



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS EN
EFLUENTES PROVENIENTES DE LOS CAMALES”

Trabajo de investigación para optar el Grado de Bachiller en:
BACHILLER EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Analy Mireilla Malpartida Campos: 0000-0003-0920-0220

Asesor:

Elvito Fabián Villegas Silva: 0000-0001-9783-1641

Lima – Perú

2020



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°185-2020-DACIA-DAFCA-U.CIENTÍFICA.

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Lima 19 de octubre de 2020

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS EN EFLUENTES PROVENIENTES DE LOS CAMALES**, presentado por:

- **Analy Mireilla Malpartida Campos**

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: **REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS EN EFLUENTES PROVENIENTES DE LOS CAMALES** con N° de registro de la carrera: **082-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Elvito Fabían Villegas Silva** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese.


Documento firmado digitalmente
Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico
Carrera de Ingeniería Ambiental

**REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS EN LOS
EFLUENTES PROVENIENTES DE CAMALES
REMOVAL OF ORGANIC POLLUTANTS IN EFFLUENTS FROM
SLAUGHTERHOUSE**

Analy Mireilla Malpartida Campos¹ y Elvito Fabián Villegas Silva^{1*}

1Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur, Lima, Perú.

**Autor de correspondencia: elvito@lamolina.edu.pe*

RESUMEN

Las aguas residuales son también denominadas efluentes, siendo aguas que han sido utilizadas en diferentes actividades de la humanidad, siendo así los principales contaminantes de las aguas subterráneas, aguas superficiales y el suelo. Actualmente el 30% de estos efluentes a nivel mundial reciben un tratamiento adecuado y como provienen de fuentes industriales, comerciales o domésticos, por ende, cada tipo está compuesto de diferentes contaminantes inorgánicos y orgánicos que se encuentran en suspensión. Los efluentes provenientes de los camales o mataderos, pertenecen al tipo industrial o municipal alcanzando aproximadamente los 10 000 m³ de aguas residuales al mes y contienen Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Totales (ST), proteínas, grasas, aceites, microorganismos patógenos, entre otros componentes que afecta la salud, el ambiente y generan nuevos vectores de riesgo para la población circundante. Por esta razón, se menciona y describe las diferentes tecnologías de tratamientos eficaces y de bajo costo para la remoción de contaminantes orgánicos de los efluentes de los camales; que pueden ser métodos físicos, fisicoquímico o biológicos.

Palabras clave: Efluente, materia orgánica, remoción y efectividad.

ABSTRACT

Wastewater is also called effluent, being water that has been used in different activities of humanity, thus being the main pollutants of groundwater, surface water and soil. Currently 30% of these effluents worldwide receive adequate treatment and as they come from industrial, commercial or domestic sources, therefore, each type is composed of different inorganic and organic pollutants that are in suspension. The effluents from slaughterhouses or slaughterhouses belong to the industrial or municipal type, reaching approximately 10,000 m³ of wastewater per month and contain Biological Oxygen Demand (BOD), Chemical Oxygen Demand (COD), Total Solids (ST), proteins, fats, oils, pathogenic microorganisms, among other components that affect health, the environment and generate new risk vectors for the surrounding population. For this reason, it is mentioned and described the different technologies of effective and low-cost treatments for the elimination of organic pollutants from the effluents of the sewers; which can be physical, physicochemical or biological methods.

Key words: Effluent, slaughterhouse, organic matter, removal and effectiveness.

REVISIÓN TEÓRICA

1. Aguas residuales.

Los efluentes conocidos como aguas residuales, aguas servidas o aguas negras, son aguas que contienen diferentes contaminantes tóxicos para la salud y el ambiente (Raschid & Jayakody, 2008). Por efecto de la contaminación las propiedades fisicoquímicas del agua son alteradas, siendo necesario aplicar un tratamiento adecuado para cada tipo de efluente con la finalidad de reducir los impactos negativos en la flora y fauna de los ecosistemas acuáticos brindando mejor calidad de vida a la población de cada cuenca hidrográfica de cada país en nuestro planeta (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), 2014).

Los efluentes contaminan las aguas superficiales y subterráneas (ríos, lagos, acuíferos, mares y océanos) contienen altas concentraciones de contaminantes principalmente materia orgánica, metales pesados, grasas, aceites, amoníaco, coliformes termo tolerantes, turbiedad, nitrógeno, fósforo (Rincones, et al., 2016). Estos contaminantes tienen origen en los vertimientos de efluentes del uso doméstico, industrial, agricultura, ganadería, minería entre otros (Jafari, et al., 2013).

Los sólidos contenidos en las aguas residuales pueden ser retirados por tratamientos físico, fisicoquímico o biológico, con la finalidad de mitigar los impactos negativos que generan tanto en el ambiente como en la salud de la humanidad en nuestro planeta (Caravali, et al., 2017).

1.1. Clasificación y caracterización de aguas residuales.

Según Muñoz (2008), la clasificación de los efluentes es dependiente de la procedencia del uso del agua potable (tabla 1):

Tabla 1. Clasificación y tipo de procedencia de los efluentes.

Clasificación por procedencia	Tipo de procedencia	Características
Doméstico o urbano	Urbana/comercial	Se trata del uso de agua en las viviendas.
Aguas negras	Inodoros	Contiene excrementos humanos y orina.
Aguas grises	Limpieza	De lavado de manos, lavadora, duchas.
Industrial	Minería/comerciales/mataderos/industria	El agua se utiliza para un desarrollo productivo, limpieza, lavado, etc.
Agraria	Agricultura/ganadería	El uso es en regadío, alimentación de animales, baños, etc.
Pluvial	Precipitación	Agua de la escorrentía superficial.
Municipales	Domestico/pluvial/industrial	Es una combinación que depende de cada municipalidad.

