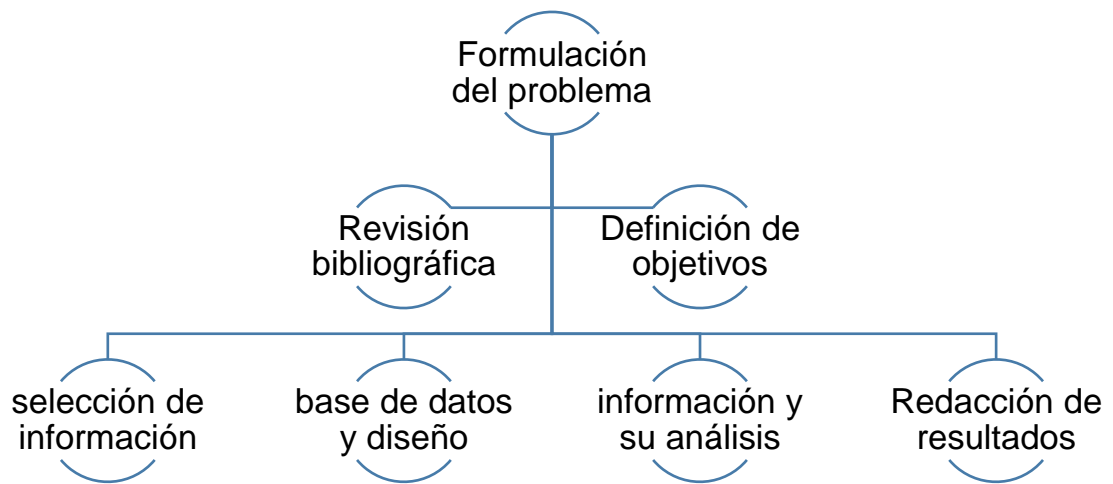


Figura 4. Recopilación de información

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Juicios de búsqueda

CLASE DE DOC.	FUENTES	DOC. REFERIDOS	PALABRAS CLAVE	CANT.	JUICIO DE INCLUSIÓN	JUICIO DE EXCLUSIÓN
Artículos Científicos	Revistas	Ecoeficiencia del TARD	<ul style="list-style-type: none"> • Aguas residuales • Tratamiento de aguas residuales urbanas • Tratamiento de aguas domésticas • Aguas Urbanas 	33	Artículos de fuentes confiables dentro de una antigüedad menor a 10 años	Artículos de fuentes no confiables dentro de una antigüedad mayor a 10 años
Tesis	Repositorio	Ecoeficiencia del TARD	<ul style="list-style-type: none"> • Tratamiento de aguas residuales domésticas 	27	Investigación de fuentes confiables dentro de una antigüedad menor a 10 años	Investigación de fuentes no confiables dentro de una antigüedad mayor a 10 años

Nota: Doc.= Documento, Cant. = Cantidad.

Fuente: Elaboración propia.

3.7. Rigor científico

En la presente investigación fueron considerados como parte del rigor científico la consistencia en la información, la credibilidad en base a investigaciones científicas mediante la recopilación de información, la confiabilidad y la transferibilidad.

3.8. Método de análisis de información

La metodología del análisis de información de la investigación fue basada en la búsqueda y selección del material bibliográfico con el objetivo de conocer los antecedentes para desarrollar el contexto y obtener información sobre la metodología de la investigación de revisiones bibliográficas.

3.9 Aspectos éticos

Las características éticas que se tuvieron en cuenta en la presente investigación fueron la autoría de las fuentes de información, haciendo uso de la redacción de citas al estilo ISO 690, los principios éticos del colegio profesional y su código de ética de la investigación de la universidad.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presente investigación tuvo como propósito central conocer y describir la ecoeficiencia de las TTARD en los últimos 10 años. En consonancia con lo expresado uno de los análisis más importantes en la presente tesis es haber verificado la ecoeficiencia de las TTARD en base a las informaciones recopiladas.

En primer lugar, se describen los resultados sobre las TTARD ecoeficientes en los últimos 10 años con el objetivo de dar a conocer cuál de estas tecnologías es recomendable para los TAR.

De manera general, En la **Tabla 5** se aprecia que las tecnologías no convencionales de naturaleza biológica son ecoeficientes por su eficiencia, uso recursos, por la regulación de impacto ambiental y Mejora de condiciones de agua (Parra y Chiang, 2013, p. 49); si bien es cierto, todas las tecnologías cumplen con la normatividad para su vertido en los cuerpos receptores , existen variaciones en los flujos de materia y energía relacionadas con la variante de tecnología usada, lo que menciona Zurita *et al.* (2011) es que el agotamiento de recursos se da en los sistemas convencionales usando altas cantidades de reactivos químicos (p. 140). Asimismo, Abello-Passteni (2020) refiere que existe un alto consumo energético de las tecnologías convencionales (p. 206), lo cual desencadena en diversos impactos ambientales. Por otro lado, la tecnología de vermibiofiltro con *Eisenia foetida* utilizada para la remoción de materia orgánica es una TTARD ecológica e innovadora con un costo bajo de inversión, eficiente y ecoamigable (De Anda, 2017). En el mismo sentido, el alto costo de implementación de una tecnología convencional para el TARD, y sus elevados costos de operación y mantenimiento son las razones primordiales por las que estas tecnologías no han sido exitosas para su implementación en zonas rurales en países como Ecuador (De Anda, 2017). Por lo tanto, las tecnologías no convencionales para el TARD en los últimos 10 años tienen una mejor ecoeficiencia en comparación con las tecnologías convencionales puesto que su implementación tiene menor costo, consumen menos recursos tanto de fuentes de energías a base de combustibles como de energías eléctricas y además mitigan los impactos negativos al medio ambiente

