

Diseño del proceso de tratamiento de aguas residuales municipales para reducir la contaminación hídrica en el distrito de Samanco.**Process design of municipal wastewater treatment to reduce water pollution in the district Samanco.****Projeto de processos de tratamento de águas residuais municipais para reduzir a poluição da água no distrito Samanco.****Genrry Raul Pajares Echevarria¹, Wilfredo Quiroz Marquina², Gracia Isabel Galarreta Oliveros³, Blanca Álvarez Lujan⁴.****Resumen**

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo diseñar el proceso de tratamiento de aguas residuales municipales para reducir la contaminación hídrica en el distrito de Samanco, Áncash. Para recoger los datos se utilizó el método de la encuesta y se trabajó también mediante el juicio de expertos, los instrumentos de recolección de datos que se utilizaron fueron: un cuestionario, guías de análisis documental y una matriz de evaluación de alternativas, se trabajó con una muestra de la población que fueron 270 familias, siendo cada jefe de hogar la unidad de análisis. Las herramientas estudiadas que se emplearon para lograr el diseño del nuevo proceso de tratamiento fueron: análisis estadísticos promedios, un diagrama de árbol causa efecto, una matriz de selección y un análisis de criticidad, logrando obtener con la aplicación de estas herramientas los resultados que contribuyeron para el diseño de un sistema de tratamiento moderno y eficiente que reduzca o elimine la contaminación hídrica de Samanco.

Palabras clave: Contaminación hídrica, lodos activados, tratamiento de aguas residuales.

Abstract

This research aims to design the process of municipal wastewater treatment to reduce water pollution in the district Samanco, Ancash to collect data for the survey method was used and also worked with the judgment of experts, The data collection instrument used were: a questionnaire, document analysis guides and a matrix evaluation of alternatives, We worked with a sample of the population were 270 families, each head of household being the unit of analysis. The study tools that are used to achieve the design of the new treatment process were: Statistical analysis averages, a tree diagram cause and effect, a selection matrix and analysis criticality, making from implementation of these tools the results that contributed to the design of a system of modern and efficient treatment that reduces or eliminates water pollution Samanco.

Keywords: Water pollution, activated sludge, treatment plant.

Resumo

O presente trabalho tem como objetivo desenhar o processo de tratamento de águas residuais municipais para reduzir a poluição da água no distrito Samanco, Ancash para coletar dados para o método de pesquisa foi utilizado e também trabalhou com o julgamento do especialista, instrumento de coleta de dados utilizados foram: um questionário guia de análise de documentos e uma avaliação da matriz de alternativas, trabalhou com uma amostra da população estavam 270 famílias, cada família dirigir a unidade de análise. As ferramentas apresentadas que foram usadas para alcançar a concepção do novo processo de tratamento foram os seguintes: Análise das estatísticas médias um diagrama causal árvore, uma matriz de análise e seleção de criticidade, obtendo-se a aplicação destas ferramentas os resultados contribuiu para projetar um sistema de tratamento moderno e eficiente que reduz ou elimina a poluição da água Samanco.

Palavras-chave: poluição da água, lama ativada, tratamento de águas residuais.

¹Escuela de Ingeniería Industrial. Bachiller. Universidad César Vallejo. Chimbote. Perú. jerry28_89@hotmail.com

²Escuela de Ingeniería Industrial. Bachiller. Universidad César Vallejo. Chimbote. Perú.

³Escuela de Ingeniería Industrial. Maestro. Universidad César Vallejo. Chimbote. Perú. ggalarreta@ucv.edu.pe. <http://orcid.org/0000-0001-8915-6607>.

⁴Escuela de Pos Grado. Doctor. Universidad César Vallejo. Piura. Perú. balvarez@ucv.edu.pe.

Recibido: 15/04/2017

Aceptado: 15/05/2017

Introducción

En la actualidad, una de las gestiones más descuidadas y abandonadas del sector público, es la gestión del tratamiento de las aguas residuales municipales, cuyas aguas provenientes de los hogares, instituciones, empresas e industrias las cuales contienen; toda clase de residuos que son arrojados en los alcantarillados y finalmente son transportados por extensas redes de tubos subterráneos, que casi siempre terminan en los ríos, lagos, lagunas o mares sin ninguna clase de tratamiento previo que cumpla las normativas y exigencias medioambientales que contribuyan a la preservación del medio ambiente.

Según la especialista en agua y saneamiento del Banco Mundial, Carmen Yee-Batista, manifiesta: “que el 70% de las aguas residuales de la región no son tratadas. Sacamos el agua, la usamos y la devolvemos a los ríos completamente contaminada”. ¿Cómo responder a tamaño desafío? La experta en agua y saneamiento dice que la respuesta es multifacética pues se necesita reformar la producción del agua, invertir en infraestructura y regular el uso del territorio, es decir donde se puede vivir y donde no.

En el **Perú**, se estima que a fines del año 2007 el país tenía una población total de 28,3 millones de habitantes, de los cuales 21,1 millones vivían en zonas urbanas; y los restantes 7,2 millones, en zonas rurales. Políticamente, el país está dividido en 24 departamentos que, a su vez, se subdividen en 196 provincias y 1.833 distritos. Por otro lado, de los 1.833 distritos del Perú, 1.520 son atendidas por las municipalidades, juntas administradoras de servicios de saneamiento u otras; mientras que 312 se encuentran bajo el ámbito de las Entidades Prestadoras de Salud (EPS) y supervisadas por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS).

En el 2009, la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento registró que el volumen de aguas residuales volcado a la red es de 786 379 599 m³ anual, de los cuales solamente el 35% es tratado. Esta información fue recopilada de la data entregada por las 50 EPS.

En el distrito de Samanco, la gestión de proveer el servicio de alcantarillado a la población está a cargo de la municipalidad distrital, que actualmente no realiza un adecuado tratamiento de las aguas residuales municipales de la localidad. En Samanco se cuenta con cuatro lagunas de oxidación las cuales padecen de saturación y siempre mantienen con agua empozada sin tratar, pero también, desde una caseta de bombeo a cargo de la municipalidad se vierte irresponsablemente por medio de una manguera todo el efluente sin tratamiento a la ribera del río Nepeña que finalmente su cauce termina en la bahía de Samanco,

De tal forma, es como se viene contaminando y perjudicando tanto a la salud pública y al desarrollo de Samanco, quitándole la posibilidad de poder aprovechar sus recursos naturales para convertirse en un potencial turístico que genere trabajo, comercio, desarrollo económico y social.

