

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
**UNIVERSIDAD
CATÓLICA**
DEL PERÚ

**URBANIZACIONES SOSTENIBLES: DESCENTRALIZACIÓN
DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
RESIDENCIALES**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil, que presenta el bachiller:

LUIS FRANCISCO ARCE JÁUREGUI

ASESOR: Ph. D. RAMZY KAHHAT ABEDRABBO

Lima, Abril del 2013

RESUMEN

El agua es el recurso natural más valioso de la tierra, sin ella no existiría vida. Alrededor del 71% de la corteza terrestre está cubierta por agua. A pesar de ser tan abundante, solo un reducido porcentaje es utilizable para el consumo humano.

Si se quisiera describir el término “consumo humano”, se diría que es el uso del agua para el contacto con los seres humanos. El término es muy amplio ya que al considerar contacto humano se refiere a beber el agua, utilizarla para la limpieza de alimentos, limpieza de materiales, entre otras actividades. El agua es un recurso muy cuidadoso, a pesar de ello se desperdicia este líquido vital en actividades rutinarias con menor importancia y no se cuida que el ciclo regular de ésta llegue a completarse adecuadamente, por lo que cada vez se va reduciendo el volumen de agua potable.

Se está viviendo una época crucial donde el correcto y racional uso del agua podría cambiar el curso de la vida de las personas dentro de los próximos años. El Perú es un país que tiene la suerte de contar con agua subterránea que proporciona y llega a satisfacer una considerable cantidad de personas con este vital líquido. Además, el precio del agua es económicamente reducido con respecto a muchos países, ésta puede ser una de las razones por las que no se sabe emplear de manera correcta y consciente el agua.

En el Perú no se ha logrado solucionar el tema de la obstrucción del ciclo correcto de utilización del agua, debido a que el agua debe pasar por procesos de tratamiento después de ser empleada, para finalmente destinarla por efluentes adecuados hacia sus orígenes. En algunos lugares se han centrado solo en almacenar aguas residuales domésticas que producen no solo problemas de salud, sino también en el medio ambiente y una falta de control operacional por las entidades prestadoras de agua.

En el presente trabajo se dará un alcance de la situación real del Perú en el tema de saneamiento. Se plantearán vías para la reutilización del agua y se buscará mediante una estructura de investigación alternativas de soluciones viables y rentables en el Perú. Las soluciones no solo tendrán como fondo principal el uso racional del agua sino brindar calidad de vida en urbanizaciones sostenibles a las personas.

ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.	1
CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA.	4
CAPÍTULO 3. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	8
3.1. TECNOLOGÍAS EXISTENTES Y COMUNES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	8
3.2. TECNOLOGÍAS ACTUALES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN ALGUNAS CIUDADES DEL MUNDO.	19
3.3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ Y SUS PRINCIPALES PROBLEMAS – SITUACIÓN ACTUAL.	27
3.4. TECNOLOGÍAS EN EMERGENCIA Y MANTENIMIENTO MÍNIMO.	30
3.5. OTROS TEMAS SOCIALES QUE EVITAN EL CAMBIO HACIA LA MEJORA.	35
CAPÍTULO 4. CENTRALISMO O DESCENTRALISMO.	37
4.1. CENTRALISMO	37
4.2. DESCENTRALISMO	42
CAPÍTULO 5. REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL.	53
5.1. NORMATIVA EN EL PERÚ.	54
CAPÍTULO 6. URBANIZACIONES SOSTENIBLES: DESCENTRALIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES.	61
6.1. USO DEL AGUA REUTILIZADA.	62
6.2. CALIDAD DE AGUA PARA LA REUTILIZACIÓN.	63
6.3. TECNOLOGÍA PARA EL TRATAMIENTO SERÁ NECESARIA PARA ADQUIRIR LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD.	65
6.4. ESTUDIO DE CASO: PROYECTO LAS PALMERAS.	74
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES.	81
BIBLIOGRAFÍA	83
ANEXOS	

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

“El acceso al agua potable es una necesidad humana fundamental, y por lo tanto, un derecho humano básico. El agua contaminada pone en peligro la salud física y social de todas las personas. Es una afrenta a la dignidad humana.” (Kofi Annan, secretario general de Naciones Unidas, 2003).

El agua es un recurso esencial para la vida en este planeta. Los seres humanos dependemos de ella para nuestra salud y para la producción de alimentos, bienes y servicios. El agua a través de la historia ha sido motivo de conflictos por posesión de tierras. Actualmente, se genera una problemática con respecto al uso de la dotación del río Nilo en los países cercanos, con lo que Miguel Ángel García llama “Guerra por el agua en África” (García, 2012). Las ciudades más cercanas a ríos o lagunas serán siempre mejor vistas que zonas áridas o desérticas, por su beneficio en la agricultura, ganadería, entre otros.

En el *Informe sobre el desarrollo humano* en el año 2006 publicado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) se indica como las principales actividades que consumen mayor cantidad de agua, a la agricultura con un 70 % del consumo mundial, la industria con un promedio de 23 %, y el consumo doméstico con un 7 %. Dentro de este 7 % de consumo doméstico, los seres humanos tenemos la libertad de optar por realizar diferentes actividades que consumen agua sin ningún impedimento (PNUD,2006).

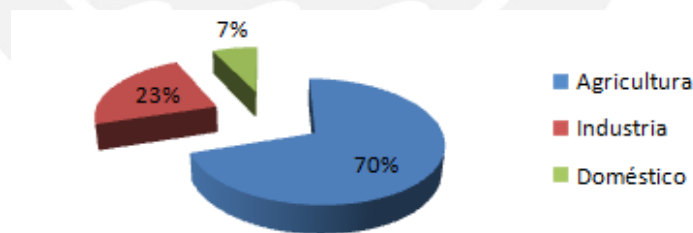


Figura 1.1. Distribución mundial de los usos del agua (Fuente: PNUD,2006).

Según el informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo humano, la privación de agua limpia y saneamiento básico destruyeron más vidas que cualquier guerra o acto terrorista (PNUD, 2006). Dentro de la problemática mundial, alrededor de novecientos millones de personas en el mundo no tiene acceso al agua potable, aproximadamente 1,100 millones de habitantes no beben agua potable y 2,600 millones no tienen servicios de alcantarillado (PNUD, 2006). El déficit mundial del

agua e infraestructura de saneamiento está retardando los avances económicos y debilita los esfuerzos de millones de personas por salir de la pobreza.

Además de la escasez del agua, tenemos como tema importante la contaminación de este recurso por diversas actividades antropogénicas, incluyendo las del sector industrial, agrícola y residencial. La contaminación ha alterado el ciclo regular del agua durante años y cada vez en mayores cantidades. Esto significa que la naturaleza provee de agua y se devuelve en su mayoría contaminada.

Se encuentran diferentes tipos de contaminación del agua, como la petrolera, la minera, la industrial, doméstica, etc. En este trabajo se centrará en la contaminación de las aguas residuales domésticas y su tratamiento como alternativa de solución.

En la actualidad muchas personas desconocen los procesos de reutilización de las aguas residuales y sus beneficios potenciales. Por ejemplo, en el caso de la agricultura, el agua residual adecuadamente tratada es un agua con nutrientes adecuados para las tierras de sembrado.

Alrededor del mundo existen casos actuales que son ejemplos exitosos del uso de tecnología moderna de tratamiento de aguas residuales, a pesar de las dificultades relacionadas con su entorno. Un ejemplo es Israel, un país donde su geografía limita la captación y suministro de agua a sus pobladores, pero con el uso de tecnologías modernas han hecho viable satisfacer la demanda de este recurso. Es así que cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales para el riego en la agricultura, teniendo éxito en sus productos. Otros casos exitosos en el mundo podrían ser ejemplos concretos del grado de desarrollo hídrico que podría evaluar y adecuar a la realidad peruana. Esta adecuación no debe ser solo una solución técnica, sino debe incluir un análisis de las implicaciones sociales, políticas y culturales.

Por otra parte, el crecimiento económico y el aumento de viviendas podrían generar colapsos en el sistema de alcantarillado nacional además de diferentes problemas hídricos. Estos problemas también podría ser una oportunidad de mejoramiento en el sistema de agua y desagüe, como se mostrará en los siguientes capítulos.

En el capítulo tres abordaremos el tema de ingeniería de aguas residuales, procesos, tecnologías y el estado de aplicación del tratamiento de aguas residuales en el mundo. Dicho capítulo también incluye la problemática del agua residual nacional y un planteamiento de alternativas viables para zonas urbanas.

En el desarrollo del capítulo cuatro se mostrará cómo las buenas ideas de mejora con ingeniería trazan un panorama donde la economía, sociedad y el medio ambiente pueden relacionarse y trabajar en conjunto.

En el capítulo cinco se centrará todo el problema del tratamiento de aguas residuales en soluciones viables, y se buscará fijar una solución específica para las zonas urbanas. Se verán las opciones de alternativas de mejora urbana en diferentes aspectos, las cuales son escasas, buscando optimizar la calidad de vida de los pobladores.

Finalmente, el capítulo seis será el producto de ideas del capítulo cuatro y cinco, donde se unificará el planteamiento alternativo del tratamiento de aguas residuales con el buen uso que se le dará a esta en zonas urbanas. Esta fusión dará como resultado el concepto de urbanizaciones sostenibles, es decir, zonas de población fija que generen beneficios propios.



CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA

La tesis fue elaborada en respuesta al estado actual del tratamiento del agua residual en el Perú. Durante los últimos tres años se ha podido observar y comparar experiencias en el alcantarillado de distintas partes del Perú, gracias a esto se ha podido ver las deficiencias y proponer mejoras específicas y generales.

Esta investigación tiene como objetivo plantear una alternativa de solución para el saneamiento nacional, teniendo como base experiencias exitosas en otras partes del mundo. Este trabajo es una contribución técnica, que reconoce una propuesta de ingeniería exitosa que incluye en el diseño y operación los aspectos social, económico y ambiental (Allenby, 2007). Para ello se trabajó con una metodología exhaustiva y ordenada, la cual consistió en:

a) Recopilación de datos e información.

Incluyó búsqueda literaria relacionada a la ingeniería de tratamientos de aguas residuales y ejemplos relacionados al manejo de las mismas. La información comenzó a ramificarse en diferentes aspectos que participaban del tratamiento de aguas residuales en magnitud global.

b) Estudio de la información encontrada.

Estudio amplio de todos los procesos que involucraban el tratamiento de aguas residuales, incluyendo las recomendaciones de los autores y sus puntos de vista, comparaciones que serviría para obtener una idea más clara de los alcances y el objetivo.

c) Trabajo de campo.

Durante la investigación se buscó información empírica que demostrara los hechos y realidades que ocurren actualmente en el Perú.

A continuación, en la tabla 2.1 se detalla los viajes realizados durante la investigación:

Tabla 2.1. Viajes realizados a plantas de tratamientos.

LUGAR	FECHA	PAÍS	DESCRIPCIÓN
Amazonas	Enero 2009	Perú	Visita a las Plantas de tratamiento Imhoff en Santa María de Nivea, Condorcanqui.
Lima	Mayo 2012	Perú	Plantas de tratamiento Lurín y Receptores de La Chira.
Guayaquil	Mayo 2012	Ecuador	Visita a la plantas de tratamiento en Portal El Sol, Villa Club y La Joya.
Lambayeque	Julio 2012	Perú	Plantas de tratamiento de La Victoria (Chiclayo), Pacora, Lambayeque y visita al Receptor de agua residual de Pimentel (Océano Pacífico).
Ica	Agosto 2012	Perú	Visita a Cámaras de bombeo en mal funcionamiento y plantas de tratamiento a las afueras de Ica (A la altura del aeropuerto).
Piura	Setiembre 2012	Perú	Ubicación de proyecto Las Palmeras.
Huancayo	Octubre 2012	Perú	Visita a las Plantas de tratamiento de Sapallanga y zonas de recepción del agua residual de Huancayo (Río Mantaro).

Se realizaron viajes a zonas de la costa, sierra y selva, con la idea de observar qué métodos se utilizan para el tratamiento de aguas residuales. La mayoría de los viajes se realizaron en importantes zonas urbanas de la costa, sin embargo, se realizaron algunas visitas a zonas rurales para corroborar datos estadísticos sobre el saneamiento nacional y contrastar información.

Además de los viajes a Lima y al interior del país, se tuvo la oportunidad de viajar a la provincia de Guayaquil en Ecuador. En este viaje se encontraron buenos ejemplos de tecnologías para mejorar el saneamiento urbano.

d) Entrevistas a especialistas técnicos, académicos, políticos e inversionistas, además de asistencia a exposiciones relacionadas al tratamiento de aguas residuales.

Se realizaron entrevistas no estructuradas donde el tema central fue buscar la opinión acerca de la situación actual y futura del saneamiento nacional, además de una apreciación con respecto al futuro según la tendencia mundial. Se buscó asumir posiciones desde el sector político, técnico, académico y económico. También se tomó bastante interés en escuchar las soluciones exitosas planteadas en otros países.

En la tabla 2.2 se señala las entrevistas en los diferentes sectores con las personas involucradas en el tema del tratamiento de aguas residuales:

Tabla 2.2. Entrevistas realizadas a personas de diferentes sectores relacionadas al tratamiento de aguas residuales.

SECTOR	CARGO	ENTIDAD	PAÍS	FECHA
Político	Alcalde	Municipalidad Provincial de Ica	Perú	Setiembre 2012
Político	Alcalde	Municipalidad Distrital de Sapallanga, Huancayo	Perú	Octubre 2012
Político	Ex Gerente General	Sedapal	Perú	Mayo 2012
Político	Presidente del Directorio	Sedapal	Perú	Mayo 2012
Político	Gerente General	EPS Grau	Perú	Mayo 2012
Político	Gerente General	EMAPICA	Perú	Agosto 2012
Político	Gerente de Ingeniería	EPS Grau	Perú	Mayo 2012
Político	Viceministro	Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento	Perú	Agosto 2012
Técnico	Gerente	Lycons	Perú	Mayo 2012
Técnico	Proyectista	HSE Sac	Perú	Agosto 2012
Técnico	Director Regional	Mer - Group	Israel	Octubre 2012
Técnico	Representante - Perú	Odis Asversa	Israel	Junio 2012
Técnico	Representante - Perú	Clearford	Canadá	Mayo 2012
Técnico	Gerente General	Codemet	Ecuador	Mayo 2012
Técnico	Gerente Técnico	Aguatuya	Bolivia	Abril 2012
Técnico	Supervisor	EMAPICA	Perú	Agosto 2012
Técnico	Supervisor	Nippon Koei LAC	Perú	Mayo 2012
Académico	Catedrático	Universidad Christian Albrecht, Kiel – Alemania	Alemania-Bolivia	Mayo 2012
Académico	Catedrático	Universidad Nacional de Ingeniería - Perú / Universidad de Wageningen- Holanda	Perú	Mayo 2012
Académico	Investigador	Universidad Nacional de Salta- Argentina / Universidad de Wageningen-Holanda	Argentina	Mayo 2012
Académico	Catedrático	Universidad Nacional de Ingeniería – Perú	Perú	Mayo 2012
Económico	Sub Gerente	JJC Inmobiliaria	Perú	Junio 2012
Económico	Gerente de Desarrollo Urbano	Inversiones Centenario	Perú	Abril 2012
Económico	Gerente de Operaciones	Paz Centenario Global	Perú	Mayo 2012

Además se asistió al Curso Internacional “Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales Domésticas e Industriales” (Mayo del 2012), y se tuvo sesiones de exposiciones de empresas dedicadas al alcantarillado en Guayaquil (Ecuador). En Perú, se tuvo exposiciones con invitados de diferentes sectores para buscar un proyecto viable y factible para inversionistas interesados.

e) Análisis crítico y técnico para generar conceptos fundamentados y realistas.

Gracias a toda la información analizada, se realizó un concepto sobre la situación actual en el Perú. Se documentó todos los puntos negativos del saneamiento nacional, a la vez que se contrastaron problemas del saneamiento actual con información de otros países donde habían tenido proyectos exitosos. Se comenzó a observar que al mismo tiempo de existir errores dentro de los proyectos, se contaba con muchos campos para poder subsanarlos de manera viable y factible. El análisis

crítico y técnico despertó conciencia en proyectar una alternativa de solución con herramientas del sector inmobiliario. Se utilizaron algunos contratiempos que presentó el sector de inversión para promocionar ideas de mejora, contribuyendo de manera directa al mejoramiento del saneamiento.

f) Análisis técnico y financiero de la urbanización sostenible.

En la actualidad, algunas empresas prestadoras de servicio de agua y desagüe restringen de factibilidades de servicios a inmobiliarias y debido a ello, estas buscan soluciones factibles y rentables. Estas soluciones para el saneamiento urbano no deberían generar pérdidas en sus ventas y deberían lograr concientizar al sector empresarial con la responsabilidad de contribuir al cuidado de medio ambiente. Se analiza la construcción de urbanizaciones con saneamiento sostenible, pequeñas urbes independientes que satisfacen necesidades del tratamiento de aguas residuales, sin tener problemas sociales, económicos ni ambientales. Para llegar a proponer estas ideas se planteó un análisis técnico y económico detallado que demuestre lo solvente que puede ser mantener una planta de tratamiento. Este análisis tiene como principal actor al ciudadano, al cual se le mostrará una solución acorde a su economía, con una serie de beneficios directos e indirectos que compensarán su cobro tarifario.

A continuación se mostrará el trabajo realizado mediante conceptos, información, estadísticas y conclusiones con las que se podrá discernir entre el futuro sin cambios y el futuro con una alternativa de mejora, las “Urbanizaciones Sostenibles”.

CAPÍTULO 3. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En este capítulo se describirán los procesos de las diferentes tecnologías disponibles para el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en el mundo. El capítulo también incluye un recuento de las tecnologías disponibles en el Perú y un análisis de la problemática del tratamiento de aguas residuales en el país.

3.1. TECNOLOGÍAS EXISTENTES Y COMUNES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de aguas residuales consta de etapas o procesos con diferentes características que contribuyen a un nivel de purificación. Dentro de los procesos del tratamiento se encuentra la autodepuración. En esta etapa, los microorganismos y algas comparten la función de descomponer los desechos, gracias a la metabolización de las sustancias. Es aquí cuando se transforma todas las sustancias simples en dióxido de carbono, nitrógeno, entre otras. También cabe señalar que dentro del proceso de autodepuración, se encuentra la acción de microorganismos para absorber sustancias orgánicas (Metcalf y Eddy, 1995).

A pesar de estos procesos de descomposición orgánica, debemos eliminar patógenos que causan enfermedades a la salud e higiene de las personas. Esta eliminación requiere de fases que tengan como resultado estándares que cuiden el bienestar humano y ambiental. Todas estas fases se realizarán dentro de una planta, llamada planta de tratamiento de aguas residuales. Es un área destinada a la recuperación del agua, mediante procesos físicos, químicos y biológicos. De acuerdo a la calidad de agua que se desea obtener en el proceso de reutilización se colocan más exigentes los estándares de calidad.

Con respecto a la planta de tratamiento, se deberá buscar en todo momento, un diseño eficiente y económico que satisfaga la necesidad de la población específica en un tiempo específico, incluyendo un plan de mantenimiento y revisión constante. En nuestra sociedad, hemos podido observar a través de la historia, la carencia de una cultura de operatividad y mantenimiento en los sistemas de agua y desagüe. Es así que también se busca en una planta de tratamiento, que el diseño se amolde a la realidad nacional, sin que esta involucre efectos secundarios como por ejemplo malos olores, que incomoden y hagan peligrar la salud de las personas que habitan cerca. Finalmente, en el diseño de una planta de tratamiento se busca tener mucho

cuidado en aspectos como el caudal, el uso final del agua tratada, el área empleada, la viabilidad económica, entre otros (FONAM, 2010).

A continuación se describirán los procesos que ocurren dentro de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, desde el pre-tratamiento, tratamiento primario y secundario, finalmente describir el tratamiento terciario, el cual no siempre es utilizado.

Las principales etapas, según *“Wastewater Engineering: Treatment, Disposal Reuse”* (Metcalf & Eddy, 1995), son:

a) Pre-tratamiento

El pre-tratamiento es un proceso mediante el cual se busca reducir y quitar las partículas sólidas que podrían causar problemas en los procesos físicos o biológicos. Es decir, se trata de descomponer el material en una cantidad y tamaño razonable, esto también involucra la separación de elementos que no son orgánicos. Dentro del pre-tratamiento se encuentran procedimientos que minimizan la carga sólida antes que entre al tratamiento primario para su mayor eficiencia, es así que se tiene:

- Desbaste

Procedimiento que consiste en la separación de partículas de tamaños considerables mediante el uso de rejillas. El tamaño de las partículas separadas es elegido de acuerdo al tipo de tratamiento posterior que se le dará. Se tienen diferentes tamaños entre los cuales se puede señalar como importantes los siguientes (FONAM, 2010):

- Desbaste fino: con separación libre entre barrotes de 10 – 25 mm.
- Desbaste grueso: con separación libre entre barrotes de 50 – 100 mm.

En cuanto a los barrotes, estos han de tener unos espesores mínimos según sea:

-Reja de gruesos: entre 12 – 25 mm.

-Reja de finos: entre 6 – 12 mm.

Además estas rejillas tienen características de su uso, como la limpieza manual o automática.

- Tamizado

El tamizado es un procedimiento similar al desbaste pero su calidad de separación de partículas es más minuciosa. Así tenemos dimensiones de orificios de paso del tamiz como (FONAM, 2010):

1.-Macrotamizado.- Se lleva a cabo sobre chapa perforada o enrejado metálico con paso superior a 0.2 mm. Se emplea para retener materias en suspensión, flotantes, semiflotantes, residuos vegetales o animales de tamaño entre 0,2 y varios milímetros.

2.-Microtamizado.- Se utiliza como material tela metálica o plástica de malla inferior a 100 micras. Es empleado para eliminar materias en suspensión muy pequeñas contenidas en aguas residuales pre tratadas. En casos especiales, los tamices se incluirán en el pre tratamiento de una estación depuradora.

- Desarenador

Los desarenadores son filtros que tienen por finalidad separar partículas superiores a 200 micras. Este procedimiento es necesario para evitar que los sedimentos entren a los equipos o bombas, además de proteger los aparatos de la abrasión. El sub proceso dará una eliminación del 90% (FONAM, 2010).

- Desaceitado y desengrasador

En esta etapa se tiene como objetivo eliminar grasas, aceites y materiales flotantes ligeros en el agua.

El desaceitado es un sub proceso que consiste en separar los materiales líquido-líquido, mientras que el desengrase separa los materiales sólido-líquido. En los dos casos se eliminan por la insuflación de aire, para desemulsionar las grasas y mejorar la flotabilidad.

Este proceso se podría realizar en los decantadores primarios, si estos están provistos de unas rasquetas superficiales de barrido. Sin embargo, la cantidad y el volumen de las partículas generarían problemas haciendo que el proceso sea ineficiente.

Si se junta el desaceitado y el desengrasador en el mismo compartimento, se sugiere tener una zona de tranquilización, donde tanto en la zona superficial como en la zona de fondo, se puedan evacuar los residuos que son indiferentes en el proceso (FONAM, 2010).

b) Tratamiento Primario

Después de haber retirado elementos sólidos de tamaños mayores, el tratamiento primario tiene como objetivo remover los sólidos orgánicos e inorgánicos

sedimentables, para disminuir la carga que se tratará biológicamente en el proceso posterior. Los procesos que involucran el tratamiento primario son (FONAM, 2010):

- Sedimentación

Este proceso depende de los pesos específicos de los sólidos, debido a que determinará su comportamiento. Algunos sólidos que tienen el peso específico mayor que el agua sedimentada pasarán a sedimentarse y las partículas que tiene peso específico menor flotarán.