TABLA 5. Ecoeficiencia de las TTARD

TECNOLOGÍAS	RESULTADOS	ECOEficiENCIA (Abello <i>et al.</i> , 2020, p. 196).			UNIDAD DE ANÁLISIS	
		VB	OR	IA		
Convencionales	Lagunas Aireadas	<ul style="list-style-type: none"> Consumo alto de energía eléctrica Utilización de energías de fuentes no renovables Alto costos de mantenimiento y operación 	X	X	✓	<ul style="list-style-type: none"> Abello-Pasteni <i>et al.</i>, 2020, p. 206 De Anda, 2017, p. 123 Zurita <i>et al.</i>, 2011, p. 140 Vargas <i>et al.</i>, 2020, p. 319
	Lodos Activos	<ul style="list-style-type: none"> Alto consumo energético Remoción de DBO5 (80%) DQO (76%) SST (80%) Alto costo de mantenimiento y operación 	X	X	✓	<ul style="list-style-type: none"> Zurita <i>et al.</i>, 2011, p. 140 De Anda, 2017, p. 123
	Biofiltro	<ul style="list-style-type: none"> La Eficiencia de DBO5 (99%) SST (99%) Grasas y aceites (98%) con el uso de otra tecnología Revaloriza el Recursos Hídricos Mejora de condiciones de agua (reducción de DBO, trazas metálicas, sólidos suspendidos, coliformes fecales) 	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> Garzón <i>et al.</i>, 2012, p. 158 Parra y Chiang, 2013, p. 49
No convencionales	Vermi Bofiltro	<ul style="list-style-type: none"> Tecnología ecoeficiente con un indicador correspondiente a 6.7m3/Kg CO₂ eq Características de eficiencia, rentabilidad y sostenibilidad ecológica 	✓	✓	✓	<ul style="list-style-type: none"> Parra y Chiang, 2013, p. 49 Abello-Passteni <i>et al.</i>, 2020, p. 218 Castillo y Chimbo, 2021, p. 96

Nota: VB: Aumenta el valor del bien o servicio, OR: Optimiza uso de recursos, IA: Reduce el impacto ambiental

Fuente: Elaboración propia.

El rendimiento de las TTARD se puede observar en la **Tabla 6**, basado a la información recopilada en los últimos 10 años por diversos estudios de investigación, se puede apreciar que las tecnologías convencionales, como las lagunas aireadas consumen hasta 5 kWh de energía eléctrica para la remoción de 1 Kg DBO₅, (Abello-Passteni *et al.*, 2020, p. 207) mientras que la tecnología de lodos activados alcanza 80% removiendo SST, DQO (76%) y DBO₅ (80%), pero cuando interactúa en conjunción con otras tecnologías alcanza porcentajes mayores que el 90% (Vargas, 2020, p. 317), en cuanto a las tecnologías no convencionales, se observa que los biofiltros en conjunción con otros componentes cumple con la concentración de DQO permisible (Mercado, 2020, p. 540), alcanza una remoción entre 98% y 100% para huevos de helminto (Garzón *et al.*, 2012, p. 158), y consume 1.2 kWh de energía eléctrica para la remoción de 1 Kg DBO₅, (Abello-Passteni *et al.*, 2020, p. 206), por otro lado, los vermi biofiltro consume 1.7 kWh de energía eléctrica para la remoción de 1 Kg DBO₅. Para poder determinarlo se basó en el Inventario de ciclo de vida de diversos estudios. Así mismo para vermibiofiltro se obtuvo 52.25% remoción de DBO₅ (Castillo Y Chimbo, 2021, p. 96); en la misma tecnología, se elimina casi un 100% de sólidos orgánicos (Parra y Chiang, 2013, p. 42). Se concluye que la interacción con otras tecnologías incrementa el porcentaje de rendimiento, y que las tecnologías con más rendimiento en cuanto a remoción de DBO son las no convencionales.

