

*Aplicaciones tecnológicas
de tratamiento de
aguas residuales*

A

AUTORES

Marcos Luis Quispe Pérez

Livia Cristina Piñas Rivera

José Ramón Del Valle González

Felipe Aguirre Chávez

 NOSÓTRICA
EDICIONES



Voces de la Educación
Víctor Gutiérrez Torres - *Editor*

Aplicaciones tecnológicas de tratamiento de aguas residuales

Primera edición: diciembre 2020

DR © Nosótrica Ediciones, Ciudad de México
<nosotricaediciones.com>

Diseño editorial y forros: *Patricia Reyes*
Formación: *Miguel Reyes*
Fotografía de portada: *Adobe Stock*

<<http://www.vocesdelaeducacion.com.mx/libros>>
<<http://www.vocesdelaeducacion.com.mx>>

ISBN: 978-607-98840-5-5

Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos aquí presentados, siempre y cuando se cite la fuente completa y su dirección electrónica. Esta obra está bajo una licencia CC BY-NC-SA 4.0.



Hecho en México/*Made in Mexico.*

La responsabilidad por las opiniones expresadas en los libros, artículos, estudios y otras colaboraciones incumbe exclusivamente a los autores firmantes, su publicación no necesariamente refleja los puntos de vista de Voces de la educación ni de la casa editorial.

Índice

11	Dedicatoria
13	Presentación
	CAPÍTULO 1:
16	Estado actual del problema
	CAPÍTULO 2
22	El agua, líquido vital. Propiedades físicas, químicas y biológicas
	CAPÍTULO 3
32	La necesidad del agua y la interacción del hombre con la naturaleza
	CAPÍTULO 4
42	Las aguas residuales o aguas servidas
	CAPÍTULO 5
52	El papel de la educación en torno al problema.
	CAPÍTULO 6
61	El papel del oxígeno y el nitrógeno en todo el proceso de aguas residuales

67	CAPÍTULO 7 El caso específico en el Perú
74	CAPÍTULO 8 La conciencia social y el efecto de las aguas residuales a nivel global
81	CAPÍTULO 9 Proceso del lodo activado y las lagunas de maduración
91	CAPÍTULO 10 El dilema con las aguas servidas en el Perú
98	CAPÍTULO 11 Características hidrográficas de Moquegua como piloto del presente volumen
110	CAPÍTULO 12 El uso de los controladores Fuzzy en las plantas de lodos activados
117	CAPÍTULO 13 Las lagunas de maduración
123	CAPÍTULO 14 El caso Omo- Moquegua. Resultados de una investigación
135	CAPÍTULO 15 Conclusiones y recomendaciones de la investigación en Omo- Moquegua
140	Referencias

“Si hay magia en este planeta, está contenida en el agua”.

Loran Eisely

*“Hijos de una cultura que nace en un entorno rico
en agua, nunca hemos aprendido la importancia
del agua para nosotros. Nosotros la entendemos,
pero no la respetamos”.*

William Ashworth

Dedicatoria

Dedicamos esta obra a todos cuantos han contribuido en la realización de este proyecto. Somos conscientes que estas palabras no son suficientes para expresar nuestra gratitud, pero esperamos comunicar nuestros sentimientos de infinito aprecio y cariño a todos ellos.

Presentación

El agua: ese recurso vital del que todos dependemos, ya deja de convertirse no sólo en una necesidad para transformarse poco a poco en un amplio mercado de consumo en todos sus aspectos.

Cuando nos referimos al agua siempre se piensa en la que empleamos para nuestras necesidades vitales, es decir, la que ingerimos directamente o utilizamos para cocinar, limpiar o para nuestro aseo personal, pero poco pensamos (sobre todo aquellos que vivimos en las ciudades o poblaciones) ¿hacia dónde va a dirigirse el líquido, una vez consumido?

Desde la antigüedad, en aglomeraciones citadinas como Atenas, Alejandría y Babilonia, las aguas estancadas provocaron cientos de miles de muertes como el cólera y la peste bubónica que a su vez eran transmitidas por roedores.

Y aunque en la actualidad hayan desaparecido estas epidemias, la afluencia urbana cada vez más creciente, ha provocado que el fenómeno de las aguas residuales se haya convertido hoy día en un problema bastante difícil de enfrentar.

Esto ha hecho que dicho problema constituya un antagonismo no sólo de orden ecológico, sino también de orden social por la invasión de terrenos para construir grandes represas, las inundaciones de estas aguas servidas que siguen trayendo consigo varias enfermedades infecciosas, y la disputa entre moradores que persiguen un objetivo con el líquido y otros con objetivos opuestos.

Aunque no se aprecie a simple vista, existen datos interesantes en cuanto al consumo de agua; para elaborar un pan se necesitan 0,6 litros de agua, para construir un automóvil en las grandes cadenas de montaje, son necesarios 148.000 litros, 450 litros para producir un huevo de gallina, y 7.000 litros para refinar un barril de petróleo crudo, y así en igual proporción al crecimiento y desarrollo social, de igual forma va creciendo el consumo del líquido, demostrado por estas cifras promedios que nos parecen increíbles.