1.2. Composición del agua residual.

Los componentes químicos de los efluentes (tabla 2) se encuentran en las fases líquida y sólida (lodos), por efecto de los microorganismos la materia orgánica se descompone generando gases, presentando 75% de sólidos en suspensión y 40 % de sólidos filtrables y compuestos inorgánicos (iones metálicos y no metálicos). Todos estos componentes alteran la calidad del agua, son difíciles de degradar y perduran en el tiempo afectando a la cadena trófica en los ecosistemas acuáticos (Manzanares, 2017).

Tabla 2. Composición del agua residual.

Orgánico	Inorgánico	Gases
Demanda Biológica De Oxígeno (DBO₅)	Cloruros	Nitrógeno (N ₂)
Demanda Química De Oxígeno (DQO)	Alcalinidad y Basicidad (pH)	Oxígeno (O ₂)
Carbono Orgánico Total (COT)	Nitratos	Dióxido de Carbono (CO ₂)
Grasas y aceites	Metales pesados	Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)
Bacterias	Azufre	Amoniaco (NH ₃)
Microorganismos	Fosforo	Metano (CH ₄)
Proteínas	-	-

1.3. Efluentes a nivel mundial.

Los efluentes a nivel mundial tienden a incrementarse debido al crecimiento exponencial de la población y a la creciente actividad industrial (Jafari, et al., 2013). Para contrarrestar este factor de riesgo universal en la mayoría de países están promoviendo medidas de mitigación a través de proyectos con enfoque de valoración social, ambiental y el desarrollo de nuevas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales. Los países desarrollados promueven el tratamiento aproximadamente del 70% de las aguas municipales e industriales, mientras que los países subdesarrollados están por debajo del 38%. A escala universal en nuestro planeta el 80% de las aguas residuales no presentan ningún tratamiento y son vertidas directamente a las fuentes de agua natural generando impactos negativos en la disponibilidad de agua dulce de calidad y finalmente terminan desembocando en el mar. Los impactos negativos generados por efecto de la contaminación del agua afectan la flora y fauna de los ecosistemas de agua dulce, biodiversidad marina, agricultura, disminuye la cantidad de agua dulce para el consumo humano de manera significativa y el mayor problema es la aparición de nuevos vectores

que afecta a los pobladores circundante de los botaderos de las aguas residuales (UNESCO, 2017).

La Organización Mundial de Salud (OMS) (2018), considera que los efluentes generan diferentes enfermedades de riesgo para la población de determinada cuenca hidrográfica, tales como: diarreas, infecciones gastro intestinales y urinarias, broncopulmonares, alergias, entre otras. Estas aguas contaminadas contienen patógenos, materia orgánica, metales pesados, bacterias en altas concentraciones dependiendo del tipo de efluente. Las aguas residuales según la OMS deben ser analizadas y dichos resultados deben ser comparados con los valores de los estándares de calidad para la elección de los tratamientos adecuados y efectivos en la eliminación de contaminantes como medidas de mitigación para eliminar los vectores y riesgos para la salud y el ambiente. Los tratamientos de las aguas residuales deben ser obligatorias, considerando que el mayor porcentaje de aguas residuales son generadas por la industria privada. Como respuesta a esta situación en la Agenda 2030 algunas industrias se unieron para ayudar a cumplir las metas de los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) siendo uno de ellos el número 6 “Agua Limpia y Saneamiento”, en el cual se proponen diferentes alternativas para el tratamiento de sus efluentes que genera cada industria que puede ser municipal o privada, promoviendo la reutilizar de las aguas tratadas para reducir el uso de agua potable significativamente, es así que en algunos países ya presentan un manejo adecuado de las aguas residuales provenientes de la actividad industrial y minera, aplicando la recirculación del agua tratada en algunos de sus procesos o para el riego de las áreas verdes (UNESCO, 2017).

1.4. Efluentes nivel Latinoamérica.

Latinoamérica se caracteriza por la disponibilidad de agua dulce para uso doméstico e industrial aproximadamente 290 mil millones de metros cúbicos de agua al año, el cual

equivale a 2,2% del total del recurso natural disponible, además se utiliza en la agricultura y ganadería (Banco Interamericano de Desarrollo, 2018).

Según el Banco mundial (2013), a nivel de Latinoamérica solo el 30% del efluente reciben tratamiento adecuado y el 70% desembocan directamente en los ríos llegando fácilmente al mar. De esta manera, los efluentes llegan al Pacífico Noreste que limita con Colombia, el cual presenta altas concentraciones de sólidos en suspensión (SS) que sobrepasan los 4400 TM/día con una demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) 3,7 TM/año, esto se genera por la presencia de agricultores en las riberas de los ríos que utilizan diferentes compuestos inorgánicos y orgánicos para mejorar el rendimiento de los sembríos y los efluentes son vertidos directamente a las fuentes naturales de los ecosistemas acuáticos (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), 2001). En Colombia las aguas residuales provenientes de los camales siguen generando diferentes problemas de contaminación, se dispone de normatividad actualizada, pero se observa ausencia de educación ambiental, no se promueve estrategias para desarrollar producción más limpia. En el caso de los camales o mataderos el 99% de estas empresas no realizan tratamiento de las aguas residuales, tal cual desembocan en el alcantarillado o en los ríos. El 93% son camales municipales que llegan a concentraciones altas de los sólidos totales (87,3%), DBO5 (92.3%) y DQO (70,7%) perjudicando en los lugares rurales que usan el agua de río para su consumo (Guerrero & Ramírez, 2004). Además, los efluentes de los hogares de este país contienen un servicio de alcantarillado en el sector urbano aproximadamente (85.9% - 92.4%) y rural el 66.6% con metas de lograr un mejor manejo para el 2019 (Water and sanitation program (WSP), 2007).

