



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES PARA  
EL RIEGO AGRÍCOLA”

Trabajo de Investigación para optar el grado académico de:  
Bachiller en Ingeniería Ambiental

Presentado por:

Greysi Sullca Curipaco (0000-0002-8051-4989)

Asesor:

Percy Irribarren Ibañez (0000-0001-8833-5224)

Lima – Perú

2020



**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 233-2020-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 16 de noviembre de 2020

**VISTO:**

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Reutilización de aguas residuales municipales para el riego agrícola**, presentado por:

- **Greysi Sulca Curipaco**

**CONSIDERANDO:**

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

**SE RESUELVE:**

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Reutilización de aguas residuales municipales para el riego agrícola** con N° de registro de la carrera: **073-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Percy Iribarren Ibañez** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,

**Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca**  
Director Académico de Carrera  
Ingeniería Ambiental

REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES PARA EL RIEGO AGRÍCOLA

Greysi Sullca Curipaco <sup>1\*</sup>, Percy Irribarren Ibañez <sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima-Perú*

\*correo de correspondencia: [100028833@ucientifica.edu.pe](mailto:100028833@ucientifica.edu.pe)

## RESUMEN

Actualmente el crecimiento de la población tiene como consecuencia el aumento del volumen de las aguas residuales. Este aumento de las aguas residuales nos pueden llevar a distintos escenarios: uno de estos sería una situación en la que a partir de su tratamiento estas terminen en los cuerpos de agua, sin embargo también surgen otros escenarios, que es la que tomará en cuenta en esta investigación, como el reutilizar estas aguas para el riego de áreas verdes disminuyendo así el estrés hídrico actual; sin embargo se debe de tomar en cuenta que por sus características se puede afectar el suelo y las plantas presentes en el mismo, debido a que estas aguas pueden contener microorganismos patógenos, metales pesados, entre otros. No obstante, si se realiza un adecuado tratamiento se puede revertir esta situación, por ello la presente revisión tiene como objetivo describir los tratamientos que actualmente se llevan a cabo en una Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), identificando algunas nuevas opciones que se vienen desarrollando y lo cual ayuda a que el tratamiento sea más eficiente. No existe un tratamiento en específico para que las aguas sean reutilizadas, ya que esta dependerá de las características de cada una, sin embargo se debe de tener en cuenta que las mismas deben de pasar por una serie de tratamientos antes de ser vertidas a un cuerpo natural o en todos los casos ser reutilizadas, ante ello se llegó a la conclusión que el utilizar el reactor UASB después de las etapas de pre tratamiento es una buena opción, sin embargo aún se deben de realizar algunos procesos que incluyen las lagunas de estabilización, lo cual ayudaría a tener una PTAR más eficiente, y disminuir el riesgo de la presencia de organismos patógenos.

Palabras clave: Aguas residuales, tratamientos, reactor, plantas de tratamiento de aguas residuales, municipalidad

## ABSTRACT

Currently, the population growth has consequently the increase in the volume of wastewater. This increase in wastewater can lead us to different scenarios: one of these would be a situation in which from its treatment these end up in the water bodies, however other scenarios also arise, which is the one that will be taken into account in this research, such as reusing these waters for irrigation of green areas, thus reducing current water stress; However, it must be taken into account that due to its characteristics the soil and the plants present in it can be affected, because these waters can contain pathogenic microorganisms, heavy metals, among others. However, if an adequate treatment is carried out, this situation can be reversed, therefore this review aims to describe the treatments that are currently carried out in a Wastewater Treatment Plant (WWTP), identifying some new options that are have been developing and which helps the treatment to be more efficient. There is no specific treatment for the water to be reused, since this will depend on the characteristics of each one, however it must be considered that they must go through a series of treatments before being discharged into a body. natural or in any case be reused, in view of this it was concluded that using the UASB reactor after the pre-treatment stages is a good option, however some processes must still be carried out that include stabilization ponds, which would help to have a more efficient WWTP, and reduce the risk of the presence of pathogenic organisms.

Keywords: Wastewater, treatment, reactor, wastewater treatment plant, municipality