Un 15% de la población que vive cerca de esta zona se ve vulnerable a adquirir enfermedades o epidemias gastrointestinales, repercutiendo mayormente en niños menores de edad, presentándose; padecimientos causados por bacterias, virus y protozoarios patógenos que se dispersan a través de la ruta fecal-oral como consecuencia de estos vertimientos irresponsables, pues además los terrenos aledaños al río; se viene convirtiendo literalmente en una cloaca que emana fuertes olores de descomposición, ya que encima de todo esto se ha rellenado también con residuos sólidos, convirtiendo de esta forma las riquezas naturales de Samanco en desagradables basurales.

Material y método

El presente proyecto tiene un diseño de investigación: no experimental, ya que es una investigación sistemática y práctica, que describe a la variable independiente, que no es manipulable al ya existir, de tal forma solo podemos observar todo lo que sucede por medio de ella, en ese sentido es que vamos a obtener una inferencia de la variable independiente hacia la variable dependiente.

Entonces, se encuentra como variable independiente; el proceso de tratamiento de aguas residuales, la cual va a inferir directamente en la contaminación del distrito de Samanco; que viene a ser la variable dependiente. Por lo tanto mientras más óptimo sea el proceso adaptado, mayor será la reducción de la contaminación en el distrito.

Tabla 1. Operacionalización de las variables.

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Escala de medición
Tratamiento de aguas residuales.	Son un conjunto integrado de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos, que se utilizan con la finalidad de depurar las aguas residuales hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida para su disposición final. (MINAM, 2009).	La variable de estudio fue medida mediante un cuestionario realizado a los padres de familia de Samanco. Y la selección de las alternativas para el diseño se realizará mediante una matriz de selección con juicio de expertos.	Generación de agua residual diaria.	Razón.
			Causas de saturación.	Nominal
			Eficiencia del proceso.	Razón
			Aceptación de la comunidad.	Razón
			Alternativas de tratamiento	Nominal
Contaminación hídrica	Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el agua está contaminada cuando su composición se haya alterado de modo que no reúna las condiciones necesarias para ser utilizada beneficiosamente en el consumo del hombre y de los animales.	Se busca conocer los componentes claves a considerar para lograr la reducción de la contaminación hídrica, utilizando guía de análisis documental y análisis de criticidad.	Contaminantes físicos.	Nominal
			DBO.	Razón.

Fuente: Elaboración propia.

Para la variable independiente, Tratamiento de aguas residuales:

- Población: Está constituida por las familias samanqueñas quienes producen las aguas servidas y quienes también son las afectadas por la contaminación del recurso hídrico. Por lo tanto, el tamaño de la población queda definida por las 878 familias samanqueñas (según el Instituto Nacional de Estadística e Informática - INEI, Censos Nacionales 2007 XI de Población y VI de Vivienda).

Muestra: Ha sido seleccionada de la población mediante la fórmula de población finita, brindando como resultado una muestra conformada por 267 familias de Samanco, por lo cual, se usará una muestra mejorada de 270 viviendas.

Se aplicó un muestreo aleatorio simple por las distintas viviendas del distrito con la finalidad de conocer mediante un cuestionario los indicadores necesarios y la aceptación de la población.

Unidad de análisis: La unidad de análisis será cada jefe de hogar (padre o madre) de las 270 familias.

Para el estudio se aplicó la técnica de la encuesta y el instrumento empleado fue el cuestionario, a través de preguntas cuidadosamente elegidas, claras y ordenadas, donde se obtuvo información necesaria que fundamenta el diseño de un proceso de tratamiento de aguas municipales relacionando la importancia que le da la población a las variables e indicadores antes mencionados. Dicho cuestionario estuvo constituido por 8 preguntas y fue aplicado aleatoriamente en las distintas viviendas de Samanco y para una mayor confiabilidad, la encuesta fue realizada a los padres de familias.

También se realizó la elección del proceso de tratamiento de aguas residuales municipales mediante una matriz de selección considerando los procesos de tratamiento más convenientes para Samanco, teniendo como alternativa los siguientes procesos: lagunas facultativas, lagunas aireadas, lodos activados, reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA) y filtros percoladores. Considerando los siguientes parámetros: costos, factibilidad para implementar, factibilidad técnica, facilidad operativa e impacto ambiental.

Para la variable dependiente, Contaminación hídrica:

- Población: Es considerado como tal al cuerpo hídrico receptor de los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales municipales.
- Muestra: Total de efluente generado antes de ser vertido al cuerpo hídrico receptor.
- Unidad de muestreo: Es una parte representativa tomada de la muestra para analizar los parámetros establecidos en un laboratorio.

La recolección de datos para la contaminación hídrica serán los resultados del análisis documental hecho al informe de la situación actual en que se encuentra el sistema de aguas residuales en Samanco y el análisis documental también hecho a investigaciones anteriores sobre las características de las aguas residuales considerando al DBO como la características clave para consolidar el diseño del nuevo proceso.

Los datos fueron recogidos tal como ocurren en la actualidad para el estudio de nuestras variables, sin modificarlos ni alterarlos, se empleó básicamente; el método de la observación, y se usaron instrumentos como el cuestionario, las guías de análisis documental y matrices de selección. Para poder realizar el análisis propio de este método se recurrió al análisis documental, análisis de criticidad, análisis estadísticos con promedios, diagramas de árbol causa efecto y finalmente se trabajó también con el juicio de expertos. Logrando así consolidar resultados debidamente analizados que contribuyeron con el diseño del proceso de tratamiento de aguas residuales municipales para Samanco.

Resultados

Se presentan los resultados del desarrollo de la presente investigación, tratamiento de aguas residuales municipales que permita reducir la contaminación hídrica en el distrito de Samanco.

Se realizó una evaluación de la situación actual de la generación de aguas residuales; para ello se realizó una encuesta a 270 padres de familia de Samanco (cifra hallada mediante la fórmula de población finita, anexos) para conocer la actual generación de aguas residuales municipales. Por lo tanto, mediante promedios se han obtenido los siguientes datos (Tabla 2):

Los resultados de la encuesta nos muestra que el 6% del agua es usado para riego; por lo tanto el agua que ingresa al sistema de tratamiento es 456,684.00 litros diarios; debido a que el agua usada para el riego de jardines, patios y limpieza de pisos (trapeo) es perdida naturalmente por evaporación y no ingresa al sistema de alcantarillado.