En Ecuador y en otros países de Latinoamérica existen leyes y entidades reguladoras de la calidad sanitaria. A pesar de estos mecanismos benéficos se ha observado en el tiempo que no tienen una adecuada gestión de sus efluentes industriales provenientes de la

producción de carne, donde los camales ola mayoría sobrepasa el límite máximo permisible para cuerpos de agua marina principalmente: sólidos totales, DBO5, DQO y Fosforo; ocasionando en forma continua pérdidas económicas en el país (Cun & Álvarez, 2017). La mayoría de los países de Latinoamérica y El Caribe presenta metas definidas de saneamiento como es el caso de Brasil que el 67,2% de la población dispone del tratamiento de sus aguas residuales en una planta de tratamiento desde el 2015, alcanzando un 69,7% de la población a tener acceso a dicho servicio (WSP, 2007).

1.5.Efluente a nivel nacional.

El Perú se encuentra incluido en los países de desarrollo, generando agua residual aproximadamente 2, 217, 946m³ por día que son descargados en los alcantarillados, pero solo el 32% es tratado y en las zonas rurales el 30.35% de habitantes no tienen el servicio de alcantarillado, quiere decir que el país presenta un déficit en el manejo de sus aguas residuales (OEFA, 2014).

Siendo así el caso del agua residual de uso doméstico en zonas urbanas solo el 70% recibe un tratamiento adecuado luego estas aguas tienen un segundo uso que puede ser en el riego de áreas verdes, agricultura o bebida para los animales esto va depender de la calidad de agua que se obtiene después del tratamiento (PNUMA, 2001). Además, este país cuenta con dos grandes plantas de tratamientos de efluente el primero se encuentra en el lago Titicaca, Puno y el otro en Villa el Salvador, Lima Sur estas aguas tratadas se usan para recreación y agricultura (Banco Mundial, 2017). A pesar de ello carece de tecnologías en los diferentes departamentos por ello los efluentes domésticos no presenta un tratamiento eficiente, solamente entre (26-50%) aplican un método más sofisticado que logra eliminar las grasas, lavazas y materia orgánica (UNESCO, 2017).

Asimismo, en el 2016 se recibió talleres introductorios y pruebas piloto de grandes tecnologías para el tratamiento de aguas residuales en las diferentes empresas, logrando

crear sus plantas de tratamiento y la recirculación del agua tratada para el área verde o limpieza de toda la planta de esta manera reducen costos e impactos (OMS, 2018).

Sin embargo, existe un ente principal de regular los parámetros de los contaminantes en el sector de saneamiento es el ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), que tiene que formular las normas, dirigir, coordinar, ejecutar y supervisar las asignaciones de los recursos económicos a los gobiernos locales, regionales y nacionales (SUNASS, 2015). En el sector privado SEDAPAL, se encarga de brindar agua potable y alcantarillado para los pobladores del departamento de Lima, el cual implemento plantas pequeñas para el tratamiento de aguas residuales como es el caso en Puente Piedra tratando 422L/s utilizando un sistema de Secuencial Batch Reactor (SBR), Miraflores y Santa Rosa son las únicas plantas que utilizan filtros percoladores 6.9L/s, pero no suelen funcionar por el exceso del caudal y las altas concentraciones de contaminantes que llegan a dichas plantas (López & Herrera, 2015).

2. Efluentes provenientes de los camales o mataderos.

Los camales o mataderos son espacios adecuados para cumplir con todos los procesos al sacrificar animales domésticos: ovejas, vacunos, camélidos, aves, cuyes y porcinos para consumo humano, donde sus efluentes por el alta contenido de carga orgánica se clasifican como agua residual de tipo industrial (Ruiz, 2011). El consumo de agua de esta industria es dependiente de la producción diaria de cada carnicería: solo en la recepción y manejo de animales genera aproximadamente mil metros cúbicos mensuales de agua residual, en el lavado de vísceras y limpieza de las instalaciones genera aproximadamente ocho mil metros cúbicos mensual (Ruiz, 2011). Universalmente se considera que la producción de carne tiene un alto costo y es una de las principales industrias que generan la mayor cantidad de agua residual con un alto contenido de: orina, heces, sangre, lavazas, pelusa, residuos de carne, piel, uñas, cuernos, huesos, grasa, y microorganismos (Barraza

& Palpa, 2011). Los efluentes son altamente peligrosos para todos los ecosistemas por el alto contenido de materia orgánica y microorganismos, los que al no ser tratados ingresan directamente a los alcantarillados, ríos y al mar de manera directa e indirecta generando impactos negativos en la salud y el ambiente, por ello es urgente promover el tratamiento de estas fuentes de contaminación para reutilizar el agua tratada en algunos de los procesos de la industria, reduciendo costos en la producción (Rubio & Padilla, 2009; Bazrafshan, et al., 2012).

Actualmente en el Perú no se dispone de un tratamiento adecuado de los efluentes de camales, se ha observado la tendencia a utilizar sedimentadores colmatados los cuales no reducen la materia orgánica del efluente porque no se realiza ningún tratamiento físico, químico, biológico o fisicoquímico (Baquerizo & Flores, 2011). La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), menciona que la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) puede superar los 2240 mg/L, dicho valor sobre pasa el límite máximo permisible de la Normativa correspondiente, finalmente estos efluentes llegan a desembocar en el Océano Pacífico afectando severamente a la biodiversidad marina (Méndez & Marchán, 2007).

3. Composición de contaminantes de efluentes de los camales o mataderos.

La composición de los efluentes o aguas residuales de los camales o mataderos son principalmente: materia orgánica, proteínas, grasas, aceites, sólidos totales, coliformes fecales. En el caso de componentes inorgánicos: metales pesados y no metales, Fósforo y Nitrógeno total (Muñoz, 2005).