## **REVISIÓN TEÓRICA**

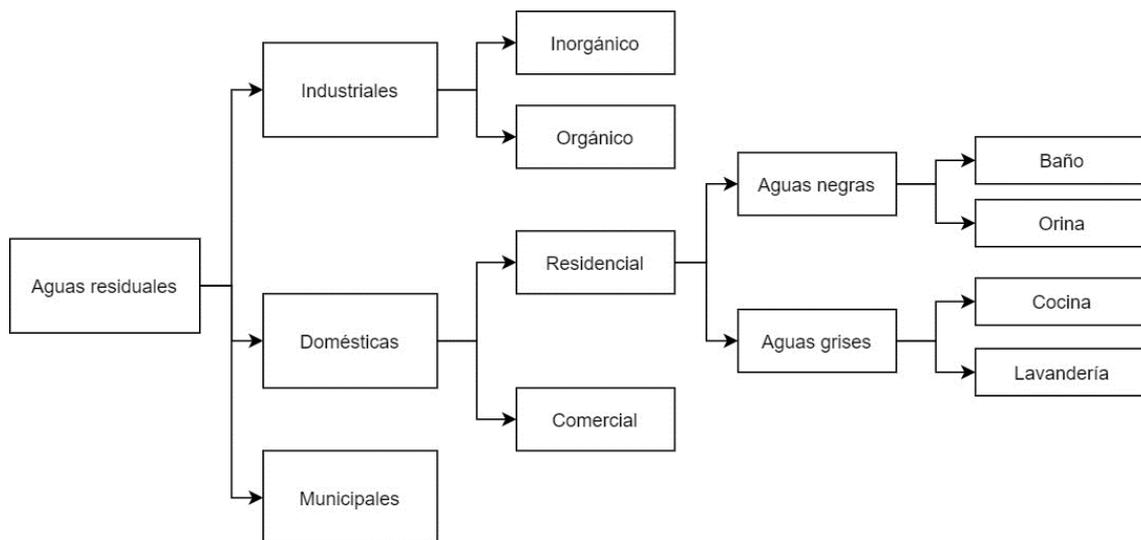
### **1. Introducción**

El incremento de la población mundial se da cada año, en el 2017 se tenía 7700 millones de personas, se proyecta que para el 2050 serán adicionalmente 2000 millones y a fines de este siglo se podría llegar a 10900 millones de personas (United Nations, Department of Economic and Social Affairs, 2019), a raíz de ello, el volumen de aguas residuales se ha ido incrementando también (OMS, 2017), la misma que es definida por numerosos autores, aquí algunos: el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) (2014) las define como aguas que fueron transformadas por las actividades humanas y por lo tanto necesitan un tratamiento previo, es decir, deben de ser modificadas antes de ser reaprovechadas, vertidas al medio ambiente o descargadas al alcantarillado, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) las define como aguas que no tienen un valor próximo para el fin ni la intención con la que se elaboró, debido a su calidad, cantidad o al momento en que se dispone de ella, sin embargo no consideran a las aguas de refrigeración como aguas residuales, no obstante, abre la posibilidad del reúso de estas aguas al mencionar que estas pueden servir de suministro para otra actividad o usuario (FAO, 2016), cabe mencionar que algunos autores como Li & Liu (2019) consideran dentro de las aguas residuales a las aguas de refrigeración, actualmente no solo se presenta la problemática respecto al crecimiento poblacional sino también el estrés hídrico, relacionado con la agricultura la cual es el sector que consume mayor agua en el mundo, pudiendo ser responsable del aproximadamente el 92% del uso de la misma en algunos países (Khanpae, Karami, Maleksaeidi, & Keshavarz, 2020), por ello esta revisión se centra en investigar los tratamientos que permiten reutilizar la aguas residuales en la agricultura y así disminuir el estrés generado sobre este recurso.

### **2. Aguas residuales:**

#### **2.1. Tipos**

Muchos autores clasifican las aguas residuales de distintas maneras por ejemplo López del Pino & Martín Calderón, (2015) consideran 5 clasificaciones: urbanas, industriales, mixtas, pluviales y blancas, estas últimas son aquellas que se producen de la infiltración del agua de lluvia y cuya contaminación es escasa; sin embargo, a continuación, nos basaremos en tres autores para tener una clasificación más adecuada.



Fuente: Adaptado de Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental (2014), Amoatey & Bani (1986) y Shi (2009).

Las aguas residuales industriales inorgánicas provienen de industrias de carbón, acero, minerales no metálicos y empresas comerciales e industriales, mientras que los orgánicas provienen de industrias de productos farmacéuticos, cosméticos, colorantes orgánicos, pegamentos y adhesivos, jabones detergentes sintéticos, pesticidas, herbicidas, curtiembres y fábricas de cuero, textil, celulosa y plantas de papel, dentro de este grupo también se encuentran las industrias de refinación de petróleo, cerveza y fermentación y de procesamiento de metales (Shi, 2009), mientras que las aguas residuales municipales resultan de fuentes comerciales, industriales, domésticas e institucionales que se encuentren dentro de una comunidad (WWAP, 2017), como se mencionó se incluyen también aguas residuales de fuente industrial, siempre y cuando hayan sido tratadas previamente para poder ser admitidas en el alcantarillado, además se incluye también las aguas de drenaje (OEFA, 2014). Asimismo las aguas

residuales municipales son aquellas provenientes del uso particular de las personas y del hogar (María, Martínez, Claudia, & Octaviano, 2018), esta última abarca también las aguas grises que incluye el agua de lavados, lavavajillas, duchas, lavamanos, baños y lavadoras, este contiene grasas, aceites, productos químicos nocivos, blanqueadores y gérmenes y las aguas negras, son residuos de inodoros o urinarios (EPA, s. f.-a)

## **2.2. Caracterización y Composición**

Las aguas residuales en general están constituidas por 99.9% de agua y 0.1% de sólidos (Showkat & Najjar, 2018), este último comprende compuestos orgánicos (70%) que incluyen proteínas, carbohidratos y grasas, e inorgánicos (30%) como sales, arenas, metales, nutrientes como potasio y fósforo, sin embargo, pueden presentar microorganismos patógenos (virus, helmintos, protozoos y bacterias), metales pesados (cromo, mercurio, cobre cadmio, níquel, plomo, zinc), contaminantes orgánicos (bifenilos policlorados, hidrocarburos poliaromáticos, pesticidas), orgánicos biodegradables (DBO y DQO), y microcontaminantes (medicinas, cosméticos, agentes o compuestos de limpieza) (Strauss, 2015). En relación a las aguas residuales industriales este suele tener más contaminantes de los ya mencionados, como por ejemplo, arsénico, cloruros, cianuros, fluoruros, benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX), cloroalcanos, halogenados, diclorometano, bromuro, dioxinas y furanos, fenoles, hidrocarburos, hexaclorobenceno, triclorobenceno, entre otros (Rodríguez et al., 2006); lo expuesto en líneas anteriores se encuentran dentro de las características biológicas y químicas de las aguas residuales, sin embargo también se tienen características físicas, que incluyen el color, que puede indicar el estado de la misma, olor, el cual suele ser inofensivo, aunque cuando el agua residual se descompone biológicamente se emiten olores por sulfuro de hidrógeno y la temperatura que varía según la ubicación geográfica (Munter, 2003).