Ante ello, el hombre se las ha ingeniado científica y técnicamente para resolver esta situación con diversos métodos y construcciones, entre ellos las plantas de tratamiento, que han resultado un paliativo de primera mano para que el líquido no se estanque indiscriminadamente en momentos en que el consumo crece de forma vertiginosa.

Otra grave situación derivada de lo anterior, es la incorrecta utilización de los desagües y alcantarillas donde van a depositarse lo más diversos tipos de elementos y cuerpos, tanto inorgánicos como orgánicos, independientemente de los atoros y obstrucciones, cuyo destino final son las plantas de aguas residuales.

Es decir que estas plantas, sean de un tipo de diseño o de otro, constituyen en la actualidad un recurso logístico indispensable para el correcto funcionamiento de cualquier comunidad, ya sea ciudad, asentamiento urbano, o población en general.

Los países desarrollados en sus megaciudades, disponen de métodos y mecanismos más eficientes que los países subdesarrollados, pero unido a esto está la conciencia social de sus moradores quienes han creado hábitos y modelos que contribuyen al cuidado ambiental y la preservación ecológica en general.

Baste admirar la limpieza y magnificencia del río Sena en París, el Támesis de Londres, o el inmenso Danubio que atraviesa o circunda más de diez países de la Europa Oriental en

comparación con el río Rimac, convertido prácticamente en un vertedero de otra megaciudad como lo es Lima en estos momentos con más de diez millones de habitantes.

Esta y otras ciudades del Perú están afrontando serias dificultades con el tratamiento de las llamadas aguas servidas que todavía no tienen una solución definitiva como se observará en el contenido de este trabajo.

En el presente libro se exponen algunas consideraciones tomando como referente fundamental los datos y mediciones derivados de la tesis doctoral *Los efectos de los parámetros operativos en el diseño de la Planta de Tratamiento Omo de Moquegua* sustentada por Marcos Luís Quispe Pérez en el año 2017 con datos y estilos de corte científico y conceptual a cargo de José Ramón del Valle González, catedrático y escritor cubano radicado en Perú.

La particularidad del libro es la de exponer con lenguaje ameno y asequible, algunas consideraciones y conocimientos que puedan usarlo, tanto los alumnos universitarios como algunas personas interesadas en el tema.

Es por ello que hemos prescindido de algunas ecuaciones complejas o fórmulas que hagan tedioso o complicado el siguiente volumen sin apartarnos en ningún momento del aspecto científico que requiere cada tema de los 12 capítulos de que consta.

Esperamos con ello un modesto aporte para contribuir a adquirir conocimientos elementales sobre algo tan importante a las aguas servidas y su tratamiento y así cubrir las expectativas que espera el lector.

LOS AUTORES

CAPÍTULO I:

Estado actual del problema

En el Perú, históricamente, los ríos han sido utilizados como sumideros para los desechos urbanos de las poblaciones, tal es el caso del Río Rímac en Lima, que son contaminados con los desechos de los distritos de San Mateo, Matucana. Gracias al incremento de volúmenes de agua que transportan y al movimiento de las mismas en las épocas de lluvias, los ríos son capaces de regenerarse por sí mismos, neutralizando los efectos de las aguas residuales que son vertidos. Sin embargo, frecuentemente las descargas directas de agua contaminada superan la capacidad de auto regeneración y los ríos se deterioran, lo cual conlleva a la pérdida del oxígeno disuelto (OD) en el agua, la desaparición de insectos y peces y la consecuente destrucción del ecosistema fluvial por la interrupción de las cadenas alimenticias (Moscoso y Egocheaga, 2004).

En la última década y en torno al recurso hídrico se han desencadenado los mayores conflictos ambientales, económicos y sociales que afecta a Moquegua y que ha enfrentado a pobladores urbanos con los productores rurales, y a estos con las instituciones competentes. En la escasez del recurso hídrico se cimienta esta relación confrontada, toda vez que los pobladores urbanos como agricultores ubicados en la parte media de la cuenca del río Moquegua tienen que compartir las pocas fuentes de agua superficial disponibles y de las aguas subterráneas de buena calidad ubicadas en la parte alta de la cuenca,

para satisfacer las exigencias de los cultivos por el riego, y la necesidad humana por el agua de consumo. Sobre el recurso hídrico del subsuelo de la parte baja de la cuenca no existe esta competitividad debida a que la calidad de las aguas no es apropiada para el consumo humano, siendo, por lo tanto, en su totalidad utilizadas para el desarrollo de la actividad agrícola.

La creciente escasez mundial de agua para consumo humano y actividades agrícolas adquiere especial importancia asociada al evidente peligro que representa la descarga de las aguas residuales urbanas (ARU) a suelos sin recibir ningún tratamiento sanitario. Una adecuada gestión ambiental asumida por las entidades encargadas del manejo de ARU, es transformar un problema ambiental en una oportunidad: Esto es el tratamiento sanitario eficiente de ARU para su aprovechamiento en actividades agrícolas.

En América Latina causa especial preocupación la baja cobertura de saneamiento y escaso tratamiento del agua residual doméstica lograda hacia finales del siglo xx (Moscoso, 2004).