También se puede encontrar la sedimentación floculenta que consiste en ir generando mayor velocidad en las partículas sólidas que van cayendo a la superficie por aumento de tamaño de las mismas. Este aumento de tamaño se origina generalmente por floculación, es decir por la acción de barrido o por turbulencias que tiene como resultado agrupar material (FONAM, 2010).

Finalmente se tiene la sedimentación primaria la cual tiene como objetivo el remover las partículas que son sedimentables.

- Coagulación y floculación

La coagulación y floculación tienen como objetivo retirar los sólidos en suspensión y las partículas coloidales. Debido a que estos procesos actúan casi simultáneamente, muchas veces no se logran diferenciar sus funciones. En el caso de la coagulación se genera la desestabilización de la suspensión coloidal y la floculación genera modificaciones en el transporte de sólidos, evitando que se junten y unan, tratando de minimizar las partículas.

La coagulación es un proceso que utiliza un reactivo químico llamado coagulante al cual se debe controlar su comportamiento de pH. Los coagulantes más utilizados en el mercado son el sulfato de alúmina, sulfato férrico, cloruro férrico (Metcalf y Eddy, 1995).

Los coagulantes metálicos son los más usados en la clarificación de aguas y eliminación de DBO y fosfatos de aguas residuales. Tiene como ventaja trabajar como coagulantes-floculantes al mismo tiempo (FONAM, 2010).

La floculación es un proceso de separación de líquido-sólido de las partículas suspendidas en aguas residuales. Este método sirve para remoción de grasas, aceites y sólidos de densidad baja. Para lograr que los sólidos lleguen a flotar de una manera artificial y con mayor velocidad, se busca ayuda de instrumentos como el compresor de aire, la válvula reductora de presión y el tanque de presión. El proceso de floculación se realiza inyectando aire a las aguas residuales crudas, o el efluente recirculado del tanque de flotación, este se

mezcla nuevamente con las aguas residuales crudas. Los floculantes más usados son los oxidantes, adsorbentes y sílice activa (FONAM, 2010).

Los factores que influyen en los procesos de coagulación y floculación son la velocidad, el pH y el tiempo. Estos factores pueden originar que las partículas se desintegren o se aglomeren. También cabe señalar que el pH es uno de los factores claves para la estabilización del proceso (FONAM, 2010).

A continuación se describirá una de las unidades principales donde se puede encontrar los procedimientos del tratamiento primario, el tanque Imhoff. Dicho tanque tiene como objetivo la remoción de los sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables, para reducir el material que pasará por el tratamiento secundario o biológico.

Los tanques Imhoff son unidades de sedimentación primaria que tienen como finalidad la remoción de sólidos suspendidos. Dentro de los tanques, en la parte inferior, se incorpora el digester de lodos. Son también llamados tanques de doble cámara.

El tanque Imhoff tiene un funcionamiento sencillo y no está sujeta al uso de partes mecánicas. Aunque si es necesario que antes de entrar al tanque, el material haya pasado por pre-tratamientos (como el cribado y remoción de arenas).

El tanque Imhoff tiene una forma rectangular y se compone de una cámara de sedimentación, una cámara de digestión de lodos, y el área de ventilación y acumulación de natas (FONAM, 2010).

Las aguas residuales entran a una cámara de sedimentación, donde se remueven los sedimentos y se resbalan por las paredes inclinadas. Cuando el material comienza a resbalar con destino al fondo esta pasa por una ranura con traslape, la cual entra a la cámara de digestión. El traslape desvía el material suspendido en el proceso de la digestión, hacia la cámara de natas o al área de ventilación. Estos tanques no cuentan con mecanismos que requieran mantenimiento pero sí se debe tener un régimen de cuidados con respecto a las espumas y a los lodos. Los lodos son retirados periódicamente al lecho de secado, allí se filtrará el líquido restante y el sólido permanecerá para finalmente utilizarlo para mejoramiento de los suelos (Metcalf y Eddy, 1995).

Es importante conocer los procesos llevados a cabo dentro del digester de lodos. Los lodos son dependientes de factores como el volumen residual tratado y la climatología. En el tema de la climatología, los lodos están propensos a generar con mayor rapidez reacciones como los malos olores o putrefacción

ante los cambios bruscos de temperatura (FONAM, 2010 / Metcalf & Eddy, 1995).

Cabe señalar que, en el tratamiento primario se pueden encontrar tanques de sedimentación y tanques de flotación, ambos por separado. En el caso del tanque de sedimentación, genera la acumulación de material mediante gravedad, esperando recolectar la mayor cantidad de material sólido residual en el fondo. Para el retiro temporal de los lodos, cada cierto tiempo de mantenimiento, se retira el material mediante equipo de bombeo, el cual también tendrá que ser especificado mediante diseño para no perjudicar los procesos del tanque. Finalmente el tanque de flotación, como su mismo nombre lo dice, trata de remover los materiales suspendidos, usando el aire como agente de flotación (Metcalf y Eddy, 1995).

c) Tratamiento secundario

La materia orgánica biodegradable en un proceso aerobio, sirve como nutriente en una población bacteriana proporcionando oxígeno y condiciones controladas. La materia orgánica será oxidada en este proceso, y a la vez se manifestarán bacterias que acompañarán el proceso para disminuir los contaminantes (Metcalf y Eddy, 1995). Según la última edición del Reglamento Nacional de Edificaciones, un tratamiento secundario incluye procesos biológicos con una eficiencia de remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) soluble mayor a 80% (RNE, 2006).

Para que la transformación biológica se ejecute de una manera más eficiente, se deberá contar con ciertas características que no deben dejarse de lado. El crecimiento bacteriano debe contar con ciertos parámetros como la temperatura (30° - 40°C), oxígeno disuelto (1-2 mg/lit), pH (6.5 -8.0), salinidad (menor a 3,000 ppm). También se debe considerar que actúan de forma inhibitoria sustancias tóxicas como Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), entre otros. Asimismo, las grasas y aceites en desengrasadores previos deben ser evitados (FONAM, 2010).

En el libro "Ingeniería de aguas residuales" de Metcalf & Eddy (1995), se señalan como procesos biológicos más comunes al proceso de lodos activados, laguna aireadas, filtros percoladores, biodiscos, y tanques de estabilización, los cuales son descritos a continuación:

- Lagunas aireadas

Son depósitos donde se trata el agua residual a manera de flujo continuo sin recirculación de los sólidos. Tiene como principal tarea convertir la materia

orgánica, mediante aireadores superficiales o difusores sumergidos que aportan oxígeno. La turbulencia creada por los aireadores tiene como finalidad mantener en suspensión el contenido del depósito. Después de un tiempo de retención, en un periodo de 3 a 6 días, el efluente puede resultar hasta la mitad del DBO de afluente. Por lo tanto, es necesario utilizar posteriormente un tanque decantador para eliminar mayor material orgánico por gravedad.

Se debe tener en consideración para el diseño de una laguna aireada, la eliminación de DBO, las características del efluente, la demanda de oxígeno, el efecto de temperatura, la demanda energética para el mezclado y la separación de sólidos (Metcalf & Eddy, 1995).

- Lagunas de estabilización

Conocido popularmente como lagunas de oxidación, son empleadas en muchas provincias del Perú como unidad principal de las plantas de tratamiento de aguas residuales, siendo la razón principal el bajo costo de construcción y mantenimiento.

Las lagunas de oxidación son cantidades de agua ubicadas en un tanque excavado en el terreno y pueden clasificarse de acuerdo a su actividad biológica en: aerobias, anaerobias o aerobia-anaerobia. Según Metcalf & Eddy (1995), el tratamiento más completo que se puede tener en aguas residuales domésticas es un sistema anaerobio seguido por un aerobio-anaerobio.

El tratamiento en lagunas de oxidación tiene como principal desventaja, la entrega de su efluente ya que se debería descargar el material tratado cuando las algas y nutrientes puedan ser asimilados por el receptor (RNE, 2006). Esto considera un mantenimiento y evaluación constante, situación que en el Perú no ocurre. Cada vez que se considere descargar el material tratado, se deberá tomar muestras del efluente y compatibilizarlas con el receptor. Muchas veces este es el principal motivo de contaminación al ambiente y daño al ecosistema.

- Lodos activados

Este proceso fue desarrollado en Inglaterra en 1914 por Ardem y Lockett, y su nombre proviene de la producción de una masa activada de microorganismos capaz de estabilizar un residuo por vía aeróbica (Metcalf y Eddy, 1995).

Este sistema funciona con la instalación previa de material que genere bacterias aerobias. Este ambiente se puede lograr ingresando aire con un soplador y difusores, pudiéndose también emplear difusores mecánicos. Al entrar, las aguas servidas se decantan y gracias al efecto de una bomba genera la

suspensión del material. Una vez suspendido el material se pone en contacto con el oxígeno, luego la materia degradada flocula y vuelve a decantarse. Es aquí donde la biomasa sedimentada se devuelve para ser reutilizada.

En el proceso de los lodos activados, las bacterias son los principales actores debido a que ellos son quienes degradan la materia orgánica del agua residual entrante. En el reactor aireado, las bacterias facultativas y aerobias se encargan de utilizar la materia orgánica para generar energía, esto para la síntesis de la materia orgánica como masa biológica.

El proceso de lodos activados es un método muy empleado en distintas partes del mundo, debido a su buen funcionamiento y reuso del lodo. Uno de sus puntos más desfavorables es la gran cantidad de energía necesaria para su operatividad. En algunos países no ha generado prácticas exitosas debido al mal mantenimiento que se le brinda (Arthrobacter del Bajío S.A. de C.V., 2005).

- Biodiscos

Los reactores biológicos rotativos de contacto, más conocidos como biodiscos, es otro ejemplo donde se asume un tratamiento biológico aerobio. Este proceso se compone de una serie de discos circulares de poliestireno, o cloruro de polivinilo, situados sobre el mismo eje, la distancia entre cada disco es relativamente corta (Metcalf y Eddy, 1995).

Su operación se basa, fundamentalmente, en la posición de los discos parcialmente sumergidos y sus giros lentos. El crecimiento de la película biológica va a la par del movimiento giratorio de los discos, esto contribuye a que la película se encuentre en contacto directo con la materia orgánica y con la atmósfera. Al estar en contacto con la atmósfera induce a la transferencia de oxígeno y mantiene a la biomasa en condiciones aerobias satisfactorias (Metcalf & Eddy, 1995).

Estas rotaciones generan eliminación de la materia sólida mediante esfuerzos cortantes. Además del tratamiento secundario, los biodiscos pueden ser usados para la nitrificación y desnitrificación estacionales o permanentes (Metcalf & Eddy, 1995).

- Filtros percoladores

Según Metcalf & Eddy (1995), el primer filtro percolador se puso en operación en Inglaterra en 1893. La idea nació del uso de estanques impermeables, donde se adicionaba una capa de piedra machacada. Después de esto, se vertían las aguas residuales por la parte superior, generando que se tenga contacto con el ambiente por cierto tiempo. Luego se dejaba drenar y se dejaba en reposo

antes de empezar nuevamente con el proceso. La duración de los ciclos se estimaba en 12 horas, de las cuales 6 horas se empleaba para poner el material en contacto con la atmósfera (Metcalf y Eddy, 1995).

El filtro percolador actual consiste en un lecho constituido por un medio permeable, donde los microorganismos se adhieren y a través del cual percola el agua residual (Metcalf y Eddy, 1995). El medio filtrante puede estar compuesto por piedras o diferentes materiales plásticos. Es muy usado el filtro de piedra el cual tiene forma circular y reparte el agua residual mediante el distribuidor rotatorio.

Los filtros constan de un drenaje inferior que recolecta el agua tratada. El agua tratada pasa a un tanque sedimentador, donde se genera la separación de algunos materiales sólidos restantes. Finalmente, el agua tratada pasa a ser reutilizada, mientras que los sólidos sedimentados logran generar una película biológica, la cual servirá para minimizar la carga biológica y maximizar la reducción de lodo (Metcalf y Eddy, 1995).

A continuación se describirá un tratamiento secundario anaerobio, el cual aun no es muy usado en Perú:

- Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente (RAFA o UASB)

El análisis y desarrollo de esta tecnología se debió gracias a los estudios de Gatze Lettinga en Holanda a fines de los años 70, y por su manera simple de funcionamiento, ha sido adoptado en muchos países, por ejemplo Bolivia, México, Argentina, Marruecos, entre otros (Lucas Seghezzo, 2012). Su funcionamiento tiene como principal característica el uso de la digestión anaerobia, es decir, la biomasa trabaja su descomposición mediante microorganismos anaerobios (bacterias). Así tenemos tres grandes grupos tróficos y cuatro pasos de transformación (Madigan, 1997; Van Haandel, 1994):

- 1.- Hidrólisis.- Grupo I – Bacterias Hidrolíticas.
- 2.- Acidogénesis.- Grupo I – Bacterias Fermentivas.
- 3.- Acetogénesis.- Grupo II – Bacterias Acetogénicas.
- 4.- Metanogénesis.- Grupo III – Bacterias Metanogénicas.

Dentro del reactor, el agua es introducida por la parte inferior, la cual fluye de manera ascendente, encontrándose con un manto de lodos constituidos por

granos o flóculos. Estos granos o flóculos cuentan con una actividad metanogénica muy elevada, por lo que su funcionamiento es óptimo. Los gases producidos, como el metano y dióxido de carbono, recirculan dentro del reactor ayudando al mantenimiento de los gránulos adhiriéndose a las partículas biológicas. Luego, el gas libre es conducido a la parte superior del reactor. Finalmente, el agua tratada es conducida hacia filtros para generar mayor limpieza antes de reutilizarla y la parte sólida decantada pasa a ser parte de la película o manto generado dentro del reactor. Para que parte de estas partículas asciendan para encontrarse con el manto en suspensión es necesario que la velocidad de flujo ascendente se encuentre entre los rangos de 0.6 y 0.9 m/h (RNE, 2006; Rodríguez, 2004; Seghezzo, 2012).

Un punto importante en el diseño de este reactor es la distribución del agua residual. Al generar una mala distribución se pueden generar zonas donde el manto de lodos no se ve alimentado, y esto generaría la parcial eficiencia del sistema (Rodríguez, 2004).

Los estudios desarrollados por Lettinga muestran la factibilidad económica de este tipo de reactores. Estos tienen como ventajas el menor costo de inversión (implantación y manutención), menores gastos de energía por mantenimiento, y simplicidad en el funcionamiento (Lettinga, 2001). Este reactor al no tener mecanismos dinámicos se convierte en un sistema muy fácil de operar. Otra ventaja que muestra el RAFA con respecto a otros sistemas dentro de zonas en comunidades urbanas de clima tropical, es la intensidad de la producción de metano. Gracias a ello, se puede obtener biogás, el cual llevado a un manejo consciente podría ser una nueva fuente de energía sostenible. Este tipo de reactores son utilizados tanto para aguas residuales industriales como domésticas (Lettinga, 2001).

A pesar de ser una tecnología que genera muy buenos resultados, empleando el mínimo costo de mantenimiento después de construida, esta planta cuenta con dos desventajas, las cuales deben ser asumidas como puntos importantes para el control frecuente de la misma. Estas desventajas son:

1.- Arranque de reactores anaerobios

Se debe generar un ambiente propenso para desarrollar el funcionamiento del reactor. Se debe contar con inóculos eficientes para que su arranque sea el inicio temprano del proceso microbiológico. Si no se toman las medidas correspondientes, el arranque de los reactores podría tomar más del tiempo estimado para que comience a funcionar (Seghezzo, 2012).

2.- Tener mucho cuidado con el pH.

Es mejor contar con un tanque desengrasador antes de llegar al proceso del reactor. Si por alguna razón, la tasa de remoción de los ácidos grasos volátiles a través de la metalogénesis no acompaña a la remoción de dichos ácidos, puede generarse inestabilidad, y por ende, inhibición de las bacterias metanogénicas causando baja en el pH. Esto es solucionable manteniendo una alta capacidad metanogénica y una buena capacidad buffer en el sistema, teniendo una frecuente toma de datos para conocer las variaciones del pH (Seghezzo, 2012).

Antes de continuar con los tratamientos terciarios, se presentarán las ventajas y desventajas de los tratamientos aerobios y anaerobios en el Perú. Una de las principales diferencias es el tema de la rentabilidad económica, este punto es importante ya que determina lo real que puede ser construir una planta de tratamiento en alguna comunidad. Los tratamientos aerobios como lagunas de estabilización o lagunas de aireación, a pesar de no generar mayores costos en su construcción y operatividad, tienen como principal peligro generar un foco infeccioso en caso no se lleve el mantenimiento adecuado. Son grandes almacenes de material orgánico, donde se espera que los microorganismos y el oxígeno reaccionen (SUNASS, 2008).

En el caso de los métodos aerobios que dependen de mecanismos, como lodos activados o tanques SBR (Sequencing Batch Reactor), son muy exitosos de acuerdo a la eficiencia y cuidado del mantenimiento. Sin embargo, su principal desventaja es el costo del mantenimiento y el costo de la energía empleada. Este tipo de plantas de tratamiento tendrán que ser evaluadas con respecto a la inversión y el reembolso de dinero para poder mantener su operatividad (Metcalf y Eddy, 1995).

En la tabla 3.1, se pueden observar más características que diferencian los tratamientos aerobios y anaerobios, desde su eficiencia, operatividad y rentabilidad.

Tabla 3.1. Tratamiento aerobio vs tratamiento anaerobio (Adaptado de Arce, 1997).

AEROBIO	ANAEROBIO
Mayor eficiencia de remoción.	Menor producción de lodos.
Operatividad comprobada.	Menores costos de operación.
50% de C es convertido en CO ₂ , 40-50% es incorporado dentro de la masa microbiana.	95% de C es convertido en biogás; 5% es transformado en biomasa microbiana.
60% de la energía es almacenada en la nueva biomasa, 40% es perdido como calor.	90% de la energía es retenida como CH ₄ , 3-5% es perdido como calor, 5-7% es almacenada en la biomasa.
Ingreso de elevada energía para aireación.	No requiere energía.
Limitación de cargas orgánicas.	Acepta altas cargas orgánicas.
Se requiere adición de nutrientes.	Degrada compuestos policlorados.
Requerimiento de grandes áreas.	Requerimiento bajo de nutrientes.
Sensible a economía de escala.	Se requiere pequeña área superficial.
Períodos de arranque cortos.	Largos periodos de arranque.

d) Tratamiento terciario

El principal objetivo del tratamiento terciario es llegar a cumplir el estándar de calidad de agua efluente de la planta de tratamiento para no generar contaminación al receptor o ser adecuada para su reutilización, según sea el caso. Muchas veces suele pasar el agua residual del tratamiento secundario con algunos microorganismos patógenos, o agua tratada con mal olor, mal color y con diferentes características con las que no sería adecuado reutilizarse, es por ello que se debe tener un tratamiento final para dar seguridad a las comunidades.

De acuerdo al tipo de reutilización, se debe cumplir con la eliminación de ciertos microorganismos, es así que los tratamientos pueden pasar de los más a menos estrictos. Se pueden utilizar los métodos de cloración, filtros con material apropiado, humedal artificial de flujo sub-superficial, radiación UV, etc. (Metcalf & Eddy, 1995).

3.2. TECNOLOGÍAS ACTUALES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN ALGUNAS CIUDADES DEL MUNDO

La implementación de tecnologías en el tema de tratamiento de aguas residuales ha ido creciendo a través de los años, en especial en zonas donde el agua como recurso es escasa.

El 97% del agua en el mundo es salada y solo el 3% es dulce. Se sabe que aproximadamente el 10% del agua dulce anual mundial se utiliza para las necesidades humanas con tratamiento mínimo (UICN, 2006). Siendo reducida la cantidad de agua que se puede aprovechar sin menores riesgos, se escucha hablar sobre el agotamiento del agua. Es decir, en esta época se está luchando por dos problemas importantes que involucran al agua: la contaminación y la escasez.

A través de la historia, se ha generado una obstrucción y contaminación paulatina en la fase de entrega del receptor de agua original. Es decir, se devuelve el agua empleada, tanto en forma industrial como doméstica, de manera contaminada a los ríos u océanos. Recordemos que las aguas residuales industriales generaban mayor daño en las personas y al ecosistema, ya que inserta químicos o minerales dañinos a la salud. Contra la contaminación del agua por actividades industriales y domésticas se requiere tratamientos previos a su envío a los receptores originales. En el siglo XIX, se comenzaron a experimentar con tecnologías que sugerían el uso del oxígeno (Seguí, 2004). Se buscaba oxidar el material orgánico para disminuir los patógenos y bacterias del agua contaminada antes de devolverla a ríos o mares. Aunque la idea reflejaba una conciencia de mejora sobre el saneamiento global, estos métodos no eran los más eficientes. Algunos países aplicaron procesos como las lagunas aireadas o de oxidación, los cuales funcionaban como almacenes de aguas residuales sin contar con el mantenimiento adecuado. A pesar de esto, se despertó interés en científicos por la mejora de la calidad de saneamiento, por lo que personas como el Dr. Lettinga en Holanda investigaron técnicas anaerobias en el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales (Seghezzeo, 2012).

En el pasado, primero llamó mayor atención la contaminación por los desechos industriales dentro del agua. Los organismos mundiales se pusieron de pie para establecer medidas de régimen contra las industrias o fábricas que generaban contaminación. Es así que en la actualidad, se cuentan con normas y estándares que generan orden en el tratamiento de aguas residuales industriales (Seguí, 2004).

A pesar que el tema de aguas residuales domésticas se tomaba con un poco más de flexibilidad, en la actualidad se vio afectada por el área de pérdida y las zonas infecciosas generadas por las plantas de tratamiento mal manejadas. Pero muchos tuvieron mayor visión, y se proyectaron a generar ganancias con el tratamiento de aguas residuales domésticas. Por ello muchos países han invertido millones de dólares en generar tecnologías muy avanzadas para diferentes vías de reutilización,

por ejemplo, el riego de parques y jardines hasta la potabilización de las aguas residuales para consumo humano de la más alta calidad (Seguí, 2004).

Estos avances han ayudado a minimizar la contaminación del agua y maximizar el uso de este recurso, además de generar una mejor calidad de vida a las personas. Es importante recalcar que todas las tecnologías que se describirán en este capítulo han sido destinadas, en su mayoría, hacia países con gran índice de PBI (Producto Bruto Interno) per cápita o donde la escasez de agua ha sido reflejada en inversiones exitosas de investigación de mejoras en las plantas de tratamiento.

Algunos casos mundiales, donde la tecnología ha ido creciendo y generando ejemplos de mejora en el tratamiento de aguas residuales, son Israel, Singapur, entre otros. A continuación se describirán cada uno de estos casos:

a) Israel

Al hablar de temas referidos al agua y al entorno global, es inevitable hablar de Israel, ya que es uno de los países que cuenta con una geografía y morfología que no contribuyen a la fácil adquisición de agua. Es por ello que el gobierno, a través de la historia, apostó por la investigación en temas relacionados a las formas y a la optimización del tratamiento del agua obtenida, además de mejorar continuamente la tecnología de la reutilización del agua en actividades de mejora de las ciudades y los negocios.

En Israel, el tema de tratamiento de aguas es un negocio rentable y por ello, gran parte de sus inversiones las destinan a investigaciones. El gobierno trabaja de la mano con las universidades y centros de investigación referidas a dicho tema e impulsan estudios que puedan generar mejoras para la población. Esto tiene como producto, tecnología moderna para fortalecer unidades de negocio importantes como la agricultura, ganadería, entre otros (Seguí, 2004).