## **3. Situación de las aguas residuales**

En el 2012 solo el 20% de las aguas residuales que se generaban a nivel mundial eran tratadas adecuadamente (WWAP, 2012), siendo la capacidad del tratamiento dependiente de los

ingresos del país, entonces el 70% de las aguas residuales reciben tratamiento en los países altos a comparación del 8% en países con ingresos bajos (Sato, Qadir, Yamamoto, Endo, & Zahoor, 2013), en países con ingresos medios-altos se trata el 38% de estas, 28% en países con ingresos medios y en el mundo aproximadamente el 80% de las aguas residuales que no reciben tratamiento son vertidas al medio ambiente, situación común en países que no cuentan con una infraestructura, financiamiento y capacidad técnica e institucional para realizar estos tratamientos (WWAP, 2017), otro dato importante es que a nivel global puede llegar a descargarse 400 mil millones de m<sup>3</sup>/año de aguas residuales contaminando 5500 millones de m<sup>3</sup> de agua por año (Zhang & Shen, 2019).

En Latinoamérica el 70% de las aguas residuales son tratadas (Lissarrague, 2015), si bien este número es favorecedor existen países en los que las aguas negras no reciben algún tratamiento y ciudades grandes donde no tienen la infraestructura adecuada para realizar los mismos (Reynolds, 2002). En Colombia aproximadamente el 10% de las aguas residuales son tratadas, aunque se cuenta con una capacidad instalada del 20% y de sus 21 departamentos, menos de la cuarta parte tiene una PTAR (Acuatecnia S.A.S, s. f.-a). El 58% de sus aguas negras no recibe algún tratamiento, y son vertidas directamente a los ríos, quebradas y en algunos casos al mar (Acuatecnia S.A.S, s. f.-b), mientras que en Perú al 2012 se generaba un volumen aproximado de 2217946 m<sup>3</sup> de agua residual por día, no obstante solo el 32% de estas recibían tratamiento, siendo en Lima donde se genera la mayor cantidad de aguas residuales y donde el 20.5% de los 1202286 m<sup>3</sup>/día de estas aguas recibía tratamiento (OEFA, 2014).

En el 2015 ya se contaban con 204 PTAR construidas y en construcción, el 82% de estas se encontraba en la costa, 49 de las mismas vertían sus efluentes a cuerpos de agua naturales, mientras que 63 a canales de drenaje que terminaban en diferentes cultivos y 19 a quebradas secas, por último 22 PTAR no contaban con un punto de vertimiento, por lo tanto formaban lagunas y humedales a sus alrededores (Loose, 2015), para el año 2017 se tenían 23 PTAR que eran administradas por SEDAPAL, que trataban alrededor de 2783 m<sup>3</sup>/s, sin embargo con las 2

plantas de Taboada y la Chira se trata el 92,39% del total de agua residual, culminando el tratamiento el volumen de agua residual que se vierte al mar es de 1861 m<sup>3</sup>/s, 250 m<sup>3</sup>/s a ríos y 0,83 m<sup>3</sup>/s es utilizado para riego o reúso (SEDAPAL, 2018), en el año 2018 se incrementó el volumen del agua residual tratada a 3,679 m<sup>3</sup>/s, 32% más que en el 2017, aunque se sigue manteniendo el 92 % del total de agua residual tratada, en este año el volumen de agua residual ya tratada vertida al mar es de 0,50 m<sup>3</sup>/s, 2,38 m<sup>3</sup>/s al río y 0,80 m<sup>3</sup>/s es tratada para reúso, sin embargo 17,16 m<sup>3</sup>/s de aguas residuales sin tratamiento son vertidas por las PTAR concesionadas (SEDAPAL, 2019).

### **3.1. Vertimiento de aguas residuales y consecuencias**

Según un informe publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, los ríos de América Latina y el Caribe se encuentran deteriorados presentando una concentración alta de 1000 NMP/100ml de coliformes fecales, esto en consecuencia del vertimiento de aguas (Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente, 2016), en nuestro país las aguas residuales después que hayan pasado el tratamiento respectivo son vertidas al río Rímac, Lurín y al mar, (SEDAPAL, 2019), sin embargo contamos con 52 cuencas afectadas por el vertimiento de las mismas (FAO, 2017), ya que, no cuentan con un tratamiento adecuado, por consiguiente se presentan impactos negativos en el medio ambiente, efectos nocivos en la salud y repercusiones perjudiciales en las actividades económicas (WWAP, 2017), uno de los impactos ocasionados es la eutrofización y ello debido a que estas aguas no tratadas son una importante fuente de nutrientes, por ejemplo en Nigeria a razón del vertimiento de aguas residuales se está afectando la población de peces, dado que las floraciones de cianobacterias tóxicas son abundantes y los niveles de oxígeno se agotan (Adewumi & Oguntuase, 2016); también se observan consecuencias en la salud, por ejemplo en China alrededor del año 1999 debido a la contaminación del alcantarillado se dio un brote importante de hepatitis A (Rose et al., 1999).