Tabla 6. Rendimiento de las TTARD

TECNOLOGÍAS		RENDIMIENTO RESULTADOS	UNIDAD DE ANÁLISIS
Convencionales	Lagunas Aireadas	<ul style="list-style-type: none"> • 1.1 – 5 kWh/KgDBO₅ 	<ul style="list-style-type: none"> • Abello-Passteni <i>et al.</i>, 2020, p. 207
	Lodos Activos	<ul style="list-style-type: none"> • DQO (76%) DBO₅ (80%) SST (80%) • 1.1 – 3 kWh/KgDO₅ • 80% remoción DBO₅ • 64% remoción DBO₅ 	<ul style="list-style-type: none"> • Vargas, 2020, p. 317 • Abello-Passteni <i>et al.</i>, 2020, p. 208 • Mañunga, Rodríguez, Torres-Lozada, 2012, p. 257 • Meseth, 2013, p. 158
No Convencionales	Biofiltro	<ul style="list-style-type: none"> • 1.2 kWh/KgDBO₅ • Cumple con la concentración de DQO permisible <250 mg O₂/L (en conjunción con otros componentes) • Huevo de helminto remoción de 98 a 100% • 53% remoción DBO₅ (en conjunción con otros componentes) • 100% remoción de coliformes • DBO 83%, DQO 95% y SST 89% • Máxima remoción de 85% de materia orgánica 	<ul style="list-style-type: none"> • Abello-Passteni <i>et al.</i>, 2020, p. 206 • Mercado, 2020, p. 540 • Garzón <i>et al.</i>, 2012, p. 158 • Garzón, González, García, 2016, p. 208 • Rodríguez, Ortiz, Rodríguez, Santos, 2018, p. 118 • Rodríguez, 2014, p. 58 • Castillo, Rubiano y Rodríguez, 2016, p. 61

Vermi Biofiltro	<ul style="list-style-type: none"> • Elimina casi un 100% de sólidos orgánicos • 1.7 kWh/KgDBO₅ • 52.25% remoción de DBO₅ 	<ul style="list-style-type: none"> • Parra y Chiang, 2013, p. 42 • Abello-Passteni <i>et al.</i>, 2020, p. 208 • Castillo Y Chimbo, 2021, p. 96
--------------------	--	--

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a los recursos utilizados en las TTARD, se describen en la **Tabla 7**, como indica en Abello-Passteni *et al.* (2020) los sistemas de las plantas de tratamiento que usaron lagunas aireadas obtuvieron los más altos consumos de energía eléctrica para la extracción de 1 kg de DBO₅ según el inventario del ciclo de vida (p. 207). En lagunas aireadas se consume altos valores de energía eléctrica (De Anda, 2017, p. 119). En lodos activados se requiere de plantas estabilizadora de lodos (Gamarra, 2021, p. 13). En la tecnología de biofiltro se verifica una alta eficiencia de la gestión de los recursos (Parra y Chiang, 2013, p. 48), en cuanto al área requerida para su construcción solo es necesario un 10% del área de las tecnologías convencionales (Garzón *et al.*, 2012, p. 159). En la tecnología de vermi biofiltro no se requiere de alcantarillado lo que necesitaría altos costos de implementación (Valencia, 2011, p. 69). Por lo tanto, la tecnología de biofiltro que pertenece a las no convencionales es la que mejor optimiza sus recursos.

Tabla 7. Recursos de las TTARD

TECNOLOGÍAS		RECURSOS RESULTADOS	UNIDAD DE ANÁLISIS
Convencionales	Lagunas Aireadas	<ul style="list-style-type: none"> • 0.0001 – 0.03 kg petróleo/1kg DBO₅ • Altos consumos de energía eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Abello-Passtani <i>et al.</i>, 2020, p. 207 • De Anda, 2017, p. 119
	Lodos Activos	<ul style="list-style-type: none"> • 0.0001 – 0.04 kg petróleo/1kg DBO₅ • Altos consumos de energía • Generación de subproductos indeseables 	<ul style="list-style-type: none"> • Abello-Passtani <i>et al.</i>, 2020, p. 208 • De Anda, 2017, p. 119 • Gamarra, 2021, p. 13
	Biofiltro	<ul style="list-style-type: none"> • 1.2 kg petróleo/1kg DBO₅ • Alta eficiencia en la gestión de recursos • Requiere un 10% del área que ocupan otras tecnologías 	<ul style="list-style-type: none"> • Abello-Passtani <i>et al.</i>, 2020, p. 208 • Parra y Chiang, 2013, p. 48 • Garzón <i>et al.</i>, 2012, p. 159
No Convencionales	Vermi Biofiltro	<ul style="list-style-type: none"> • 1.7 kg petróleo/1kg DBO₅ • Optimiza recursos generando de subproducto humus • No requiere de sistema de alcantarillado 	<ul style="list-style-type: none"> • Abello-Passtani <i>et al.</i>, 2020, p. 208 • Loro, 2018, p. 10 • Valencia, 2011, p. 69

Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a los impactos ambientales diversos estudios se aprecian en la **Tabla 8** La tecnología de lagunas aireadas posee la mayor utilización de insumos químicos, los cuales para su elaboración generan un impacto negativo al medio ambiente (Abello-Passteni *et al.*, 2020, p. 210). La tecnología de lodos activados es la que más incrementa su impacto ambiental debido a su consumo de combustible (Abello-Passteni *et al.*, 2020, p. 210.) adecuado ambientalmente (Vargas, 2020, p. 317). Para biofiltro el agua tratada con esta tecnología puede verterse sin alterar la calidad del cuerpo receptor (Garzón *et al.*, 2012, p.159). Para vermi biofiltros no hay generación de lodos inestables (Parra y Chiang, 2013, p. 42), igualmente, en vermi biofiltro es un proceso ecológico y amigable con el medio ambiente (Castillo y Chimbo, 2021, p. 80). los autores revisados aseveran que la TTARD biofiltro presentó los más bajos impactos medio ambientales para todas las categorías contrastadas, una de las más conocidas categorías es la de cambio climático, la cual usualmente se emplea como indicador de impacto ambiental (Abello-Passteni *et al.*, 2020, p 210). Se concluye que las tecnologías no convencionales son las que menor impacto al medio ambiente generan.