Tabla 2. Uso de agua en el distrito de Samanco.

USO DEL AGUA EN SAMANCO			
N° promedio de personas por vivienda (Encuesta)	Uso promedio de agua diario por vivienda (Encuesta)	N° total de viviendas en Samanco (INEI, 2007)	Uso total de agua diario en Samanco
4	552L	878	484 689.00L

Fuente: Encuesta para el diseño PTAR.

Por lo que notamos en la Tabla 2, en el distrito de Samanco hay una generación aproximada de 457,000.00 litros diarios de aguas residuales municipales que demandan un sistema de tratamiento eficiente. Por las 878 familias de Samanco, son colectadas a través del sistema de alcantarillado subterráneo de todas las viviendas, para posteriormente ingresar como afluente a una caseta donde hay dos pozas de bombeo, y desde ahí posteriormente, se bombea hacia 4 pozas de oxidación; dos primarias y dos secundarias, donde por una suerte de rebose en las dos últimas dos pozas secundarias las aguas residuales son derivadas al río sin cumplir LMP.

Pero, al ser este un diseño desfasado y con falta de mantenimiento, las tuberías y pozos de paso se encuentran en mal estado y obstaculizados por restos físicos; además, mediante el bombeo continuo se sufre permanentemente de derrames y de saturación de dichas pozas de oxidación, por tal motivo se ven en la necesidad e irresponsabilidad mayor de verter estos 457,000.00 litros de aguas residuales municipales directamente al río desde la caseta de bombeo y por medio de una manguera.

Se presenta a continuación mediante un diagrama de flujo, del actual tratamiento de aguas residuales municipales por pozas de oxidación en Samanco:

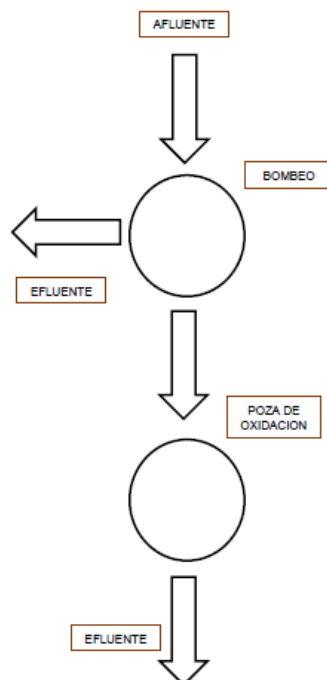


Figura 1. Diagrama de flujo actual del tratamiento de aguas residuales.

Fuente: Área de gestión de Municipalidad.

Se determinó las características de las aguas residuales que se emiten en el distrito de Samanco, las cuales son indispensables conocer para la proyección del diseño de un proceso de tratamiento de estas aguas residuales municipales.

Se realizaron gestiones para poder hacer un muestreo de las aguas residuales de Samanco con la municipalidad distrital, pero no se obtuvo una respuesta positiva, por lo cual se decidió hallar este objetivo mediante un análisis de criticidad, por lo tanto, para este resultado se está considerado investigaciones hechas anteriormente, donde se conocen las características por categorías. Asumiendo, de esta forma, el dato del DBO cuya característica es clave para los cálculos del diseño de tratamiento, en ese sentido para nuestro diseño se considerara el DBO fuerte que equivale a 400.

Tabla 3. Características de las aguas residuales de la municipalidad.

Características de las Aguas residuales Municipales			
Componente	Fuerte	Media	Debil
Solidos Totales	1200	720	35
Disueltos	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volatiles	325	200	105
Suspendidos	350	220	100
Fijos	75	55	20
Volatiles	275	165	80
Sedimentables	20	10	5
DBO	400	220	110
COT	290	160	80
DQO	1000	500	250
Nitrogeno Total	85	40	20
Organico	35	15	8
Amoniacal	50	25	12
Nitritos	0	0	0
Nitratos	0	0	0
Fosforo total	15	8	4
Organico	5	3	1
Inorganico	10	5	3
Cloruros	100	50	30
Alcalinidad	200	100	50
Grasas - Aceites	150	100	50

Fuente: Análisis Documental para el diseño PTARM.

Se determinó una identificación de las causas de saturación de las aguas residuales municipales de Samanco, para ello se consideró la inspección hecha al actual sistema de tratamiento de las aguas residuales municipales de Samanco, dicha inspección se realizó con especialistas de la Municipalidad Provincial de Santa, que emitieron el informe N° 186-2014-PLANEFA-GGA y SP-MPS, el cual fue usado como una guía de análisis documental. En la Tabla 4 se muestran los resultados de esta inspección deduciendo cinco puntos de relevancia que causan saturación, teniéndose que de las 4 lagunas de oxidación que tiene el distrito se encuentran con agua empozada y sin tratamiento alguno, lo que representa un problema mayor a problema se atribuyen una serie de complementos, como por ejemplo falta de mantenimiento de los sistemas auxiliares como el alcantarillado, sistema de bombeo y pozas de almacenamiento.

Tabla 4. Saturación de las aguas residuales municipales del distrito de Samanco.

N°	Saturación de las aguas residuales municipales de samanco
1	Las 04 lagunas de oxidación que tiene Samanco, se encuentran con agua empozada y sin tratamiento.
2	Falta de mantenimiento al sistema de alcantarillado y pozos de paso, donde se encuentran restos físicos como: arena, bolsas plásticas, papel, cráneos, plantas, etc.
3	Falta de mantenimiento al sistema de bombeo de las aguas residuales.
4	Falta de mantenimiento a las pozas de almacenamiento de las aguas residuales.
5	Se bypasea con manguera de 2" las aguas residuales municipales: vertiéndolas directamente en el río cuyo final es en la playa.

Fuente: Informe N° 186-2014-PLANEFA-GGA y SP-MPS.

En la Figura 3, se identifican gráficamente los puntos de saturación indicados en la Tabla 4, en la cual se puede tener un mejor panorama del sistema de tratamiento actual.



Figura 3. Vista superior del sistema de aguas residuales municipales del distrito de Samanco.
Fuente: Elaboración propia.

Entonces, debido a la identificación de las causas de saturación del sistema de tratamiento de aguas residuales, se elaboró un árbol de causa – efecto, el cual se muestra en la Figura 4, teniendo como objetivo determinar las causas sobre la inadecuada gestión de las aguas residuales municipales en el distrito Samanco, teniendo como base el informe documental mencionado, determinándose que la causa principal que se encontró y la cual será abordada en la presente investigación es: “Actual sistema de tratamiento desfasado e ineficiente”, ya que esto origina todo plasmado en la Tabla 4.