#### 4. Normativa de reutilización de aguas residuales

A lo largo de los años la normativa relacionada a las aguas residuales está evolucionando, hace 100 años en Estados Unidos ya se empezaba a tener leyes acerca del control de la contaminación del agua (Xiaoxin et al., 2019) en nuestro país este tema es de relevancia, ya en el año 1969 La ley General de Aguas establecía que el responsable de la vigilancia y sanción por el incumplimiento de los límites máximos permisibles de residuos líquidos domésticos. que se viertan en el sistema de alcantarillado es el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. En 1990 en el Código del Medio Ambiente y Recursos Naturales, decreto legislativo N°693, no solo se tomaba en cuenta el vertimiento de las aguas residuales al alcantarillado, sino la disposición de estas en algunas zonas, para lo cual se realizó la identificación de los lugares donde no se podía verter aguas residuales, y se indica que las industrias artesanales, medianas o grandes, solo pueden descargar sus efluentes en el sistema de alcantarillado, siempre y cuando tengan una aprobación de la autoridad competente, reforzando lo planteado en la Ley general de Aguas, resaltando que las aguas residuales no tratadas no se pueden llevar al alcantarillado, y deberían de recibir un tratamiento con el cual no se afecte los cuerpos receptores y se fomente la reutilización de la misma (Decreto Legislativo N°613, 1990), similar normativa a la dada en Estados Unidos por la EPA que es La Agencia de Protección Ambiental, agencia del gobierno federal del país en mención, cuyo objetivo es la protección de la salud y del medio ambiente (EPA, s. f.-b) , esta agencia promulgó la ley de Agua limpia que indica que, descargar cualquier contaminante de una fuente puntual ya sea tuberías o zanjas artificiales a aguas navegables es ilegal, a menos que se tenga un permiso (United States Congress, 2002).

Ya en 1997, se promulgó una Resolución de superintendencia N° 180-97-SUNASS, en donde se aprueban las medidas para evitar la propagación del cólera y otras enfermedades, para ello se exige a las empresas prestadoras de servicios (EPS) que reconozcan las áreas de influencia de las descargas de estas aguas, ello acompañado de un monitoreo del curso o cuerpo receptor,

además que se informe la peligrosidad de estos cuerpos de agua (Resolución de Superintendencia, 1997).

En el 2009 se aprueba el DS N°021-2009-VIVIENDA (2009), la cual regula los valores máximos admisibles (VMA) en las descargas al alcantarillado de aguas residuales con el fin de evitar el daño a la infraestructura, esta es de obligatorio cumplimiento para aquellos que viertan aguas residuales no domésticas, dentro de los parámetros que se miden están la concentración de algunos elementos, sustancias.

Para poder analizar las condiciones de los vertimientos de estas aguas se tienen distintos parámetros como los Límites máximos permisibles (LMP), en nuestro país se tiene el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM la cual aprueba los LMP, indicados en la tabla 1, para los efluentes de las PTAR ya sean domésticas o municipales:

Tabla 1 Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua</b>
Aceites y grasa	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	10000
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/L	100
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión (STS)	ml/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente Decreto Supremo N°003-2010-MINAM

Cabe mencionar que, de acuerdo con la Directiva Europea de Aguas Residuales, antes que las aguas residuales tratadas puedan usarse directamente en la agricultura, se requiere un tratamiento adicional (terciario) para convertirlas en aguas residuales recuperadas (Giannoccaro, Arborea, de Gennaro, Iacobellis, & Piccinni, 2019).

#### 4.1. Tratamientos de aguas residuales

Una de las instituciones que fomenta la reutilización de las aguas residuales es United Nations Sustainable Development (1993) la cual promueve su uso en la agricultura, industria, acuicultura, y otros sectores, a lo largo de los años se empezó a incrementar el volumen de aguas reutilizadas desde un 10% a 29% por año en Europa, Estados Unidos y China, llegando a 41% en Australia, y en varios países como Florida, California, México y China, asimismo el volumen diario de agua reutilizada alcanza de 1,5 a 1,7 millones de m<sup>3</sup> (Aziz & Farissi, 2014), es importante mencionar que a diferencia del agua limpia, los flujos de aguas residuales no varían con las estaciones, las condiciones climáticas o los niveles de precipitación, por consiguiente permite que los agricultores puedan regar todo el año (Zhang & Shen, 2019), del mismo modo el uso de estas aguas residuales pueden tener un efecto positivo en la nutrición del suelo y plantas, mejorando así la fertilidad por medio de su estructura, capacidad de retención del agua y almacenamiento del carbono, reduciendo así la necesidad de utilizar un fertilizante mineral (Perulli et al., 2019), sin embargo el riego con estas aguas puede provocar el endurecimiento del suelo, presencia de metales pesados y contaminación de aguas subterráneas poco profundas, todo ello en caso que no se haya realizado un tratamiento previo (Gola, Malik, Shaikh, & Sreekrishnan, 2016), ya que se necesita eliminar adecuadamente las sales, agentes patógenos, trazas de materia orgánica y productos químicos (Song et al., 2018).

Las aguas residuales cuentan con un ciclo de manejo, el cual comienza con la extracción del mismo de cuerpo de agua natural ya sean ríos, lagos o aguas subterráneas, para luego ser potabilizadas para el consumo humano, cuando se termine su consumo estas deberían de ser llevadas a la red de alcantarillado sin embargo en algunos casos son vertidas a cuerpos de agua o utilizadas para el riego, al pasar por la red de alcantarillado estas llegan a las Plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), cuyo objetivo principal es eliminar los sólidos en suspensión, materia orgánica, nitrógeno, fósforo, microorganismos y patógenos (Bertrand, Lebaron, Caumette, Matheron, 2011). Estas plantas son un aspecto esencial de la infraestructura

de saneamiento y agua, en donde se emplean distintas barreras físicas, químicas y biológicas (Pruden, 2018), para luego poder utilizarlas para el riego de cultivos, áreas verdes, actividades recreativas o ser vertidas a ríos, lagos y aguas subterráneas (OEFA, 2014).