Tabla 8. Impactos ambientales de las TTARD

TECNOLOGÍAS		IMPACTOS AMBIENTALES RESULTADOS	UNIDAD DE ANÁLISIS
Convencionales	Lagunas Aireadas	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor uso de insumos químicos en el proceso • Alto impacto ambiental por consumo de energía eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> • Abello-Passteni <i>et al.</i>, 2020, p. 210
	Lodos Activos	<ul style="list-style-type: none"> • Combustible es el indicador que más incrementa el impacto ambiental de los lodos activados • Adecuado ambientalmente 	<ul style="list-style-type: none"> • Abello-Passteni <i>et al.</i>, 2020, p. 210 • Vargas, 2020, p. 317
No Convencionales	Biofiltro	<ul style="list-style-type: none"> • La electricidad es el indicador que más incrementa el impacto ambiental • El agua tratada puede verterse sin alterar la calidad del cuerpo de agua receptor • Cumple ampliamente con los LMP en Perú 	<ul style="list-style-type: none"> • Abello-Passteni <i>et al.</i>, 2020, p. 210 • Garzón <i>et al.</i>, 2012, p. 159 • Rodríguez, 2014, p. 8
	Vermi Biofiltro	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de lodos inestables (0%) • Minimiza los impactos ambientales negativos al utilizar ERNC • Es un proceso ecológico amigable con el medio ambiente • Alternativa amigable con su medio ambiente y la población 	<ul style="list-style-type: none"> • Parra y Chiang, 2013, p. 42 • Abello-Passteni <i>et al.</i>, 2020, p. 220 • Castillo y Chimbo, 2021, p. 80 • Rodríguez <i>et al.</i>, 2018, p. 118

Fuente: Elaboración propia.

V. CONCLUSIONES

- El rendimiento de las TTARD en interacción con otras tecnologías incrementa el porcentaje de rendimiento, así como también la eliminación o reducción de las grasas y sólidos suspendidos en el nivel preliminar y primer nivel del TARD incrementa el rendimiento de las tecnologías estudiadas, la mayor concentración de remoción de DBO la obtuvo la tecnología de biofiltro con un 83% de remoción de DBO.
- En los consumos de recursos de las TTAR se evidencia la tecnología de vermibiofiltro optimiza el uso de recursos generando humus como subproducto, esta tecnología tampoco requiere de altos costos de implementación de alcantarillados.
- Con respecto a los impactos ambientales se concluye que las tecnologías no convencionales generan menor impacto ambiental al utilizar ERNC y su poca generación de lodos inestables.
- la tecnología de biofiltro para el indicador de VB tiene un alto valor; puesto que, remueve hasta un 99% de DBO esto incrementa la calidad y por ende el valor del agua tratada, para el indicador de OR la literatura revisada refiere que no necesita de altos consumos energéticos, y para IA tiene una baja generación de lodos. La tecnología de vermibiofiltro para el indicador de VB posee alto valor; debido a que, mejora la calidad del agua tratada, para el indicador de OR la literatura revisada asevera que tiene un alto indicador de eficiencia, en cuanto al indicador de IA, la bibliografía revisada refiere que esta tecnología tiene un alto índice de sostenibilidad. Las tecnologías de lagunas aireadas y lodos activos para el indicador de VB, la literatura revisada refiere que mejora la calidad del agua tratada, pero no tanto en comparación con las 2 tecnologías antes mencionadas, para el indicador de OR, ambas tecnologías convencionales requieren de altos consumos energéticos, para terminar en cuanto a IA, estas últimas tecnologías tienen una alta generación de lodos activados los cuales requieren de un tratamiento adicional de lo contrario generarán contaminación.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que las TTARD realicen sinergia con otras tecnologías a fin de mejorar la remoción de contaminantes, ya que estas interacciones aumentan la calidad del bien y por ende su valor; concientizar a la población sobre la cultura del agua para que eviten el vertido de contaminantes como las grasas y aceites los cuales perjudican el rendimiento de las PTARD; implementar un tratamiento preliminar y primario adecuado a la tecnología no convencional que se elegirá
- Se recomienda el uso de ERNC de procesos anaeróbicos en el TARD, ya que estas disminuyen el uso de recursos y permite la ecoeficiencia en las TTARD.
- Se recomienda la creación de PTARD enfocadas en tecnologías no convencionales, pues se minimizan los impactos ambientales y optimizan los recursos utilizados.
- Se recomienda la implementación de TTARD no convencionales como biofiltros o vermibiofiltros en zonas urbanas por el nivel de ecoeficiencia que presentan lo cuales es vital para el desarrollo sostenible en la población.