Si bien su tecnología se basa fundamentalmente en plantas de tratamiento de lodos activados además de plantas desalinizadoras, algunas firmas buscan innovar en el mejoramiento de las plantas y la instalación de nuevas tecnologías, reduciendo espacios y maximizando ganancias.

Uno de los ejemplos es el Sistema de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales (SRRAR) de Dan, el más grande de Israel. Produce diariamente aproximadamente 330,000 m³ de aguas tratadas a partir de las aguas residuales generadas por una población aproximada de 2 millones de personas. El agua es

tratada por lodos activados convencionales, procesos de nitrificación-desnitrificación y la conducción a las cuencas de recarga. Finalmente, el agua tratada se reutiliza para la irrigación de 15,000 ha. de zonas agrícolas (Friedler, 1999).

b) México

Cuenta con plantas de tratamiento de aguas residuales, donde la tecnología adoptada en su mayoría son lodos activados. En los años 80 se comenzó a ver la problemática acerca del mal mantenimiento que se le daban a las plantas de tratamiento existentes. Poco a poco fueron a través de la historia, mejorando su calidad de funcionamiento e ideando nuevas formas de tecnologías (Adaptado de Arthrobacter del Bajío S.A. de C.V., 2005).

Dentro de las tecnologías que se fueron implementando, en 1981 el ingeniero químico Jorge Santoyo presidió una investigación para mejorar el sistema de tratamiento de aguas residuales en costos, mantenimiento y eficiencia. Finalmente el nombre de su empresa fue Arthrobacter del Bajío S.A. de C.V.

Dicha investigación tuvo como centro, el manejo de la degradación total de lodos. Esta nueva tecnología se creó con la finalidad de utilizarla para tratar grandes volúmenes de agua en corto tiempo.

A continuación en la tabla 3.2 se mostrará los principales procesos del sistema de tratamiento biológico de Arthrobacter.:

Tabla 3.2. Procesos en la Planta de Tratamiento de Arthrobacter del Bajío S.A. de C.V.
(Adaptado de Arthrobacter del Bajío S.A. de C.V., 2005).

Proceso	Descripción
Turboaereación de alta eficiencia	Cuando el agua residual entra a la PTAR, se encuentra en una primera cámara en donde se genera una corriente de aire. Esta corriente debe ser capaz de generar una superficie de contacto óptimo de la materia con respecto a los microorganismos de la masa biótica. Esto tendrá como resultado una máxima eficiencia y una mayor rapidez para la degradación de los contaminantes orgánicos. Este proceso se repite transfiriéndose el material tratado de reactor hasta lograr una degradación del 99%.
Sistema modular en cascada	El sistema modular en cascada es la ubicación de reactores continuos, adecuados para el volumen de agua a tratar, haciendo uso del factor de velocidad generado por gravedad. Se construyen reactores planos continuos, pero con diferentes profundidades generando un sistema cascada. Esto genera velocidad necesaria para no ser dependientes de equipo adicional de bombeo. Este sistema reduce la mano de obra y la operatividad de maquinaria para el bombeo del agua tratada de un lugar a otro. Además en caso el agua tratada aumente la ampliación de la planta será mínima.
Biodegradación total	Una particularidad del sistema es generar solución al tratamiento de lodos. Las tecnologías tienden a incrementar tratamientos especiales para degradar los lodos. Arthrobacter cuenta con un diseño de reuso de lodos. Santoyo puso en marcha un proyecto donde los lodos, captados en el ultimo reactor de turbo aireación, se transporten hacia la primera cámara mediante una bomba. Al transportar los lodos hacia la primera cámara les da el trabajo de ser parte de la digestión del material orgánico. Las características aeróbicas del sistema de turboaereación hacen posible que haya bajas concentraciones de carga biológica.

La tecnología mexicana de Arthrobacter ha sido empleada para empresas industriales mas no en zonas residenciales. Sería importante tenerla en consideración para proyectos urbanos, ya que su funcionamiento y operatividad tienen una ambiciosa meta de generar la menor cantidad de material orgánico agresivo y la reutilización del agua tratada.

c) Corea del Sur

Las autoridades regionales y municipales en Corea sintieron el compromiso de buscar soluciones al tema del tratamiento de aguas residuales, esto debido a que no solo buscaban generar un sistema amigable al ambiente, sino también reducir los costos de mantenimiento y equipamientos de las instalaciones de las plantas (Towoo, 2012).

La municipalidad de Gwang-Ju en 1995, invirtió alrededor de 200,000 dólares en la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales con un sistema de oxidación por contacto del tipo revestimiento del suelo. La instalación de la planta

de tratamiento se localizó debajo del parque Bienal, Gwang-Ju. Actualmente este parque es visitado por 600,000 personas cada año, y ningún visitante asume que se encuentra encima de instalaciones que normalmente son agresivas al ambiente. El sistema de aguas residuales tiene capacidad para 140 toneladas al día.

Este sistema purifica el agua a través de microorganismos. Su estructura de funcionamiento depende del suelo, del césped y de microorganismos, no contiene equipos mecánicos y no es dependiente de agentes químicos para la purificación. Sin haberse realizado ningún mantenimiento, su nivel de DBO sigue siendo 10 ppm en promedio. Este caso se tomó como emblema para contrastar la planta de tratamiento de No-Nimby, la cual ha sido referente de gran inversión, grandes problemas y pocos beneficios.

Después de ver este caso, Corea del Sur invirtió en gran mayoría por esta tecnología. En la actualidad se construyeron alrededor de 200 plantas en todo el país ubicadas en cuarteles militares, proyectos viales, parques nacionales, etc. Se sabe que en Yanpyong-Gun y Gyunggi-Do las aguas residuales son tratadas en una cantidad de 900 toneladas al día con un nivel de demanda biológica de oxígeno de 5 ppm (Towoo, 2012).

A pesar de las mejoras ocasionadas por esta nueva tecnología, algunas zonas de Corea del Sur tienen temor de cambiar una tecnología algo conocida por otra innovadora. Este temor se ve reflejado en fuertes gastos en plantas de tratamiento del tipo convencional de lodos activados.

d) Singapur

Es dentro de la investigación, el caso donde la tecnología cumple el rol máximo de beneficio al hombre y al ambiente generando ganancias y bienestar común. Singapur apostó por una empresa de tratamiento de aguas residuales llamada "Newater". Esta empresa consta de fundamentos de mejora en la vida de las personas sin perjudicar al medio ambiente (ICEX, 2005).

Su propuesta significó un cambio radical en el tratamiento de aguas residuales. Newater buscaba tratar el agua residual hasta el punto más alto, reciclándola en agua para consumo humano. Se buscaba tener una empresa de agua que genere agua de la más alta calidad. Este tema para la empresa fue muy complicado por el tema social, ya que la población generó repudio ante la idea. Luego la empresa Newater se concentró en campañas masivas de publicidad y de enseñanza social sobre la tecnología generada y los beneficios que se lograrían. El público aceptó

finalmente la idea, y se comenzó a perfeccionar año tras año en temas de mantenimiento y calidad. Newater es el producto de un proceso que comienza con el uso del agua residual que ha tenido un pre-tratamiento en las plantas EDAR (Estaciones depuradoras de aguas residuales). Cuando llega el agua tratada a las plantas de Newater pasa por un proceso de microfiltración y otro por osmosis inversa utilizando una serie de membranas semipermeables. Con esta etapa la calidad del agua tiene estándares más altos que los solicitados por el OMS (Organismo Mundial de la Salud). A pesar de ello, el agua pasa por un último proceso de desinfección por rayos UV. El agua obtenida es mezclada con productos químicos alcalinos para equilibrar su pH (ICEX, 2005).

Singapur es un ejemplo mundial donde no solamente genera nuevas tecnologías en tratamiento de aguas residuales y adquiere altas ganancias en inversiones empresariales dentro de sistemas olvidados dentro de la sociedad, sino también le da mucha importancia al aspecto social. El área de responsabilidad social y marketing trabajaron en conjunto, buscando generar amistad entre la tecnología y el público.

e) Bolivia

Un caso singular se encuentra en la comunidad de Lomas de Pagador en Bolivia, país que no se caracteriza por tener un alto índice PBI per capita, ni una buena infraestructura de saneamiento. Según el OMS, Bolivia en el 2004 contaba con el 85% de pobladores que tenían acceso al agua potable, mientras que en saneamiento contaba con un 46% (OMS y UNICEF, 2007). La comunidad de Lomas de Pagador cuenta con servicio ininterrumpido de agua potable. En el 2010, se construye el sistema de alcantarillado sanitario y la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas. El sistema de alcantarillado tiene como característica principal la reutilización del agua residual para el riego de áreas verdes. Es importante mencionar que en el pasado el sistema de agua y desagüe de Lomas de Pagador era el reflejo de la cultura inconsciente de un país del tercer mundo en donde no se daba la importancia al tema de tratamiento de aguas residuales, por lo que muchas zonas de agricultura se veían perjudicadas por zonas contaminadas de agua y focos de enfermedades, entre otras cosas.

Hace poco tiempo, en el 2007, la investigadora Margot Franken publicó un libro sobre investigadores y propuestas de mejora en el saneamiento en ese país. Sus ideas sirvieron para llamar a conciencia a investigadores y proponer ideas de mejora. Pero no se realizó mayores cambios hasta el 2010, en que el programa

AguaTuya realizó junto con una fundación de investigación de Suecia, una planta de tratamiento de aguas servidas en Lomas del Pagador, Cochabamba (Franken, 2012). Este sistema no solo fomentaba la mejora en tema de salud e higiene en parte de la ciudad de Cochabamba, sino que también mejoraba la calidad de vida comunal debido a que generaba reforestación en zonas pobres de la ciudad. Recordemos que las áreas verdes no solo brindan oxígeno y mejoras en el ambiente, sino que el impacto visual del hogar genera mayor satisfacción emocional en los residentes.

Actualmente, Lomas de Pagador, cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales que no solo integra a esta sociedad a adquirir un sistema básico, sino que brinda mejoras en su calidad de vida generando paisajismo con áreas verdes.

La tabla 3.3 explica los procesos empleados en la planta de tratamiento de aguas residuales de esta comunidad.

Tabla 3.3. Procesos en la PTAR Cochabamba, Bolivia (Adaptado de Fundación AguaTuya, 2011).

Tratamiento	Proceso	Descripción
Pre-Tratamiento	Cámara de rejas	Reja fija para emoción de materiales sólidos mayores a 1".
Tratamiento Primario	Tanque Desgrasadora	Remueve materiales ácidos grasos volátiles en suspensión del agua residual por medio de flotación natural.
Tratamiento Secundario	Bioreactor anaerobio	Este reactor anaerobio de flujo ascendiente cuenta con algunas modificaciones internas. Aunque la finalidad es similar al RAFA convencional, remueve la carga orgánica del agua residual en ausencia del oxígeno.
Tratamiento Terciario	Biofiltro	Mediante humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial remueve cargas orgánicas y nutrientes (como el potasio y nitrógeno). Los humedales utilizan grava y arena gruesa para generar diferentes filtros consecutivos.
	Laguna de pulimento	Remueve material traza orgánica e inorgánica de los biofiltros.
	Lecho de secado de lodos	Remoción del lodo orgánico decantado en el bioreactor.

Una de las características importantes de esta planta es el uso de tecnología anaerobia, donde debido a que esta tecnología no suele ser empleada en zonas del tercer mundo, normalmente se utilizan sistemas aerobios. La tecnología anaerobia empleada además de minimizar en gran proporción los patógenos y materiales orgánicos, cuenta con un tratamiento terciario para su reutilización.

3.3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN EL PERÚ Y SUS PRINCIPALES PROBLEMAS - SITUACIÓN ACTUAL

Dando un breve repaso a la problemática del agua y tratamiento de aguas a nivel mundial, el tema no tendría tanta novedad ni interés si no afectara vidas. A comienzos del siglo XXI, uno de cada cinco habitantes de los países en desarrollo, alrededor de 1,100 millones de personas, no dispone de acceso a agua limpia. Alrededor de 2,600 millones de personas, casi la mitad de la población total de países en desarrollo, no dispone de acceso a un saneamiento básico (PNUD 2006). Es por ello que se busca concientizar a sociedades que aun gozan del privilegio de tener agua. Dentro de esas sociedades que no están llevando un uso consciente del agua se encuentra el Perú.

En el Perú se utiliza agua potable para usos domésticos, por ejemplo en la visita de campo en la zona de Huacachina en Ica, donde el agua es un recurso limitado, aun se pueden observar personas regando veredas y pistas con agua potable. Estos casos también se pudieron ver en Lambayeque y Carabayllo en Lima, dando idea de cómo en zonas o provincias emergentes no cuentan con programas sociales ante la problemática del agua.

Otra característica del saneamiento que se pudo percibir en Ica fueron los constantes malos olores, producto de las cámaras de bombeo de desagüe, o instalaciones que no han llevado un mantenimiento adecuado. El tema del alcantarillado actual en Perú engloba una problemática de la cual los peruanos no tienen conocimiento. No se cuenta con una entidad prestadora de servicios de saneamiento (EPS) adecuada, que haya realizado grandes proyectos que engloben investigación, desarrollo y prosperidad.

En la actualidad, el tema de saneamiento en el Perú es una problemática que tiene como principales características: desactualización de plantas de tratamiento, tuberías en mal estado, ningún convenio con universidades para la investigación de mejoras, capítulos del reglamento nacional de edificaciones (RNE) sin mejoras ni cambios, entre otros. Recordemos que dentro de las metas del milenio en el 2005, se propuso las mejoras en el saneamiento nacional como se muestra en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Estado de cumplimiento de las Metas del Milenio a nivel nacional en 2005 (Fuente: Ministerio de Vivienda, 2006).

Servicio	Cobertura		
	1990	2005	2015
Saneamiento	54%	57%	77%
Tratamiento	5%	22%	100%

Los avances en el Perú con respecto a lo proyectado para el 2015, se han ido reprogramando. Ello generó que el gobierno se dé cuenta de la realidad, y la verdadera preocupación para el futuro. En la tabla 3.5 se puede ver las metas que las entidades prestadoras de servicio se trazaron para buscar una gran eficiencia para el 2015.

Tabla 3.5. Metas del Milenio en Saneamiento bajo la administración de las EPS. (Fuente: Ministerio de Vivienda, 2006).

Grupo	Cobertura proyectada		
	2005 (base)	2010	2015
Servicio de Alcantarillado			
SEDAPAL	0.84	89%	95%
EPS grandes	0.71	75%	83%
EPS medianas	0.63	70%	80%
EPS pequeñas	0.58	52%	65%
Tratamiento de aguas residuales			
SEDAPAL	0.10	40%	100%
EPS grandes	0.43	72%	100%
EPS medianas	0.33	66%	100%
EPS pequeñas	0.06	53%	100%

En el caso del tratamiento de aguas residuales, se proyectaba llegar al 2015 con una eficiencia impecable en todas las EPS. En el 2006, se trató de buscar soluciones al problema de saneamiento mediante cifras, mas no en obras. Nunca se buscó un plan estratégico de mejora a largo plazo, minimizando las deficiencias del sistema. Tampoco se evaluó la verdadera realidad del saneamiento nacional debido a que no se cuenta con datos precisos en las plantas para determinar los volúmenes de tratamiento.

Ejemplos de casos con relación a estas deficiencias en el tratamiento de aguas residuales se pueden encontrar en sectores como el distrito de Lambayeque, en el departamento del mismo nombre. A espaldas de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo se encuentran instaladas plantas de tratamiento, bajo la tecnología de

laguna de oxidación. En la foto 1 del ANEXO 1 – FOTOGRAFÍAS, las lagunas además de su función para descomposición del material orgánico, se han convertido en un foco de malos olores y depósito de aguas residuales.

En el caso de Huancayo, muy cerca de las lagunas de oxidación, se encuentran zonas de cultivo, canales y población, expuestas a enfermedades, malos olores y contacto de los animales, por ejemplo las vacas beben del agua residual mal tratada de las lagunas de oxidación de Sapallanga.

Como en Lambayeque y Huancayo, los casos en Lima se encuentran en mayor volumen debido a su mayor población, a la cantidad y calidad de las plantas de tratamiento. Lima cuenta con plantas de tratamiento, en su mayoría con tecnología aerobia. A pesar de ser una tecnología empleado en el siglo XIX en Londres, sigue siendo la principal alternativa de las tecnologías en Perú.

Desde el año 2000, se comenzaron a propagar reportajes donde se ven las realidades de los efluentes en las costas limeñas (Frecuencia Latina, 2000). Se contamina de manera indiscriminada el mar de donde se come y son usadas como zona de recreación para las familias limeñas. Lima tiene las playas como uno de sus atractivos turísticos y además de contar con gran tradición de comida marina, se cuenta con uno de los orgullos del deporte nacional, el surf. A pesar de eso, como reportó el 3 de Junio del 2007 el programa Sétimo Día de Frecuencia Latina, el colector de la Chira genera contaminación indiscriminada al mar limeño (Frecuencia Latina, 2000). El efluente antes de ser arrojado al mar no es tratado adecuadamente, ni siquiera eliminando los patógenos exigentes en las normas de salud. En el reportaje también se observó como a pocos metros, los pescadores no dejan de hacer su labor y retiran peces para ser comercializados de la manera más natural.

La tecnología elegida para la planta de tratamiento de Chira son “REJAS GRUESAS” (Fondo Nacional del Ambiente-Perú, 2008). Esto quiere decir, que el único tratamiento que se le da al agua residual es la separación de materiales de gran tamaño. Después de este tratamiento pasa automáticamente a devolverse al mar para completar el ciclo regular del agua.

Uno de los puntos claves de cambio significa llevar un registro de toma de datos constantes en cada planta de tratamiento. En muchos estudios o reportes no se han agregado datos de avance en las plantas de tratamiento. Esto debido a la falta de

responsabilidad para la toma continúa de datos importantes, como la evolución del pH, ver los índices de disminución del material orgánico, el volumen de agua tratada, etc. Esto servirá para tener un mantenimiento de la planta de tratamiento adecuadamente.

El problema actual en el Perú, será analizado a continuación para poder determinar una solución viable. Normalmente se debe buscar soluciones ante los problemas, pero en este caso las soluciones que se han ido tejiendo en la historia han quedado en ella. Es por eso que se ha optado por mostrar la realidad del tratamiento de aguas residuales en el Perú, así llamar a la conciencia y poder hacer notar la importancia de esta propuesta.

3.4. PLANTAS DE TRATAMIENTO EN EMERGENCIA Y MANTENIMIENTO MÍNIMO

En el Perú se cuenta con 1833 distritos, de los cuales 1,520 son atendidas por las municipalidades o juntas de administración de servicios de saneamiento, o por EPS supervisadas por SUNASS.

El Fondo Nacional del Ambiente generó una investigación en el año 2007, que clasificó a las EPS de acuerdo al volumen de habitantes a quienes se les brinda el servicio:

- a) SEDAPAL.- Abastece a la ciudad de Lima y Callao (Alrededor de 8 millones de habitantes).
- b) EPS Grandes.- Estas EPS brindan servicio a zonas con población de entre 40 mil a 200 mil habitantes.
- c) EPS Medianas.- Tienen entre 10 mil a 40 mil conexiones de agua potable.
- d) EPS Pequeñas.- Son pequeñas que cuentan con menos de 10 mil conexiones de agua potable.

SUNASS en su reporte del año 2009, dio a conocer como volumen aproximado de aguas residuales, la cantidad 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).

En el caso de la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento el tema 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%. Si las EPS serían conscientes de la importancia que le dan a sus plantas, entonces plantearían soluciones de tecnologías con menos mantenimiento u operatividad. A pesar de eso, las EPS solo buscan generar ahorro en la inversión de construcción de las plantas sin darse cuenta de los gastos operativos.

A pesar de buscar alternativas más factibles con la realidad, en el año 2008 la SUNASS reportó el inventario nacional de tecnologías de plantas de tratamiento el cual se detalla a continuación:

- 132 Lagunas.
- 5 Filtros percoladores.
- 3 Lodos Activados.
- 2 Tanques Imhoff.
- 1 Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente.

A continuación en la figura 3.2 se ilustra la diferencia abismal de uso de tecnologías de lagunas con respecto otras tecnologías alternativas.

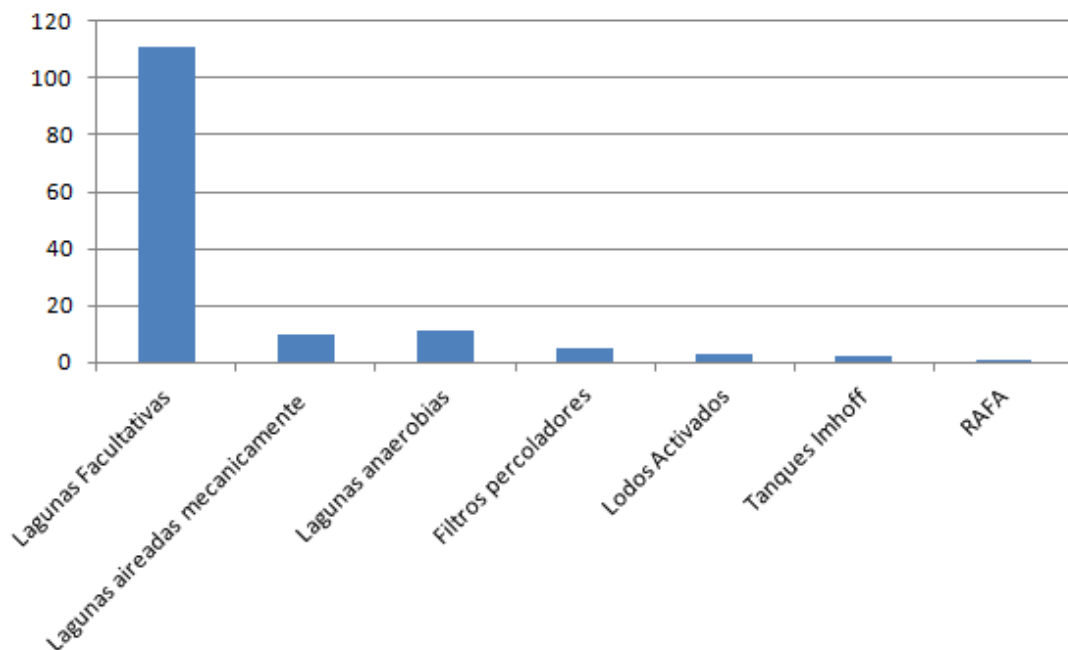


Figura 3.1. Tecnologías de tratamiento de aguas residuales en Perú (Fuente: PERUSAN, 2008).

En la figura 3.1 se puede observar que dentro de las 132 lagunas, se encuentran 111 lagunas de estabilización, 10 lagunas aireadas y 11 lagunas anaerobias. Se sabe actualmente que el uso de lagunas es un método pasado, del siglo XIX, que impacta fuertemente tanto visual como socialmente a la población. Su capacidad de remoción de patógenos, sin uso de la desinfección, genera que las lagunas (en especial las lagunas de estabilización) sean la alternativa más usada en el país (Quiroz, 2009). El tema económico, tanto de la construcción como del mantenimiento, es uno de los factores más influyentes en la elección de la tecnología para el tratamiento de aguas residuales. Es así que podemos concluir que los factores importantes para la construcción de las plantas de tratamiento en el Perú son:

- El poco presupuesto necesario para la construcción.
- El poco mantenimiento.
- Emplear terrenos del estado en sitios alejados.
- Aislar la problemática de la ciudad.