Cabe mencionar que el tratamiento de aguas residuales municipales se puede realizar en un sistema de reactores aeróbicos y anaeróbicos o en la combinación de estos (Sikosana, Sikhwivhilu, Moutloali, & Madyira, 2019), sin embargo a continuación se mostrarán las etapas básicas del tratamiento de aguas residuales:

**Pre tratamiento**, en este los grandes objetos flotantes, como trapos, latas, botellas y palos son eliminados por medio de una pantalla, ello para evitar que se obstruyan bombas, tuberías pequeñas y los procesos siguientes, estas varían de gruesas a finas y están construidas con barras paralelas de acero o hierro con aberturas de aproximadamente media pulgada, pero se pueden tener pantallas con espacios mucho más reducidos (USEPA, 2004).

**Tratamiento primario o físico**, el cual implica el uso de dispositivos primarios que permiten reducir los flujos y que los sólidos se depositen debido a la gravedad, comúnmente los tanques de sedimentación detienen los flujos durante 2 a 6 horas para permitir que los sólidos se sedimenten, en este primer tratamiento se puede llegar a eliminar el 30% del DBO5 y 60% del TSS y se pueden introducir floculantes inorgánicos u orgánicos para ayudar a mejorar la calidad del efluente (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2006).

Cabe mencionar que al 2009 en Brasil se estaba intentando utilizar un Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (más adelante RAFA) también conocido como UASB (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2009), hasta este punto el tratamiento convencional es eficaz sin embargo esta implica altos costos de capital y operativos, por lo tanto estos reactores son una opción atractiva debido a su fácil manejo y bajo costo operativo (Bhatti, Maqbool, Malik, & Mehmood, 2014). Estos reactores son sistemas anaeróbicos de alta velocidad, dentro de algunos de sus beneficios se encuentran que tiene una alta eficiencia en la eliminación de la carga orgánica; su construcción y operación es más simple que la de un reactor, tiene flexibilidad en su diseño

además de tasas de producción de lodos más bajas y con un mayor porcentaje de deshidratación (Rajagopal, Choudhury, Anwar, Goyette, & Rahaman, 2019), estos reactores ya son aplicados en nuestro país por ejemplo, en la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) el agua residual al ser proveniente del tratamiento primario se distribuye en el fondo del reactor, para así fluir a través de una capa o manto de lodos degradando la materia orgánica mediante una digestión anaerobia, posteriormente va a lagunas de estabilización, que ya son parte del tratamiento secundario (Universidad Nacional de Ingeniería, s. f.)

**Tratamiento secundario** en este se dan procesos de naturaleza biológica con el objetivo de remover materia orgánica biodegradable para después transformarlas en sólidos suspendidos y facilitar su eliminación (Acuatecnia S.A.S, s. f.-c), asimismo se pueden utilizar sistemas de biofiltros, lodos activados o lagunas de estabilización (Lorenzo & Obaya, 2006).

Los biofiltros son lechos de material orgánico que tienen una porosidad que permite el paso del aire, retención de la humedad y crecimiento de la biomasa, el aire al pasar por este biofiltro ocasiona que los compuestos que causan el olor sean absorbidos en la película de agua y se desarrollen microbios en el material orgánico, lo cual oxida los compuestos adsorbidos en dióxido de carbono, agua y sales inorgánicas, en este proceso es importante que se mantengan los niveles de humedad y pH, y su efectividad depende de la cantidad de tiempo que el aire pasa por el biofiltro. Los medios de filtración pueden ser variados como por ejemplo tierra, compost, astillas de madera, y otras mezclas (Ghawi, 2018).

El tratamiento biológico más utilizado son los lodos activados, diseñados para eliminar sustancialmente la materia orgánica coloidal (Han et al., 2018), este proceso funciona a base de un reactor que se mantiene en un ambiente aerobio por medio de una aireación difusa o mecánica además del uso de cultivos microbianos por el cual se biodegrada el material orgánico, asimismo se tiene un tiempo de retención de 5 a 14 horas (Scott, 2013), la alternativa mencionada necesita de mucha energía por lo tanto actualmente se viene desarrollando nuevas ideas, una de estas es el proceso de lodos activados de alta velocidad, la cual se basa en la

biofloculación, adsorción y bioacumulación de compuestos orgánicos, la cual se desarrolló con el objetivo de capturar la materia orgánica (Güven et al., 2019).

Las lagunas de estabilización pueden ser llamados tanques de estabilización u oxidación, estos retienen las aguas residuales mientras se degrada la materia orgánica, en un tiempo aproximado 1 a 4 semanas, el calor, la luz y sedimentación de los sólidos permitirá reducir la cantidad de patógenos, dentro de esta se tienen 4 tipos:

Tabla 2 Tipos de lagunas de estabilización

	<b>Estanques aeróbicos</b>	<b>Estanques anaeróbicos</b>	<b>Estanques facultativos</b>	<b>Lagunas o estanques aireados</b>
Profundidad	1.5 m	1 a 10 m	1 a 2.5 m	1 a 2 m
Tiempo de retención	3 a 5 días	20 a 25 días	5 a 30 días	10 días
Proceso	Aerobio	Anaerobio	Aerobio y anaerobio	Aerobio

Fuente Adaptado de Gerba & Pepper (2015)

Respecto a los estanques aerobios se necesita una baja altitud debido a que se depende de la penetración de la luz para estimular el crecimiento de las algas, lo que promueve la generación de oxígeno, en el caso de los estanques anaeróbicos, no se requiere una aireación mecánica costosa, se generan pequeñas cantidades de lodos y usualmente es utilizado para aguas residuales con un contenido alto de proteínas y grasas, los estanques facultativos, cuentan con 3 etapas la primera que es la zona aireada superior, zona facultativa media y la zona anaerobia más baja, por último las lagunas aireadas, si bien pueden tener un tiempo de retención de 10 días este depende de la temperatura de aireación (Gerba & Pepper, 2015).