Frente al problema mundial de escasez de agua y contaminación ambiental, cualquier intento de mejorar las operaciones de las plantas existentes para mejorar la calidad de vida, justifican por si solo la investigación planteada en el presente estudio.

Así, 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, 2003).

Ramalho (1990) refiere que: a pesar de la descomposición orgánica, debemos eliminar los patógenos que causan enfermedades en 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 realizaron en conjuntos de reactores, llamada planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). 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.

Los investigadores en tratamiento de aguas residuales Moscoso (2004) y Rolim (2000) recomiendan que en las plantas 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.

Para satisfacer las necesidades de tratamiento de aguas residuales similares a la de Moquegua, se han desarrollado diferentes tipos de plantas de tratamientos de aguas residuales en otros lugares a lo largo de los años (Moscoso 2004; Rolim, 2000):

1. Sistemas Naturales
 - Lagunas
 - Disposición al suelo
 - Humedales
 - UASB
2. Sistemas Mecanizados Convencionales
 - Lagunas aireadas
 - Lodos Activados
 - Filtros biológicos
3. Sistemas avanzados
 - Remoción de nutrientes

- Flotación
- Filtración

En la búsqueda exhaustiva se ha registrado que la comunidad internacional ha reconocido en múltiples foros el papel importante que juega el agua en un sistema sostenible de desarrollo. La Agenda 21, surgida de las conversaciones de Río 92, concluye en el capítulo 30 que las políticas y operaciones comerciales e industriales pueden desempeñar un papel decisivo en la conservación medioambiental y el mantenimiento de los recursos si se incrementa la eficacia de los procesos de producción y se adoptan tecnologías y procedimientos limpios, reduciendo al mínimo, e incluso evitando, los deshechos.

Por su parte, el Plan de Aplicación de las Decisiones de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de 2002 alienta a la industria a desarrollar su función social estableciendo sistemas de ordenación ambiental, códigos de conducta, medidas de certificación y publicación de informes sobre cuestiones ambientales y sociales. Un año más tarde, la Declaración Ministerial del Tercer Foro Mundial del Agua reunidos en Kyoto, Japón propone recaudar fondos siguiendo criterios de recuperación de costes que se adapten a las condiciones climáticas, medioambientales y sociales del lugar, así como el principio de “quien contamina paga”.

En el ámbito tecnológico Metcalf y Eddy (2003) indican que el desarrollo de los procesos biológicos aerobios en las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas, destacan dos grupos principales que son:

a. Cultivos en suspensión.

Proceso lodos activados (fangos activados), y modificaciones en la forma de operar: aireación prolongada,

contacto estabilización, reactor discontinuo secuencial (SBR).

b. Cultivos fijos.

Los microorganismos se pueden inmovilizar en la superficie de sólidos (biomasa soportada), destacando los filtros percoladores (también conocido como lechos bacterianos o filtros biológicos).

En el proceso de lodos activados (fangos activados) según Peña y Lara (2013) El proceso de lodos activados. Consiste en poner en contacto en un medio aerobio, normalmente en una balsa aireada, el agua residual con flóculos biológicos previamente formados, de los que se adsorbe la materia orgánica y donde es degradada por las bacterias presentes. Junto con el proceso de degradación, y para separar los flóculos del agua, se ha de llevar a cabo una sedimentación, donde se realiza una recirculación de parte de los fangos, para mantener una elevada concentración de microorganismos en el interior de reactor, además de una purga equivalente a la cantidad crecida de organismos.

En fin, la problemática ambiental en la actualidad respecto al tratamiento de las aguas residuales es compleja, y siendo urgente el cuidado del medio ambiente, aplicando tecnologías económicas, para minimizar los impactos negativos, y en la actualidad en su mayoría las plantas de tratamiento de aguas residuales no cumplen con los estándares de calidad ambiental en sus efluentes, es por tal razón que el presente trabajo se presenta una alternativa de solución inmediata y factible, utilizando los análisis de los parámetros operativos de la Planta de tratamiento de aguas residuales de OMO – Moquegua, para diseñar una Planta de tratamiento en volumen, y operatividad con inteligencia artificial en base a sensores y el uso de software Matlab que incluye la herramienta de la lógica difusa para la automatización de las válvulas de compuerta de aireación y

Capítulo 1

regulación del reciclaje del lodo. El presente trabajo de investigación, es multidisciplinario, están inmersas la ciencia de la matemática, química, física, biología, ingeniería mecatrónica y las ciencias sociales.

CAPÍTULO 2

El agua, líquido vital. Propiedades físicas, químicas y biológicas

Propiedades físicas y químicas

El agua, ese líquido indispensable para la vida posee una serie de características en la tierra como las que resumimos:

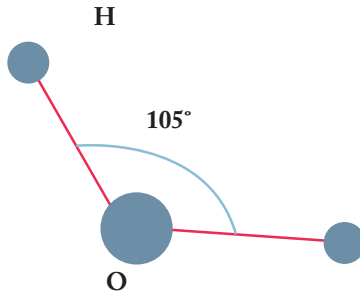
- Es el único compuesto que se mantiene en la tierra en sus tres estados agregativos.
- A diferencia de otros, cuando se solidifica, disminuye su densidad. (Flota)
- El agua químicamente pura no conduce la electricidad.
- A presión normal, ebulle a 100 °C.