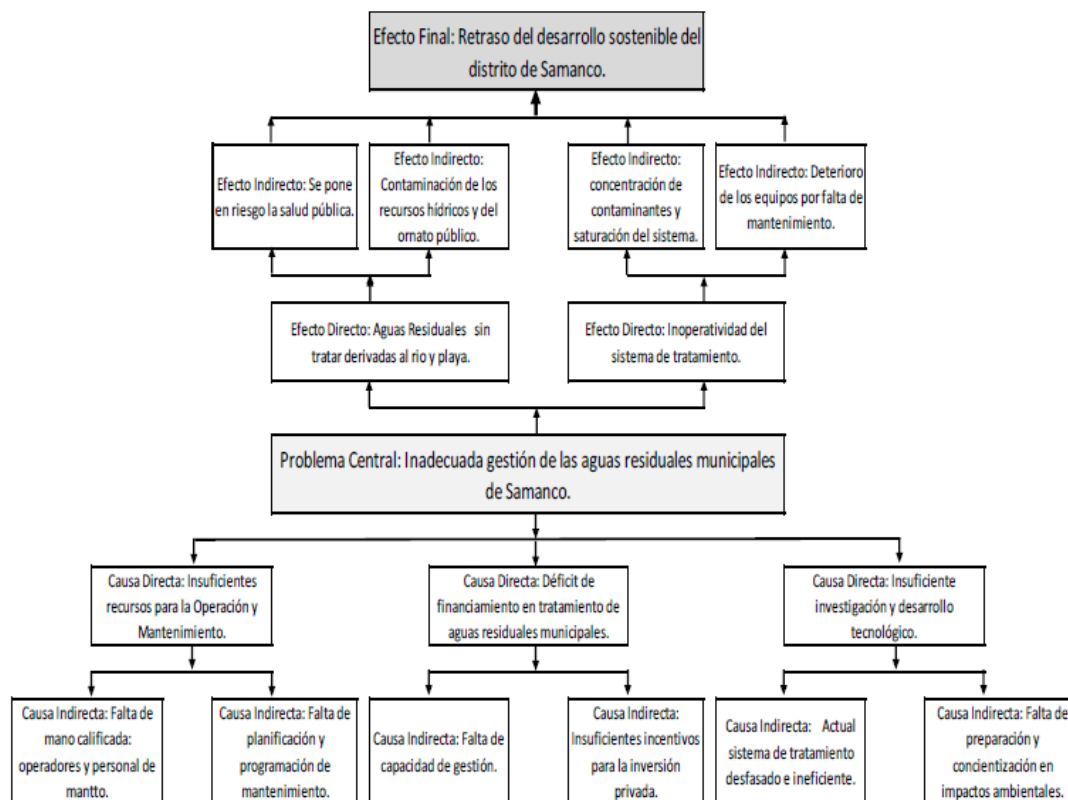


Figura 4. Árbol Causa – Efecto de la inadecuada gestión de las aguas residuales.

Fuente: Análisis Documental para el diseño PTARM.

Teniendo identificado la causa primordial del problema, se realizó un análisis de alternativas con la finalidad de evaluar y seleccionar el tratamiento de aguas residuales más adecuado para Samanco; se procedió a trabajar con la siguiente metodología:

- Describir los sistemas de tratamiento disponibles destacando sus ventajas, desventajas, costos y demanda de terrenos.
- Definir los criterios que deben considerarse para la evaluación y selección del sistema más adecuado
- Evaluar y seleccionar en una matriz de decisión y mediante el juicio de tres expertos, la mejor alternativa.

Las tecnologías que se describen a continuación son procesos modernos y eficientes que ya vienen siendo usadas en el Perú; tal cual lo demuestra el Ministerio del Ambiente Peruano (MINAM); mediante el “Manual para Municipios Ecoeficientes”, 2009. Estas alternativas obedecen al cumplimiento de obtener un efluente de calidad que cumpla con el Decreto Supremo N°003-2010-MINAM, Aprobación de los Límites Máximos Permisibles (LMP). Se contempla cinco alternativas las cuales serán evaluadas:

Alternativa 1: Lagunas facultativas

Requieren normalmente de largos períodos de retención para que se lleven a cabo los procesos naturales de oxidación y reducción. Generalmente, los estanques son dispuestos en unidades en serie y en paralelo, tienen una profundidad de 1.5 a 2 metros, con una capa superficial aeróbica y una capa anaeróbica en el fondo. La aeración se realiza mediante proceso de fotosíntesis con algas que crecen en el agua, con períodos de retención para que se lleven a cabo los procesos naturales de oxidación y reducción.

Ventajas – Lagunas facultativas:

Las lagunas facultativas no son costosas de construir y requieren un nivel relativamente pequeño de atención por parte del operador.

Estas unidades pueden lograr una remoción de la DBO5 filtrada hasta 30 mg/l si el diseño incluye un tiempo suficiente de detención.

Desventajas – Lagunas facultativas:

Los problemas típicos con las lagunas facultativas incluyen la sobreproducción de algas y de cortocircuitos hidráulicos.

Los tanques se llenan de lodo y deben ser drenados, limpiados y renovados, paralizando las operaciones de uno a más de los estanques por un período de tiempo de 2 a 5 meses, lo que origina la disminución temporal de la capacidad del sistema.

Se requiere extensas áreas de terreno que por lo general no están disponibles.

Alternativa 2: Lagunas aireadas.

Son unidades de tratamiento cuya aplicación debe priorizarse en la fase de tratamiento secundario. Suelen ser diseñadas con profundidades de 1 a 4m. La aireación del agua residual tratada se realiza empleando aireadores mecánicos o dispositivos de aireación por medio de difusores. El empleo de lagunas aireadas, con un enfoque en la ecoeficiencia, busca reducir al máximo el uso de energía eléctrica, por tanto, previo al empleo de este tipo de unidades es importante utilizar los componentes de pretratamiento con rejillas, y desarenador para el retiro de sólidos y material grueso, al menos un componente de tratamiento primario. Las lagunas aireadas pueden clasificarse en lagunas de mezcla completa, en la cual se genera una turbulencia que es suficiente para mantener los lodos en suspensión y oxígeno disuelto en toda la laguna.

Ventajas – Laguna aireadas:

- La eficiencia en el porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es alta, por lo que el efluente tiene pocos sólidos y se puede utilizar en el riego tecnificado.
- Es un proceso de tratamiento continuo y para un caudal fijo.