El último tratamiento es el terciario en el que ya se eliminan las cargas orgánicas, microorganismos patógenos, fosfatos, detergentes y nitratos residuales además de mejorarse las condiciones de color y olor del agua residual (Rossi Maria, 2010), en nuestro país las tecnologías más usadas en las PTAR son lagunas de oxidación, lagunas aireadas, lodos activados, sistemas anaerobios y aerobio y filtros percoladores, dentro de este cabe mencionar que estos

tratamientos dependen del agua residual que se tenga, ya que, en algunos casos se pueden usar pasos adicionales como la eliminación de nitrógeno o fósforo y nutrientes biológicos (Häder, 2017).

### **CONCLUSIONES**

En conclusión, el tratamiento de las aguas residuales para la reutilización en el riego, puede mejorar, es decir a parte de los tratamientos comunes que se vienen desarrollando existen mejores alternativas como el reactor UASB, el cual tiene como ventaja ser económico, lo cual facilita su implementación en las actuales PTAR que están en construcción, sin embargo no solo se debe de implementar esta alternativa sino también luego del mismo aún deben de seguir los tratamientos secundarios como por ejemplo lagunas facultativas, lo cual es de importancia para reducir o eliminar los contaminantes presentes en la misma.

### **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Acuatecnia S.A.S. (s. f.-a). Plantas de tratamiento de aguas residuales hay en Colombia. Recuperado 2 de diciembre de 2019, de <https://acuatecnica.com/cuantas-plantas-tratamiento-aguas-residuales-colombia/>
- Acuatecnia S.A.S. (s. f.-b). Políticas en Colombia Sobre el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas. Recuperado 2 de diciembre de 2019, de <https://acuatecnica.com/politicas-colombia-tratamiento-aguas-residuales-domesticas/>
- Acuatecnia S.A.S. (s. f.-c). Tratamiento secundario de aguas residuales. Recuperado 6 de diciembre de 2019, de <https://acuatecnica.com/tratamiento-secundario-de-aguas-residuales/>
- Adewumi, J. R., & Oguntuase, A. M. (2016). Planning of Wastewater Reuse Programme in Nigeria. *Consilience: The Journal of Sustainable Development*, 15(1), 1-33. <https://doi.org/10.7916/D82F7N87>
- Amoatey, P., & Bani, R. (1986). Wastewater Management. En *University of Ghana* (Vol. 130).

[https://doi.org/10.1016/0015-1882\(92\)80300-8](https://doi.org/10.1016/0015-1882(92)80300-8)

Aziz, F., & Farissi, M. (2014). Reuse of Treated Wastewater in Agriculture: Solving Water Deficit

Problems in Arid Areas (Review). *Biology*, XVII(2), 95-110. Recuperado de

[https://pdfs.semanticscholar.org/9ed7/1933a066ef15512bc896170732b30add916.pdf?](https://pdfs.semanticscholar.org/9ed7/1933a066ef15512bc896170732b30add916.pdf?_ga=2.256200587.1662119593.1594918615-326910743.1589780789)

[\\_ga=2.256200587.1662119593.1594918615-326910743.1589780789](https://pdfs.semanticscholar.org/9ed7/1933a066ef15512bc896170732b30add916.pdf?_ga=2.256200587.1662119593.1594918615-326910743.1589780789)

Bhatti, Z. A., Maqbool, F., Malik, A. H., & Mehmood, Q. (2014). UASB reactor startup for the

treatment of municipal wastewater followed by advanced oxidation process. *Brazilian*

*Journal of Chemical Engineering*, 31(3), 715-726. [https://doi.org/10.1590/0104-](https://doi.org/10.1590/0104-6632.20140313s00002786)

[6632.20140313s00002786](https://doi.org/10.1590/0104-6632.20140313s00002786)

Canadian Council of Ministers of the Environment. (2006). *Coordinated Science and Research on*

*Municipal Wastewater Effluent (MWWWE)*. Recuperado de

[https://www.ccme.ca/files/Resources/municipal\\_wastewater\\_effluent/mwwwe\\_science\\_re](https://www.ccme.ca/files/Resources/municipal_wastewater_effluent/mwwwe_science_research_smry_e.pdf)

[search\\_smry\\_e.pdf](https://www.ccme.ca/files/Resources/municipal_wastewater_effluent/mwwwe_science_research_smry_e.pdf)

Congreso de la República. Código Del Medio Ambiente Y Los Recursos Naturales. , 613. El

Peruano § (1990).

EPA. (s. f.-a). Black and Grey Black and Grey. Recuperado 29 de noviembre de 2019, de

[https://www.epa.sa.gov.au/environmental\\_info/water\\_quality/programs/grey\\_and\\_black](https://www.epa.sa.gov.au/environmental_info/water_quality/programs/grey_and_black_water_discharge)

[water\\_discharge](https://www.epa.sa.gov.au/environmental_info/water_quality/programs/grey_and_black_water_discharge)

EPA. (s. f.-b). Our Mission and What We Do. Recuperado 5 de diciembre de 2019, de

<https://www.investopedia.com/terms/e/environmental-protection-agency.asp>

FAO. (2016). Base de datos AQUASTAT.