4. Efectos de los efluentes de los camales en la salud y en el ambiente.

Los efluentes provenientes de camales contienen componentes orgánicos fundamentales que permiten el desarrollo de microorganismos que pueden afectar la salud de la población circundante, la generan malos olores y la dispersión de sólidos promueve

la presencia de roedores e insectos, vectores que generan diferentes alteraciones en la calidad de vida de la sociedad (Muñoz & Baumann, 2017). Los efluentes como fuentes de contaminación de alto riesgo también pueden contener virus, protozoos y bacterias que vienen de los animales que sacrifican los seres humanos se contaminan a través del consumo de agua o por el consumo de las vísceras, como es el caso del quiste Hídrido que proviene de un parásito zoonótico, que se encuentra en los animales de granja y si los efluentes no son tratados pueden pasar a la cadena trófica afectando la salud e inclusive causando la muerte en el ser humano (Torres, et al., 2018).

Otro grave problema en Perú por efecto de la calidad del agua es las enfermedades diarreicas, que generan desnutrición infantil afectando la salud materna e infantil, en las personas de la tercera edad causan alergias e intoxicación, estas enfermedades afectan alrededor del 3,6% del total de los años de vida y alcanzan 1.5 millones de fallecimientos cada año (OMS, 2014). Los estudios de investigación desarrollados en los últimos cinco años demuestran que las aguas residuales generan diferentes epidemias como el síndrome de Guillain Barré, el cólera, Hepatitis viral A y enfermedades infecciosas que son transmitidas por insectos como el dengue, zika, chikungunya y fiebre amarilla (Cabezas, 2018). Estos estudios también consideran la contaminación de los ecosistemas acuáticos (agua superficial y subterránea) por efecto de las descargas directas de los efluentes en las fuentes de agua limpia y alcantarillados que finalmente desembocan en el mar (Kundu, et al., 2013). Estas aguas de camal generan presencia de elementos tóxicos que llegan por aguas subterráneas a los cultivos y pueden transmitirse los contaminantes a lo largo de la cadena alimenticia (Gil, et al., 2012). Por esta razón, las empresas encargadas del beneficio de diferentes animales para el consumo de carne deben salvaguardar las condiciones de salubridad dentro del camal como el entorno, promoviendo el

aprovechamiento integral de los subproductos orgánicos para lograr una línea de producción más limpia (Cun & Álvarez, 2017).

5. Remoción de contaminantes orgánicos en efluentes provenientes de los canales.

Actualmente la metodología para realizar un tratamiento de aguas residuales de canales sigue siendo poco eficientes en la reducción y eliminación de los contaminantes, con la finalidad de reutilizar el agua en forma continua para bajar costos productivos, conservar el ambiente y la salud de la población en general (Larios, et al., 2015).

Tabla 3. Pretratamientos utilizados en los efluentes provenientes de los canales.

Procesos	Tipos	Funciones
1. Pre tratamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Cribado fino • Cloración cruda (sedimentación) 	Se encarga de la remoción física de todos los objetos grandes que se encuentra en los efluentes, con rejas, tamices, trituradores y desarenadores.
2. Tratamiento primario	<ul style="list-style-type: none"> • Sedimentación primaria. • Precipitación química. 	Operaciones físicas tales como la sedimentación y el devasté de partículas sólidas y contaminantes que se coagulan formando floculos.
3. Tratamiento secundario	<ul style="list-style-type: none"> • Lodos activados • Laguna de estabilización. • Lagunas aireadas • Electrocoagulación 	Principalmente son tratamientos biológicos y químicos que se emplean para eliminar la mayor parte de materia orgánica con el crecimiento de microorganismos y el metabolismo de las bacterias.
4. Tratamiento terciario	<ul style="list-style-type: none"> • Biofiltros • Desinfección • Filtros de arena 	Combinación adicional de procesos y operaciones unitarias con el fin de eliminar algunos componentes específicos como el Nitrógeno y Fosforo.

El tratamiento en efluentes provenientes de los canales se recomienda utilizar los cuatro tratamientos (tabla 3), de los cuales los dos primeros son obligatorios para todos los métodos, permiten aumentar la eficiencia en la eliminación de las altas concentraciones de materia orgánica, el tercer tratamiento depende del método elegido, condiciones ambientales, presupuesto disponible y personal capacitado (Méndez & Marchán, 2007).

La remoción de los contaminantes orgánicos también se puede realizar utilizando métodos naturales, biológicos, bioquímicos y físicos o la combinación de ellos (Larios, et al., 2015).

5.1. Métodos naturales.

Los métodos naturales o fitorremediación, consisten en el uso de vegetación (plantas) que son condicionadas a los diferentes contaminantes, pero antes de aplicar este método tiene que existir un tratamiento previo de los efluentes de canal (tabla 3), para lograr mayor eficiencia y calidad en el tratamiento a realizarse in situ o ex situ (Delgadillo, et al., 2011).

Para utilizar plantas acuáticas primero se debe filtrar y sedimentar de los sólidos (tabla 3), de esta manera las plantas absorben los contaminantes las que serán analizadas para determinar la eficiencia de absorción (Delgadillo, et al., 2011). Las desventajas de este método es que tiene un bajo rendimiento, no pueden acumular altas concentraciones de materia orgánica, metales pesados u otros contaminantes, también se requiere de grandes áreas y el agua tiene que estar en constante movimiento para evitar la putrefacción (Agudelo, et al., 2005). Además, son fuente de vectores que transmiten diferentes enfermedades a través de mosquitos, por ello no es recomendable la aplicación de este método en efluentes de canales, ya que contienen altas concentraciones de materia

orgánica que tienen que ser eliminados en un corto tiempo y la fitorremediación puede tardar más de un año (Martelo & Borrero, 2012).