Desventajas – Lagunas aireadas:

- Requieren más área que los sistemas de lodos activados.
- Requieren de una importante inversión en infraestructura y equipos, que eleva el costo de tratamiento.
- Es sensible a los cambios de caudal, carga orgánica y temperatura.
- El manejo de lodos debe realizarse en forma permanente.

Alternativa 3: Lodos activados.

Los lodos activados de aireación extendida convierten gran porcentaje de la materia orgánica del efluente, en partículas sólidas, aglutinadas. El agua residual ingresa a un proceso de pretratamiento, conformado por rejillas o tamices, para la separación física de los sólidos gruesos y finos, y opcionalmente aceites y grasas, en una trampa de grasas. Posteriormente, el agua pasa a un estanque de aireación, donde grandes volúmenes de aire son inyectados mediante sopladores e impulsados desde el fondo hacia la superficie, a través de difusores, para mezclar y suspender la materia orgánica y transferir oxígeno a las bacterias que la degradan. Estas bacterias aeróbicas, presentes en este medio rico en nutrientes, se desarrollan rápidamente y forman una masa activa llamada “lodos activados”, depurando las aguas residuales y reduciendo la carga orgánica presente en forma eficiente. El líquido tratado pasa a un estanque de sedimentación secundaria, donde permanece en reposo para favorecer la sedimentación del lodo activado en el fondo del estanque.

Finalmente, para renovar microorganismos patógenos, el agua que sale del estanque de sedimentación debe ser adicionalmente tratada por una etapa de desinfección.

Ventajas – Lodos activados:

- Este sistema puede implementarse en áreas pequeñas, como bermas centrales de avenidas amplias, óvalos de intersección o parques, con el fin de regar las áreas verdes urbanas, siempre que su mantenimiento y operación sean los adecuados. Como tratamiento secundario la unidad de lodos activados ha demostrado eficiencia en la remoción de la DBO mayores a un 95%.
- La aireación extendida tiene una mayor eficiencia en el porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), por lo que el efluente tiene pocos sólidos y se puede utilizar en el riego tecnificado.
- Es un proceso de tratamiento continuo y para un caudal fijo.
- Generalmente no produce olores desagradables, por ser un proceso aerobio.

Desventajas – Lodos activados:

- Demanda de energía eléctrica para accionar los equipos, lo que eleva notablemente el costo de operación y mantenimiento.
- Es sensible a los cambios de caudal, carga orgánica y temperatura. Requiere siempre un proceso adicional de desinfección, para remover los organismos patógenos.
- El manejo de lodos debe realizarse en forma permanente.
- Requiere de una importante inversión en infraestructura y equipos, que eleva el costo de tratamiento.

Alternativa 4: Reactor anaeróbico de flujo ascendente.

El reactor anaerobio de flujo ascendente, o también conocido como RAFA, es una unidad de tratamiento biológico del tipo anaerobio, cuyo diseño permite mantener en suspensión el agua residual a tratar, haciendo ingresar el afluente por la parte inferior a través de un sistema de distribución localizado en el fondo de la unidad. El agua residual que ingresa asciende, atravesando por un manto de lodos conformado por microorganismos de tipo anaerobio. En la parte superior existe una campana que facilita la separación de la fase líquida y gaseosa, de modo que el efluente clarificado sale hacia el postratamiento.

Ventajas – RAFA:

- Es un proceso de tratamiento continuo, con cortos periodos de retención que puede sustituir a la unidad de sedimentación primaria por lo que su afluente es el agua que sale de las operaciones de pretratamiento mediante rejillas y desarenador.
- Bajo condiciones topográficas favorables, no requiere energía para su operación, pues el flujo de agua puede darse por gravedad.
- Produce gas metano, que puede ser utilizado como fuente de energía para el alumbrado de la planta e incluso para calentar el propio reactor y favorecer la eficiencia del proceso de digestión anaerobia.

Desventajas – RAFA:

Existe mayor dificultad en el arranque del reactor, siendo necesario inoculación de bacterias anaerobias y control operacional especializado.

Es un proceso anaerobio muy sensible a cambios bruscos de carga orgánica y temperatura. Por tanto, no se recomienda en lugares con climas fríos extremos.

La remoción de organismos patógenos es muy limitada, a menos que se complementa con lagunas de pulimento.

Requiere siempre de un tratamiento posterior, ya que el proceso transforma el nitrógeno orgánico en amoníaco, que es tóxico y su eficiencia apenas remueve la DBO en un 55%.

No se recomienda en zonas intraurbanas, debido a que puede causar molestias en la población por olores desagradables.

Alternativa 5: Filtro percolador.

Los filtros percoladores son unidades de tratamiento secundario del tipo biológico con medio adherido o asistido. Esto quiere decir, que el agua residual pasa a través de un medio filtrante donde un grupo de bacterias y otros microorganismos, se desarrollan progresivamente adhiriéndose al empaque o medio filtrante formando una película biológica que precisamente permite la degradación biológica de la materia orgánica. El empaque filtrante puede consistir en un lecho de roca volcánica, piedra chancada o material plástico con configuraciones especiales. Todos los empaques utilizados como medio filtrante, buscan maximizar la superficie de contacto sobre la cual se desarrolla la masa biológica útil para el tratamiento.

Ventajas – Filtro percolador:

- Requiere área o espacio físico moderado, mucho menor al del sistema de lagunas, por lo que puede implementarse en áreas intraurbanas.
- Su operación es sencilla, y en zonas con pendientes accidentadas puede ser implementado.
- No requiere de energía eléctrica.
- La generación de olores es muy baja.
- Si se incluye una unidad de tratamiento primario de buena eficiencia, puede reducir su volumen.

Desventajas – Filtro percolador:

- Esta alternativa puede tener una aplicación limitada en aguas residuales con altas cargas orgánicas contenidas en los efluentes.
- El nivel de remoción patógena es bajo, por ello en nuestro país se usa sólo para el riego de áreas verdes sin acceso al público.
- Alta sensibilidad a sustancias tóxicas que podría tener el agua residual a tratar.
- La baja temperatura, puede disminuir la actividad biológica e incluso en zonas de inviernos severos podría ocasionar la formación de escarchas de hielo mermando la eficiencia del proceso.