De acuerdo a los factores antes mencionados, los resultados de PERUSAN (2008), y gracias a las entrevistas realizadas a algunos proyectistas y personas ligadas al tema del alcantarillado nacional, se pudo generar una cronología de hechos que llevan a la elección de la tecnología del tratamiento de aguas residuales. Así se tiene que:

- 1.- Se procede a generar un proyecto general de alcantarillado, es decir instalación de redes y planta de tratamiento.
- 2.- Se necesita una planta de tratamiento que las autoridades, encargadas de su mantenimiento, conozcan su funcionamiento.
- 3.- Si es una problemática muy grande y mediática, se invierte gran cantidad de dinero. Caso contrario, si es en algún pueblo o provincia alejada se opta por tomar alguna solución más cercana a la realidad económica.
- 4.- Al contar con terrenos grandes y alejados, se opta por la solución de tecnologías de lagunas.
- 5.- Se procede a realizar la obra, finalmente EPS da la conformidad de recepción de obra.
- 6.- La población crece y las lagunas colapsan, la solución más rápida es ampliar otra laguna.

Después de esta sintetizada cronología, es importante mirar el entorno de esta realidad. Los demás países avanzan con tecnologías nuevas mientras el Perú se estanca en tecnologías antiguas. Se puede observar la problemática de las aguas residuales hacia las personas que viven cerca de esta realidad, el entorno solo se vuelve un paisaje nauseabundo donde los desperdicios, materia orgánica, agricultores, animales y vegetación interactúan. La ciudad está creciendo, y este crecimiento está generando que la población inmigrante muchas veces se posicione en zonas alejadas. Estas zonas alejadas muchas veces albergan a estas plantas de tratamiento.

Las plantas de tratamiento que utiliza tecnologías más recientes no han tenido éxito en Perú. A continuación en la tabla 3.6 se señalará los nombres de las plantas de tratamiento y sus tecnologías.

Tabla 3.6. Plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) con tecnologías diferentes a lagunas
(Fuente: Información de las EPS en Agosto 2007. Elaboración: SUNASS).

NOMBRE EPS	LOCALIDAD	NOMBRE PLANTA
PTAR CON FILTROS PERCOLADORES		
EPSASA	HUAMANGA	LA TOTORA
EPSASA	HUANTA	CARLOS LA TORRE
SEDAPAL S.A.	SANTA ROSA	PTAR SANTA ROSA
SEDAPAR S.A.	AREQUIPANMETROPOLITANA	PTAR CHILPINA
EPS - SEDACUSCO S.A.	CUSCO	SAN JERONIMO
PTAR CON LODOS ACTIVADOS		
SEDAPAL S.A.	PUENTE PIEDRA	PTAR PUENTE PIEDRA
SEDAPAL S.A.	EL AGUSTINO	PTAR NUEVA SEDE ATARJEA
SEDAPAL S.A.	SAN JUAN DE LURIGANCHO	PTAR SAN ANTONIO DE CARAPONGO
PTAR CON RAFA (UASB)		
SEDAPAL S.A.	VILLA MARIA DEL TRIUNFO	PTAR JOSÉ GALVEZ

De acuerdo a la tabla 3.6, alrededor del 44% de las plantas de tratamiento de tecnología diferente a las lagunas están ubicadas en provincia. A pesar de ser estas tecnologías filtros percoladores, se han comenzado a ver diferentes alternativas ante las reducidas poblaciones. Cabe resaltar que la planta de Puente Piedra, es la única de lodos activados con tanques SBR.

Uno de los puntos que se debe tener claro, es que ciertas tecnologías se adecuan para un volumen mayor, y otras funcionan de manera más eficiente con menos población. Es decir, hay tecnologías que con menos densidad poblacional trabajan

con mejor eficiencia y un uso renovable del agua que mejora la calidad de vida del entorno; y también existen tecnologías de grandes volúmenes para reutilizarla como generadoras de nuevos recursos, como el caso del metano para la electricidad (Seghezzeo, 2004). En ambos casos, siempre se busca estabilizar mejora con respecto a la reutilización del agua.

En el Perú todas estas ideas de mejora en el saneamiento urbano con tecnologías innovadoras aerobias y anaerobias se han despreciando, llevando la investigación a un segundo plano. Por otro lado, en Israel constantemente se busca la mejora de calidad de tecnología y eficiencia en el mantenimiento debido al apoyo a la investigación, por parte de la economía y el sector político.

En conclusión, en el Perú los proyectos exitosos de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas no han sido abundantes. Este fracaso puede estar vinculado a la falta de visión empresarial, social, gubernamental y una mala política de reutilización del agua residual tratada. En el caso de la visión empresarial, el reuso de las aguas residuales no solo trae rentabilidad en el sector agroindustrial sino en el sector municipal, lo cual hasta ahora los inversionistas no arriesgan su capital. Las EPS no se han tomado la molestia de presentar programas piloto con proyección a una mejora continua a lo largo del tiempo con la reutilización del agua residual. Es por ello que los mismos trabajadores muestran malestar continuo o inconformidad ante los trabajos de mantenimiento de plantas, ya que el trabajo en dichos sectores no solo muestran la vulnerabilidad de las personas ante enfermedades sino su sensibilidad ante los problemas ambientales.

Existen casos como el del Departamento de Amazonas en donde algunos pueblos instalan plantas de tratamiento de aguas residuales cerca de puestos de salud, siendo un riesgo latente para los enfermos de dichos puestos médicos. Es en la selva, en provincias como Condorcanqui, donde se han instalado plantas de tratamiento sin conocimiento del impacto ambiental en la zona. El tema de la selva en tratamiento de aguas residuales es muy delicado, debido a dos factores fundamentales:

- En zonas alejadas de la selva, para el servicio de alcantarillado y la instalación de plantas de tratamiento, no se cuenta con personal calificado para el mantenimiento de las plantas. Esto genera que no funcione adecuadamente la planta de tratamiento y finalmente ocurre malestar en los pobladores.

- Otro tema importante en estas zonas olvidadas de la selva es el tema del tratamiento en sí, esto quiere decir, la calidad de agua de los efluentes ya que sus receptores inmediatos son los ríos. Por ejemplo, en Santa María de Nieva la tecnología empleada son los tanques Imhoff, los cuales cuentan con lechos percoladores antes de enviar el efluente al receptor. La calidad de las aguas tratadas en los primeros casos fue regular, pero al no ser acondicionada con un mantenimiento eficiente, la calidad de agua fue empeorando. Trayendo consigo el llegar a devolver el agua al río de manera contaminada. Es así que se altero el ecosistema del río y sobre todo la salud de las personas, ya que estas usan de manera frecuente esta agua para actividades cotidianas.

Esta situación llama a la conciencia, primero al conceder obras de alcantarillado sin conocer el impacto que generará en las poblaciones y qué tipo de tecnología es adecuada para cada región y para cada población, de acuerdo a su condición ambiental y social. El caso antes mencionado se refiere al mal uso de la tecnología del tratamiento de aguas residuales para una población específica.

Otro factor fundamental en el mal manejo nacional del tratamiento de aguas residuales es la mezcla de las aguas residuales domésticas e industriales. Al mezclarse generan un problema diferente para tratarse, es decir, la tecnología habilitada para aguas residuales domésticas no logra cumplir con el tratamiento adecuado debido a la aparición de agentes ajenos no asumidos en el diseño como agentes químicos, sangre de camales, entre otros. Es así que estas plantas de tratamiento comienzan a tener fallas hasta verse en posibles estados de emergencia. Además de aumentar el volumen de aguas tratadas y afectar considerablemente el volumen establecido por el diseño, la tecnología de la planta de tratamiento pasa a ser obsoleta como se puede ver en las fotos 2, 5, 6 y 7 en el ANEXO 2 – FOTOGRAFÍAS.

3.5. OTROS TEMAS SOCIALES QUE EVITAN EL CAMBIO HACIA LA MEJORA

A continuación se intentará buscar alguna respuesta por el cual se opta muchas veces por soluciones no tan sostenibles, como:

- Normativas estrictas de vertido

Muchas veces en pequeñas comunidades se restringe el avance a un sistema de alcantarillado adecuado por el número de habitantes, debido a que se estandariza

las normativas y no se adecua al volumen de sectores a tratar. Es decir, en el reglamento no se especifica datos adecuados para comunidades pequeñas, formas alternativas de brindar un buen saneamiento con consideraciones más accesibles. No se puede decir a una comunidad de menos de 1,000 habitantes que se construya una planta de tratamiento con las especificaciones y normativas de una ciudad como Lima. Se debería buscar y adecuar normas que, de acuerdo a su condición les genere un sistema de alcantarillado integral y digno. Además, estos pequeños pueblos pueden ser la solución a problemas de saneamiento más grandes, debido a que se podría emplear plantas pilotos que busquen mejorar problemas en ciudades mayores. Esto sugiere realizar revisiones técnicas del RNE. Si bien el RNE en la descripción de diseño de algunos procesos señala detalles acerca del número de habitantes, no es claro en señalar opciones de saneamiento integrales en poblaciones pequeñas, medianas y grandes (Moscoso y Alfaro, 2008).

- Elevado costo por habitante

Muchas veces la cantidad de personas beneficiadas no está compensada con la inversión que demanda la solución. Las EPS deberían investigar y buscar la mejor solución para la problemática de contaminación que nos rodea, pero uno de los limitantes importantes es la inversión. El problema de inversión va de la mano con el problema de mantenimiento, es por ello que las EPS tienen que buscar con este impedimento soluciones factibles (Moscoso y Alfaro, 2008).

- Capacitación del personal para mantenimiento de PTAR

Durante la investigación se entrevistó a diferentes personalidades técnicas de entidades públicas y privadas, dando a conocer su punto de vista acerca de la problemática del tratamiento de aguas residuales. Todos coincidieron en que los procedimientos de mantenimiento y de gestión de proyectos hasta ahora desarrollados no son los mejores y que no se puede diseñar otro tipo de plantas de tratamiento debido a que Sedapal, o alguna EPS, podría generar problemas para la recepción de obras. La verificación de la recepción de obras de Sedapal corresponde no solo a manifestar su conformidad con respecto al éxito del proyecto, sino también su proyección en futuras ampliaciones para mejoras en la ciudad. En este caso al no conocer tecnologías nuevas complican o aumentan el tiempo de verificación y estudio para la aprobación de la recepción de obras de los proyectos. De alguna manera, las EPS no invierten en capacitación de sus trabajadores para manejo de diferentes tipos de tecnologías de plantas de tratamiento.

CAPÍTULO 4. CENTRALISMO Y DESCENTRALISMO

4.1. CENTRALISMO

En el Perú, las EPS usan un manejo de aguas residuales centralizado. El centralismo del saneamiento es la forma de tratar de aglomerar toda el agua residual doméstica de la ciudad a pocos focos de gran volumen fuera de la metrópoli, busca aislar las desventajas de una planta de tratamiento de aguas residuales de la población. El centralismo es la base del tratamiento de aguas residuales domésticas sin soluciones alternas a estos servicios.

El principal problema del centralismo en todo el Perú, comienza a ser palpable en el momento que la población tiene crecimiento económico y esto conlleva al aumento de población por migración. Al crecer la población, las plantas de tratamiento empiezan a saturarse, esto trae como consecuencia desbordes, señales de peligro a la salud y al medio ambiente.

En Europa aun se usa el centralismo con una buena operatividad en pueblos de menos de 2,000 habitantes. Se utilizan humedales o lagunas de oxidación pero con fines de reuso para el riego de parques o uso agrícola (GIZ y ECOSAN, 2011). En ciudades de Estados Unidos, como Arizona, también emplean el centralismo para fines de riego de parques y jardines, entre otros.

En el Perú, no se han buscado soluciones con estrategias que generen importancia a la problemática de la contaminación generada por el centralismo mal operado. La inversión para el problema de saneamiento va de la mano con el tema de investigación de mejores opciones para la mejora de la calidad de vida. No se puede brindar soluciones en el momento si no se cuenta con un cuerpo de investigación completo, que se especialice en encontrar errores y buscar alternativas de mejora continua.

El tema de generar cambios en el centralismo también abarca el área social, esto debido a la reacción de la gente con respecto al tema del agua residual doméstica. Muchas personas solo tienden a conocer el tema por los trabajos de reparaciones en sus calles o por el pago en los recibos, pero muy pocas personas se encuentran comprometidas con el tema. El tratamiento de las aguas residuales como el tema de los residuos sólidos, compromete no solo la salud de los ciudadanos sino también la cultura de higiene de la ciudad y el proyecto de mejora del lugar donde se habita. Esto debe generar conciencia con las unidades de investigación de las universidades y principales centros de estudio. La mejor manera de encontrar

soluciones es investigar tanto los factores que originan los daños, como los métodos usados en otras partes para manejar el mismo problema.

En el caso del centralismo en el Perú, en general tiene como características principales la no actualización de tecnologías, el no aprovechamiento de grandes fuentes de energía y de herramientas para minimizar costos o usos en otros aspectos, la contaminación indiscriminada en nuestros mares y zonas alejadas de las ciudades, el daño ambiental en pueblos alejados, los tratamientos básicos y la poca eliminación de patógenos, elevados costos tanto en mantenimiento y uso de energía como en ampliación o mejoramientos del sistema de tratamiento de aguas residuales en general.

Como su mismo nombre lo dice, el “Centralismo” busca solucionar el problema solo bajo un punto de vista, un “punto central”. Se trató de enfocar una solución hacia un punto exterior. Se trabajó tratando de aislar el problema, con el fin de no generar molestias de los pobladores. Si un conjunto mayor de personas tuviera constantes quejas del mal uso que se le da al sistema de saneamiento, se buscaría solucionarlo de manera más eficiente. De repente la manera en que las personas sientan el compromiso de cuidar el medio ambiente y reclamar por un uso correcto de los desechos es colocarlo en la puerta de cada casa.

Otro de los puntos en contra del centralismo, es el comportamiento ante desastres naturales. Por ejemplo, en casos de terremotos, las tuberías colapsarían y se tendría que hacer reparaciones en todo el proyecto hasta la planta de tratamiento. El tema de desastres naturales es muy importante en el tema de saneamiento debido a que el colapso del sistema significa una alarma en tema de salud (Proyecto Esfera, 1997).

El peligro del colapso del sistema de alcantarillado tiene dos factores importantes: Primero, el sistema de alcantarillado instalado tendría grandes daños, los cuales traería como consecuencia aguas residuales domésticas esparcidas en las calles, siendo un foco de enfermedades latente cerca de las personas. Segundo, las personas afectadas tendrían que usar vías alternas al sistema de alcantarillado y al pasar los días, también generaría un malestar además de un serio problema de salud.

La tecnología del centralismo empleada por las EPS durante todos estos años ha sido la de lagunas de estabilización, en su mayoría. Estas tecnologías tienden a llegar a un buen resultado cuando se cuenta con el compromiso técnico y la

responsabilidad de mejora. En este caso, las lagunas de oxidación empleadas han sido zonas olvidadas y usadas únicamente como almacenes gigantes de aguas residuales como se ve en las fotos de ANEXO 2 - FOTOGRAFÍAS.

En el 2007, se recolectó en las zonas urbanas del Perú aproximadamente 747 millones de metros cúbicos de aguas residuales, de los usuarios conectados al servicio. De este volumen solo el 29% ingresó a algún tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales, considerando que en promedio alrededor del 49% tiene algún tipo de falla en su operación y mantenimiento (SUNASS, 2008). En el 2009, las EPS recolectaron aproximadamente 786 millones de m³ de aguas residuales y solo el 35% de este volumen recibe algún tipo de tratamiento (FONAM, 2010). El resto del agua residual es descargada de manera directa al mar, ríos, lagos, se infiltró en el suelo o se usó para fines agrícolas clandestinos. No se debe olvidar que estas aguas residuales sufren también de la contaminación de los residuos mineros e industriales (SUNASS, 2008).

La presente investigación incluyó visitas a plantas de tratamiento de aguas residuales en Lambayeque, Ica, Amazonas y Huancayo. En la inspección visual se encontró plantas en muy mal estado, mal operadas y con pésimo mantenimiento como se observa en ANEXO 2 - FOTOGRAFÍAS. Por esto se planteo tres causas, como el descuido o falta de mantenimiento a las plantas de tratamiento, la elección de la tecnología de tratamiento, y el crecimiento poblacional con el aumento de espacios para vivir.

En algunas zonas del Perú existen plantas que tienen solo tratamientos primarios y otras que cuentan con tratamientos secundarios, pero no existen plantas que llegan a completarse con un tratamiento terciario. Esto significa que no logran minimizar los patógenos o elementos contaminantes que saldrán por los efluentes para combinarse con el mar, río o algún otro tipo de receptor. Para fines agrícolas, con una cuidadosa operación y mantenimiento en el tratamiento secundario, el efluente podría llegar a la calidad de agua requerida para la reutilización, es decir no sería necesario el tratamiento terciario.

Las plantas de tratamiento tienen la responsabilidad de minimizar las aguas residuales domésticas hasta el porcentaje requerido para su uso en los receptores. Debido a esta responsabilidad, el volumen a tratar es muy grande y esta situación lleva consigo construir estructuras de gran tamaño y de gran inversión. Al tener grandes estructuras, la inversión se limita a elegir una tecnología de menor calidad, es decir el tratamiento se restringe.

Uno de los principales factores de empleo de mejor tecnología es el tema del volumen a tratar. Al generarse PTAR de gran tamaño y con una capacidad de tratamiento de mayor volumen, la tecnología se ve restringida y limitada. Es así como se opta muchas veces en el país por tecnologías poco innovadoras y no acordes a la etapa de actualización global.

Otro factor de la problemática del saneamiento es el crecimiento poblacional y el aumento de espacios para vivir. En algún momento, las plantas de tratamiento y el sistema de alcantarillado logran ser obsoletos por su poca capacidad siendo la solución inmediata, frecuentemente utilizada, ampliar la planta de tratamiento e infraestructura relacionada. Esta es una solución temporal y no una solución estructurada y consciente de la situación a futuro. El rediseño de las plantas de tratamiento tiene como consecuencia grandes costos en obra como, por ejemplo, el empleo de tuberías de diámetro mayor y mayores zonas de excavación. En el caso de plantas con equipo de aireación mayor energía consumida (Clearford Industries, 2012).

En el especial que la revista Constructivo hace a los constructores del proyecto de la planta de tratamiento de aguas residuales de Taboada, se menciona la gran tecnología y automatización de las instalaciones. A pesar de ello, también señala que solo se dará un pre tratamiento y un tratamiento primario. Esto quiere decir, que la PTAR (Planta de Tratamiento de Aguas Residuales) Taboada solo servirá para separar, remover, sedimentar materiales sólidos y no generará ningún procedimiento biológico o secundario de descomposición de las materias orgánicas, menos aún un tratamiento terciario de desinfección para retirar al mar el agua tratada. Únicamente se construirá una gran planta de tratamiento para grandes volúmenes con un índice mínimo de tratamiento. Los responsables del proyecto argumentan que gracias al emisor submarino se retirará el agua residual tratada a una distancia considerable en el mar, además aseguran que las sales y propiedades del mar ayudarán a la desintegración biológica de los patógenos que residen en el agua residual tratada en la PTAR (Constructivo-Edición 85, 2012).

En el año 2000, el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) dio como alternativa de solución, el tratamiento de aguas residuales por emisores submarinos para América Latina y El Caribe. Este centro buscó dar alternativas para el tratamiento de las aguas residuales en países donde no tenían avance en las tecnologías para el aprovechamiento y que tenían problemas en el mantenimiento y operación. Sin embargo, en sus conclusiones

dicho centro, afirma que si continua la tasa de crecimiento urbano de 3.8% hasta el 2010, dejaría un panorama crítico para la disposición apropiada. Es decir, la solución de los emisores submarinos no sería, a largo plazo y con el aumento poblacional, una solución sostenible (Salas, 2000).

Actualmente, la problemática de Lima en saneamiento tiene como esperanza el funcionamiento de las PTAR de Taboada y Las Chira (SUNASS, 2008). Este centralismo ha tratado de aglomerar el estado crítico de diferentes zonas de la capital para buscar una solución en tres puntos: Carapongo, Taboada y La Chira.

El Perú cuenta con problemas en muchas zonas de la costa por el tema de agua para la agricultura, es en este sector donde se debería tomar mucha atención. Soluciones sostenibles como el Dan en Israel, darían una mejor muestra de visión de mejora y proyección al bienestar común. En Israel, la tecnología para el riego de agricultura con aguas residuales es una de las más acertadas (Friedler, 1999). Las tecnologías empleadas han ido de la mano con investigaciones de mejora continua a largo plazo y han servido como herramienta para inversiones a lo largo del mundo empleando el agua residual para la reutilización tecnificada para el sembrío de diferentes especies de flora.

Gracias al gran volumen que llega a almacenar el centralismo el agua tratada de manera eficiente se reutilizaría para riego de parques y jardines y para fines agrícolas, dando así mejor calidad de vida a las personas en zonas alejadas.

En el caso del tratamiento anaerobio, los grandes volúmenes a tratar también significan ganancias y debido a que los sistemas anaerobios funcionan basándose en la digestión anaerobia, la cual tiene entre sus resultados de sus procesos la generación de metano. El metano es un biogás, que al generarse en gran escala, sirve para producir electricidad a pueblos aledaños. Este es el caso que ocurre en Sao Paolo, Brasil, con la empresa Mizumo, la cual genera plantas que aprovechan el metano para generar electricidad. También según los datos otorgados por la empresa canadiense Clearford, se ha podido determinar usos alternativos de sistemas anaerobios. Primero, se separa el agua residual del biogás generado (por sistema anaerobio), cada una se transporta a la planta de tratamiento independiente. Finalmente, las urbanizaciones generan luz y agua tratada.

Si se toma en consideración la realidad en el Perú y la mejor tecnología mundial en la actualidad, se puede deducir cuál es la situación para mejora hacia el futuro. Se

puede cambiar y mejorar pero siempre con un programa proyectado y bien manejado.

A continuación se plantea una solución y un planteamiento razonable como respuesta a las principales desventajas del centralismo, “DESCENTRALISMO”.

4.2. DESCENTRALISMO

En el año 2009 solo el 35% de aguas residuales en el Perú tenían algún tipo de tratamiento (FONAM, 2010). Lo que se está haciendo es crear focos de contaminación que van creciendo en número y en tamaño, sin buscar una solución estratégica para el futuro.

Si se toman los puntos negativos del centralismo en el tratamiento de aguas residuales en el Perú, se pueden plantear ideas que contribuyan a la mejora. Dentro de estos puntos se encuentran:

- Ubicación de la planta de tratamiento.
- Tecnología del tratamiento.
- Usos del tratamiento.
- Costos del tratamiento.
- Operación del tratamiento
- Tamaño del tratamiento.

Al analizar con detenimiento todos los puntos se puede percibir que existen respuestas a mejoras en horizontes que se creían no viables, es decir, tratando de solucionar una problemática a nivel micro. En este caso, se propone el “Descentralismo”, sistema que busca minimizar errores desde el inicio del alcantarillado hasta su paradero final. Se busca crear pequeños focos de desarrollo sostenible mediante el uso de las aguas residuales.

Al estar relacionado con la sostenibilidad, el descentralismo enmarca la idea de ser independiente y minimizar gastos de energía y daño en el ambiente. En otras palabras, este sistema de alcantarillado es completo, ya que busca mediante tecnologías poco utilizadas en el medio, satisfacer las necesidades de los consumidores y brindarles una buena calidad de vida.