5.2. Método biológico.

Los métodos biológicos se dividen en tratamiento anaerobio, aerobia y/o híbrido, la primera consiste en la degradación de la materia orgánica que se da por la fermentación con la ayuda de bacterias anaeróbicas con la ausencia de oxígeno disuelto, obteniendo gases con metano y dióxido de carbono (CO₂) formando bacterias que degradan los contaminantes, la aerobia requiere de oxígeno disuelto para una aireación que ayudará en la destrucción de los sólidos volátiles formando flóculos suspendidos el aire puede ser natural con vientos o la instalación de aireación (Troconis, 2010). El híbrido consiste en la unión de ambos métodos aerobio y anaerobio, ya que se da la formación bacteriana y flóculos que quedan suspendidos en el sedimentador (Manzanares, 2017).

Estos tratamientos son conocidos como lagunas estabilizadoras y lodos activados siendo económicos en comparación con los tratamientos fisicoquímicos, pero tiene una limitación la resistencia de la materia orgánica en altas concentraciones ya sea en reactores o lagunas, pero a pesar de ello son las más usadas a nivel mundial por la efectividad que tienen en la eliminación de contaminantes de todos los tipos de aguas residuales (Świątczak & Cydzik, 2018).

Además, los métodos biológicos tienen la facilidad de generar bacterias, crecimiento de microalgas y el efluente suele presentar altas concentraciones de Nitrógeno y Fosforo que se puede usar para el riego (Puyol, et al., 2017).

5.2.1. Lodos activados o fangos activados.

Los lodos activados son tratamientos secundarios que usan procesos biológicos pudiendo ser aerobios o anaerobios, porque ambos están constituidos por bacterias, hongos, algas y protozoos que participan en el tratamiento de los efluentes de los canales

(Arango & López, 2011). Este método tiene una gran efectividad en la remoción de la materia orgánica, por ello en la actualidad optan por el uso de lodos activados in situ, pero antes de la construcción se realiza uno a escala de laboratorio para evaluar la efectividad dependiendo de la temperatura del lugar donde se quiere hacer dicho proyecto (Oropeza, 2006). También puede ser capaz en la bioadsorción de metales pesados, remoción de patógenos, grasas y nutrientes (Fosforo y Nitrógeno), sobre todo este método genera lodos que pueden ser reutilizados en la elaboración de compostaje previo tratamiento (Caravali, et al. 2017).

Este método es aplicable en áreas interurbanas, ya que no genera malos olores, ni vectores; si se da un adecuado manejo de la planta de tratamiento de esta manera el agua tratada se puede recircular, debido que el tratamiento es eficiente en la remoción de materia orgánica que se encuentra en los efluentes de los camales reduciendo hasta en un 95%, siendo un proceso continuo, no genera impactos negativos y el agua tratada es de alta calidad (Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), 2013).

En la actualidad el tratamiento anaeróbico, es aplicado en diferentes países, ya que se puede convertir materia orgánica en biogás, lodos que son usados como fertilizante en el suelo y también generar energía, pero no es tan efectiva en la degradación de altas concentraciones de materia orgánica, grasas y aceites; por ende, este método no es recomendado para efluentes de camales o mataderos (Martínez, et al., 2016). En cambio, el proceso aerobio remueve la materia orgánica en suspensión, produciendo una masa activa de microorganismos que se encuentran en el reactor, que ayuda a metabolizar y consumir la materia orgánica que se encuentran en los efluentes, pero requiere de presencia de oxígeno lo cual eleva el costo, pero ambos procesos requieren distintos análisis de los parámetros físicos, biológicos y bioquímicos (Varila & Díaz, 2008). El diseño de los lodos aerobios consiste en un sistema de alimentación, donde se encuentra

el efluente del camal, luego un sistema de aireación prolongado con aire comprimido y distribución de difusores, debido que requieren de oxígeno permanente para promover el crecimiento de organismos biológicos que removerán substancialmente materia orgánica (Droppelmann & Oettinger, 2009). De esta manera se reduce las altas concentraciones de materia orgánica que se encuentran normalmente en el rango de (18000 mg/L a 43000 mg/L), pero varia por el número de animales sacrificados por día, los productos químicos y detergentes que se utiliza en la limpieza de las instalaciones del matadero (Musa, et al., 2018). Asimismo, se requiere un caudal que va depender del volumen de los reactores y las concentraciones de materia orgánica para el diseño del reactor; el sistema puede operar por años y mantener su eficiencia a un bajo costo de mantenimiento (Mañuga, et al. 2012). Los reactores de flujo ascendente en serie de tres o más en función de la concentración de la materia orgánica y el volumen del efluente diario, pero la efectividad no es positiva en cuanto a la reducción de materia orgánica alcanzando una eficiencia de rendimiento del 60%, corresponde a un método antiguo (Díaz, 1992) ahora está siendo mejorado por la unión de ambos procesos aerobio y anaerobio porque los microorganismos biológicos pueden ser dos a tres veces más efectivo en la remoción de contaminantes orgánicos de los camal o de otras industrias (Świąteczak & Cydzik, 2018). También es factible adicionar filtros de arena para aumentar la efectividad y el agua tratada será de mejor calidad, porque la arena son gránulos con gran porosidad interna que apoya en la colonización microbiana (Gülay, et al., 2014). En los países sub desarrollos están usando filtros de arena lenta, debido que ya no requiere de químicos, son de fácil mantenimiento y de bajo costo operativo (Clark, et al., 2012).