Se realizó un análisis financiero y terrenal de las alternativas, Tabla 5, se consideraron las experiencias de las distintas alternativas que ya vienen siendo usadas en el Perú y las cuales están compartidos en el “Manual para municipios ecoeficientes”, 2009 del MINAM. Con esta información, se realizó la siguiente tabla, homogenizando los costos para cada Lt/seg y el área por cada habitante que genere agua residual.

Tabla 5. Análisis financiero y terrenal de las alternativas de tratamiento.

Análisis Financiero y Terrenal de las Alternativas de Tratamiento					
Nombre del Diseño	Caudal de Tratamiento	Costo de Inversión	Costo de Operación y Mantenimiento	Costo de Tratamiento	Área Usada
Lagunas Facultativas	1 Lt /seg	\$46,166.67	\$2,633.33	US\$ 0.47 / m3	1.8 m2/hab.
Lagunas Aireadas	1 Lt /seg	\$254,657.53	\$2,301.37	US\$ 0.59 / m3	1.57 m2/hab.
Lodos Activados	1 Lt /seg	\$27,750.00	\$5,233.33	US\$ 0.69 / m3	0.6 m2/hab.
RAFA	1 Lt /seg	\$12,500.00	\$1,875.00	US\$ 0.18 / m3	1.1 m2/hab.
Filtro Percolador	1 Lt /seg	\$29,933.33	\$3,466.67	US\$ 0.32 / m3	0.32 m2/hab.

Fuente: Homogenización de costos del Manual para Municipios Ecoeficientes, MINAM.

Se realizó una evaluación y selección con una matriz de decisión y mediante el juicio de tres expertos, la alternativa más viable, conociendo las ventajas, desventajas, el análisis financiero, terrenal y teniendo en claro los criterios para la evaluación de las alternativas, se procedió con la matriz de decisión, que se muestra en la Tabla 6.

Se concluyó que la alternativa más adecuada a implementarse, en el diseño del proceso de tratamiento de aguas residuales municipales para reducir la contaminación hídrica en el distrito de Samanco, es: La alternativa 3 – Lodos activados, la cual obtuvo una ponderación total de 76.67 puntos, siguiéndole la alternativa 2 – Lagunas aireadas, con una ponderación total de 64.67 puntos.

Es importante recalcar que a pesar que la alternativa 3 seleccionada muestra mayor costo de implementación, la decisión fue determinada por la factibilidad de implementación y factibilidad técnica, sumado un menor impacto ambiental.

Tabla 6. Matriz de decisión.

MATRIZ DE DECISIÓN						
ASIGNACIÓN VALOR IMPORTANCIA RELATIVA AJUSTADO						
PARAMETRO ALTERNATIVAS	COSTOS	FACTIB. IMPLEMENT.	FACTIB. TÉCNICA.	FACILIDAD OPERATIVA	IMPACTO AMBIENTAL	TOTAL
Lagunas Facultativas	6.67	2.67	10.00	23.33	18.00	60.67
Lagunas Aireadas	3.33	5.33	13.33	18.67	24.00	64.67
Lodos Activados	10.00	10.67	16.67	9.33	30.00	76.67
RAFA	16.67	8.00	3.33	4.67	6.00	38.67
Filtros Percoladores	13.33	13.33	6.67	14.00	12.00	59.33

Fuente: Evaluación de alternativas para el diseño PTARM.

Se realizó el diseño del proceso de tratamiento de aguas residuales municipales en tres etapas:

Primero, con la finalidad de remover y retirar los cuerpos físicos presentes en el agua residual se iniciará con la etapa preliminar que constara en dos fases; Desbaste y tamizado.

Segundo, para el tratamiento biológico, se realizará mediante el proceso Lodos activados de aireación extendida, la cual iniciará desde que el afluente ingrese al tanque reactor, clarificador, tanque equalizador, decantador centrifugo o lecho de secado.

Tercero, la etapa de desinfección; todas las aguas claras obtenidas del clarificador, del tanque equalizador y del decantador centrifugo pasarán por el tanque de contacto con cloro, donde por medio de la dosificación de hipoclorito de calcio se procederá con la desinfección.

A continuación, se presentan los diagramas de flujo (Figura 5) y de componentes del nuevo proceso de tratamiento por el sistema de Lodos activados (Figura 6), y con la finalidad de ampliar y detallar cada etapa del proceso y las características de los equipos comprometidos.

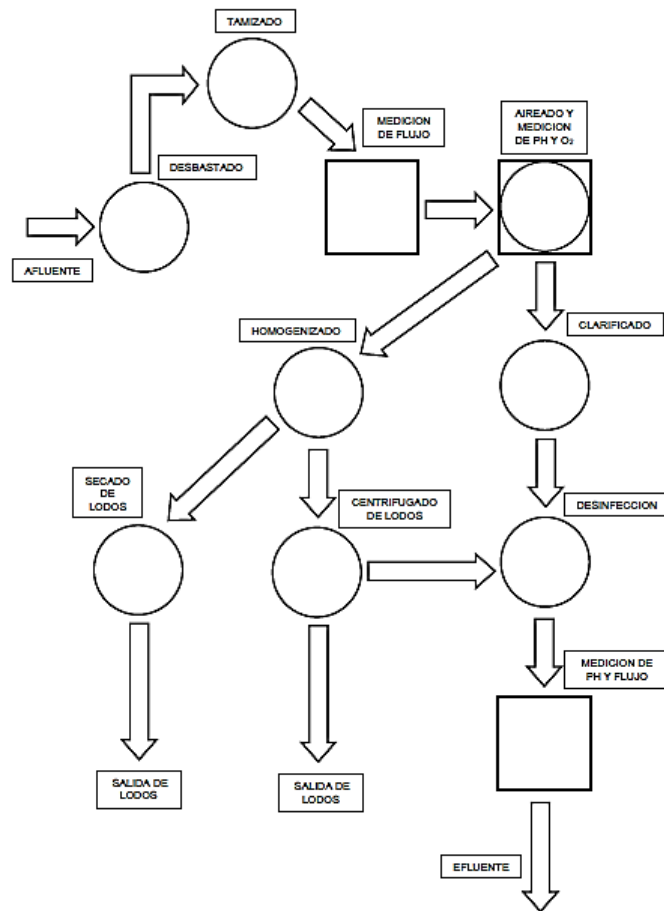


Figura 5: Diagrama de flujo de lodos activados para Samanco.
Fuente: Elaboración propia.