El descentralismo consiste en ubicar pequeñas plantas de tratamiento en zonas residenciales, condominios o edificios, condicionado solo a un porcentaje pequeño

de crecimiento donde se conozca el número de habitantes que viven, el cual es determinado solo por el uso residencial ya que al mezclarse con agua residual industrial no habrá descentralismo. Al ubicar una mega planta de tratamiento en las afueras del centro, se aglomera el problema en un solo foco y no se ha llegado a solucionar nada, caso contrario si se generan pequeñas plantas en diferentes focos pequeños y estables donde los domicilios ya están diseñados y construidos, se disminuye el problema.

El descentralismo fija sus ventajas en las desventajas del centralismo. Con el descentralismo se busca incrementar la conciencia social, minimizar costos y aumentar la seguridad ambiental y pública. Con ello no se piensa en generar un cambio brusco ni un cambio radical de un momento a otro, por el contrario, esta solución busca entablar una relación con el centralismo, llegando a una forma de ayuda o de soporte. Se recomienda minimizar la carga de trabajo del centralismo mediante el descentralismo, hasta un punto en donde el centralismo pase a ser parte del descentralismo.

Uno de los principales problemas que tiene el saneamiento actual es el crecimiento de la población. A pesar que todo el sistema de tratamiento de aguas residuales es trabajado bajo un factor de densidad poblacional para un tiempo determinado, muchas veces este crecimiento fluctúa de manera violenta generando desórdenes en los procedimientos fijados. En el descentralismo se propone buscar zonas donde las casas tengan una densidad poblacional casi estable, es decir no se genere mayor crecimiento poblacional, con estas características se puede tener como ejemplo a los condominios, edificios y residenciales. En estas zonas se construirían plantas de tratamiento pequeñas ayudando a reducir la gran carga que tiene que albergar la planta centralizadora de tratamiento. Si se usa de manera correcta, además de realizar un diseño y elección de la ubicación de la planta adecuada, se tendría mayor requerimiento de cuidado para su mantenimiento.

La descentralización no es solo colocar la planta de tratamiento sino generar una cultura de conocimiento del saneamiento, debido a que al tener una planta de tratamiento cerca a nuestra casa, las primeras ideas que se vienen a la cabeza son los malos olores, enfermedades, insectos, entre otras. Este pensamiento social generalizado en el Perú, es sin duda, resultado de cómo se imaginan las personas las plantas de tratamiento de aguas residuales. Esta tarea social será una de las más complicadas, ya que no solo se tendrá que cambiar la forma de pensar, sino

enseñar para saber mostrar a las demás personas de las ventajas de una buena planta de tratamiento.

Este pensamiento social lo vimos reflejado durante las visitas realizadas a las plantas de tratamiento de aguas residuales, como por ejemplo en las localidades de Lambayeque y Pacora, se ha podido comprobar el descuido que tiene las lagunas de oxidación. Además sirven como co-hábitat de la fauna y flora de la zona. Animales como vacas y patos tienen como parte de su hábitat las lagunas de oxidación, es decir no tiene ni cerco perimétrico de resguardo.

En el caso de la tecnología utilizada en el descentralismo, en el capítulo seis se detallará el proceso de selección tanto aerobia como anaerobia. En el caso de las tecnologías aerobias conocidas en el Perú y mencionadas en el capítulo dos con los diferentes tipos de lagunas, se buscará compactarlas y repotenciar su eficiencia, y en el caso de la tecnología anaerobia solo usada en la UNI (Universidad Nacional de Ingeniería), se tratará de adoptar sus ventajas. La tecnología anaerobia puede ser de mucha ayuda como alternativa para plantas de tratamiento de aguas residuales industriales (Seghezzo, 2012).

El descentralismo es una idea que engloba no solo el uso de plantas de tratamiento en edificios, condominios o multifamiliares, sino busca que cada industria tenga su propia PTAR, ello debido a que la carga residual se minimizaría y se haría más ordenado el sistema de alcantarillado.

En la descentralización se busca generar tecnologías que hayan tenido buenos resultados en otros países y así dar tranquilidad a las personas que vivirían cerca de una planta de tratamiento. Actualmente, es difícil darle un mantenimiento estable y de calidad a la plantas de tratamiento, por lo que la tecnología asumida debe contar con un fácil manejo y tener un mantenimiento básico pero eficiente.

A continuación se repasará los puntos más importantes que se debe tener en cuenta para una planta de tratamiento dentro de la descentralización urbana:

- La ubicación de la planta de tratamiento descentralizada.

Dentro del trabajo de investigación, se percató que la ubicación de una planta de tratamiento en ciudades como Guayaquil son alrededor de 10 metros de las zonas de residencia, en cambio en el Perú aun se tiene como norma colocar una planta de tratamiento aerobia a 100 metros de las zonas residenciales. Esto demuestra una falta de actualización de las normas o códigos peruanos.

El sistema descentralizado de tratamiento de aguas residuales busca introducir las tecnologías del tratamiento en la población. En Bolivia, en Lomas de Pagador, se ha visto el caso de colocar una planta de tratamiento cerca del poblado. Al comienzo generó cierto malestar, pero ahora los pobladores se ven beneficiados por el riego de parques y jardines con el agua residual tratada. Este programa se llevo a cabo por un equipo de investigación de Suecia.

Se espera usar este tipo de tecnologías en lugares donde la densidad poblacional es estable. Este punto es importante debido a que las plantas de tratamiento se diseñarán bajo un flujo continuo con algún factor de crecimiento. Sin embargo, la idea general de la descentralización es buscar focos donde la población no genere mayor crecimiento. Este tipo de lugares son conjuntos residenciales con un número fijo de casas ya construidas, como condominios, urbanizaciones cerradas, villas, clubs o edificios. Al no contar con un crecimiento de población debido a que los espacios construidos son diseñados para un número especial de personas, la planta de tratamiento no llegaría a saturarse, ni tendría que colapsar. El caso de colapso es la situación que viven las actuales plantas de tratamiento, las cuales están a la espera de un crecimiento brusco que las inhabilite.

Se debe recordar que en muchos casos, se han dado situaciones donde se colocan las plantas de tratamiento cerca de parcelas o lugares donde se practica la agricultura, trayendo como consecuencia, el peligro que los pobladores agricultores busquen regar sus cultivos con aguas residuales sin tratamiento adecuado. Las aguas residuales son aguas mezcladas con heces fecales y otros contaminantes domésticos como jabones, grasas, etc. Se sabe que las excretas contienen nitrógeno, potasio y fósforo, aunque también, si se analiza un gramo de heces, estas contienen 10,000,000 de virus, 1,000,000 de bacterias, 1,000 parásitos y 100 huevos de gusanos (Franken, 2007). Toda la composición antes mencionada y llevada a regar alimentos, generaría una ola de epidemias y enfermedades, lo cual se podría evitar con un estudio de impacto ambiental realizado antes de construir la planta de tratamiento.

- Tecnología de tratamiento

Al hablar de tecnología, se viene a la mente cosas complicadas y sofisticadas pero que facilitan la vida. En el caso del tratamiento de aguas residuales, se tiene como objetivo buscar la manera más eficiente de reutilizar las aguas negras. Las personas aun no son conscientes del tratamiento que se le da a los desechos líquidos residuales domésticos, después de ver el retiro de ellas por las

alcantarillas. Evidentemente no se trata de desaparecer los desechos y mucho menos botarlos al mar o a los ríos se trata de transformar el agua y volver a generar un uso eficiente para producir mayor balance dentro del ciclo regular del agua.

Aun no se toma consciencia de tener un verdadero análisis para poder obtener como resultado una tecnología más eficiente, solo se busca la tecnología más económica y que no genere gastos de mantenimiento. En el Perú solo se ha buscado solucionar el problema del saneamiento con la respuesta más barata, trayendo como consecuencia que se generen estados de emergencia en muchas plantas de tratamiento y contaminación en gran escala, teniendo como efluentes los mares o ríos.

La ciudadanía tiene como responsabilidad, tratar de cambiar y comprometerse con el tema del saneamiento en el Perú, el cual influye directamente en la salud, higiene y calidad de vida de las ciudades.

Dentro de las tecnologías implantadas en el Perú, se han construido grandes lagunas de oxidación, plantas de tratamiento de lodos activados y plantas de tratamiento primarios (como tanques imhoff). En la mayoría de veces, se ha optado por una solución aerobia (en presencia del oxígeno), donde los procesos son generados al aire libre. Al proponer el descentralismo y optar por soluciones donde se generen pequeñas plantas de tratamiento en zonas urbanas, es necesario contar con una tecnología que puedan encajar dentro del perfil urbano y paisajista. Es así que la planta de tratamiento irá conectándose con los habitantes. Se puede tener en consideración cercar la planta de tratamiento para tratar de no herir la susceptibilidad del poblador o utilizar sistema anaerobio de reactores cerrados. Además de estas tecnologías, también hay otras que demandan mayor mantenimiento y cuidado pero con resultados más eficientes.

Uno de los problemas que más tuvieron incidencia en las entrevistas con proyectistas nacionales, fue el tema de minimizar la innovación en las tecnologías, ya que los proyectos tenían problemas en la aprobación y recepción por parte de las EPS. Se espera que esta situación cambie por el bien del mejor funcionamiento y evolución de las plantas de tratamiento.

- Usos del tratamiento

Al ubicarse pequeñas plantas de tratamiento en zonas urbanas, el problema pasa por determinar qué uso se le dará al agua tratada. De acuerdo al tratamiento

seleccionado puede reutilizarse el agua para diferentes usos, desde riego de parques y jardines, agricultura, etc.

El tema del reuso del agua residual se explicará con más detalle en el capítulo cinco, sin embargo en este apartado se señalará como el descentralismo invita a la reutilización para funciones que mejorarían las labores cotidianas.

La cantidad de personas, el área de parques y la tecnología empleada son algunos factores que conducen hacia la mejor opción para la reutilización del agua. Es decir, si se cuenta con una pequeña población, se podrá elegir una tecnología aerobia o anaerobia para el riego de parques y jardines. En la actualidad, un buen ejemplo de la reutilización de aguas grises (es decir, que no contienen mayor carga orgánica como las aguas negras) en multifamiliares es el proyecto “Los Parques de Carabaylo” de Graña y Montero en Carabaylo. En este proyecto se ha separado las aguas negras de las aguas grises, para poder reutilizar las aguas grises mediante humedales artificiales para riego de los parques y jardines (Construcción e Industria, 2012).

En el Perú se han visto algunos ejemplos que escapan de lo convencional como el caso de la Planta de Tratamiento de Manchay, la cual mediante un proceso aerobio de lodos activados, está generando beneficios en la agricultura aledaña con el agua residual tratada. Se espera que esta buena iniciativa no se vea afectada por el mal mantenimiento.

Otro caso que está llamando la atención es la constante preocupación por parte de los municipios de contar con áreas verdes, ya que al evaluar la mejor opción para el mantenimiento de áreas verdes, dan cuenta de cómo el aprovechamiento del agua residual tratada es la solución más económica. Se tiene el caso de la planta de tratamiento de San Borja y una nueva en Ate, dando una señal positiva de cambio en el pensamiento y la cultura de las personas acerca del uso del agua residual tratada.

En Lima, en el caso de la elección de la tecnología para el reuso del agua tratada, se tiene el riego de campos de golf con tratamientos aerobios. Este tipo de tecnología ha tenido muy buen funcionamiento en zonas privadas preocupadas por el mantenimiento y la buena imagen de su planta de tratamiento. El hecho de tener plantas de tratamiento en zonas exclusivas, tanto de vivienda como de recreación, coloca una valla alta de estándares para generar una impresión adecuada y minimizar la molestia de sus clientes. Este pensamiento debe regir no solo en

entidades privadas sino públicas, siendo quizás la solución a crear conciencia de mejorar la calidad de vida de las personas.

El tema de uso del agua residual en el centralismo generaría mayor inversión en el uso de estructuras o sistemas de riego para mayor volumen y mayores distancias. Si las plantas de tratamiento se encuentran alejadas, Centralismo, se debe buscar un uso sostenible para llevar el agua residual tratada a zonas de riego. En el caso del descentralismo, al tener varias plantas de tratamiento en distintas zonas, cuenta con la opción de ofrecer alternativas de solución que beneficien en uso, costo y mantenimiento.

- Costo del tratamiento

En el tema de costos se ve comprometido tanto la inversión como el mantenimiento de las plantas de tratamiento vs los beneficios. Además de ello, el tema de costos despeja el camino para ver una problemática mayor en el Perú que es la falta de un programa sistemático de mejora a largo plazo. Como se mencionó en el capítulo tres, el Perú no cuenta con un proyecto integral que genere beneficios y sirva como guía para mantener un camino de mejora continua.

El día martes 17 de Abril de 2012, en el diario Gestión, se hizo una entrevista al Ing. Eduardo Ismodes, presidente del directorio de Sedapal. En esta entrevista, el Ing. Ismodes menciona que a Sedapal le urgen S/.11 mil millones de inversión, de los cuales solo cuenta con el 40% para trabajos de saneamiento y distribución de agua potable. Es decir, no se cuenta con un presupuesto estable que ayude a satisfacer la demanda que el pueblo necesita para servicios básicos (Gestión, 17 de Abril 2012).

La elección de lagunas de oxidación para uso de tratamiento de aguas residuales dentro y fuera de Lima se hizo cada vez más frecuente, no solo por su fácil construcción sino por sus menores costos de mantenimiento, ya que en muchos casos no hay mantenimiento.

Se puede ver como aún no se revisa ni analiza otras tecnologías que generen menores inversiones y mantenimiento con mayor eficiencia. En la tabla 4.1 se muestra como se realizó un análisis comparativo de diferentes plantas de tratamiento en Lima, en el 2008 por Moscoso y Alfaro en *“Panorama de experiencias de tratamiento y uso de Aguas residuales en Lima Metropolitana y Callao”*.

Tabla 4.1. Costo de inversión de algunas plantas de tratamiento. Fuente: Moscoso y Alfaro, 2008.

Tecnología/PTAR	Caudal tratados (l/s)	Población de aporte	Inversión (US\$)	Costo inv. (US\$/hab)
Lagunas de estabilización	23.10	9,257	175,000	19.00
Colegio Inmaculada	15.00	5,838	36,000	6.00
Hauachipa (Imhoff + Reserv.)	0.60	500	14,000	28.00
UNITRAR (RAFA +lagunas)	7.50	2,919	125,000	43.00
Lagunas aireadas	497.00	193,427	37,000,000	191.00
San Juan de Miraflores	424.00	165,016	30,000,000	182.00
Huáscar	73.00	28,411	7,000,000	246.00
Lodos Activados	28.75	11,189	780,000	70.00
Alameda de la solidaridad	6.00	2,335	80,000	34.00
Jardines de la Paz	5.25	2,043	100,000	49.00
Surco	15.50	6,811	600,000	88.00
Humedales artificiales	3.20	1,468	50,300	34.00
Oasis de Villa	3.00	1,168	11,900	10.00
Nievería (Acuasan)	0.20	300	38,400	128.00
Filtros percoladores	2.00	778	10,000	13.00
Costa Verde – Miraflores	2.00	778	10,000	13.00

En la tabla 4.1 se puede ver como los costos por habitante son realmente altos con respecto al tipo de servicio que se brinda. En el caso de las lagunas aireadas, tiene gran cantidad de inversión, a pesar de ello no tiene un alto grado de eficiencia. En el caso del costo de tratamiento, también se tiene altos montos por habitante.

A continuación, en la tabla 4.2 se puede observar el costo del mantenimiento por m³ en Lima y el costoso servicio con respecto al beneficio que adquirimos.

Tabla 4.2. Costo tratamiento en las plantas. Fuente: Moscoso y Alfaro, 2008.

Tecnología/PTAR	Caudal tratados (l/s)	Población de aporte	Operación y Mantenim. (US\$/año)	Costo de tratamiento (US\$/m ³)
Lagunas de estabilización	23.10	9,257	36,650	3.96
Colegio Inmaculada	15.00	5,838	16,800	2.88
Hauachipa (Imhoff + Reserv.)	0.60	500	1,100	2.20
UNITRAR (RAFA +lagunas)	7.50	2,919	18,750	6.42
Lagunas aireadas	497.00	193,427	780,000	4.03
San Juan de Miraflores	424.00	165,016	640,000	3.88
Huáscar	73.00	28,411	140,000	4.93
Lodos Activados	28.75	11,189	34,440	3.08
Alameda de la solidaridad	6.00	2,335	11,440	4.90
Jardines de la Paz	5.25	2,043	23,000	11.26
Humedales artificiales	5.20	2,246	3,567	1.59
Oquendo	2.00	778	1,450	1.86
Oasis de Villa	3.00	1,168	2,063	1.77
Nievería (Acuasan)	0.20	300	54	0.18
Filtros percoladores	2.00	778	7,500	9.64
Costa Verde – Miraflores	2.00	778	7,500	9.64

En el caso del descentralismo, se busca minimizar el tamaño de las plantas de tratamiento y buscar soluciones integrales para minimizar el impacto a la sociedad. Esto nos da como resultado localizar las PTAR en focos de población fija, donde el costo de inversión de las plantas de tratamiento sea menor, y que pueda llevarse un control constante de su mantenimiento y su reutilización. Además se busca generar beneficios adicionales en las personas o instituciones para una mejora continua.

A continuación se presenta la tabla 4.3, donde se indica el ahorro por uso de aguas residuales en algunas PTAR en Lima.

Tabla 4.3. Ahorro por uso de aguas residuales. Fuente: Moscoso y Alfaro, (2008).

Área de reuso	Gasto de agua (m ³ /año)	Pago anterior agua potable (US\$/año)	Costo actual (US\$/año)	Ahorro (US\$/año)	
Colegio Inmaculada	473,000	305,187	16,800	288,387	94%
UNITRAR (RAFA +lagunas)	237,000	76,297	18,750	57,547	75%
Parque Huayna Capac	631,000	203,458	30,189	173,269	85%
Parque Huáscar	757,000	244,150	46,027	198,122	81%
Alameda de la solidaridad	189,000	61,037	11,440	49,597	81%
Jardines de la Paz	166,000	106,815	23,000	83,815	78%
Oasis de Vila	95,000	30,519	2,063	28,456	93%
Costa Verde-Miraflores	63,000	20,346	7,500	12,846	63%

- Operación del tratamiento

En el 2008, SUNASS emitió un informe donde señalaba el “Diagnóstico Situacional de los Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales en las EPS del Perú y Propuestas de Solución”, describiéndose los estados de las 143 plantas de tratamiento:

- ✓ 11.2% PTAR inoperativas
- ✓ 35.7% PTAR sin mantenimiento
- ✓ 43.3% PTAR sobrecargadas por caudal
- ✓ 55.2% PTAR sin cribas
- ✓ 72.0% PTAR sin desarenador
- ✓ 60.8% PTAR sin medidor de caudal
- ✓ 66.0% PTAR con eficiencia de remoción de DBO₅ <80,0%
- ✓ 48.0% PTAR con eficiencia de remoción de CF <99.0%

En el tema de diseño los problemas como la falta de cribas o desarenadores, generan inestabilidad en el tratamiento de las aguas residuales, debido a que no sólo ingresarán aguas residuales sino residuos sólidos de todo tipo, lo cual no ayuda a generar los procesos biológicos adecuados.

En el caso de la falta de mantenimiento, factores como el alejamiento de las plantas o el desconocimiento de la tecnología empleada, han generado plantas de tratamiento llenas de residuos sólidos, focos de enfermedades, olores nauseabundos, daño al ecosistema, fauna y flora interactuando con residuos orgánicos, entre otros.

En el caso del descentralismo, se busca maximizar los cuidados del mantenimiento de las plantas de tratamiento debido a la cercanía de éstas a la ciudad. Colocando plantas de tratamiento en focos residenciales de las ciudades, se busca tener grandes índices de mejora en la operación. Los habitantes no buscan vivir en zonas desagradables, por lo cual maximizan sus percepciones y alertan a las entidades prestadoras de mejorar su funcionamiento. Es muy importante la percepción del poblador, ya que de los usuarios dependerá que el proyecto sea un éxito.

En Guayaquil, la empresa Codemet comenzó a construir plantas de tratamiento aerobias dentro de las urbanizaciones siendo el mantenimiento constante y seguido de manera detallada. Este caso da una clara idea de cómo un país, muy similar al Perú, cuenta con nuevas propuestas de saneamiento para mejorar la calidad del mantenimiento.

- Tamaño del tratamiento

El descentralismo tiene como una de sus características mostrar tecnologías que sean compactas. Esto debido a que en la actualidad el precio de los terrenos cada vez va en aumento y no resulta rentable contar con una planta muy grande. En el caso de los inversionistas no resulta acertado colocar plantas que ocupen área que puede venderse.

Zonas como Piura e Ica, donde sus principales tecnologías son las lagunas de oxidación, han generado el aumento de aguas negras hasta el punto de desbordar las lagunas. En estos casos solo se aumenta el volumen de terreno para mejorar la capacidad de almacenaje del agua residual, con lo cual solo se utiliza mayor área pero menor eficiencia.

Muchas personas tienen la mala idea de comparar PTAR sugeridas para el descentralismo con tecnologías en domicilios individuales como los tanques sépticos. Los tanques sépticos, a pesar que Metcalf & Eddy lo muestran como una solución alternativa para pequeñas comunidades, tienen cuidados que deben ser realizados por personal calificado. Sin embargo, en algunas zonas se apoyan en la responsabilidad del mismo habitante, el cual no cuenta con el suficiente conocimiento técnico ocasionando un mal funcionamiento y mantenimiento del tanque.

CAPÍTULO 5. REUTILIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL

En el capítulo cuatro se encontró problemas específicos del tratamiento de aguas residuales en Perú basados en el centralismo, bajo los cuales se formó el concepto del descentralismo como alternativa de solución. Este concepto fue fundamentado por el cuidado y el tratamiento del agua residual a menor escala.

En el caso de una urbanización, condominio, universidad o colegio se tiene la necesidad de embellecer el paisaje urbanístico con áreas verdes. Las aguas residuales tratadas serían la solución para el riego masivo de zonas verdes y usadas para elementos decorativos como piletas, caídas de agua, etc.

Otro uso muy importante que se puede dar al agua residual tratada es la agricultura. Recordemos que la agricultura es el mayor consumidor de agua, con un 70% del total, y se espera que la producción agrícola mundial crezca 55% en el año 2030 y 80% en el año 2050 (Grimaldos y Rayón, 2010). La mejor idea para combatir la escasez del agua, es concentrarse en el mayor consumidor y ver la manera eficaz de disminuir el consumo sin perjudicar la producción, por ejemplo el riego tecnificado. Actualmente, en el Perú se sufre del uso indiscriminado del agua por los agricultores, lo que origina la reducción del caudal de los ríos y como consecuencia, una menor distribución y almacenamiento para la población.

Otros usos importantes que se le da al agua residual tratada en el mundo es la recarga de acuíferos y la potabilización para zonas urbanas sin recursos de agua. En zonas como Singapur, se reutiliza el agua residual para proporcionar agua potable a los habitantes. A pesar de ser una idea socialmente repudiada, es una herramienta importantísima para llevar alternativas de solución a muchas zonas áridas del mundo (ICEX, 2005). Lo mencionado anteriormente podría constituirse como una de las soluciones que podrían combatir la idea de colocar plantas desalinizadoras en el sur de Lima. En zonas como Lurín, donde no se tiene acceso al agua potable, debido a que la capacidad del río ya esta sobreestimada, no escapa la idea de colocar una planta de tratamiento de aguas residuales con proceso de potabilización. Así las personas podrían sobrevivir con sus recursos y volver a Lurín en un distrito con saneamiento sostenible.