Referencias

1. ABELLO-PASSTENI, Valentina *et al.* Evaluación de eco-eficiencia de tecnologías de tratamiento de aguas residuales domésticas en Chile. *Tecnología y Ciencias Del Agua* [online]. 2020, vol. 11. n.º 2. [Fecha de consulta: 28 de agosto 2021] pp. 190-228. Disponible en <https://bibvirtual.upch.edu.pe:2181/esdb/docview/2399876493/38836C5403B44542PQ/2?accountid=42404> ISSN: 0187-8336
2. ACEVEDO-MERINO, A *et al.* Fenómenos de dilución y autodepuración de un vertido de aguas residuales urbanas en un ecosistema litoral: El caso del estuario del Río Iro (suroeste de España). *Cienc. mar* [online]. 2005, vol. 31. n.º 2. [Fecha de consulta: 28 de agosto 2021]. pp. 221-230. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-38802005000200009&lng=es&nrm=iso ISSN: 0185-3880
3. ALVAREZ, Carlos *et al.* Gestión de Aguas Residuales en el Ámbito Rural en Galicia, España. *Inf. tecnol.* [online]. 2006, vol. 17. n.º 3. [Fecha de consulta: 27 de agosto 2021]. pp. 15-1. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000300004&lng=es&nrm=iso ISSN: 0718-0764. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000300004>.
4. ÁVILA, Cristina; MATAMOROS, Víctor y GARCÍA, Joan. Depuración natural de aguas residuales. *Investigacion y Ciencia* [en línea], no. 2016, págs. [Fecha de consulta: 27 de agosto 2021]. pp. 60–67. Disponible en: <https://bibvirtual.upch.edu.pe:2088/revistas/investigacion-y-ciencia/el-gen-de-la-obesidad-662/depuracin-natural-de-aguas-residuales-13910>.
5. BEJARANO, María y ESCOBAR, Mauricio. Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Ambiental). Bogotá: Universidad de la Salle, 2015. Disponible en https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1298&context=ing_ambiental_sanitaria

6. BELTRAN-ROCHA, Julio *et al.* Biotratamiento de efluentes secundarios municipales utilizando microalgas: Efecto del pH, nutrientes (C, N y P) y enriquecimiento con CO₂. *Rev. biol. mar. oceanogr.* [online]. 2017, vol. 52. n.º 3. [Fecha de consulta: 27 de agosto 2021]. pp. 417-427. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-19572017000300001&lng=es&nrm=iso ISSN: 0718-1957 <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-19572017000300001>.
7. BENDEZU, Mervin y JURADO, Carlos. Eficiencia de remoción de materia orgánica por medio de lodos activados a escala piloto en el camal municipal del distrito de Huancavelica. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Ambiental y Sanitaria). Huancavelica: Universidad Nacional de Huancavelica, 2021. Disponible en <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/3766>
8. CARDENAS, Daniel. Desarrollo de un Prototipo Para El Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales Mediante un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial en La Ptar "Juan Velasco Alvarado" Ubicado en el Distrito de Villa El Salvador. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, 2019. Disponible en <http://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/186>.
9. CASTILLO, E *et al.* Tratamiento de efluentes de fosas sépticas por el proceso de lodos activados. *Ingeniería.* [en línea]. 2011, vol. 15. n.º 3. [fecha de Consulta: 12 de setiembre de 2021]. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46721167002> ISSN: 1665-529X.
10. CASTILLO, Jonathan y CHIMBO, Jessica. Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (*Eisenia foetida*) en aguas residuales domésticas para zonas rurales. Enfoque UTE. [en línea]. 2021. vol. 12. n.º 2. [fecha de Consulta: 12 de setiembre de 2021]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/5722/572266265006/572266265006.pdf>. ISSN: 1390-6542
11. CASTILLO, Rosa y CARDENAS, Jonathan. Evaluación de la eficiencia de un módulo de lodos activados en el tratamiento de agua residual domestica del distrito de san miguel. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Química).

Callao: Universidad Nacional del Callao, 2019. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.12952/4560>

12. CHAUCA, Julia. Remoción de coliformes totales, fecales y DBO empleando el humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo), a escala piloto, en Tuyu Ruri – Marcará. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Sanitaria). Ancash: Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, 2017. Disponible en <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2113>
13. CUESTA, Silvana y DIAZ, Jhersón. Revisión de eficiencia del lombrifiltro y biofiltro en la remoción de DBO y DQO en aguas residuales domésticas. Tesis (Bachiller en Ingeniería Ambiental). Tarapoto: Universidad Peruana Union, 2020. Disponible en https://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12840/3225/Silvana_Trabajo_Bachillerato_2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y
14. DAVILA, Julio y GRANDA, Felix. Evaluación comparativa en una planta a escala piloto de lodos activados de aireación prolongada en el tratamiento de lixiviado de relleno sanitario municipal diluido con agua residual. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Sanitaria). Lima: UNI, 2013 disponible en <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1147>
15. GAMARRA, Baneza. Eficiencia del sistema de vermifiltro en la depuración de contaminantes críticos de aguas residuales domésticas de la comunidad La Punta – Sapallanga. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Ambiental). Huancayo: Universidad Continental, 2021. Disponible en <https://hdl.handle.net/20.500.12394/10204>
16. GANDARILLAS Vanessa *et al.* Revisión de las experiencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante reactores uasb en Cochabamba-Bolivia comparadas con las de Latinoamérica, India y Europa. *Inv. y Des.* [online]. 2017, vol. 1. n.º 17. [Fecha de consulta: 27 de agosto 2021]. pp. 83-98. Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2518-44312017000100008&lng=es&nrm=iso ISSN: 1814-6333