Su molécula está formada por dos átomos de Hidrógeno de carga o valencia +1 y un átomo de Oxígeno con valencia -2. De ahí cualquiera pudiera pensar que el enlace entre ellos es iónico, sin embargo, es covalente (comparten electrones). Pero no es un enlace covalente cualquiera como por ejemplo sería el siguiente: $\text{H} - \text{O} - \text{H}$ Donde la molécula presenta una estructura simétrica y equilibrada en línea recta. La molécula del agua presenta un enlace covalente polar porque su disposición atómica no está equilibrada; si lo estuviera, la interacción positiva y negativa de los Hidrógenos y los Oxígenos provocarían

fuerzas en sentido contrario con un carácter electrostáticamente neutro como ocurre con el carbono que presenta en el CH_4 un equilibrio con los Hidrógenos.

En el agua, hay una ruptura de ese equilibrio en su molécula, como el que presentamos a continuación:

Figura 1. Disposición molecular del H_2O .



Elaboración propia.

Ese tipo de enlace le da ciertas características al agua muy particulares: Por una parte se forman iones OH^- negativos, e iones H^+ positivos. Esto hace que, cerca de los iones hidrógenos exista una polaridad + y cerca de los iones OH una polaridad -

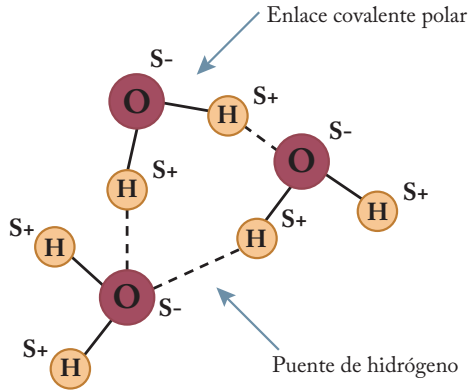
De ahí las otras moléculas que tienen polaridad negativa se atraen hacia la parte positiva de la molécula vecina y así sucesivamente hasta formar un puente llamado puente de Hidrógeno¹.

A este puente se le atribuyen varias consecuencias como las que mencionábamos anteriormente y que se muestran exter-

1 Henry Cavendish descubrió en 1781 que el agua era una sustancia compuesta en vez de un átomo de hidrógeno de otras moléculas que se enlazan electrostáticamente por puentes de hidrógeno con el átomo de oxígeno.

namente a través de sus propiedades que la hacen poco común respecto a otras sustancias.

Figura 2. Esquema del puente de Hidrógeno en el agua.



Recuperado de <https://es.khanacademy.org/biology/hydrogen-bonding-in-water>

El puente de Hidrógeno es el que se representa con líneas discontinuas y el gradiente ∂ representa la polaridad de enlace cerca del puente. Se observa que cerca del Hidrógeno es ∂^+ y cerca de los Oxígenos es ∂^- . Esta es la causa de que, entonces, los iones negativos del agua sean atraídos por los positivos y viceversa. Lo anterior forma una cadena de puentes, responsables ellos de que el agua o sus moléculas sean polares (cierta carga electrostática) en toda la cadena molecular. Estas fuerzas moleculares permiten que ellas atraigan a otras sustancias formadas por iones. Esta es la causa de que el agua sea el disolvente universal, o lo que es lo mismo, disuelve muchos tipos de sustancias.

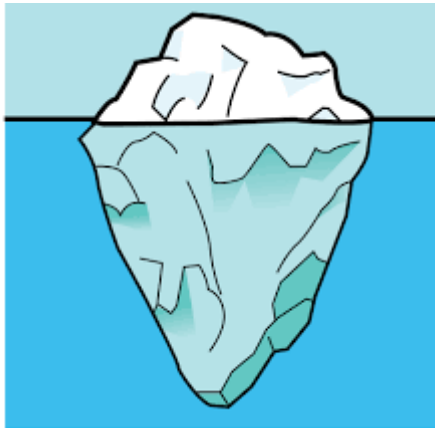
Otra propiedad única en la tierra es que el agua pasa de líquido a sólido a 0° Celsius o centígrados y pasa al estado ga-

seoso a 100°C . Estas temperaturas están fácilmente admisibles en el globo terráqueo.

También, de las propiedades más complejas y peculiares, es que el agua como todas las sustancias, al enfriarse se contrae aumentando su densidad, pero a partir de los 4°C hacia abajo, los retículos de los puentes de Hidrógeno son los causantes de que ocurra lo contrario, o sea, cuando las moléculas del líquido se enfrían y están estáticas, los enlaces del hidrógeno que son débiles, las mantienen constantemente a una distancia fija. Por lo contrario, cuando el agua tiene movilidad, los enlaces están rompiéndose y rehaciéndose, debido a la atracción entre los iones. Entonces, el agua pierde densidad y convertida en hielo flota en el agua líquida.

Esto puede ocurrir en la naturaleza, lo mismo en las aguas dulces estancadas que en los océanos.