Como se puede ver hay muchas formas de reutilizar el agua residual, siendo la actualidad en Lima y Callao las que esbozarán el panorama de nuestra realidad con respecto al reuso del agua residual. Según un estudio realizado por Moscoso y Alfaro en el 2008, bajo 37 experiencias estudiadas en Lima Metropolitana y el

Callao, solo 34 experiencias reutilizan el agua residual con algún tratamiento, mientras que los tres casos restantes lo hacen sin tratar, representando el 48% del agua total regada con aguas residuales en Lima (Moscoso y Alfaro, 2008).

Es posible reutilizar el agua residual bajo el tratamiento adecuado para cada nivel de uso que se requiera. Es decir, no se puede evaluar el mismo nivel de tratamiento de riego de humedal, parque, jardín o agricultura, esto debido a que cada uso tiene diferente contacto con los seres. En el caso de la alimentación y el consumo de agua potable, los niveles de calidad del agua son muy delicados ya que de ello depende la salud de las personas.

5.1. NORMATIVA EN EL PERÚ

En los últimos años en el Perú se ha generado gran contaminación en sus recursos hídricos, es por ello que se trató de formalizar y regular los vertimientos en algunos receptores. El gobierno comenzó a trabajar la gestión integral de los recursos hídricos y del ambiente, dando como resultado:

- Ley de Recursos Hídricos.- Es aquí donde toma protagonismo la Autoridad Nacional del Agua (ANA).
- Ministerio del Ambiente.- Donde se formulan los Límites Máximos Permisibles y los Estándares de Calidad Ambiental.
- Compromiso del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, generando los Valores Máximo Admisibles (VMA), y considerándolos en el RNE para los diseños de construcción de obras.

Actualmente, se cuenta con una serie de requisitos en el marco legal que buscan mejorar la calidad de los efluentes hídricos y mejorar la calidad ambiental. A continuación, en la tabla 5.1 se muestra el marco legal para el tratamiento de aguas residuales en el Perú.

Tabla 5.1. Marco Legal para el tratamiento de aguas residuales en el Perú (León, 2012).

MARCO LEGAL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES
Ley de Recursos Hídricos - Ley 29338 (Publicada el 31 de marzo de 2009)
Reglamento de la Ley Recursos Hídricos D.S. N° 001-2010-AG (Publicado el 24 de marzo de D.S. N° 002-2008-MINAM. Aprueban los Estándares de Calidad de Agua (ECA) para el Agua
D.S. N°023-2009-MINAM. Aprueba las disposiciones para la implementación de los
D.S. 003-2010-MINAM. Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes PTAR (Publicado el
Resolución Jefatural N°274-2010-ANA-medidas para la implementación del Programa de
Resolución Jefatural N°202-2010-ANA-Aprueban clasificación de cuerpos de aguas
Resolución Jefatural N°489-2010-ANA-Modifican el Anexo 1 de la R.J. N°202-2010-ANA, en lo
Decreto Supremo N°007-2010-AG Declaran de Interés Nacional la protección de la calidad del
Decreto Supremo N°021-2009-VIVIENDA Valores Máximos Admisibles (VMA) de las
Decreto Supremo N°003-2011-VIVIENDA, Reglamento del D.S. N°021-2009-VIVIENDA
Resolución Jefatural N°182-2011-ANA. Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en
Resolución de Consejo Directivo N°025-2011-SUNASS-CD. Aprueba metodología para
Decreto Supremo N° 010-2012-VIVIENDA. Modifica el D.S. N° 003-2011-VIVIENDA, con la
Reglamento Nacional de Edificaciones (Publicado el 8 de Junio de 2006)
Norma OS 090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales
Decreto Supremo N°022-2009-VIVIENDA Modificación de la Norma OS. 090 (26.11.2009)
Norma IS 020 Tanques Sépticos

En el caso del tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, se puede visualizar dos escenarios: La calidad del agua al salir de la planta de tratamiento y el estándar que debe alcanzar el tratamiento para no perjudicar al uso del receptor. El agua que sale de la planta de tratamiento es regulada mediante los Límites Máximos Permisibles (LMP) para darle seguridad de haber cumplido con un tratamiento adecuado, siendo este un factor decisivo para la elección de las tecnologías para tratar el agua residual ya que solo algunas llegan a ciertos grados de purificación. En el caso de los estándares para no perjudicar al receptor tenemos a los Estándares de Calidad Ambientales para Agua (ECA), los cuales se encargan de clasificar a los receptores según las funciones que desempeñan. Un ejemplo para visualizar los ECA, es ver la diferencia que resultaría depositar agua residual tratada en un río y que kilómetros más adelante servirá para el uso agrícola, con un río que tendrá como función kilómetros más adelante tratar agua para ser potabilizada. En ANEXO 1 – TABLAS, en la tabla 1, 2, 3, 4 y 5 se pueden observar los ECAs y LMP importantes para el tema de estudio.

Con respecto a los valores de ECAs y los LMP, se puede determinar que usos se pueden dar para el tratamiento de aguas residuales, además se ha conocido los

parámetros que la ley peruana dispone para el bienestar de la salud y el medio ambiente.

En el Perú, en zonas como la costa, la agricultura se ve limitada por la escasez de agua y suelos con malas propiedades para el cultivo. Se sabe que desde el 2008, el 77% del área irrigada con aguas residuales en Lima son destinadas a la agricultura y la acuicultura, a pesar que sólo representa el 44% del total de actividades realizadas (Moscoso y Alfaro, 2008). Ello significa que el uso de la agricultura emplea considerable área y a la vez requiere gran dotación de agua. Se conoce en la actualidad, que el riego de zonas agrícolas tiene dos caminos definidos. El primer camino es el riego con agua de río siendo este procedimiento con consentimiento de las autoridades locales del agua y sus comisiones correspondientes. A pesar de ello, se puede ver como el agua captada aún contiene ciertos niveles de contaminación, los cuales son ignorados. El segundo camino es el riego informal con agua residual, teniendo como resultado productos agrícolas con grandes características perceptibles, como vegetales de gran tamaño o colores muy definidos. Dichas características se deben al contenido de nutrientes del agua residual, como el nitrógeno, potasio y fósforo, sin embargo también se debe recordar que un gramo de heces contienen virus, bacterias, parásitos y huevos de gusanos (Franken, 2007). Por esta razón, los alimentos regados por aguas residuales tienen un nivel de contaminación muy alta.

El Ing. Guillermo León, especialista en el tratamiento de aguas residuales y su reutilización, señala la gran importancia de mantener rangos de calidad para el agua residual en el uso agrícola. Señala las directrices sobre la calidad de las aguas residuales y las normas para el aprovechamiento según un número máximo admisible de bacterias coliformes fecales. Es muy importante concentrarse con mayor detalle en los coliformes fecales, debido a que los coliformes totales no son buenos indicadores ya que no todos son fecales. Los coliformes fecales son indicadores menos satisfactorios de virus excretados y tiene uso limitado para tratar protozoarios y helmintos (León, 1995).

En 1971, el grupo de expertos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en aprovechamiento de efluentes reconoció que las normas californianas eran muy estrictas. Un ejemplo es el Departamento de Salud Pública del Estado de California donde sus normas permitían solo 23 o 2.2 coliformes por cada 100 ml según el cultivo de regado y el método de riego empleado, luego se cambiarían los parámetros a 100 coliformes por cada 100 ml. Más adelante el OMS, el Banco

Mundial, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, el Centro Internacional de Investigadores para el Desarrollo (Canadá), el Centro Internacional de Referencia sobre Disposición de Desechos (Suiza), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos y muchas instituciones de gobiernos y académicas juntaron esfuerzos para generar una base epidemiológica más racional para las directrices sobre el riego con aguas residuales (León, 1995).

En últimos estudios, se ha generado una mayor flexibilidad en los estándares de los coliformes fecales, tomando mayor protagonismo los huevos de helminto, debido a que constituyen mayor peligro en zonas públicas, en especial en zonas donde las helmintiasis son endémicas.

El panorama peruano muestra problemas de riego en zonas rurales e informalidad de zonas agrícolas. En muchos casos, no se llegan a determinar los parámetros exactos para el agua de riego en la agricultura que se está expuesto a cualquier tipo de daño a la salud. Otro problema es el agua regada de río, muchas veces contiene minerales o metales pesados por acumulación de residuos de mineras o industrias.

En el centralismo y descentralismo se sugiere generar en ciertas zonas rurales plantas de tratamiento viables, que generen producción a las necesidades locales. El caso de la agricultura sería un muy buen ejemplo de reutilización, ya que no solo se emplearía las aguas para riego sino también los lodos tratados. A pesar de ser buena la idea, es fundamental volverla viable, debido a que se debe adecuar la tecnología y el costo de mantenimiento de la misma con respecto al cobro anual de los pobladores. Un ejemplo práctico de la reutilización del agua residual para la agricultura la tenemos en Manchay. La planta de tratamiento instalada allí es una de las más modernas y además de ayudar a darles mejor calidad de vida a los pobladores, es vital su reutilización en la agricultura. Esta planta de tratamiento de lodos activados sirve para irrigar 1,000 acres de tierra de cultivo al día. A pesar de no ser un referente exacto de la descentralización, por el tamaño de la planta, la idea y la iniciativa generan un buen enfoque a un cambio (Arqhis Arquitectura, 2012).

Además de la agricultura, la acuicultura es otra manera factible de reutilizar las aguas residuales, a su vez que traería grandes beneficios en zonas rurales.

Las ideas antes mencionadas sobre la reutilización de las aguas residuales, son bosquejos de ideas para buscar soluciones ante la problemática mayor. Países como Israel, tienen planes integrales a largo plazo para utilizar las aguas residuales tratadas en zonas agrícolas, lo cual han convertido su escasez de agua en un incentivo a desarrollar una de las mejores tecnologías para el mejoramiento en el riego agrícola. Uso de riego por goteo y otras técnicas son empleadas para determinar su mejoramiento en los proyectos.

Las áreas verdes dentro de las zonas urbanas, determinan la calidad y educación de los pobladores con respecto a sus espacios comunes. Distritos como San Borja o San Isidro, en Lima, ponen bastante importancia por el cuidado y mantenimiento de sus parques, debido a que genera un contraste paisajista entre lo natural y las estructuras de concreto.

En Lima, con respecto al riego actual muchas municipalidades contratan cisternas para regar, otras más proyectadas generan sus pequeñas plantas de tratamiento cerca del río para reutilizar esta agua y finalmente en las casas se riega con agua potable. El riego de áreas públicas verdes con agua potable está prohibido por Sedapal dentro del “Reglamento para la prestación de servicios de agua potable y alcantarillado sanitario de Sedapal” (Publicado en el Diario Oficial El Peruano: 30 de Agosto de 1996). En el acápite 12.3 de RIEGO DE PARQUES Y JARDINES se señala:

El riego de parques, bermas y otras áreas verdes públicas no se efectúa con agua potable. De no haber otra alternativa de riego, SEDAPAL puede brindar el servicio a medidor siempre que se suscriba un Contrato de Suministro con el Municipio, y bajo las siguientes condiciones:

- a.- Que el área sea de servicio público.*
- b.- Que el proyecto de instalaciones para el uso del servicio sea aprobado por la Empresa.*
- c.- Que el riego se efectúe en los horarios que SEDAPAL establece.*
- d.- Que el municipio respectivo, se comprometa al uso de elementos que permita un riego racional.*

A pesar de prohibirse el uso de riego con agua potable, no se brinda otra opción para realizarla. Parte de la escasez que sufre actualmente Lima, se debe al mal uso del agua, siendo ello un motivo más para no poder llevar agua a todos los limeños. Se desea proponer la reutilización de las aguas negras tratadas en el riego de los

parques para mejorar la calidad de vida de los habitantes y minimizar el impacto ambiental.

En la reutilización de aguas residuales se encuentra un problema en el Perú, ya que no existe un ECA que defina la reutilización en riego de parques y jardines. Por este motivo se tomará en cuenta los estándares del OMS, en la categoría A. Se tiene que considerar que el OMS sugiere tener mayor cuidado en el agua residual tratada para uso de riego en zonas de contacto humano, que en uso agrícola. Se recomienda tratar el agua residual hasta tener un nivel de coliformes fecales ≤ 1000 por 100 ml.

A continuación se presenta los parámetros de calidad microbiológica del OMS en la tabla 5.2.

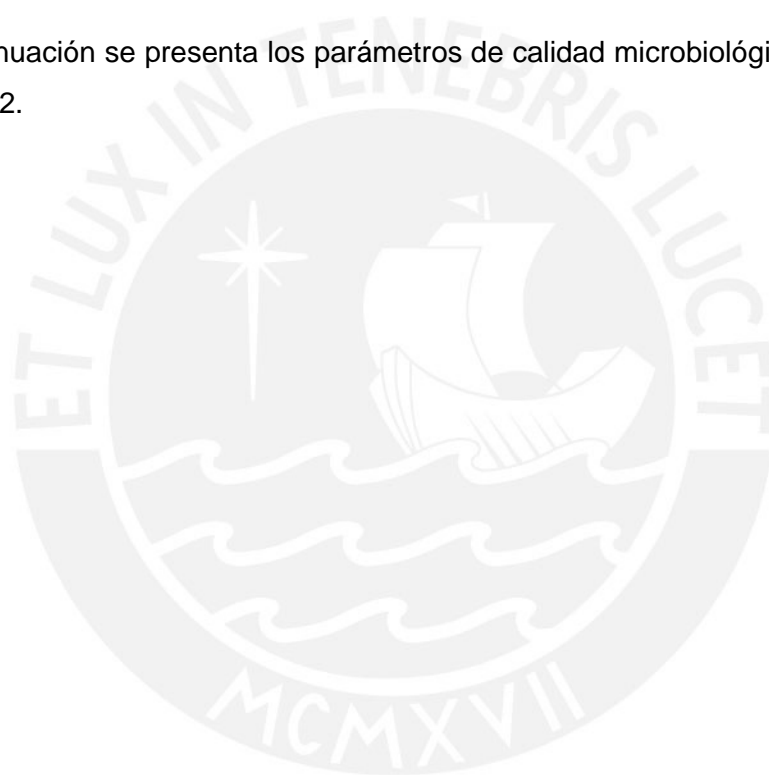


Tabla 5.2. Parámetros de Calidad Microbiológica recomendados para la reutilización de aguas residuales en la Agricultura (Adaptado por León, 1995).

Parámetros de Calidad Microbiológica Recomendados para la Reutilización de Aguas Residuales en la Agricultura					
Categoría	Reutilización aplicada	Grupos expuestos	Nematodos Intestinales (media aritmética número huevos litro)	Coliformes Fecales (media geométrica del número de coliformes por cada 100 ml)	Tratamiento de aguas residuales para llegar a la calidad microbiológica requerida
A	Riego de cultivos de productos que se consumen sin cocinar, de campos de deporte y de parques públicos	Trabajadores, consumidores y público	≤ 1	≤ 1000	Una serie de lagunas de estabilización para conseguir la calidad microbiológica indicada o tratamiento equivalente)
B	Riego de cultivos de cereales y especies industriales, forrajes, pastos y árboles.	Trabajadores	≤ 1	Sin estándares recomendables	Retención en lagunas de estabilización durante 8-10 días o eliminación equivalente de helmintos y coliformes fecales.
C	Riego localizado de cultivos de la categoría B cuando no haya exposición de público y trabajadores	Ninguno	No aplicable	No aplicable	Pretratamiento dependiendo del sistema de riego

CAPÍTULO 6. URBANIZACIONES SOSTENIBLES: DESCENTRALIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

En el presente trabajo, se ha descrito la problemática del agua y el desagüe en el mundo, enfatizando de forma puntual, el caso del Perú. Al conocer las desventajas y problemas en el Perú sobre el saneamiento, se ideó conceptos para una mejora del mismo surgiendo el concepto contrario de la forma del problema, el “descentralismo en el saneamiento”.

Esta propuesta de solución puede ser viable mediante el apoyo del sector económico, así se buscaría captar la atención del sector inmobiliario, para poder hacer realidad las urbanizaciones sostenibles.

En la actualidad, el “boom” inmobiliario no solo genera crecimiento vertical urbano, sino también crecimiento horizontal hacía la creación de focos para nuevas zonas urbanas en distritos en las afueras de las principales provincias. Así tenemos diferentes empresas dedicadas a la transformación de predios rurales en habilitaciones urbanas, condominios, clubs, entre otros. Estos centros urbanos son habitados por población fija, es que se construyen un número determinado de domicilios, dentro de los cuales se asume una densidad población promedio. Al enfocarse en la zona urbana, se trata de buscar necesidades del sector privado que involucren el tratamiento de aguas residuales domésticas, para ello se buscará ayuda en los conceptos del descentralismo.

La idea se enfoca entonces en colocar plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en estos centros de población fija y crear un compromiso de preservar el medio ambiente con el tratamiento adecuado de aguas residuales domésticas mediante un crecimiento urbano ordenado.

Lo que ofrece el descentralismo es agua tratada como producto final de las plantas de tratamiento de aguas residuales y el uso en el riego de parques. La idea se puede vender para las inmobiliarias como el concepto de urbanizaciones con “zonas verdes siempre”. Recordemos que uno de los principales focos de crecimiento en la actualidad en Lima y provincias son zonas en los alrededores de la urbe, como por ejemplo zonas como Carabayllo, Puente Piedra, o Lurín ubicado en Lima (DESCO, 2007). Estas zonas tienen el problema de no contar con municipalidades preocupadas por un correcto desarrollo urbano, es decir, se puede tener la mejor intención para aumentar el desarrollo formal, pero si la ciudad no

crece de manera ordenada y respetando las áreas verdes, el avance se verá sumergido en caos y contaminación.

Es así como las inmobiliarias venderían la idea de urbanizaciones seguras y agradables para vivir, que generen calidad de vida a sus clientes. Entonces, la idea va tomando forma, la planta de tratamiento se colocaría no solo para contribuir con el medio ambiente, sino para mejorar la calidad de vida de las personas mediante el riego constante de áreas verdes en toda la residencial. Así, esta situación traería como consecuencia un triple resultado: impactos positivos ambientales, sociales y económicos.

Durante el transcurso de esta investigación surgió el factor “necesidad”, es decir, el colapso de las plantas de tratamiento de aguas residuales. En el caso de Lima, SEDAPAL se vio obligado a no generar algunas factibilidades de agua, el permiso con el cual la empresa de servicio de agua y desagüe da conformidad del proyecto presentado, debido a que algunas plantas de tratamiento existentes ya habían sido sobrecargadas. SEDAPAL no daría factibilidad hasta que se genere una ampliación y solución a la planta de tratamiento más cercana. Es así como la Gerente General de SEDAPAL, Rossina Manche, declaró en el diario Gestión (17 de Abril de 2012): “Nos piden nuevas factibilidades de agua donde antes había un predio de una casa con cuatro personas, pero ahora hay un edificio con 25 departamentos y con más de 100 personas que demandan el servicio...”.

Al no haber una solución inmediata por medio de la entidad prestadora de servicio, la inmobiliaria tendría que recurrir a una solución para no perder tiempo, satisfacer la demanda y generar alternativas de mejorar calidad de vida a la personas. Esta solución inmediata sería la colocación de pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales dentro de las urbanizaciones. Es así como sería rentable para la empresa y beneficiosa para el ambiente y la sociedad.

6.1. USO DEL AGUA REUTILIZADA

En el caso de urbanizaciones sostenibles se generará como uso principal el riego de parques y jardines, es decir todo tipo de zonas verdes. El proceso de diseño de la urbanización de población fija, tendrá como principal reto asumir la dotación de agua por los habitantes y generar la suficiente agua para regar todas las áreas verdes. En algunos casos el agua residual tratada es mayor que la cantidad necesaria para riego de zonas verdes en la urbanización. En esos casos será

necesario retirar el agua hacia el receptor más cercano, teniendo en consideración el ECA (Estándar de calidad del agua) que corresponde para el uso del receptor.

Se puede asumir como puntos favorables, tener áreas verdes cuidadas durante todo el tiempo, pero también depende mucho del diseño. Como ya se ha señalado muchas veces no se considera la verificación de la arquitectura de la urbanización con la proyección del agua y desagüe. Otra de las soluciones alternativas que se puede brindar, es generar beneficios a los vecinos que no cuentan con áreas verdes. Al dotar de agua residual tratada a los vecinos, la EPS puede asumir los costos de mantenimiento vs la ganancia del aumento en la tarifa por mejorar las áreas verdes.

En el caso de zonas residenciales, esta solución sería muy optimista en la mejora de calidad de vida de las personas pues ellas se acostumbrarían a tener zonas verdes y diseños estéticamente agradables en sus domicilios. En el caso de centros educativos, sería muy interesante tomar como concepto el riego de zonas verdes, ya que no solo se tendrían en consideración zonas verdes ornamentales sino también se tomaría en cuenta el riego de zonas verdes recreativas, como canchas de fútbol. Se debe considerar que en centros educativos es mayor el área verde en contacto con las personas, por ello demandará un mayor cuidado en los temas de mantenimiento y operación en los procesos de la planta de tratamiento.

6.2. CALIDAD DE AGUA PARA LA REUTILIZACIÓN

Debido que el objetivo es reutilizar el agua residual para riego de zonas verdes se deberá ver qué normas y estándares señala el estado peruano para tratar el agua. Como se señaló en el capítulo cinco, el marco legal peruano establece los estándares de calidad que se debe tener en cuenta para el tratamiento del agua en cada uso, tanto en agricultura, acuicultura, potabilización, etc.

En el caso de la reutilización en riego de zonas verdes como jardines, parques y zonas deportivas, el Perú no cuenta con un estándar que describa la calidad del agua. Dentro de los ECAs mencionados no se encuentra en ningún rubro el reuso en riego para zonas verdes como parques y jardines. Se puede asumir como riego de zonas deportivas por ejemplo canchas verdes de fútbol a la Categoría I, siendo erróneo. Según el Decreto Supremo 023-2009- MINAM, señala lo siguiente:

“ii. Sub Categoría B. Aguas superficiales destinadas para recreación

- *B1. Contacto primario: Aguas superficiales destinadas al uso recreativo de contacto primario por la Autoridad de Salud, incluye actividades como natación, esquí acuático, buceo libre, surf, canotaje, navegación en tabla a vela, moto acuática, pesca submarina, o similares.*
- *B2. Contacto secundario: Aguas superficiales destinadas al uso recreativo de contacto secundario por la Autoridad de Salud, como deportes acuáticos con botes, lanchas o similares.”*

Es decir, en ninguna parte del Decreto Supremo se clasifica el riego de zonas recreativas verdes, siendo la solución que ampara, guiarse de las directrices establecidas por el Organismo Mundial de la Salud (OMS). En este se establece parámetros de calidad microbiológica recomendados para la reutilización de aguas residuales en la agricultura, en la categoría A, el riego de cultivos de productos que se consumen sin cocinar, de campos de deporte y de parques públicos. Asumiendo la responsabilidad que estas zonas verdes mantiene contacto directo con las personas. Los coliformes fecales asumidos en el estándar son menores a 1000 coliformes por 100 ml. En el caso de Nematodos intestinales el estándar es más riguroso, menor a 1 huevo de nematodo por litro (León, 1995).