5.2.2. *Lagunas estabilizadoras.*

Las lagunas se diferencian de los lodos activados por el diseño y los costos operativos, se basa fundamentalmente en estructuras simples que son excavaciones poco profundas cercadas por taludes de tierra, para ello se requiere de un mapa de localización, diseño de

la laguna y quitar todo tipo de vegetales o césped (Ferrer, 2018). Estas lagunas pueden eliminar los microorganismos patógenos, presenta facilidades en las variaciones de los caudales, es económico en comparación de los demás métodos, el consumo energético es nulo y se suelen usar en aguas residuales domesticas e industriales (Legendre, et al., 1984). En este método el factor climático disminuye la efectividad del tratamiento, una caída de 10 °C reduciría la actividad microbiana aproximadamente en un 50%; estas lagunas están expuestas al sol (influye la radiación solar), no deben de tener tanta profundidad porque de ello depende la fotosíntesis de las algas; el viento ayuda en la mezcla de los contaminantes bacterias y algas alcanzando un mejor grado de estabilización del efluente (Comisión Nacional del Agua, 2007), este método tiende a generar eutrofización de las algas si no hay un manejo adecuado, ocupa grandes áreas de terreno y pérdidas considerables del agua residual en época de verano porque se da la evaporación y no es recomendable para efluentes de camales ya que son lagunas al aire libre donde se daría la presencia de aves, roedores y otros vectores por la alta concentración de materia orgánica (Sánchez, et al., 2011).

Sin embargo, existen diferentes tipos los cuales son lagunas aireadas es la más recomendada para efluentes de camales porque hay un movimiento frecuente del agua residual, anaerobias, facultativas y maduración (Ferrer, 2018).

5.2.3. *Lagunas aireadas.*

Este tratamiento remueve de manera directa los compuestos orgánicos, sólidos en suspensión y remueve indirectamente coliformes fecales, color, aceites y grasas, lo cual es recomendado para efluentes de camales, ya que tienen altas concentraciones de los contaminantes mencionados (Portales, 2011). Este proceso opera con oxigenación mecánica, la infraestructura son piscinas con profundidad de 1 a 1,5 metros, tienen que ser impermeables para que no afecte las aguas subterráneas, son flujos continuos sin la

recirculación de lodos; por ello tiene que pasar más tiempo de retención entre 20–30 días, además existen lagunas aireadas a mezcla completa, laguna aireada con microorganismos y las lagunas facultativas aireadas (Ferrer, 2018).

Esta alternativa puede eliminar en un 90% la materia orgánica, sólidos totales hasta en un 95% y nitrógeno entre 50 a 75% y en el caso de bacterias, paracitos y virus va depender del tiempo de retención de los efluentes de los camales, los resultados serán buenos cuando dicho efluente sobre pase los 20 días de retención, pero si no hay un adecuado manejo de la laguna puede generar malos olores, requiere de aireación artificial lo cual implica un gasto de electricidad (Conama, 2004). Además, la presencia de grandes cantidades de algas, bacterias, animales en cualquier parte de la planta de tratamiento del efluente del camal va depender de la aireación, el pH, los nutrientes, la luz solar y la temperatura (Ravva & Sarreal, 2014).

6. Métodos físicos – químico.

6.1. Electrocoagulación.

Es un método no tan usado en efluentes de camales, ya que genera altos costos en la construcción y en todo el proceso del tratamiento, es muy efectivo en la eliminación de contaminantes orgánicos con la adición de productos químicos que ayudan en la remoción de la materia orgánica (Arango, 2009).

Además, en todo el proceso utiliza electricidad para la remoción de contaminantes orgánicos que se encuentran suspendidos y disueltos en el efluente, esta técnica consiste en inducir corriente eléctrica a través de placas metálicas paralelas que son de diferentes materiales los más usados son hierro y aluminio, estas descargas eléctricas provoca reacciones químicas que desestabilizan los contaminantes presentes formando partículas sólidas que flotan o precipitan (Arango, 2009). Es decir, este tratamiento aplica los procesos de coagulación y floculación en un reactor o piscinas donde se encuentra el

efluente, además se le tiene que adicionar otras operaciones como la sedimentación y la filtración para la obtención de mejores resultados, pero no es tan efectiva en la remoción de grasas y aceites en temperaturas bajas, ya que estos contaminantes se forman en la superficie impidiendo el intercambio de oxígeno (Morante, 2002).

Asimismo, este método puede ser muy bueno en la remoción iones metálicos y tiene amplia utilidad a escala de laboratorio, por el alto consumo de electricidad este método es costoso presentando altas concentraciones de Cloruro de Sodio (NaCl) aumenta la conductividad del agua residual, la variación de pH después de la descarga es significativo (Arango, 2009).

CONCLUSIONES

De acuerdo a esta revisión bibliográfica se concluye que los métodos aeróbicos son eficaces por la disponibilidad de aire en forma natural o forzada, evitando la putrefacción de la materia orgánica, por ello se debe usar el método de lodos activados aerobios o lagunas aireadas, ya que eliminan más del 90% de dichos contaminantes y no generan vectores.

En cuanto a los procesos anaerobios no es recomendable recircular el agua en esta industria de carne, y no es tan efectivo en la remoción de altas concentraciones de contaminantes orgánicos (Baquerizo & Flores, 2011). Tampoco los métodos naturales porque las plantas no son capaces de retener altas concentraciones de ningún contaminante y crean vectores que afecta la salud humana.

Por último, la electrocoagulación no es efectiva en la remoción de altas concentraciones de contaminantes orgánicos, los estudios son reducidos, no se dispone de un diseño unificado o metodología validada por ser costoso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agudelo, L., Macias, K., & Suárez, A. (2005). Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. *Revista Lasallista de Investigación*, 2(1), 57-60.

Arango, A. (2009). La electrocoagulación: una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista De Investigación*, 2(1), 49-56.

Arango, L. & López, J. (2011). Estudio a escala de laboratorio de los efectos de la forma de alimentación y de la cantidad de inóculo sobre el hinchamiento de los lodos de reactores aerobios mezcla completa en etapa de arranque. *Universidad de Medellin*.

Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (2018). *Proceso Regional de las Américas: Foro Mundial del Agua 2018: Informe regional América Latina y el Caribe: Resumen ejecutivo*. <https://doi.org/10.18235/0001028>

Banco Mundial (2013). Un 70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratados. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>

Banco Mundial (2017). Perú, ¿un reflejo de la región? Tratamiento y reúso de las aguas residuales. <https://www.bancomundial.org/es/events/2017/05/03/vision-tratamiento-reuso-aguas-residuales-peru>

Baquerizo, F., Flores, P. (2011). Comportamiento de un sistema anaerobio de flujo ascendente para el tratamiento de aguas residuales de un matadero. Universidad Nacional de Ingeniería del Perú.

- Barraza, F. & Palpa, G. (2011). Comparación de eficiencias en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de un camal utilizando en forma independiente reactores UASB y filtros contenedores a escala piloto. *Universidad Nacional De Ingeniería Facultad De Ingeniería Química*. Recuperado de <http://ribuni.uni.edu.ni/75/1/38591.pdf>
- Bazrafshan, E., Kord, F., Farzadkia, M., Ownagh, K., & Mahvi, A. (2012). Slaughterhouse wastewater treatment by combined chemical coagulation and electrocoagulation process. *PLoS ONE*, 7(6), 1-8. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040108>
- Cabezas, C. (2018). Enfermedades infecciosas relacionadas con el agua en el Perú. *Peru Med EXP Salud Pública*, 35(2), 309-316. <https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3761.309>
- Caravali, M., Lote, M., & Echeverry, L. (2017). Evaluación de los Parámetros Físicoquímicos en un Reactor Discontinuo de Lodos Activados para el Tratamiento de Aguas con Metanol. *Ingeniería*, 22 (01), 98-111. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.reving.2017.1.a06>
- Clark, P., Pinedo, C., Fadus, M., & Capuzzi, S. (2012). Slow-sand water filter: Design, implementation, accessibility and sustainability in developing countries. *Medical Science Monitor*, 18(7), RA105-RA117. <https://doi.org/10.12659/msm.883200>
- Comisión Nacional del Agua (CNA), (2007). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. *México*.

- Conama, Gobierno de Chile (2004). Tecnología de Lagunas Aireadas. En *FundacionChile*. Recuperado de http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_29.pdf
- Cun, J. & Álvarez, C. (2017). Estudio de impacto ambiental de un camal municipal urbano en la provincia de El Oro, Ecuador. *Centro de investigación UTMACH*, 1(1), 335-344.
- Delgadillo, L., González, R., Prieto, G., Villagómez, I., & Acevedo, S. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-04622011000200002&script=sci_arttext
- Diaz, C. (1992). Tratabilidad de aguas residuales de matadero con filtros. *Universidad Nacional de Ingeniería*.
- Droppelmann, C. & Oettinger, M. (2009). Tratamiento en Lodo Activado del Lixiviado de un Relleno Sanitario. *Información Tecnológica*, 20(1), 11-19. <https://doi.org/10.1612/inf.tecnol.3916it.07>
- Ferrer, P., Seco, A., & Robles, M. (2018). *Tratamientos biológicos de aguas residuales (3a. ed.)*. Retrieved from <https://ebookcentral.proquest.com>
- Gil, M., Soto, A., Usma, J., & Gutiérrez, O. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*, 7(2), 52-73. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a05.pdf>

- Guerrero, J., & Ramírez, I. (2004). Manejo ambiental de residuos en mataderos de pequeños municipios. *Scientia et Technica*, (26), 199-204. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/849/84911640034.pdf>
- Gülay, A., Tatari, K., Musovic, S., Mateiu, R., Albrechtsen, H., & Smets, F. (2014). *Internal Porosity of Mineral Coating Supports Microbbazial Activity in Rapid Sand Filters for Groundwater Treatment*. 80(22), 7010-7020. <https://doi.org/10.1128/AEM.01959-14>
- Jafari, J., Mesdaghinia, A., Nabizadeh, R., Farrokhi, M., & Mahvi, A. H. (2013). Investigation of Anaerobic Fluidized Bed Reactor/ Aerobic Moving Bed Bio Reactor (AFBR/MMBR) System for Treatment of Currant Wastewater. *Iranian journal of public health*, 42(8), 860-867. Recuperado de <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26056640><http://www.pubmedcentral.nih.gov/articlerender.fcgi?artid=PMC4441917>
- Kundu, P., Debsarkar, A., & Mukherjee, S. (2013). Treatment of Slaughter House Wastewater in a Sequencing Batch Reactor: Performance Evaluation and Biodegradation Kinetics. *BioMed Research International*, 2013, 1-11. <https://doi.org/10.1155/2013/134872>
- Larios, F., Gonzales, C., & Morales, Y. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Revista de la Facultad de Ingeniería de la USIL*, 2(2), 09-25. Recuperado de <http://www.usil.edu.pe/sites/default/files/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguas-residuales.pdf>
- Legendre, P., Baleux, B., & Troussellier, M. (1984). *Dynamics of Pollution-Indicator and Heterotrophic Bacteria in Sewage Treatment Lagoons Montpellier*. 48(3), 586-593.