Figura 3. Dibujo de un iceberg flotando.



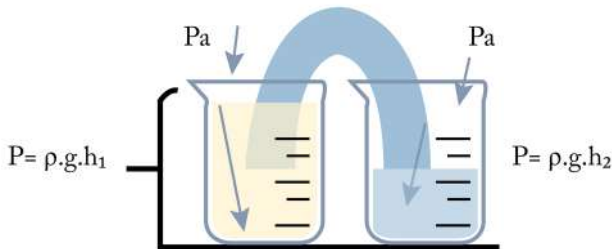
Reimpreso con permiso de educadesarrollo8.blogspot

Los icebergs son muy comunes en la masa fría oceánica, por ejemplo, en la zona de Terranova donde se hundió el famoso Titanic en 1912. La masa de hielo flota, aunque no completamente. Debido a eso, la mayor parte queda sumergida pero no llega al fondo del mar precisamente por ser el hielo menos denso que el agua en estado agregativo líquido.

Esto todavía constituye un peligro para la navegación marítima, aunque con los modernos equipos de navegación actuales, los grandes barcos pueden detectarlos con facilidad para trazar su ruta marítima.

Además de las propiedades anteriores, el agua posee capilaridad, y difusión entre otras. En la capilaridad su explicación es fácil a través de un sencillo experimento que podemos ilustrar y que a la vez sirve de modelo para su filtrado cuando necesitamos de un agua más limpia:

Figura 4. Experimento para comprobar capilaridad.



Elaboración propia

En la figura se puede explicar fácilmente, cómo el agua se trasvasa del líquido que posee mayor altura en su recipiente, al que tiene menor altura, siendo:

- Pa → Presión atmosférica
- P → Presión que ejerce la columna del líquido
- ρ → Densidad del líquido
- g → Valor fijo de la aceleración de la gravedad
- h → Altura de la columna líquida

Como se observa, la presión atmosférica es la misma para ambos líquidos, pero esta se suma a la presión del líquido $P = \rho \cdot g \cdot h$. La diferencia estriba en que donde hay más altura hay mayor presión total. En este caso $h_1 > h_2$, por lo tanto: la presión total en 1, es mayor que la presión total en 2, provocando que el líquido *sea empujado* desde 1 hasta 2.

La pregunta sería: ¿hasta cuándo ocurre esto? Y la respuesta evidente: hasta que la altura de los líquidos se equilibre.

El proceso o fenómeno de capilaridad puede observarse en el reino animal y vegetal. Por ejemplo, en este último la savia de las plantas asciende debido a este hecho desde las raíces hasta las hojas.

En los animales está presente en varias funciones de los organismos y sería algo extenso explicarlo o detallarlo en este capítulo.

En cuanto a la difusión, hay varios experimentos que demuestran dicho fenómeno, y el agua es un medio ideal para que este se provoque, precisamente es una de las causas por la que es denominada como disolvente universal.

A nivel de experimento sencillo proponemos el siguiente:

Se explican las instrucciones que pueden realizarse a nivel escolar:

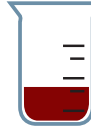
a) Tomar un vaso transparente y llenarlo de agua en reposo.



b) Llenar una pipeta con tinta que tenga más densidad que el agua (por ejemplo, mezclarla con azúcar) y vaciarla con cuidado en el fondo del vaso.



c) Vaciar el líquido de la pipeta sin mover la pipeta ni el agua del vaso.



d) Dejar reposar diez o doce horas y observar el resultado externo.



En este experimento puede observarse que, sin mover el agua, el líquido más denso previamente coloreado, comienza a penetrarse en los espacios intermoleculares del agua debido al movimiento interno de las moléculas (movimiento browniano).

Esta es otra de las propiedades del agua que tienen su gran aplicación en la naturaleza y la vida diaria muy observable en las aguas residuales.

Su papel en el sistema biológico ambiental

El conocido lema *sin agua no hay vida* se convierte axiomático en nuestro globo terráqueo, pues es insustituible e indispensable lo mismo en los vegetales como en los animales, ya que, como parte de la naturaleza, es el integrante de más importancia en los ecosistemas naturales.

En los medios orgánicos, el agua es el componente más abundante, ya que los seres vivos contienen alrededor de un 70% del líquido.

En el caso de los vegetales, estos tienen más agua, aunque la cadena alimenticia en la tierra comienza con los primeros. Por tanto, el lema con el que comenzamos esta parte del capítulo, se hace totalmente valioso para la vida en el planeta.

Tal es así, que cuando las naves espaciales hacen su largo recorrido desde la tierra para investigar si hay o hubo vida en los planetas vecinos, el primer objetivo es saber si existe o existió agua en los mismos.

De igual forma, el agua es indispensable para la formación y funcionamiento del entorno y de los seres, plantas y organismos que en él habitan. Por ende, forma el eje central de todos los ecosistemas a nivel global.

También, constituye el núcleo de los procesos metabólicos que se realizan en el mundo animal, además de intervenir de manera vital en todos los procesos de surgimiento y desarrollo de las plantas y de los microorganismos.