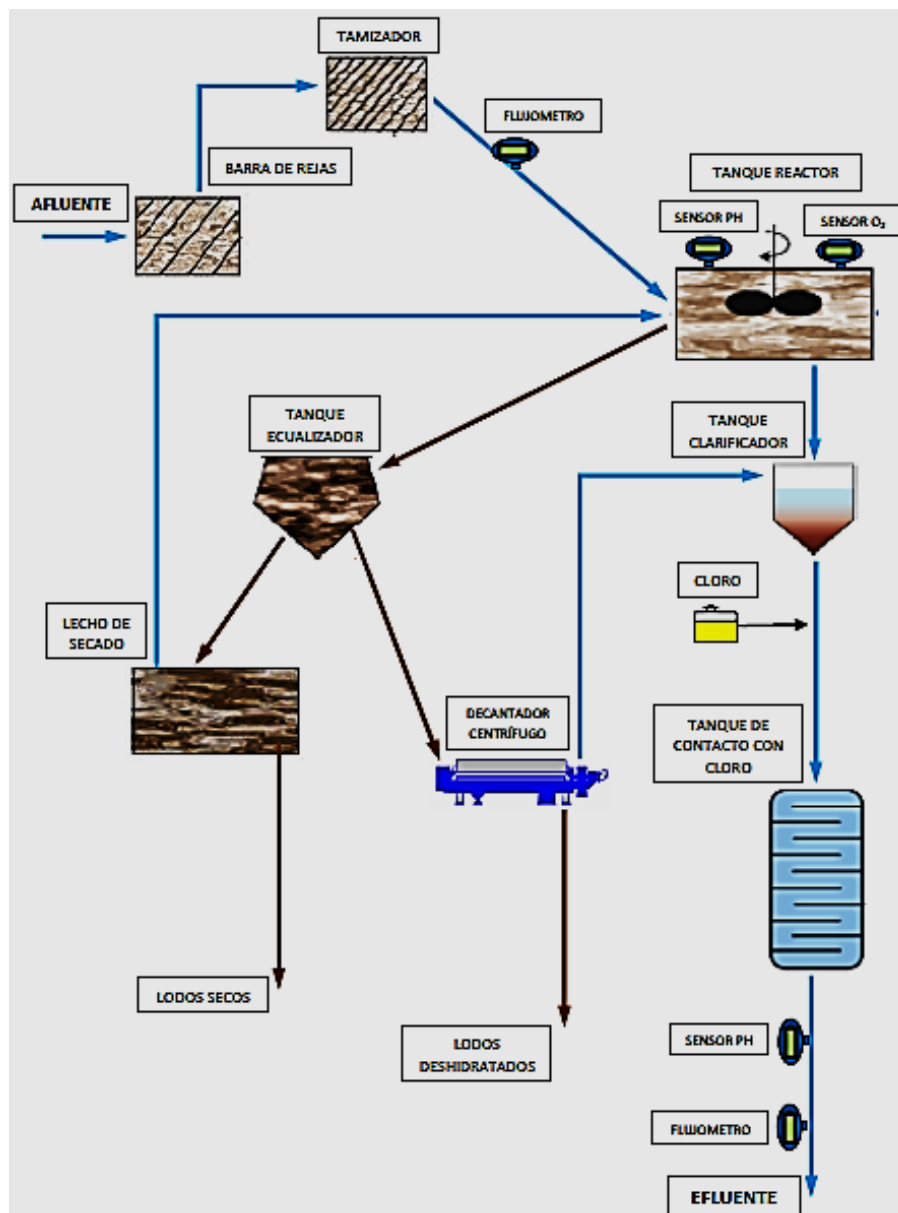


Figura 6. Diagrama de componentes de lodos activados para Samanco.
Fuente: Elaboración propia.

Discusión

Con respecto a la generación de las aguas residuales municipales en Samanco, se obtuvo, mediante una encuesta aplicada a los padres de familias; que para un promedio de 4 personas por vivienda la generación de aguas residuales equivale a 552Lt diarios, por lo tanto en Samanco el promedio de agua residual generada por persona es de 138Lt diarios, a lo cual se realiza una comparación con el dato dado por la OEFA (2010), la cual determina; que en la costa se genera 145 litros de agua residual al día por persona. De igual forma, Méndez (2010) usa como guía la fuente de SEDAPA, donde establece que en una familia de cinco personas el consumo de agua promedio es de 750Lt. por día, por lo tanto el consumo por persona sería de 150Lt. De esta forma, se determina que el promedio hallado en Samanco no está lejos de las cifras dadas por las instituciones especialistas en estos temas, considerando que la tendencia al consumo de agua tiene que ser cada vez menor por

persona, en ese sentido vale recalcar que Samanco tiene como restricción que el abastecimiento de agua potable es solo por una hora.

Con respecto a las características de las aguas residuales municipales, Cisterna (2010) señala que la SUNASS en el 2013 informó que Chile cumple con el 100% del tratamiento de sus aguas residuales, indicando así que Chile es un país que ha dedicado mucha investigación en estos procesos.

Con respecto a las causas de saturación de las aguas residuales municipales de Samanco, se determina mediante una guía de análisis documental, el siguiente árbol de causa efecto en el que la saturación de las aguas residuales en Samanco se deben básicamente a la falta de mantenimiento y el mal diseño del sistema de tratamiento, pues se encuentra actualmente con un sistema desfasado, en mal estado y sin funcionamiento. La SUNASS realizó un diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las Entidades Prestadoras de Salud (EPS) del Perú (2008), donde establece las principales causas que conllevan a la saturación e incorrecta gestión de las aguas residuales, siendo los motivos: insuficiente investigación y desarrollo tecnológico en el Perú, insuficientes recursos destinados a la operación y mantenimiento de las PTAR. De igual forma Arce (2013) que cita también a la SUNASS con su reporte del año 2009, dando a conocer que el volumen aproximado de aguas residuales es 786'379,599 m³ durante todo el año. De esta cifra, las aguas residuales tratadas son solo el 35%. Queda un abismal 65% del cual nadie responde cómo está siendo eliminado. FONAM (2010) indica también que en el caso de operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento es bastante crítico, debido a que el 65% del agua residual es enviada a los receptores sin previo tratamiento (SUNASS, 2008). Esto es resultado de las plantas de tratamiento descuidadas, es decir, las tecnologías del tratamiento no pueden desempeñarse al 100% considerándose también por malos diseños.