<https://doi.org/www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/index.html?lang=es>

Gerba, C. P., & Pepper, I. L. (2015). Municipal Wastewater Treatment. En *Environmental*

*Microbiology: Third Edition*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394626-3.00025-9>

- Ghawi, A. H. (2018). Design of biofilter odor removal system for conventional wastewater treatment plant. *Journal of Ecological Engineering*, 19(4), 7-15.  
<https://doi.org/10.12911/22998993/89791>
- Giannocco, G., Arborea, S., de Gennaro, B. C., Iacobellis, V., & Piccinni, A. F. (2019). Assessing reclaimed urban wastewater for reuse in agriculture: Technical and economic concerns for Mediterranean regions. *Water (Switzerland)*, 11(7).  
<https://doi.org/10.3390/w11071511>
- Gola, D., Malik, A., Shaikh, Z. A., & Sreekrishnan, T. R. (2016). Impact of Heavy Metal Containing Wastewater on Agricultural Soil and Produce: Relevance of Biological Treatment. *Environmental Processes*, 3(4), 1063-1080. <https://doi.org/10.1007/s40710-016-0176-9>
- Güven, H., Özgün, H., Ersahin, M. E., Dereli, R. K., Sinop, I., & Öztürk, I. (2019). High-rate activated sludge processes for municipal wastewater treatment: the effect of food waste addition and hydraulic limits of the system. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(2), 1770-1780. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3665-8>
- Häder, D. P. (2017). Ecotoxicological monitoring of wastewater. En *Bioassays: Advanced Methods and Applications* (pp. 369-386). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811861-0.00018-8>
- Han, X., Zuo, Y. T., Hu, Y., Zhang, J., Zhou, M. X., Chen, M., ... Liu, A. L. (2018). Investigating the performance of three modified activated sludge processes treating municipal wastewater in organic pollutants removal and toxicity reduction. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 148(November 2017), 729-737. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.042>
- Khanpae, M., Karami, E., Maleksaeidi, H., & Keshavarz, M. (2020). Farmers' attitude towards using treated wastewater for irrigation: The question of sustainability. *Journal of Cleaner*

*Production*, 243, 118541. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118541>

Li, D., & Liu, S. (2019). Detection of Industrial Water Quality. En *Water Quality Monitoring and Management* (pp. 329-349). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-811330-1.00013-2>

Lissarrague, J. R. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*, 2(1991), 9-25. Recuperado de <http://siar.minam.gob.pe/puno/fuente-informacion/universidad-san-ignacio-loyola>

Loose. (2015). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. *Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento*, 1, 150. Recuperado de <http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>

López del Pino, J., & Martín Calderón, S. (2015). *Depuración de aguas residuales - Sonia Martín Calderón*. Recuperado de <https://books.google.com.pe/books?id=9cJWDwAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=características+de+las+aguas+residuales&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEwjSvPi5xOrIAhXMmq0KHeuhDm4Q6AEIKzAA#v=snippet&q=aguas+residuales&f=false>

Lorenzo, Y., & Obaya, M. C. (2006). La digestión anaerobia y los reactores UASB. Generalidades. *ICIDCA : Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*, 40(1), 13-21. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223121549002.pdf>

María, D., Martínez, A., Claudia, D., & Octaviano, A. (2018). *Desarrollo de rutas de instrumentación de las contribuciones nacionalmente determinadas en materia de mitigación de gases y compuestos de efecto invernadero (G Y CEI) del sector aguas residuales de México*.

Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2009). Manual para municipios ecoeficientes. (pp.179). Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp->

content/uploads/sites/22/2013/10/manual\_para\_municipios\_ecoeficientes.pdf

Munter, R. (2003). Industrial wastewater characteristics. En *El Programa de la Universidad*

*Báltica (BUP)* (pp. 185-194). Recuperado de

[http://www.academia.edu/download/33253823/B2Ch18\(c\).pdf](http://www.academia.edu/download/33253823/B2Ch18(c).pdf)

OMS. (2017). OMS | Aguas residuales. Recuperado 30 de octubre de 2019, de Aguas residuales

website: [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/sanitation-](https://www.who.int/water_sanitation_health/sanitation-waste/wastewater/es/)

[waste/wastewater/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/sanitation-waste/wastewater/es/)

Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental. (2014). Fiscalización ambiental en aguas

residuales. En *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Recuperado de

[https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)

Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y Agricultura. (2017). *Reutilización*

*de aguas para agricultura en América Latina y el Caribe* (J. Mateo-Sgasta, Ed.).

Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i7748s.pdf>

Perulli, G. D., Bresilla, K., Manfrini, L., Boini, A., Sorrenti, G., Grappadelli, L. C., & Morandi, B.

(2019). Beneficial effect of secondary treated wastewater irrigation on nectarine tree physiology. *Agricultural Water Management*, 221(March), 120-130.

<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.007>

Programa de las naciones unidas para el ambiente. (2016). A snapshot of the world's water

quality: towards a global assessment. En *United Nations Environment Programme*.