Haciendo un breve bosquejo, el agua es la responsable de:

- Desarrollar el crecimiento económico en la sociedad.
- En la distribución y selección de los terrenos.
- La producción en la sociedad.
- La higiene y la salud de las personas.
- La regulación de la temperatura en el medio ambiente.
- Seguir siendo un medio de transporte entre los países.
- Desarrollar las zonas turísticas y de recreo.

Cuando el presente volumen en forma general se refiere al desarrollo del crecimiento económico en la sociedad, hay que tener en cuenta al consumo doméstico de agua por cada habitante. Este consumo es la cantidad de agua que dispone como

promedio una persona para beber, cocinar sus alimentos, aseo personal, limpieza, etc.

El mismo se mide en litros por habitante en un día y refleja de forma indirecta el nivel de desarrollo económico y social, ya sea de una ciudad, región o urbanización.

A juicio de los autores, actualmente hay tres factores que inciden en lo anterior: uno de ellos es la cantidad innecesaria que se gasta debido al despilfarro, el otro, la desigualdad social que provoca que algunos sobre consuman y otros apenas tengan agua para sus necesidades elementales y finalmente, un flagelo que lamentablemente está gravitando sobre la población en general, o sea, el poco cuidado por algunas personas del líquido vital.

Después de la revolución industrial, y sobre todo en su arranque vertiginoso del siglo xx la población mundial ha aumentado dos veces en densidad. Esto ha provocado como consecuencia que el volumen de este imprescindible elemento ha incrementado en consumo más de siete veces debido a esta súper población. Es por ello que la cantidad de agua necesaria haya disminuido alrededor de la mitad; no obstante, a esto, los pronósticos son sombríos porque según reportes de la UNESCO se pronostica que para el 2025 la crisis afectará a un 66% de la humanidad, sobre todo aquellos países más pobres enclavados en África, Asia Occidental y América Latina.

Tomando consciencia sobre esta alerta, la oms² ha tomado medidas concretas al respecto. Se destacan entre ellas el *Manual para el desarrollo de planes de seguridad del agua*, (2009) que contempla los siguientes aspectos básicos:

“1. Agua potable - provisión y distribución. 2. Contaminación del agua - prevención y control. 3. Abastecimiento de

2 Organización Mundial de la Salud. Ginebra, 2009

agua - normas. 4. Control de riesgo - metodología. 5. Ingeniería sanitaria - educación. 6. Regionalización. 7. Informes de casos.”

Este manual, todavía en vigencia, contempla los aspectos básicos a tener en cuenta para controlar las reservas hídricas y así evitar las predicciones que de forma estadística alarman a las autoridades a nivel mundial.

En el mismo se plantean medidas concretas a nivel global.

CAPÍTULO 3

La necesidad del agua y la interacción del hombre con la naturaleza

Desde que se formaron las primeras civilizaciones, producto a sus necesidades de subsistencia, el hombre se vio en la obligación de reagruparse en comunidades que se dedicaron fundamentalmente a las labores de la caza y la pesca.

Muy pronto empezó a darse cuenta que sus asentamientos debían estar necesariamente en aquellos lugares abundantes en agua y, que sin ella y su utilización sería imposible la subsistencia. Aunque todavía carecían de una conciencia social estructurada y orgánica, sus instintos los llevaron a cuidar y preservar el preciado líquido.

Precisamente, en aquellos tiempos primitivos, no existían infraestructuras ni elementos técnicos que a gran escala vertieran algún tipo de contaminante a los afluentes.

Posteriormente, producto de la civilización misma, esos asentamientos se convirtieron en ciudades, que, debido a su propio progreso, comenzaron a desarrollarse para satisfacer sus necesidades elementales y de esa forma, hacer más viable su vida. Sin embargo, ese ascenso en los órdenes cuantitativos y cualitativos, empezaron a depredar la naturaleza sin tener en cuenta el propio daño que paulatinamente hacían a las fuentes proveedoras de ese líquido tan necesario para la existencia tanto animal como vegetal.

Actualmente este deterioro fue creciendo hasta niveles lo suficientemente peligrosos, sobre todo en dos aspectos primordiales: su escasez y su contaminación. Al respecto tuvieron que transcurrir varios siglos para que la humanidad estuviera alerta sobre los peligros ecológicos en general, incluyendo por supuesto al cuidado y preservación del agua, ya que anteriormente, las medidas se restringían sólo a algunos aspectos que no correspondían a una plataforma programática adecuada y sólo se dirigían a niveles parciales o regionales.

A medida que crecieron las fábricas, el número de habitantes y la falta de conciencia en general, la situación aumentó progresivamente hasta generarse conflictos, tanto en el orden material como social; de ahí la urgencia de reunir a todas las naciones para llegar a acuerdos verdaderamente efectivos en este sentido.

El primer gran impulso que agrupó a la mayoría de las naciones continentales fue la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro³ donde se sustentó la necesidad de tomar medidas uniformes en ese importante tema a través de un programa que contempla varias acciones que a su vez contemplaron 2500 recomendaciones, todas relacionadas de una forma u otra con los aspectos que resumimos: entre los más importantes:

- Medidas con la salud poblacional y su situación.
- Acciones para la vivienda ocupacional.
- La contaminación del aire.
- La preservación de los mares y bosques.
- La desertificación del planeta.
- La gestión concreta de los recursos hídricos.
- El saneamiento.