17. GARZON, Marco. Evaluación de un sistema de tratamiento doméstico para reúso de agua residual. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. [en línea]. 2016. vol. 32. n.º 2. [fecha de Consulta: 12 de setiembre de 2021]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/370/37045328006/>. ISSN:0188-4999
18. GARZON-ZUNIGA, Marco; BUELNA, Gerardo y MOELLER-CHAVEZ, Gabriela. La biofiltración sobre materiales orgánicos, nueva tecnología sustentable para tratar agua residual en pequeñas comunidades e industrias. *Tecnol. cienc. agua* [online]. 2012, vol. 3. n.º 17. [Fecha de consulta: 28 de agosto 2021]. pp. 153-161. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222012000300011&lng=es&nrm=iso ISSN: 2007-2422
19. HUAMANI, Erick. Evaluación del proceso de tratamiento de agua residual y sus lodos como subproducto, en una planta compacta de depuración por lodos activados. Tesis (licenciatura en Ingeniería Ambiental). Arequipa: UNSA, 2020. Disponible en <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/11024>
20. JUAREZ, Gerardo. Ecoeficiencia del reúso de agua residual tratada en el sistema PTAR Santiago-Cárcamo Huajuco, como herramienta del desarrollo hídrico sostenible. Tesis (Magister en Ciencias en especialidad en Ingeniería Ambiental). San Nicolás de los Garza, Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2018. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/17079>
21. LEON, Vladimir. Incremento de cargas y su efecto en la operación de un sistema francés para tratar aguas residuales domésticas. Tesis (Magister en Ciencias Ambientales). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2020. Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/4447>
22. LORO, Ana. Evaluación de la eficiencia del tratamiento secundario de aguas residuales domésticas utilizando un biofiltro con *Eisenia foetida* y un biofiltro convencional. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad Científica del Sur, 2018. Disponible en

https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12805/567/TL-Loro_Ocampos.pdf?sequence=5&isAllowed=

23. MAÑUNGA, Tatiana. Evaluación del desempeño de un sistema de lodos activados en la modalidad de estabilización por contacto sin clarificación primaria tratando agua residual doméstica. Tesis (Magister en Ingeniería). Montevideo: Universidad de la República, 2014. Disponible en <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/handle/10893/7644>
24. MEJÍA, Frida y PEREZ, Karem. Eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante biodigestor pre fabricado en la subestación eléctrica Cotaruse – Apurímac. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Agrónoma e Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2016. Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2591>.
25. MENDOZA, Yoma; PEREZ, Jhonny y GALINDO, Andres. Evaluación del Aporte de las Plantas Acuáticas Pistia stratiotes y Eichhornia crassipes en el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Inf. tecnol. [online]. 2018, vol. 29, n.º 3. [Fecha de consulta: 27 de agosto 2021]. pp.205-214. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642018000200205&lng=es&nrm=iso ISSN: 0718-0764 <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000200205>.
26. MERCADO, Álvaro; COSSIO, Claudia y COPA, Mariela. Eficiencia vinculada a la operación y mantenimiento de pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en Cochabamba, Bolivia. RevActaNova. [online]. 2020, vol.9. n.º 4. [Fecha de consulta: 27 de agosto 2021]. pp. 524-542. Disponible en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892020000100004&lng=es&nrm=iso ISSN: 1683-0789.
27. MESETH, Enrique. Estudio de una planta de tratamiento de aguas residuales de Irlanda y su impacto en el medioambiente. Ingeniería Industrial. [en línea]. 2013. n.º 31. [fecha de Consulta: 12 de setiembre de 2021]. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337430545007.pdf>. ISSN: 1025-9929

28. MITMA, Yomira. Efecto del sistema de lombrifiltro en la depuración de dbo_5 y dqo de las aguas residuales domésticas del distrito de moche. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Ambiental). Trujillo: UCV, 2017. Disponible en https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/23238/mitma_jy.pdf?sequence=1&isAllowed=y
29. MONTROYA, Joseph. Evaluación De La Eficiencia De Remoción En Los Parámetros De Demanda Biológica De Oxígeno Y Demanda Química De Oxígeno Del Sistema De Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas En La Urbanización La Joya Etapa Platino, Ubicada En El Cantón Daule, De La Provincia Del Guayas. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Civil). Guayaquil: Universidad de Guayaquil, 2017. Disponible en <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/17786>
30. NARANJO-TOVAR, David *et al.* Procesos Fenton como tratamiento complementario para la remoción de tensoactivos y coliformes de aguas residuales domésticas. *Ingeniare. Rev. chil. ing.* [online]. 2021, vol. 29. n.º 2. [Fecha de consulta: 27 de agosto 2021]. pp.364-377. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052021000200364&lng=es&nrm=iso ISSN: 0718-3305 <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052021000200364>.
31. PARRA, Izaúl y CHIANG, Gustavo. Modelo integrado de un sistema de biodepuración en origen de aguas residuales domiciliarias. Una propuesta para comunidades periurbanas del Centro Sur de Chile. *Gestión y Ambiente* [online]. 2013, vol. 16. n.º 3. [Fecha de consulta: 28 de agosto 2021]. pp. 39-51. Disponible en <https://bibvirtual.upch.edu.pe:2181/esdb/docview/1676961023/F4481B56884A4AA0PQ/2?accountid=42404> ISSN: 0124177X
32. Pérez, Cynthia *et al.* Tratamiento de aguas residuales con tecnologías alternativas en una pequeña unidad doméstica – productiva. *Uniciencia* [en línea]. 2013, vol. 27. n.º1. [fecha de Consulta: 2 de noviembre de 2021]. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=475947762018>. ISSN: 1101 – 0275