Estas directrices del OMS fueron publicadas en 1989 en Ginebra, producto de una rigurosa investigación en varias zonas del mundo, entre la que destaca la ciudad de Springs, Colorado. Es en estas directrices que se determina mayor flexibilidad en los estándares de calidad de agua, además de mostrar el mayor peligro que demanda el contacto directo del agua en zonas públicas o recreacionales que en el riego de verduras consumidas crudas.

A pesar de considerar datos generales de las directrices del OMS, es un gran reto buscar mejorar y analizar la realidad peruana con respecto a los estándares de calidad del agua ya que existen diferentes factores que enmarcan una realidad nacional, entre los que se encuentran la pobreza, desnutrición, etc. Los ECAs en la actualidad sirven para generar una regulación para el vertimiento del agua pero aún se puede mejorar bajo la realidad nacional. En el caso de este estudio se toma como decisión asumir las directrices del OMS para regir la calidad de agua para riego de parques, jardines y zonas recreativas.

6.3. TECNOLOGÍA PARA EL TRATAMIENTO PARA ADQUIRIR LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD

A lo largo de la investigación se fue testigo de la gran cantidad de alternativas de tecnologías para la solución del tratamiento de aguas residuales. Ello lleva a tener un mayor conocimiento de los procesos, su funcionamiento, sus principales ventajas y desventajas.

Fue muy bueno contar con varias alternativas de solución porque se aprendía a diferenciar, encasillar y clasificar a las tecnologías. Como se vio en el capítulo tres, las tecnologías tienen como principal semejanza, que sus procesos cumplen las mismas funciones sin tener métodos similares. Los métodos se centran en el flujo continuo de retiro de materiales por tamaño y por carga biológica, llegando a los últimos procesos libre de mayores impurezas, según el estándar que se quiere lograr.

En el caso de las urbanizaciones sostenibles para reutilizamiento de aguas residuales en riego, será necesaria una alternativa compacta, segura, con cuidados adecuados y con gran efectividad de purificar el agua. Para el inversionista no solo será necesario ver los puntos antes mencionados, sino también generar la planta de tratamiento en la menor área posible, buscando minimizar las pérdidas de área vendible.

Para el sistema de tratamiento de aguas residuales se tendrá como objetivo diseñar una planta con pre tratamiento y/o tratamiento primario, tratamiento secundario y finalmente tratamiento terciario. En el caso de pre tratamiento y tratamiento primario se constarán los procesos en cámara de rejillas o sedimentadores. Al tratar aguas residuales domésticas la carga es menos concentrada que uniendo aguas residuales con industriales y otros. Para la elección del tratamiento secundario se tomará algunos factores específicos determinantes como el área que ocupe la planta, la eficiencia de remoción, los costos en construcción como mantenimiento y algunos factores generales como la estabilidad y simplicidad.

Se analizará la tabla general de Von Sperling, la cual califica los tratamientos secundarios principales bajo diferentes secciones. Von Sperling fue uno de los principales investigadores, que pudo determinar las diferencias de manera cuantitativa y cualitativa, de los sistemas de tratamiento secundario. Dentro de algunas características se encuentran muchos de los requisitos que se asumirá para la instalación de la planta de tratamiento en la urbanización.

En la tabla 6.1 se puede observar que los sistemas de tratamiento elegidos por Von Sperling.

Tabla 6.1. Tabla comparativa de tecnologías más usadas para zonas urbanas sobre el análisis de Von Sperling (Adaptada por Arce, 2012).

Tecnología de tratamiento	Referencia	Eficiencia de remoción (%)				
		Sólidos suspendidos	DBO	N	P	Coliformes
Tanque Séptico	Batalha, 1989	50--70	40--62	< 10	< 10	< 60
Tanque Séptico - filtro anaerobio	Von Sperling, 1996	--	70--90	10--25	10--20	60--90
Tanque Séptico - Filtro anaerobio - humedal de flujo superficial	Madera et al., 2005	81--88	71--82	15	15	74--96
Primario avanzado (TPA)	Torres et al., 2005	73--84	46--70	< 30	75--90	80--90
Filtro anaerobio - filtro de arena	Tonetti et al., 2005	> 90	90	>95	--	--
Infiltración lenta	Von Sperling, 1996	--	94--99	65--95	75--99	> 99
Infiltración rápida	Von Sperling, 1996	--	86--98	10--80	30--99	> 99
Infiltración subsuperficial	Von Sperling, 1996	--	90--98	10--40	85--95	> 99
Escurrimiento superficial	Von Sperling, 1996	--	85--95	10--80	20--50	90--99
Laguna facultativa		--	70--85	30--50	20--60	60--99
Laguna anaerobia - laguna facultativa		--	70--90	30--50	20--60	60--99
Laguna anaerobio – humedal	Osorio, 2006	87--93	80--90	37--48	45--50	--
UASB	Torres, 2000	60--80	60--70	10--25	10--20	60--90
UASB - laguna facultativa	CDMB, 2006	84	88	--	--	--
UASB - lodo activado convencional	Van Haandel y Lettinga, 1994	85--95	85--95	15--25	10--20	70--95
UASB - lodo activado intermitente	Torres, 2000	84--86	87--93	20--90	23--72	--
Lodo activado convencional	Von Sperling, 1996	80--90	85--93	30--40	30--45	60--90
Lodo activado flujo intermitente (SBR)	Von Sperling, 1996	80--90	85--95	30--40	30--45	60--90
Lodo activado aireación extendida	Von Sperling, 1996	80--90	93--98	15--30	10--20	65--90
Filtro biológico	Von Sperling, 1996	85--95	80--93	30--40	30--45	60--90
Biodiscos	Torres et al., 2006	85--95	85--93	30--40	30--45	60--90

Las tecnologías señaladas en la tabla 6.1 cuentan con buena remoción. En general cuentan con un sistema que remueve los coliformes y el DBO, de manera similar.

Como punto importante se verá cuales son los sistemas de tratamiento que generan menor área de construcción. Se puede observar en la tabla 6.1 que los tratamientos como lagunas facultativas o humedales son las más desfavorables, debido a que se requieren gran cantidad de terreno para recibir la cantidad de agua residual y generar a la vez los procesos de descomposición y estabilización. Estos procesos al no tener mecanismos de ayuda para agilizar la descomposición biológica deben almacenar grandes cantidades de agua, dificultando su uso en zonas residenciales.

Asimismo, los sistemas de lagunaje y humedales cuentan como desventaja producir la proliferación de olores e insectos, estas características son consecuencia de la poca ayuda mecánica que recibe el tratamiento. (Peré, 2012).

Con esta eliminación de opciones quedan como opciones a elegir, los tratamientos anaerobios, de lodos activados y filtros percoladores, los cuales pasan a la siguiente nivel, los costos de construcción. En el costo de construcción, los filtros percoladores constituye el tratamiento que no llega a ser accesible a la realidad urbana (Metcalf y Eddy, 1995). Si se desea hacer un pequeña planta que genere las menores dificultades de retorno del capital invertido esta opción no es la más adecuada, debido a que la inversión de la planta se contrastaría con el mantenimiento y no llegaría ser alentador para el inversionista.

En el caso de lodos activados, dicha tecnología también tiene un alto costo de construcción, por lo que no se considera una solución viable para un inversionista inmobiliario, sin embargo podría ser factible asumir el procedimiento de lodos activados con aireación extendida. A pesar de ser muy buenas opciones los lodos activados convencionales y los tanques SBR, los sistemas son costosos de construir y de mantener en operación. Con respecto al crecimiento del número de personas estos sistemas se hacen más viables (Peré, 2012).

Se debe tener en cuenta que hay dos opciones sobre el mantenimiento de las plantas: que la empresa inversionista inmobiliaria asuma el costo o destinarla a la EPS. Se sabe que los inversionistas al asumir la construcción de las plantas de tratamiento liberan de esta inversión a las EPS. Es indispensable que las EPS generen un flujo de caja importante que muestre en qué momento la planta de tratamiento genera ganancias con el cobro de tarifas vs el costo de mantenimiento, sin bajar la calidad de este rubro. En el caso de los inversionistas el costo de la construcción se puede ver reflejada en el costo del bien que genera, en este caso algún lote o departamento. Es decir, el costo total de la obra dividida entre el número de habitantes, genera un costo menor a 40 dólares, en el caso más desfavorable como por ejemplo en una habilitación urbana que tiene lento crecimiento poblacional. Es así que 40 dólares por habitante y 200 dólares por familia aproximadamente, con respecto al costo de una casa o departamento de \$30,000 significa 0.13% por habitante y 0.67% por familia del valor referencial, generando un mayor foco de atracción para los inversionistas inmobiliarios, ya que no solo venden una idea de mejora para la calidad de vida de las personas sino generan retorno de inversión a corto plazo.

Regresando al tema técnico, se debe recordar que es muy importante la selección del tratamiento secundario, ya que es aquí donde ocurre la mayor parte de remoción del agua residual. Además es el punto de mayores problemas en el Perú ya que muchas veces no se cuenta con tratamientos primarios o terciarios, solo se depende del tratamiento secundario, y este no cuenta con un buen mantenimiento.

El tratamiento secundario deberá ser condicionado para un mantenimiento consciente a la realidad. Actualmente, el mantenimiento es mínimo por lo que se debe elegir una tecnología que busque el menor tiempo y gasto, sin dejar que el tratamiento sea eficiente. Si busca tener una tecnología muy avanzada, dependerá mucho de la calidad de mantenimiento e inversión de los operadores por lo que si en un momento se llega a estimar una buena inversión con una avanzada tecnología, el resultado es un mantenimiento ineficiente. Es por ello, que se debe adecuar un cambio gradual sobre la educación de mantenimiento a las plantas. En el caso de encontrarse en zonas urbanas las plantas demandarán mayor alerta de alguna falla.

En la actualidad, también se cuenta con una tecnología que ayuda de manera eficaz al tratamiento de aguas residuales, los biorreactores de membranas. Esta tecnología presenta muchas ventajas con respecto a las tecnologías tradicionales entre ellas la calidad de agua tratada, menor producción de lodos, plantas más compactas, entre otras. Se compone de partes integradas: el reactor biológico responsable por la depuración biológica, la separación física de la biomasa y el agua mediante el sistema de filtración directa con membranas. La gran ventaja con la que cuenta esta tecnología se deriva a las elevadas concentraciones de biomasa con las que se trabaja en el reactor biológico, debido a la membrana que actúa como barrera física y que no deja escapar las bacterias permitiendo un control del tiempo del lodo (Lopetegui, 2005).

En la tabla 6.2 encontramos los rendimientos en el sistema MBR, desde su entrada a su salida.

Tabla 6.2. Rendimientos en el sistema MBR (Lopetegui, Larrea, Zabala y De La Parra, 2005).

Agua residual	Entrada MBR	Salida MBR	Rendimiento (%)
DQOT (mg/L)	10720	<180	>98
DQOF (mg/L)	10400	<180	>98
DBO5F(mg/L)	4100	<15	>99
SS (mg/L)	100	0	>99
NT (mg/L)	392	<25	>93
N-NH4 (mg/L)	350	<5	>98

En la tabla, se puede observar lo eficiente del sistema de tratamiento MBR. Comparado con el sistema de Lodos Activados, el sistema MBR genera mayor carga volumétrica eliminada, es decir depura de mejor manera el agua residual. El porcentaje de rendimiento generado en los residuos dañinos de las aguas residuales son muy alentadores. Este sistema es muy eficaz, genera mejores resultados dentro de la limpieza para la reutilización del agua.

A pesar de la gran eficacia de los MBR, no es posible asumir dentro del descentralismo peruano por la complejidad de sus operaciones mecánicas. Al colocar una pequeña planta de tratamiento en las urbanizaciones o zonas de población fija, se dispondrá de mayor cuidado en el mantenimiento, es decir, mayor inversión. La empresa alemana HUBER, es una de las mejores empresas que mantiene grandes avances en tecnología bajo este sistema (MBR), pero sus operaciones y equipamiento aun no suelen ser rentables para plantas de tratamiento de menor escala.

Después de todo el análisis realizado bajo parámetros específicos urbanos, se llega a la tabla 6.3, donde se compara las tecnologías más adecuadas para zonas urbanas.

Tabla 6.3. Tabla comparativa general para diseño urbano.

Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales	de	de	de	de	de	de
	Remoción	Área	Mantenimiento	Costo de inversión	Costo de mantenimiento	
RAFA (Reactores anaerobios de flujo ascendente)	Buena	Compacta	Su cuidado es muy detallado.	Moderado	Moderado	
Lagunas de oxidación	Buena	Extensa	Su mantenimiento es mínimo.	Bajo	Bajo	
Lodos Activados	Buena	Compacta	Debe tener mantenimiento y genera gran cantidad de consumo de energía.	Alto	Alto	
Bioreactores de membranas	Muy Buena	Compacta	Su cuidado es muy detallado.	Alto	Alto	
Tanques SOTAS (Sistema ovalado de tratamiento de alta suspensión)	Muy Buena	Compacta	Su mantenimiento es mínimo.	Bajo	Bajo	

Con respecto a la tabla 6.3 se distingue que las lagunas de oxidación y los lodos activados no suelen ser una solución viable dentro de zonas urbanas. Se debe recordar que la idea del descentralismo, es instalar pequeñas plantas de tratamiento dentro de las urbanizaciones, haciendo este proyecto viable gracias a la inversión privada.

Haciendo nuevamente los ajustes y retirando las opciones de lagunas y lodos activados, se obtuvo la tabla 6.4. En esta tabla se mostrará las alternativas de tecnologías que se evaluará para el desarrollo descentralizado urbano.

Tabla 6.4. Tabla de alternativas de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales en el descentralismo peruano (Von Sperling, 1996 / Codemet, 2012)

SISTEMAS DE TRATAMIENTO	Eficiencia de Remoción (%)		Requerimientos		Costos de Construcción (US\$/hab.)	Olores	Simplicidad (Operación y mantenimiento)
	DBO	Coliformes	Terreno (m ² /hab.)	Energía (W/hab.)			
Reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA)	60-80	60-90	0.05-0.10	0	20-40	Sí, se debe tener cuidados.	Muy Simple
Lodos activados de aireación extendida (SOTAS)	90	90	0.12	2.5	28	Sin Olores	Muy Simple
Bioreactor de membranas (MBR)	99	92	0.02	10.75	144	Sin Olores	Regular
Reactores biológicos secuenciales (SBR)	85-95	60-90	0.20-0.30	2.7	50-80	Manejable.	Simple

En la tabla 6.4 se encuentra como se evalúan características como la eficiencia de remoción, área de terreno ocupada, la energía consumida, el costo de la construcción, el problema de olores y la simplicidad del mantenimiento. En todas las

alternativas se llegan a grados de eficiencia de remoción conformes al Reglamento Nacional de Edificaciones. Las diferencias se marcan de acuerdo al grado de inversión a corto y largo plazo en construcción y mantenimiento. El costo de construcción de los MBR es mayor que otras opciones por la diferencia de la eficiencia de remoción, además el costo de su mantenimiento también es elevado.

Luego en la tabla 6.5 se muestran la evaluación de las opciones aprobadas con los datos de la tabla 6.4.

Tabla 6.5. Tabla de calificación de alternativas de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales en el descentralismo peruano.

SISTEMAS DE TRATAMIENTO	Eficiencia de Remoción (%)		Requerimientos		Costos de Construcción (US\$/hab.)	Olores	Simplicidad (Operación y mantenimiento)	Puntaje
	DBO	Coliformes	Terreno	Energía				
Reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA)	1.25	1.88	4.04	5.00	5.00	1.50	4.00	22.67
Lodos activados de aireación extendida (SOTAS)	3.75	3.75	3.26	4.07	4.74	5.00	5.00	29.57
Bioreactor de membranas (MBR)	4.88	4.00	5.00	1.00	1.00	5.00	3.00	23.88
Reactores biológicos secuenciales (SBR)	3.75	1.88	1.00	4.00	3.55	3.00	4.00	21.18

*1 = puntaje más desfavorable, 5 = puntaje más favorable.

En la tabla 6.5 se puede ver que las mejores opciones de eficiencia de remoción son los lodos activados por aireación extendida y los biorreactores de membranas. El sistema RAFA queda relegado como ultima opción urbana, debido al cuidado que se le debe dar para no generar malos olores. Además el sistema de tanques SBR también cuenta con la desventaja del alto costo que genera su construcción y mantenimiento, por el nivel de energía consumida. La puntuación servirá para calificar cuál es la mejor opción para zonas urbanas en el Perú.

Para el tratamiento terciario, se asumirá cuatro opciones: la desinfección con cloro, con dióxido de cloro, con ozono y aplicación de radiación UV. En el caso del tratamiento terciario se deberá asumir que se complementará con el tratamiento secundario elegido. Se conoce que los métodos mostrados son eficientes en un

grado alto, por ende se asume que su proceso de desinfección del agua para alcanzar los estándares del reuso en riego de parques y jardines será exitoso.

Luego se evaluará las desventajas, en particular el tema de cuidado, debido a que se debe ser consciente de la realidad nacional, la cual no genera mayor inversión de tiempo en el cuidado y mantenimiento de la planta. Por eso se tiene que evocar la elección a la alternativa que requiera menor mantenimiento y costo. En el caso del uso del cloro a pesar de ser muy eficiente, se debe tener muchos cuidados con el uso para menor o gran escala, ya que su uso en pequeñas proporciones podría ocasionar que no se llegue a cumplir con el estándar requerido. En el caso de utilizar el cloro en mayor proporción corremos el riesgo de generar trihalometános (THM), la cual podría tener consideraciones con el contacto de animales y personas en las zonas verdes. Se conoce que los trihalometános son producto del cloro con compuestos orgánicos, que según estudios de la EPA (Environmental Protection Agency) determinaron que puede ocasionar cáncer en algunos animales y personas, es por ello que se determina un estándar de dosis. Como estas pequeñas plantas deben generar menor inversión de dinero y tiempo en el mantenimiento y operatividad, la opción del cloro queda descartada ya que demandaría mucho cuidado en el último proceso (León, 1995).

El mismo problema del cloro se puede tener con el dióxido de cloro. Se necesitará invertir más dinero y tiempo en tema de cuidados para el mantenimiento del proceso. Es necesario buscar una solución que no genere tanto empeño en el mantenimiento. Cuando se observa las experiencias en la realidad nacional, se debe mejorar la calidad de inversión en temas de bienestar social y ambiental, pero el cambio debe ser de a pocos. Se debe generar un ambiente de transición consciente para que sea bien recibido por los inversionistas y entidades que regularán las plantas de tratamiento.

La radiación ultravioleta busca eliminar los patógenos restantes del tratamiento secundario mediante el uso de los rayos UV. Este procedimiento capta mucha atención por el nivel de seguridad y el bajo control de mantenimiento que requiere. Esta alternativa de tratamiento terciario debe tener cuidado en su operación, ya que el operador no puede ver esta radiación directamente a los ojos pues podría causarle ceguera (Peré, 2012).

Como principales ventajas del uso de la radiación UV tenemos (Peré, 2012):

- No genera subproductos químicos ni insumos químicos.

- No necesita tanques de contacto.
- Necesita poco tiempo para la desinfección y tiene mantenimiento simple.
- El reemplazo de las lámparas son cada año.

La desinfección mediante la luz ultravioleta tiene como principal misión destruir el ácido nucleico de los microorganismos. Se conoce que los microorganismos están divididos en virus, bacterias, hongos, algas y protozoarios. Su célula básica está compuesta por pared celular, la membrana citoplasmática y el ácido nucleico. En el tratamiento terciario los microbios son destruidos cuando la radiación ultravioleta penetra la célula y es absorbida por el ácido nucleico. Este proceso provoca la reordenación de la información genética y a la vez interfiere con la reproducción de la célula generando que los microorganismos sean inactivados por la luz ultravioleta (Peré, 2012).

A continuación se muestra la tabla 6.6, donde se señala las ventajas y desventajas de los procedimientos más usados como tratamientos terciarios.

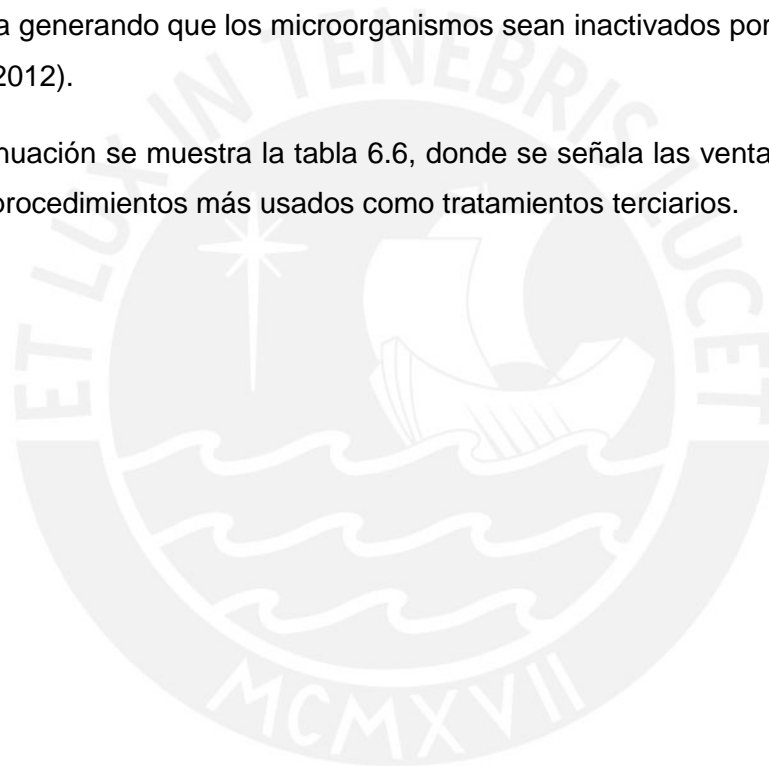


Tabla 6.6. Ventajas y desventajas de tratamientos terciarios (Garraón, 1997).

Tratamiento terciario	Ventajas	Desventajas
Cloro	Germicida potente. El cloro reduce a gran escala los microorganismos patógenos	En 1974, el EPA (Environment Protection Agency) determino que el cloro reacciona con ciertos compuestos orgánicos, formando trihalometanos (THM). Se pudo comprobar que el THM era cancerígeno para algunos animales del laboratorio, por lo que se comenzo a sugerir colocar estándares a las dosificaciones de cloro.
	Cualidades residuales. La persistencia del cloro residual se mantiene el efecto germicida un tiempo superior a cualquier desinfectante	
	Control químico. El cloro destruye compuestos nitrogenados, sulfuro de hidrógeno y amoniaco	
Dióxido de cloro	Su capacidad germicida se produce en un rango de pH (3 a 9) y aumenta con la acidez, es decir tiene un efecto más potente que el cloro en un tiempo de contacto menor.	Se descompone en subproductos inorgánicos (clorito y, en menor grado, en clorato). Además requiere equipo de generación y manejo de productos químicos en el lugar que se emplea, esto generaría gastos costosos, además de un mantenimiento constate.
	No reacciona con el nitrógeno amoniacal para formar aminas cloradas	
	No reacciona con material oxidable para formar compuestos organoclorados, destruyendo hasta un 30% de los precursores de THM.	
Ozono	Excelente acción germicida contra los virus, protozoos y otros agentes patógenos	Se debe cubrir la demanda de oxígeno por lo que el proceso se vuelve más costoso
	Desinfecta y oxida muy efizcamente	Genera productos de desinfección que incluyen aldehídos, cetonas, ácidos carboxílicos, quininas, peróxidos y THM de bromo
	No genera ningún subproducto organoclorado	El ozono no puede ser transportado por lo cual se debe generar in situ. Se necesitará corriente de oxígeno o aire por una fuente generadora de corriente eléctrica (6 a 20 KV) a baja o media frecuencia
Radiación Ultravioleta	No precisa almacenamiento químico ni equipo para su manipulación o alimentación	Extremo cuidado con el contacto visual en el funcionamiento
	No tiene subproductos de desinfección identificados	

Se puede notar que el uso del cloro y sus derivados deben tener mayor cuidado de lo normal, debido a que la cantidad de su uso depende que se genere una buena eliminación de patógenos. Las medidas que debe usarse son muy detalladas, un menor uso no serviría para eliminar residuos y un mayor uso generaría trihalometanos, estos generan daños en el organismo y son cancerígenos.