3 Organizada por la ONU- celebrada en Río de Janeiro en Brasil del 3 al 14 de junio de 1992, el Gobierno y 178 países. Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.

- La gestión de la agricultura.
- El desarrollo sostenible de los recursos.
- Los pueblos indígenas y sus situaciones de vida.
- Los efectos de los gases y el efecto invernadero.
- La preservación del agua.

Después de esta primera cumbre histórica de Río de Janeiro en 1992, marcó otro precedente la de Johannesburgo en 2002, llamada Cumbre de la Tierra Río+20 con propósitos sobre la sostenibilidad de los acuerdos de la anterior. Esta cumbre se llamó desarrollada en junio de 2012 también en Río de Janeiro.

Es decir que, a través de tratados y disposiciones, ejecutadas y monitoreadas a través de la Organización de Naciones Unidas (ONU) se ejecutan medidas concretas dictadas por leyes y resoluciones encaminadas a frenar todas las acciones negativas provocadas por el hombre en deterioro de la naturaleza.

No obstante, a ello, las poblaciones han seguido creciendo en proporción no equivalente a los recursos ambientales de que disponemos, y si unimos este crecimiento a un desorden o desprogramación de carácter eminentemente social, entonces urge buscar y perfeccionar recursos para evitar catástrofes y crisis futuras que ya empiezan a dar señales evidentes en la mayor parte del globo terráqueo.

Por ejemplo, las ciudades hoy en día no se abastecen del agua que provenía directamente de los ríos como al principio de la civilización. Para ello se han tenido que construir embalses, presas y micropresas que limitan la normal afluencia hacia los mares y océanos. Estos embalses, al ser construidos por el hombre, poseen características propias que se adecuan al tamaño, densidad, clima, costumbres, y otros aspectos inherentes a cada región, población y país.

Entre las ventajas y desventajas de las presas y embalses se puede establecer un paralelo:

Figura 5. Cuadro comparativo entre las dos principales ventajas y desventajas.

Ventajas	VS	Desventajas
<ul style="list-style-type: none">• Almacenamiento de agua para poder abastecer las necesidades de la población.• En algunos países como medio de obtener energía eléctrica.		<ul style="list-style-type: none">• El desplazamiento de personas y asentamientos debido a la inundación.• La alteración del ecosistema natural.

Elaboración propia

El almacenamiento de agua a la población para poder consumirla adecuadamente, es la principal y única ventaja en el caso a que nos referimos en este libro, ya que, en la zona escogida como objeto de estudio para este libro, no existen hidroeléctricas.

Sin embargo, entre las dos desventajas, la primera constituye un problema en el orden social, ya que los pobladores aledaños a la zona de construcción, tienen obligatoriamente que desplazarse hacia otros lugares y así perder los hábitos de vida y en la mayoría de los casos, su modo de subsistencia (cosechas, manufacturas, etc.).

En cuanto a la segunda, como consecuencia de la inundación repentina, las barreras artificiales interrumpen bruscamente la dinámica natural del terreno alterando los ecosistemas, no sólo en el tramo en el que se construye el embalse, también en la cabecera de los ríos y en su desembocadura. Esto trae como consecuencia la modificación del proceso natural de erosión y transporte de sedimentos. Algunos grupos ecologistas creen que los daños que producen las presas no se ven compensados por los beneficios, sin embargo, hay otras opiniones contrarias

sustentadas en la necesidad de los embalses y reservorios para que la población no carezca del vital líquido.

Entonces, el problema no radica en el antagonismo estudiado por los filósofos de la conocida Ley de la Unidad y Lucha de Contrarios, sino en su esencia dialéctica que conlleve a una solución en su desarrollo. Para ganar en claridad, citemos un ejemplo que, aunque a simple vista no guarde relación con el problema, nos puede ilustrar mejor lo anterior.

Después del invento de los hermanos Wright⁴ cuando se concibió que una persona volara en un artefacto más pesado que el aire en la primera mitad del siglo xx, comienza a desarrollarse la aviación comercial, pero este nuevo medio de transporte también acarreó catastróficos accidentes fatales que provocaron opiniones para no utilizar los aviones. Sin embargo, el hombre se las ingenió para su perfeccionamiento a tal punto, que en estos momentos constituye la forma más segura y masiva de trasladarse a grandes distancias.

De igual forma, los embalses, micropresas y presas, requieren de un perfeccionamiento en su diseño y de esa forma, cumplan la función para lo que fueron concebidas sin alterar el ecosistema natural. Las aguas obtenidas de estas fuentes, generalmente las utilizamos para el empleo humano.

Por tanto, hasta ahora nos hemos referido brevemente al agua de consumo como aquella que se utiliza directamente por las personas para sus necesidades elementales diarias (beber, cocción de alimentos, aseo personal, limpieza, etc.). Normalmente, su gasto se mide en litros por habitantes, teniendo en cuenta que hay diferencias notables entre países y regiones en cuanto al consumo y su disposición.