<https://doi.org/978-92-807-3555-0>

Pruden, A. (2018). Antibiotics and Antibiotic Resistance: Closing the Loop Between Hospitals

and the Environment. En *Health Care and Environmental Contamination* (1.ª ed., Vol. 11,

pp. 137-148). <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63857-1.00008-5>

Rajagopal, R., Choudhury, M. R., Anwar, N., Goyette, B., & Rahaman, M. S. (2019). Influence of

- pre-hydrolysis on sewage treatment in an Up-Flow Anaerobic Sludge BLANKET (UASB) reactor: A review. *Water (Switzerland)*, 11(2), 3-7. <https://doi.org/10.3390/w11020372>
- Reynolds, K. A. (2002). Tratamiento de agua en latinoamerica. En *De La Llave* (pp. 1-4). Recuperado de [papers://73c07e2e-9294-4a94-b11e-b804a5393384/Paper/p151](https://papers://73c07e2e-9294-4a94-b11e-b804a5393384/Paper/p151)
- Rodríguez, A., Letón, P., Rosal, R., Dorado, M., Villar, S., & Sanz, J. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. En *Universidad Rey Juan Carlos* (pp. 1-122).
- Rose, G. D., Intern, C., Table, C., Contents, O. F., Tables, L. O. F., Summary, E., ... Facility, M. (1999). Community-Based Technologies for Domestic Wastewater Treatment and Reuse : Options for urban agriculture International Development Research Centre , Ottawa Cities Feeding People Series – Report 27. *Management*.
- Rossi Maria. (2010). *Opciones Tecnológicas Para El Tratamiento De Aguas Residuales*. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/0605A78F2E41896205257DC800592EF0/\\$FILE/Oportunidades\\_Mejoras\\_Ambientales.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/0605A78F2E41896205257DC800592EF0/$FILE/Oportunidades_Mejoras_Ambientales.pdf)
- Sato, T., Qadir, M., Yamamoto, S., Endo, T., & Zahoor, A. (2013). Global, regional, and country level need for data on wastewater generation, treatment, and use. *Agricultural Water Management*, 130, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.08.007>
- Scott, R. (2013). Fate and behaviour of parasites in wastewater treatment systems. En *Handbook of Water and Wastewater Microbiology* (pp. 491-521). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-470100-7.50032-7>
- SEDAPAL. (2018). *Informe de sostenibilidad 2017*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- SEDAPAL. (2019). *Informe de sostenibilidad 2018*. Recuperado de [http://www.sedapal.com.pe/c/document\\_library/get\\_file?uuid=df742304-1f18-4b89-](http://www.sedapal.com.pe/c/document_library/get_file?uuid=df742304-1f18-4b89-)

a034-5bbfe2d444b5&groupId=10154

Shi, H. (2009). Industrial Wastewater-types, amounts and effects. En *Encyclopedia of life Support Systems (EOLSS): Vol. I* (p. 430).

Showkat, U., & Najar, I. A. (2018). Study on the efficiency of sequential batch reactor (SBR)-based sewage treatment plant. *Applied Water Science*, 9(1), 1-10.

<https://doi.org/10.1007/s13201-018-0882-8>

Sikosana, M. L., Sikhwivhilu, K., Moutloali, R., & Madyira, D. M. (2019). Municipal wastewater treatment technologies: A review. *Procedia Manufacturing*, 35, 1018-1024.

<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.051>

Song, X., Luo, W., Hai, F. I., Price, W. E., Guo, W., Ngo, H. H., & Nghiem, L. D. (2018). Resource recovery from wastewater by anaerobic membrane bioreactors: Opportunities and challenges. *Bioresource Technology*, 270, 669-677.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.001>

Strauss, S. D. (2015). Wastewater Management. *Power*, 130(6). [https://doi.org/10.1016/0015-1882\(92\)80300-8](https://doi.org/10.1016/0015-1882(92)80300-8)

SUNASS. (1997). *Medidas para evitar la propagación del cólera y otras enfermedades diarreicas agudas en los sistemas administrados por las entidades prestadoras de servicios de saneamiento.*

United Nations, Department of Economic and Social Affairs, P. D. (2019). World population prospects 2019. En *United Nations. Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects 2019*. Recuperado de

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12283219>

United Nations Sustainable Development. (1993). The United Nations Conference on Environment and Development. *Journal of Architectural Education*, 46(3), 197-198.

<https://doi.org/10.1080/10464883.1993.10734558>

United States Congress. *Federal water pollution control act.* , (2002).

Universidad Nacional de Ingeniería. (s. f.). Citrar – FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL.

Recuperado 5 de diciembre de 2019, de <http://fiauni.pe/sitio/citrar/>

USEPA. (2004). *Primer for Municipal Wastewater Treatment Systems.* (September), 30.

WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas).

(2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos

Hídricos. *Aguas residuales: El recurso no explotado.* París, UNESCO. Recuperado de

[https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247661\\_spa?posInSet=5&queryId=3f2fa233-444b-4e87-a5c4-0277499c4be4](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247661_spa?posInSet=5&queryId=3f2fa233-444b-4e87-a5c4-0277499c4be4)

WWAP (World Water Assessment Programme). (2012). *The United Nations World Water Development Report 4: Managing Water under Uncertainty and Risk.*

[https://doi.org/10.1016/0020-0190\(95\)00060-P](https://doi.org/10.1016/0020-0190(95)00060-P)

Xiaoxin, Z., Jin, H., Ling, L., Shuming, L., Yueping, W., & Xinheng, Z. (2019). Research on standards and regulations of the operation of wastewater treatment plants. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 267(3).

<https://doi.org/10.1088/1755-1315/267/3/032028>

Zhang, Y., & Shen, Y. (2019). Wastewater irrigation: past, present, and future. *Wiley*

*Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(3), e1234. <https://doi.org/10.1002/wat2.1234>