Con respecto a las alternativas, evaluación y elección del diseño de tratamiento de aguas residuales municipales para Samanco, se realiza finalmente mediante una matriz de selección y bajo el juicio de tres expertos. Las alternativas consideradas en la matriz del presente proyecto son las siguientes: lagunas facultativas, lagunas aireadas, lodos activados, reactor anaeróbico de flujo ascendente y filtros percoladores, de las cuales resulta como alternativa elegida el sistema de tratamiento por lodos activados. Las alternativas elegidas fueron respaldadas por el "Manual para municipios ecoeficientes" (2009) del Ministerio del Ambiente, que resalta también las alternativas antes mencionadas, y de igual forma, Ramón (2010) también usa para determinar y elegir la alternativa la "Matriz de selección" teniendo como alternativas: lagunas facultativas, lagunas aireadas, zanjas de oxidación, lodos activados y filtros percoladores. Finalmente en la elección del diseño del diseño para Samanco es la alternativa de lodos activados, mientras que Ramón Espinoza elige la alternativa de lagunas aireadas, pero cabe precisar que ambos procesos son modernos y muy eficientes debido a que son de sistema de aireado.

Con respecto a la justificación y aceptación con el diseño e implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales, se recalca que cada pueblo tiene problemas y recursos distintos, pero en Samanco se ha seleccionado la alternativa de lodos activados, considerando que se busca desde el inicio una tecnología eficiente y no otra que pueda quedar desfasada con el tiempo; además, se considera que el 96% de la población acepta y está de acuerdo con implementar una planta de tratamiento que termine con la contaminación y el atraso del pueblo.

El diseño de lodos activados, se eligió mediante una matriz de selección. Dicha matriz ya ha sido aplicada anteriormente por Espinoza (2010), pero en esa oportunidad el proceso de lodos activados quedó en segundo lugar, y se optó por el proceso de lagunas aireadas, que es un proceso de similares características. Mientras tanto el proceso de lodos activados es una de las tecnologías que promueve el Ministerio del Ambiente.

Conclusiones

Mediante la encuesta realizada a los 270 padres de familia, se concluyó que en Samanco hay una generación promedio de aguas residuales de 138 Lt por persona, lo cual equivale a un total diario

de 457m³, esto quiere decir que en la actualidad estos 457m³ vienen siendo derivados sin tratamiento al río Nepeña cuyo cauce termina en la bahía de Samanco, generando así la contaminación hídrica en el distrito.

En Samanco, la gestión de las aguas residuales se encuentra en abandono, siendo así que ni siquiera se cuenta con resultados de análisis a los afluentes. En ese sentido, se asumió mediante un análisis de criticidad el dato del DBO cuya característica es clave para los cálculos del diseño de tratamiento. Así, para nuestro diseño se consideró el DBO fuerte que equivale a 400.

Mediante un diagrama de árbol causa efecto, se encontró la causa que fue abordada en la presente investigación, la cual fue: “actual sistema de tratamiento desfasado e ineficiente”, pues esto ocasiona la saturación, el mal estado y la ineficiencia del actual sistema, además se logró saber con esta causa que el objetivo general se enmarca a la necesidad de Samanco.

Se realizó el análisis de las alternativas y la evaluación mediante una matriz de selección el proceso más adecuado para Samanco; destacando el sistema de lodos activados con 76.67 puntos.

Mediante un análisis descriptivo basado a las necesidades de Samanco, se concluyó que se requiere la implementación de un proceso que desde el inicio de sus operaciones sea eficiente y que a la larga no acarree en nuevas adaptaciones generando más gastos y mermando en la eficiencia del sistema. Se halló también mediante la encuesta realizada que el 96% de la población está de acuerdo con la implementación del presente proyecto que ponga fin a su problemática.

Se realizó el diseño del proceso de tratamiento de aguas residuales municipales basada en la tecnología de lodos activados, y a lo largo del diseño y de los cálculos para el proceso se logra concluir que este proceso cumple con las exceptivas de ser un sistema moderno y eficiente que cubra las necesidades de Samanco en su gestión de aguas residuales municipales, además la eficiencia de este sistema es compartida comúnmente en todas las bases de datos.

El diseño considerado para Samanco consiste en los siguientes parámetros de diseño: Para un caudal de 456.7 - 457 m³ / día, para una carga orgánica de DBO₅ en el afluente de 400 mg / Lt y para un DBO₅ deseado en el efluente de 15 mg / Lt, logrando de esta forma cumplir las normativas de calidad para los efluentes y cumpliendo con los Límites Máximos Permisibles establecidos en Perú.

Referencias bibliográficas

- Arce, L. (2013). *Urbanizaciones sostenibles: descentralización del tratamiento de aguas residuales residenciales*. Lima, Perú.
- Banco Mundial (Diciembre, 2013). *70% de las aguas residuales de Latinoamérica vuelven a los ríos sin ser tratadas*. Recuperado de <http://www.bancomundial.org/es/news/feature/2014/01/02/rios-de-latinoamerica-contaminados>
- Cisterna, P. (2010). *Determinación de la relación DQO/DBO₅ en aguas residuales de comunas con población menor a 25.000 habitantes en la VIII región*. Chile.
- Comisión Estatal del Agua de Jalisco (2013). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados*. Jalisco, México.
- Ministerio de energía y minas (2010). Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, Perú.
- Espinoza, R. (2010). *Planta de tratamiento de aguas residuales en San Juan de Miraflores*. Piura, Perú.
- Fondo Nacional del Ambiente (Diciembre, 2010). *Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú*. 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)

- Mayo, E. (2010). *Proyecto ejecutivo de planta de tratamiento de aguas residuales para la localidad de Xochiapa*. México.
- Méndez, F. (2010). *Propuesta de un modelo socio económico de decisión de uso de aguas residuales tratadas en sustitución de agua limpia para áreas verdes* (Tesis de maestría). Recuperada de http://cybertesis.uni.edu.pe/uni/2010/mendez_mf/html/index-frames.html
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2010). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. Recuperado de <http://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/anexo-rm-273-2013-vivienda.pdf>
- Ministerio de Agricultura (2011). *Tratamiento de aguas residuales municipales*. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente Peruano (2009). *Manual para municipios ecoeficientes*. Lima, Perú.
- OEFA (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Lima, Perú.
- SEDALIB S.A. (2011). *Tratamientos avanzados de aguas residuales en el marco de la legislación ambiental peruana*. La Libertad, Perú.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (2008). *Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales en las EPS del Perú y propuestas de solución*. Lima, Perú.
- Universidad Nacional Autónoma de México UNAM (2013). *Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. México.