- López, R., & Herrera, K. (2015). Planta de tratamiento de aguas residuales para reusó en riego de parques y jardines en el distrito *de* la Esperanza, provincia de Trujillo, La Libertad. *Universidad Privada Antenor Orrego*.
- Manzanares, F. (2017). Remoción de materia orgánica de agua residual sintética con filtros aerobios en medio sintético reciclable a escala piloto. *Universidad Nacional del centro del Perú*.
- Mañunga, T., Rodríguez, V., Torres, P. (2012). Tratamiento de agua residual doméstica sin clarificación primaria en un sistema de lodos activados en la modalidad de estabilización por contacto. *Scielo*, 30(02). Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/inde/v30n2/v30n2a07.pdf>
- Martelo, J., & Borrero, A. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencias, Ing. cienc*, 8(15), 221-243.
- Martínez, E., Gil, M., Fernandez, C., Rosas, J., & Gómez, X. (2016). Anaerobic codigestion of sludge: Addition of butcher's fat waste as a cosubstrate for increasing biogas production. *PLoS ONE*, 11(4), 1-13. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153139>
- Méndez, J., & Marchán, J. (2007). Estudio-Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución. Recuperado de https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/libro_ptar_gtz_sunass.pdf

- Morante, G. (2002). Electrocoagulación De Aguas Residuales. *Revista Colombiana De Física*, 34(2), 484-487.
- Muñoz, A. (2008). Caracterización y tratamiento de aguas residuales. Recuperado de http://cvonline.uaeh.edu.mx/Cursos/Especialidad/Modulo1_PDF/Gen12/ESTEM01T01E08.pdf
- Muñoz, D. (2005). Sistema de tratamiento de Aguas residuales de matadero: para para una población menor 2000 habitantes. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 3(1), 12. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6117975.pdf>
- Muñoz, H., & Baumann, J. (2017). Remoción de bacterias coliformes en un sistema de lodos activados y humedal construido. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(11), 287. <https://doi.org/10.19136/era.a4n11.913>
- Musa, M., Idrus, S., Hasfalina, C., & Daud, N., (2018). Effect of organic loading rate on anaerobic digestion performance of mesophilic (UASB) reactor using cattle slaughterhouse wastewater as substrate. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/ijerph15102220>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2014). Aguas residuales. Recuperado de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Organización Mundial de Salud (OMS). (2014). Enfermedades y riesgos asociados a las deficiencias en los servicios de agua y saneamiento. Recuperado de https://www.who.int/water_sanitation_health/diseases-risks/es/
- Organización Mundial de Salud (OMS). (2018). Agua Limpia Y Saneamiento. En *Objetivo 6: Agua Limpia Y Saneamiento* (Vol. 1). Recuperado de

http://www.un.org/%0Ahttp://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wp-content/uploads/sites/3/2016/10/6_Spanish_Why_it_Matters.pdf

Oropeza, N. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos Conciencia*, 1(figura 1), 51-58. Recuperado de http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-30_2006.pdf

Portales, R. (2011). Lagunas aireadas. Recuperado de: <http://agua-medioambiente.blogspot.com/2011/11/lagunas-aireadas.html>

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), (2001). Las aguas residuales municipales como fuentes terrestres de contaminación de la zona marino-costera en la región de América Latina y el Caribe. En *Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente*.

Puyol, D., Batstone, J., Hülsen, T., Astals, S., Peces, M., & Krömer, O. (2017). Resource recovery from wastewater by biological technologies: Opportunities, challenges, and prospects. *Frontiers in Microbiology*, 7(JAN), 1-23. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02106>

Raschid, L. y Jayakody, P. (2008) Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries: Results of a global assessment, Colombo, Sri Lanka. Research report IWMI 127, International Water Management Institute, Colombo.

Ravva, S., & Sarreal, C. (2014). Survival of *Salmonella enterica* in Aerated and Nonaerated Wastewaters from Dairy Lagoons. *Environmental Research and Public Health*, 11, 11249-11260. <https://doi.org/10.3390/ijerph111111249>

- Rincones, M., Pereyra, E. & Blanco, H. (2016). Lodos activados a escala laboratorio para el tratamiento de efluentes de una industria papelera. *Universidad Central de Venezuela*, 2, 27-40.
- Rubio, J.; Padilla, O. (2009). Tratamiento de aguas residuales provenientes de un camal, mediante un sistema de lodos activados a escala de laboratorio. *Universidad Nacional de Ingeniería*.
- Ruiz, S. (2011). Plan De Gestión De Residuos Del Camal Del Cantón Antonio Ante. *Escuela Politécnica Nacional, Quito*. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3743/1/CD-3437.pdf>
- Sánchez, R., Domínguez, E. & Moreno, M. (2011). Facultativas primarias en villa clara-cuba analysis of the reliability of operation of optional. *Scielo*, 31(2224-6185), 22-38. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852011000100003
- Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), (2013). Tratamiento y reusó de aguas residuales. *SUNASS*. Recuperado de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/diagnostico-situacional-sistemas-tratamiento-aguas-residuales-las-eps>
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), (2015). Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. En *Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento*. Recuperado de <http://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>

Świąteczak, P., & Cydzik, A. (2018). Treatment of Ammonium-Rich Digestate from Methane Fermentation Using Aerobic Granular Sludge. *Water, Air, and Soil Pollution*, 229(8). <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3887-x>

Torres, F., Burgos, A. & Vasco, L. (2018). Hidatidosis porcina en el matadero municipal de puyo. *Científica Ecuatoriana*, 5, 1-3.

Troconis, A. (2010). Tratamiento de aguas residuales. *Belzona Inc.*, 1.

United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (UNESCO), (2017). Aguas residuales. En *Boletín IIE* (Vol. 1). Recuperado de <http://biblat.unam.mx/es/revista/boletin-iiie/articulo/aguas-residuales>

Varila, J., & Díaz, F., (2008). Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Journal of technology*, 7 (2), 21-28. Recuperado de http://www.uelbosque.edu.co/sites/default/files/publicaciones/revistas/revista_tecnologia/volumen7_numero2/tratamiento_aguas_residuales7-2.pdf

Water and sanitation program (WSP) (2007). Saneamiento para el desarrollo ¿Cómo estamos en 21 países de América Latina y el Caribe? En *Latinosan. Conferencia Latinoamérica de Saneamiento*.