6.4. ESTUDIO DE CASO: PROYECTO LAS PALMERAS

Actualmente se ha venido desarrollando el proyecto de habilitación urbana de “Las Palmeras”, ubicado en el distrito de Castilla, provincia y departamento de Piura. Este proyecto de habilitación urbana comprende un total de 81 ha. aproximadamente, las cuales se distribuyen en 8 etapas tal como muestra la tabla 6.7.

Tabla 6.7. Distribución de etapas, población y dotación de agua en la Urbanización Las Palmeras (CENTENARIO, 2012).

URBANIZACIÓN LAS PALMERAS										
ETAPAS	1	2	3	4	5	6	7	8	TOTAL	UND.
ÁREA	20.943	9.718	7.534	10.255	11.977	7.263	6.469	7.479	81.638	ha.
LOTES	802	389	326	456	450	247	242	244	3156	lotes
CAUDAL AGUA (200l/día/hab.)	9.28	4.50	3.77	5.28	5.21	2.86	2.80	2.82	36.53	l/s
CAUDAL DESAGÜE (80%)	7.43	3.60	3.02	4.22	4.17	2.29	2.24	2.26	29.22	l/s

Para la investigación de esta tesis, este proyecto viene a ser el punto más desfavorable para poder aplicar el concepto de descentralismo y transformarlo así en urbanización sostenible, ello debido a que en este proyecto se venden lotes mas no casas construidas. Al construir la planta de tratamiento estará inactiva hasta el momento que terminen de construir la primera casa, esta construcción no cuenta con tiempo establecido. En el caso de proyecto con construcciones ya establecidas antes de la habitabilidad dan mayor rango de rapidez de tiempo de operatividad a la planta de tratamiento de aguas residuales. El proyecto Las Palmeras servirá como el mejor ejemplo que es posible desarrollar una urbanización sostenible bajo los parámetros más desfavorables.

Primero sería importante conocer porqué se quiere una urbanización sostenible en esta zona. Esta pregunta tiene varias respuestas, entre las cuales se tienen:

- Esta zona del distrito de Castilla no cuenta con un saneamiento adecuado. En general, el saneamiento en Piura no está en las mejores condiciones.
- Se desea contribuir al paisaje urbano olvidado en Piura, y en el terreno se cuenta con palmeras las cuales serán de gran ayuda para la ornamentación del proyecto.
- El agua tratada servirá para regar los jardines de la propia urbanización y se tendrá reservas para ser reutilizadas en otras zonas.
- Será proyecto ícono de sostenibilidad en un proyecto habitacional complejo para favorecer una zona olvidada de Piura.
- Se enseñará a reutilizar el agua residual a la Entidad Prestadora de Servicios de agua y desagüe en Piura (EPS Grau).

Es necesario tener en consideración el aspecto social para el inversionista. En la actualidad, no solo en Piura sino en todo el Perú el concepto de plantas de tratamiento de aguas residuales es un tema sensible socialmente debido a que

nadie desea vivir cerca de ellas. La tecnología que se elegirá buscará la mayor eficiencia posible para no afectar a los pobladores ya que estos no estarán muy satisfechos hasta ver sus beneficios. Es por ello que buscaremos colocar la planta de tratamiento en un lugar estratégico y resguardado de un cerco vivo, rodeado de plantas. En el proyecto de Piura, el punto más bajo se encuentra hacia la Av. El Progreso, la avenida principal, en este caso para poder ingresar con una idea socialmente atractiva se colocará la planta del otro lado, en el punto más alto, utilizándose una cámara de bombeo. La planta de tratamiento estará ubicada en una alameda principal, así el recubrimiento de plantas servirá para hacerlo más compatible con el paisaje.

La forma de reutilización que se empleará será el riego de parques y jardines, debido a que el concepto que se desea reflejar en la población sobre estas nuevas urbanizaciones es la temática de tener en todo momento áreas verdes, generar una pequeña ciudad que demuestre mejora en la calidad de vida de las personas y tener el concepto de mejora en la zona para poder hacer vendible los lotes de la inmobiliaria.

Los puntos analizados sobre una urbanización con saneamiento sostenible que aun no se han mencionado en el proyecto de Las Palmeras, corresponden al tema de la tecnología empleada para el tratamiento de aguas residuales. De acuerdo al análisis hecho sobre las mejores opciones en tecnologías, se optó por lodos activados por aireación extendida, específicamente el método de SOTAS (Sistema Ovalado de Tratamiento de Alta Suspensión). Este sistema adaptado de la empresa Codemet en Ecuador, le da ciertas características adicionales que optimizan la eficiencia de remoción y la calidad del mantenimiento y operación, sin generar mayores costos. Esta planta ocuparía un total de 1,939 m² de área para 81.638 ha., es decir 0.24% de área empleada. Su eficiencia de remoción es óptima en el tratamiento secundario, adicionalmente se considera tratamiento terciario de radiación UV con un filtro de arena y grava ello ayudará a optimizar el estándar de calidad que se requiere para el agua de riego de parques y jardines. Este sistema será muy sencillo de operar, al punto que solo bastará con un operador. En el caso de algunas piezas de equipos de aireación se cambiarán cada 6,000 horas.

Siempre el nivel del agua residual en la laguna aireada y digestor de lodos debe estar 40 cm. a 60 cm. por debajo del nivel del terreno. Es por ello que a pesar de ser aireadas en una ciudad como Guayaquil no sufre por el aumento de agua de lluvias.

El sistema SOTAS no solo genera bienestar con respecto a la economía y eficiencia técnica sino para la percepción social, como lo vemos en ANEXO 2 - FOTOGRAFÍAS. En la Foto 24 se puede observar como la planta de tratamiento de aguas residuales está muy cerca de las casas de un exclusivo condominio de Guayaquil.

Para el proyecto de Las Palmeras se cotizó la obra en una suma de \$ 400,000 incluyendo equipamiento de la planta y obras civiles. Considerando un total de 15,780 habitantes, daría un ratio de \$ 25.35 por habitante para la inversión y construcción de la planta. Este monto es asumido por el inversionista dentro del precio del lote, lo cual la diferencia pasa a ser mínima. La planta de tratamiento se realizará por tres fases, de acuerdo al crecimiento de las etapas del proyecto. En la etapas 1, 2 y 3 se utilizará solo la primera fase de la planta de tratamiento, en las etapas 4,5 y 6 se utilizará la segunda fase, finalmente para las etapas 7 y 8 se completará la PTAR.

Uno de los principales problemas que aun se maneja con respecto a las EPS es el costo del mantenimiento y operación. Con este tema se pudo trabajar y estimar cifras reales con respecto al empleo de energía y cambio de equipos de la planta. En la tabla 6.8 se muestra el consumo eléctrico de acuerdo a las fases y al equipo usado.

Tabla 6.8. Consumo eléctrico por fases en la PTAR de la Urbanización Las Palmeras (CENTENARIO, 2012).

EQUIPO	HP	HOR.	CONSUMO DIARIO (Kw)	LUGAR PROCESO	DE FASE	CONSU. DIARIO FASES (kW)	x ANUAL FASES (kW)	FAC. (S./ Kw)	MONTO ANUAL (S./)
Aireador	7.5	16	89.52	Ecuilizador	1	671.40	241,704.00	0.28	67,677.12
Aireador	7.5	16	89.52	Ecuilizador					
Aireador	30	18	402.84	Laguna Aireada					
Blower	10	12	89.52	Clarificador	2	402.84	386,726.40	0.28	108,283.39
Aireador	30	18	402.84	Laguna Aireada					
Aireador	5	10	37.30	Digestor de Lodos	3	74.60	413,582.40	0.28	115,803.07
Aireador	5	10	37.30	Digestor de Lodos					

En la tabla 6.8 se muestra el equipamiento utilizado en cada fase, se puede observar que el consumo aumenta por la cantidad de equipos y las horas de uso. La tabla nos señala que el equipo se va implementando en cada lugar de proceso, cada parte de la planta optimiza su eficiencia con equipos con mayor potencia. De acuerdo al consumo anual se procede a determinar el costo anual según el factor

de costo marginal kWh 0.28 Nuevos soles/kWh, según la resolución 026-98-CTE. Finalmente tenemos el costo de consumo eléctrico acumulado por cada fase, siendo S/.115,803.07 el costo de consumo de toda la planta de tratamiento.

En la tabla 6.9 se muestra el costo de mantenimiento de la planta de tratamiento por fases.

Tabla 6.9. Costo de mantenimiento por fases en la PTAR de la Urbanización Las Palmeras (CENTENARIO, 2012).

EQUIPO	HP	MANT. ANUAL (\$)	FASE	TOTAL FASE (\$)	TOTAL FASE (S/.)	OPERADORES ANUAL		TOTAL ANUAL (S/.)	CONSUMO + MANT. (S/.)
						OPERADOR (S/.)	GUARDIÁN (S/.)		
Aireador	7.5	480.00	1	2,460.00	6,519.00	10800	9000	26,319.00	93,996.12
Aireador	7.5	480.00							
Aireador	30	1,200.00							
Blower	10	300.00							
Aireador	30	1,200.00	2	3,660.00	9,699.00			29,499.00	137,782.39
Aireador	5	480.00	3	4,620.00	12,243.00			32,043.00	147,846.07
Aireador	5	480.00							

En la tabla 6.9 se muestra el costo de las piezas que deben ser cambiadas cada 6,000 horas de uso en cada equipo, además del costo de un operador de medio tiempo y un guardián de noche. Finalmente estos costos sumados con los costos de consumo eléctrico dan el costo total de la planta de tratamiento acumulado por fases.

De acuerdo a las tablas 6.8 y 6.9 el costo del mantenimiento general anual de la planta de tratamiento por habitante sería de \$ 2.25 en la primera fase, \$ 3.29 en la segunda fase y \$ 3.54 cuando la planta esté completa. Esta situación genera un panorama realista para la economía peruana, además de ser eficiente técnicamente.

Sin embargo, se debe pensar que las inmobiliarias piensan en invertir mas no en hacerse cargo de la planta, por lo que buscarían la entrega de la planta a la EPS. A pesar de poder ser rentable para la EPS aun no le resulta factible el alza de la tarifa por cada habitante. Es por ello que este trabajo de tesis buscó generar ganancias a mediano y largo plazo a los responsables de las plantas. Se realizó un análisis financiero, donde se muestra la rentabilidad de la PTAR con un crecimiento poblacional de 4 % anual (Centenario, 2012) en venta de lotes. En la tabla 6 de

ANEXO 1 – TABLAS se puede observar el crecimiento acumulado de lotes según el registro de la inmobiliaria en habilitaciones urbanas, se asume como densidad poblacional 5 habitantes por lote. El volumen de agua residual generado por los habitantes se asume con respecto al 80% de la dotación de agua potable, 150 litros al día.

De acuerdo a la cantidad de habitantes se determina la fase en la cual se encuentra la planta, esto ayudará para colocar el costo de mantenimiento de la planta anualmente. En la tabla se está asumiendo como el costo de alcantarillado actual S/. 0.55 soles por m³ (Distrito de Castilla, Piura), el cual con respecto al volumen generado por los habitantes generan la rentabilidad tarifaria para la EPS. En esta primera parte de la tabla se observa pérdida en los primeros años, por lo que se buscará generar ganancias con el volumen de agua tratada.

El Consejo Directivo de SUNASS generó un comunicado en febrero del 2012 donde aprueba la norma que modifica la categoría de unidades de uso destinada al riego de parques y jardines públicos. Con esta modificación se puede proyectar a considerar un valor para el agua residual tratada. Se deberá considerar el riego de la Urbanización Las Palmeras para lo cual se tiene como dato el área de parques por etapas y la fórmula para hallar la altura de lámina de agua por la Administración Local de Agua: Intervalo de Humedad Disponible x Profundidad de las raíces x Nivel de Agotamiento Permisible. Se tiene como NAP el valor promedio 0.7, como IHD por el terreno 160 mm. de agua por m. de profundidad, finalmente la profundidad de la raíz es 10 cm. Todos los datos nos dan una altura promedio de 11.2 mm., lo cual servirá para hallar el volumen con respecto al área de parques y jardines que tiene la urbanización.

Se ha considerado parte del agua residual tratada para el riego de la urbanización Las Palmeras, pero debido a que el volumen de agua es mucho mayor que el volumen necesario para el riego se podría comercializar el agua restante. Al volumen restante se le ha considerado un costo del 45 % menos que el costo actual en provincias como Ica y Piura, S/.5.5. Con esto se puede observar como solo el primer año se genera una pérdida de S/.61,849, y una ganancia total en el año 25 de S/.3'273,067. Si consideramos la pérdida de S/.61,849 repartida entre el número de lotes que son vendidos en ese año se tendría un costo de S/. 490 por lote que significaría el 1.633% del costo total del lote más barato.

Finalmente, estos datos fueron asumidos en el peor caso, es decir si incrementamos la tarifa de las EPS desde el primer año podemos cubrir los gastos del mantenimiento y tener solo ganancia, un proyecto rentable.



CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES.

Durante todo este trabajo se ha podido observar la situación actual del alcantarillado en el Perú, y el panorama que se está pensando dejar a las futuras generaciones. Es inminente el colapso de las plantas de tratamiento de aguas residuales en Lima y provincias. Mega proyectos como Taboada, en Lima, que evacuan las aguas residuales al mar luego de un pre tratamiento-tratamiento primario no es la solución más adecuada. Con la propuesta que se está planteando en este trabajo: “Descentralización, Urbanizaciones Sostenibles”, se busca no solo solucionar los problemas relacionados al manejo de aguas residuales, sino también generar beneficios para el sector económico, político y ambiental.

Esta investigación analiza diferentes alternativas, adecuando ciertas tecnologías a contexto peruano, esto siendo conscientes que al país le falta asumir conocimientos técnicos actuales, planes de inversión en el saneamiento nacional, implementación de mantenimiento y operación eficientes.

Las urbanizaciones con saneamiento sostenible en zonas urbanas es un proyecto ambicioso de innovación en el Perú, sabiendo que el hecho de innovar tiene el riesgo de perjudicar los intereses de la rentabilidad de los inversionistas. Los resultados de este estudio corrobora que el proyecto de urbanizaciones sostenibles es una realidad alentadora y rentable.

Como se pudo observar en la tabla 6.5, los lodos activados de aireación extendida y los biorreactores de membranas son las opciones más adecuadas para las zonas urbanas, en especial para el descentralismo. Ello no deja de lado las dos opciones, que también se presentan en la tabla 6.5, ya que cuentan con una serie de ventajas para zonas urbanas, aunque en menor grado. Las características mencionadas en la tabla 6.5 corresponden a los puntos más influyentes que busca el descentralismo en zonas residenciales.

En el aspecto técnico se espera contar con la llegada de tecnologías más avanzadas como por ejemplo, nuevos biorreactores de membrana avanzados, tecnología coreana, entre otras, que generen mayores eficiencias y sean más rentables, pero el crecimiento será gradual. No se debe contar con una tecnología de vanguardia cuando aun no se cuenta con personal calificado para operar estas tecnologías ni los recursos económicos que solventen un mantenimiento y operación eficaz. Es por ello que en este trabajo se muestra alternativas de

tecnologías que serán icono de crecimiento paulatino en el tratamiento de aguas residuales.

Finalmente, es importante recalcar que la propuesta ha sido modelada con un estudio de caso real, Proyecto Las Palmeras, demostrándose que las soluciones planteadas son económicamente rentables.

Se espera que este trabajo busque un nuevo concepto del agua servida, en "AGUA SER VIDA".



BIBLIOGRAFÍA

Santoyo, E. (2005). Sistema de Tratamiento Biológico a Biodegradación Total por Turbo-Aereación. México: Arthrobacter del Bajío S.A. de C.V.

Disponible en:

http://www.arthrobacter.com.mx/documentos/Arthrobacter_espanol.pdf

Allenby, B.; Allen D.; Davidson, C. (2007). Sustainable Engineering: From Myth to Mechanism. Environmental Quality Management, 17 (1), de la página 20 a la 21.

Inversiones Centenario S.A.A. (2012). Análisis de Ventas 2009 – 2012. Manuscrito no publicado.

Inversiones Centenario S.A.A. (2012). Proyecto Las Palmeras – Piura, 2012. Manuscrito no publicado

Clearford Industries (2012). Solución alternativa anaerobia para el tratamiento de aguas residuales. Entrevista en Abril 2012 a Supervisor.

Diario Gestión (2012). Entrevista a Eduardo Ismodes, Presidente del Directorio de Sedapal – 17 de Abril de 2012 (Página 12).

Diario Gestión (2012). Entrevista a Rossina Manche, Gerente General de Sedapal – 17 de Abril de 2012 (Página 12).

Diario Oficial El Peruano (1996). Reglamento para la prestación de servicios de agua potable y alcantarillado sanitario de Sedapal – 30 de Agosto de 1996.

Maria Grazia Rossi Luna (2010). Oportunidades de Mejora Ambientales por el Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú. Fondo Nacional del Ambiente – Diciembre 2010.

Franken, M. (2012). Resultados con el sistema anaerobio en Cochabamba, Bolivia. Entrevista en Mayo 2012.

Franken, M. (2007). Gestión de Aguas – Conceptos para el Nuevo Milenio. Universidad Mayor de San Andrés - Bolivia: Plural Editores

Friedler (1999). The Jeezrael Valley Project for Wastewater Reclamation and Reuse Israel. Water Science and Technology, 40 (4-5), 347-354.

Frecuencia Latina (2000). Contaminación de mares. Reportaje del programa Sétimo Día, el 3 de Junio del 2007. Lima – Perú.

Fundación Agua Tuya (2011). Tratamiento descentralizado de aguas servidas domésticas y estudio de caso.

Disponible en: http://aguatuya.org/wp-content/uploads/2012/02/DT_Tratamiento-Descentralizado-Aguas-Residuales.pdf

Hoffmann, H.; Platzer, C.; Winker, M.; Von Muench, E. (2011). Technology Review of Constructed Wetlands – Subsurface flow constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment. Eschborn, Germany - GIZ y ECOSAN. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Grimaldos, A.; Rayón, F. (2010). Los Operadores del Agua en el Mundo. Ingeniería y Territorio, Cuarta época, N° 91, 50-57.

Sebastián, L. (2005). Estudio sobre el mercado de tratamiento de agua en Singapur. Instituto Español de Comercio Exterior – ICEX. España.

Disponible en:

http://www.icex.es/FicherosEstaticos/auto/0806/ESTUDIO%20MDO.%20TRATAMIENTO%20AGUAS%20SINGAPUR_21515_.pdf

León, G. (2012). Marco Legal para el Tratamiento de Aguas Residuales, en Curso Internacional del Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales Domésticas e Industriales. Trabajo expuesto en “Curso Internacional: Tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas e industriales”. Realizado en Lima del 2 al 8 de Mayo del 2012.

León, G. (1995). Parámetros de Calidad para el Uso de Aguas Residuales, Guías de Calidad de Efluentes para la Protección de la Salud. Perú: CEPIS/OPS

Disponible en:

<http://www.bvsde.paho.org/bvsair/e/repindex/rep84/vleh/fulltext/acrobat/leon2.pdf>

Lettinga, G. (2001). Digestion and degradation, air for life, Water Science and Technology. Water Science and Technology, 44 (8), 157-176.

Lopetegui; Larrea; Zabala y De La Parra (2005). CHR – Hansen: tecnología MBR aplicada al tratamiento de aguas complejas. Elevadas concentraciones de DQO, nitrógeno y fósforo. Tecnología del Agua, Año 25 (257), 62-67.

Madigan; Mertinko y Parker (1997). Biology of Microorganims. Estados Unidos: Prentice Hall.

Metcalf y Eddy, Revisado por Tchobanoglous y Burton (1995). Ingeniería de Aguas Residuales: tratamiento, vertido y reutilización (1° Edición). Madrid: McGraw-Hill.

Ministerio del Ambiente (2009). Disposición para implementación de los ECA para agua. Decreto Supremo 023-2009-MINAM.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

Moscoso, J.; Alfaro, T. (2008). Panorama de experiencias de tratamiento y uso de aguas residuales en Lima Metropolitana y Callao (1° Edición). Perú: IPES Promoción del Desarrollo Sostenible.

Observatorio Urbano – DESCO (2007). Comentarios del Observatorio Urbano sobre la Ley de Habilitaciones Urbanas – Mayo 2007.

Organismo Mundial De La Salud y Unicef (2007). La Meta de los ODM Relativa – El Agua Potable y el Saneamiento: El reto del decenio para zonas urbanas y rurales (1° Edición). Suiza: Organismo Mundial de la Salud.

Peré, J.C. (2012). Tratamiento Aerobio en Guayaquil, alternativas de solución. Entrevista personal al Gerente General de CODEMET – Mayo 2012.

Watkins, K. (2006). Informe sobre el desarrollo humano. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (1° Edición). España: Grupo Mundi – Prensa.

Proyecto Esfera (1997). Carta Humanitaria y Normas mínimas de respuesta humanitaria (1° Edición Preliminar). Estados Unidos: Biblioteca del Congreso de los Estados Unidos.

Quiroz, P. (2009). Planta de Tratamiento de aguas residuales para regadío en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima: Universidad Mayor de San Marcos.

Revista Constructivo – Edición 85 (2012). Infraestructura: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Taboada (Pág. 44 – 54).

Revista Construcción e Industria (2011). Los parques de Carabayllo – Edición 269 (página de 20 a 21).

Rodriguez, J. (2004). Tratamiento Anaerobio de Lixiviados en Reactores UASB. Ingeniería y Desarrollo, 18, Julio-Diciembre, 2005. Universidad del Valle. Cali (Colombia).

Salas, H. (2000). Emisarios Submarinos Alternativa Viable para la Disposición de Aguas Negras de Ciudades Costeras en América Latina y El Caribe. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS.

Seghezzo, L. (2004). Anaerobic treatment of domestic wastewater in subtropical regions. (1° Edición). Holanda: Wageningen Universiteit.

Seghezzo, L. (2012). Exposición de Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente. Trabajo expuesto en “Curso Internacional: Tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas e industriales”. Realizado en Lima del 2 al 8 de Mayo del 2012.

Seguí, L. (2004). Sistemas de Regeneración y Reutilización de Aguas Residuales. Una fuente alternativa de suministro dentro de una gestión integral del agua. Universidad Politécnica de Cataluña – España.

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. Perú: Biblioteca Nacional del Perú.

TOWOO (2012). Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) – Towoo (Corea del Sur).

Aguilar, G; Iza, A (2006). Gobernanza de aguas compartidas: aspectos jurídicos e institucionales. Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de los Recursos Naturales (UICN), Serie de Política y Derecho Ambiental N°63.

Van Haandel; Lettinga (1994). Anaerobic sewage treatment: A practical guide for regions with a hot climate. Chichester, UK: John Wiley & Sons.

Von Sperling, M. (1996). Comparison Among the Most Frequently Used Systems for Wastewater Treatment in Developing Countries. *Water Science and Technology*, vol. 33, No. 3, pp. 59-72.