33. QUIO, Katery. Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas en un sistema cerrado mediante una cámara de evapotranspiración domiciliaria, en el AA.HH. 10 de marzo – distrito de Manantay, 2017. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Sanitaria). Ucayali: Universidad Nacional de Ucayali, 2018. Disponible en: <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4033>.
34. QUIROZ, Genrry *et al.* Diseño del proceso de tratamiento de aguas residuales municipales para reducir la contaminación hídrica en el distrito de Samanco. INgnosis. [en línea]. 2017, vol. 3. n.º 1. [fecha de Consulta: 12 de setiembre de 2021]. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Blanca-Alvarez-5/publication/336177257_Disen%C3%B3_del_proceso_de_tratamiento_de_aguas_residuales_municipales_para_reducir_la_contaminaci%C3%B3n_hidrica_en_el_distrito_de_Samanco/links/5e4083f9a6fdccd9659626f5/Diseno-del-proceso-de-tratamiento-de-aguas-residuales-municipales-para-reducir-la-contaminacion-hidrica-en-el-distrito-de-Samanco.pdf
35. REYES, Wilyn. Optimización del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la implementación del sistema MBBR en la provincia Caylloma – AQUAFIL. Tesis (Magister en Ciencias Ambientales). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2020. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/15532>.
36. ROBLES, Max. Planteamiento de solución a la problemática de las aguas residuales de Arequipa metropolitana y diseño de emisores. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Mecánica de Fluidos). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2010. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/15429>.
37. RODAS, Jhorlin. Propuesta de Diseño de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con Decantación de Flujo Radial para reducir el grado de Contaminación del cuerpo Receptor, Distrito de Yántalo – Moyobamba. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Sanitaria). Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín, 2017. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11458/2394>.

38. RODRÍGUEZ, Alberth. Estudio de la eficiencia de un filtro sumergido y un filtro percolador en el tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas, Moyobamba. 2014. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Sanitaria). Moyobamba: Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto, 2014. Disponibilidad en <http://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/256/6055813.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
39. RODRÍGUEZ, Josué *et al.* Diseño de un filtro potabilizador ecológico para comunidades rurales, utilizando la Moringa Oleifera. Revista Lasallista de Investigación. [en línea]. 2018. vol. 15. n.º 2. [fecha de Consulta: 12 de setiembre de 2021]. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/695/69559233010/69559233010.pdf>. ISSN: 1794-4449
40. RODRÍGUEZ, Juan; CASTILLO, Sindy y RUBIANO Diana. Análisis comparativo de modelos cinéticos para un Filtro Biológico sin recirculación con medio de soporte en Luffa Cylindrica para el tratamiento de aguas residuales combinadas (domésticas y pecuarias). Revista Logos, Ciencia & Tecnología. [en línea]. 2016. vol. 7. n.º 3. [fecha de Consulta: 13 de setiembre de 2021]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.22335/rict.v10i1.398>. ISSN: 2422-4200
41. RODRÍGUEZ-VICTORIA, Mañunga. Tratamiento de agua residual doméstica sin clarificación primaria en un sistema de lodos activados en la modalidad de estabilización por contacto. Ingeniería y Desarrollo. [en línea]. 2012. vol. 30. n.º 2. [fecha de Consulta: 12 de setiembre de 2021]. Disponible en <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85224945007>. ISSN: 2145-9371
42. ROMERO, R. Detección de virus entéricos en un sistema piloto de tratamiento de aguas residuales municipales. Revista Kasmera. [en línea]. 2014. vol. 42. n.º 1. [fecha de Consulta: 13 de setiembre de 2021]. Disponible en http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0075-52222014000100006&lng=es&nrm=iso ISSN: 0075-5222

43. SABOYA, Xiomí. RIOS, Xiomí Vasni Saboya. Eficiencia del método de lombrifiltro en la remoción de los contaminantes de las aguas residuales domésticas. *Revista Muro de la Investigación*. [en línea]. 2021, vol. 6. n.º 1. [fecha de Consulta: 12 de setiembre de 2021]. Disponible en <https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/r-Muro-investigaion/article/view/1439/1821> ISSN: 2523-2886
44. SALAZAR, Luis *et al.* Análisis de la eficiencia de reactores UASB en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales/Analysis of the efficiency of UASB reactors in a municipal wastewater treatment plant. *Dyna* [online]. 2019, vol. 86. n.º 209. [Fecha de consulta: 27 de agosto 2021]. pp. 319-326. Disponible en <https://bibvirtual.upch.edu.pe:2181/esdb/docview/2244649312/C8A6BEDE-D2B349ADPQ/3?accountid=42404> ISSN: 00127353.
45. SANCA, Deysi. Remoción de Nitrógeno y fosforo de las aguas residuales domésticas por la Biomasa de Microalgas del Riachuelo Torococha en Condiciones de Laboratorio, Juliaca 2017. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Sanitaria y Ambiental). Juliaca: Universidad Andina Néstor Cáceres Velasquez, 2019. Disponible en <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/3180>.
46. SEGAMI, Miki. Efecto de la aplicación de microorganismos benéficos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en un humedal artificial. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2018. Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3390>
47. SILVA, Jorge; TORRES, Patricia y MADERA, Carlos. Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana* [online]. 2008, vol. 26, n.º 2. [Fecha de consulta: 27 de agosto 2021]. pp. 347-359. Disponible en <https://bibvirtual.upch.edu.pe:2181/esdb/docview/1677586416/D86D880EBA0641C2PQ/1?accountid=42404> ISSN 01209965.

48. TORRES, Patricia. Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo/perspectives of anaerobic treatment of domestic wastewater in developing countries. Revista EIA [online]. 2012, n.º 18. [Fecha de consulta: 27 de agosto 2021]. pp. 115-129. Disponible en: <https://bibvirtual.upch.edu.pe:2181/esdb/docview/1399139104/citation/E093F0134E1D4127PQ/1?accountid=42404> ISSN 17941237
49. TORRES, Patricia. Tendencias en el tratamiento de aguas residuales domésticas. [en línea]. 2011. vol. 3. n.º 1. [fecha de Consulta: 12 de setiembre de 2021]. Disponible en https://revistaingenieria.univalle.edu.co/index.php/ingenieria_y_competitividad/article/view/2334/3084
50. VALENCIA, Eduardo *et al.* Sistemas descentralizados integrados y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Revista de Ingeniería y Región [en línea]. 2010. n.º 7. [fecha de Consulta: 12 de setiembre de 2021]. Disponible en <https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/801/1539>
51. VARGAS, Adriana *et al.* Análisis de los principales sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales domésticas en Colombia. Ingeniare. Rev. chil. ing. [online]. 2020, vol. 28. n.º 2. [Fecha de consulta: 27 de agosto 2021]. pp. 315-322. Disponible en http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052020000200315&lng=es&nrm=iso ISSN: 0718-3305 <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052020000200315>.
52. VARGAS, Rosita. Biorremediación de aguas residuales domésticas aplicando la microalga *Scenedesmus* sp. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Ambiental). Chiclayo: UCV, 2020. Disponible en https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/48526/Vargas_PRMSD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
53. VEGA, Dayana *et al.* Uso de zeolita faujasita para adsorción de iones en aguas residuales municipales. Tecnol. cienc. agua [online]. 2018, vol. 9, n.º

4. [Fecha de consulta: 27 de agosto 2021]. pp.184-208. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222018000400184&Ing=es&nrm=iso ISSN: 2007-2422. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-04-08>.
54. VELA, Ingry. Eficiencia de un Tanque Imhoff-HA a escala, para mejorar la calidad de las aguas servidas municipales del distrito de Habana, Moyobamba. Tesis (Licenciatura en Ingeniería Sanitaria) Tarapoto: Universidad Nacional de San Martín, 2018. Disponible en <http://hdl.handle.net/11458/3164>.
55. YOVAL, Sandoval y MANTILLA, Gabriela. Caracterización y tratabilidad de agua residual municipal/industrial por lodos activados. [en línea]. [fecha de Consulta: 12 de setiembre de 2021]. Disponible en <http://www.amica.com.mx/issn/archivos/117.pdf>
56. ZURITA-MARTÍNEZ, Florentina; CASTELLANOS-HERNANDEZ, Osvaldo y RODRÍGUEZ-SAHAGUN, Araceli. El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México. Rev. Mex. Cienc. Agríc [online]. 2011, vol.2. n.º 1. [Fecha de consulta: 27 de agosto 2021]. pp.139-150. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000700011&Ing=es&nrm=iso ISSN: 2007-0934.
57. CACERES, Deybi; CALISAYA, Gisella y BEDOYA, Edgard. Eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Revista Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. [en línea]. 2018, vol. 4. [fecha de consulta: 13 de septiembre de 2021]. disponible en <https://revistas.ujcm.edu.pe/index.php/rctd/article/view/115> ISSN: 2413-7057
58. RAMÓN, Jacipt; LEÓN, José y CASTILLO, Nelson. Diseño de un sistema alternativo para el tratamiento de aguas residuales urbanas por medio de la técnica de lombrifiltros utilizando la especie *Eisenia foetida*. Revista Mutis. [en línea]. 2015, vol. 5. n.º 1. [fecha de consulta: 13 de septiembre de 2021].

disponible en
<https://revistas.utadeo.edu.co/index.php/mutis/article/view/1018/1053>

59. DE ANDA, José. Saneamiento descentralizado y reutilización sustentable de las aguas residuales municipales en México. *Sociedad y Ambiente*. [en línea]. vol. 14. n.º 1. [fecha de consulta: 13 de septiembre de 2021]. disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/sya/n14/2007-6576-sya-14-119.pdf> ISSN: 2007-6576

60. MONDARGO, Benjamin y ROMANI, Miguel. Determinación experimental de los parámetros biocinéticos de los efluentes de la UNCP necesarios para el diseño de una laguna aireada. Tesis (licenciatura en Ingeniería química). Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú, 2015. Disponible en <http://hdl.handle.net/20.500.12894/3739>