4 Wilbur y Orville Wright realizaron el 17 de diciembre de 1903 el primer vuelo aéreo.

El agua potable tiene sus parámetros de control que están dados por una serie de propiedades de este vital líquido para su óptimo consumo, pero en su forma pura contiene dos átomos de Hidrógeno y un átomo de oxígeno formando una molécula constituida por enlaces covalentes polares como señalábamos en el capítulo 1, siendo su fórmula conocida H_2O . Al respecto, cabría la siguiente pregunta: ¿Normalmente, el ser humano la consume en forma químicamente pura sin que le perjudique la salud?

La respuesta a esta interrogante se diría con un sí, ya que el agua lluvia después de cumplir su ciclo de evaporación, condensación, precipitación, puede consumirse en forma directa por un tiempo, sin embargo, carece de algunas sales y compuestos químicos otorgados por los manantiales, necesarios para la salud.

Para que esta sea consumible de forma adecuada, lleva consigo algunas sales disueltas, así como varios elementos en proporciones adecuadas.

Agua Potable {
Cloruro de Sodio. (Na Cl)
Calcio. (Ca)
Yodo. (I)
Cloro. (Cl)
Sales amoniacales, etc.

Entre las características que proporcionan los criterios para que el agua sea potable, están: las físicas, químicas y biológicas.

De esas peculiaridades físicas (que son perceptibles por nuestros sentidos) el agua se considera potable cuando cumple

los siguientes parámetros: el color, olor, sabor, la temperatura, el pH, y la turbidez.

En cuanto al color, está casi siempre ligado a la turbidez y se le atribuye fundamentalmente a la presencia de diferentes tipos de ácidos y descomposición de la materia orgánica. También el agua cambia su coloración cuando hay adiciones de óxidos metálicos como el óxido de hierro y de otros metales en exceso.

El olor siempre está vinculado con el sabor y es la principal causa para no ingerir el agua. De ahí, que cuando el agua es inodora, proporciona un buen indicio de la falta de contaminantes y compuestos orgánicos reaccionantes. Por ello, cuando hay desechos químicos industriales y acciones de algas o microorganismos con olores desagradables, son un modo de aviso para la no ingestión del líquido.

El otro parámetro en cuanto a la potabilidad, suele ser la temperatura, ya que como se infiere, la misma aumenta la rapidez de las moléculas en su movimiento caótico, acelerando las reacciones químicas. Este parámetro influye notablemente en los restantes.

Siguiendo en el orden que mencionamos, está el pH o potencial Hidrógeno que es un indicador del grado de acidez o alcalinidad (basicidad) de los compuestos. Su rango varía de 0 a 14.

Tanto las aguas ácidas como las alcalinas son un peligro para la salud. Es por ello que el indicador de pH se utiliza frecuentemente para analizar el tipo de agua que se debe consumir. Si el pH es ácido se le agrega una base, y lo contrario, cuando es alcalino, se neutraliza con un ácido.

El objetivo es acercarlo a un valor cercano a 7, aunque casi nunca se consiga ese estado ideal.

A continuación, se muestra una tabla de indicador del pH:

Figura 6. Escala de acidez y basicidad del pH de una sustancia.



Recuperado de steemit.com

Como se observa, un pH neutro es el índice ideal para el agua, ya que no indica acidez ni alcalinidad, sin embargo, es difícil llegar a ese valor en la naturaleza. No obstante, los valores permisibles para el agua están en el rango de 6 a 8 y mientras más se aproxime al 7, mejor. Por esto, en las plantas de tratamiento para el agua de consumo, se realizan procesos químicos que la acercan a ese valor neutro.

Finalmente comentaremos la turbidez. Esta está formada por la concentración o cantidad de las partículas no disueltas en suspensión llamadas coloides. Generalmente estas partículas se encuentran dentro de la masa de agua que impide su condición de transparencia. También, debido a la turbidez, hay más condiciones para que se proliferen y desarrollen los elementos patógenos.

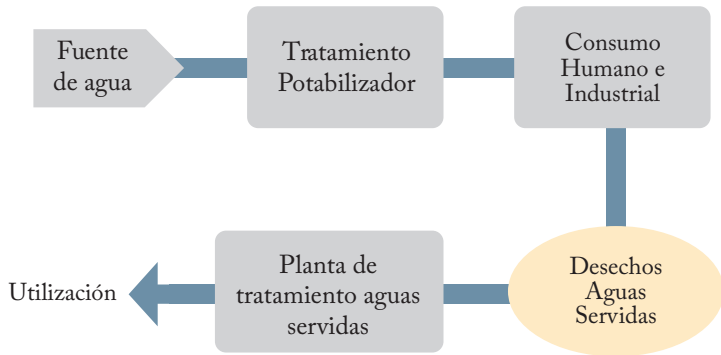
En apretada síntesis se ha expuesto en este capítulo la necesidad del agua en la subsistencia del hombre y a la vez, el daño que el propio hombre provoca constantemente en el proceso de acumularla y en su propio consumo.

Su ciclo natural comenzaría con los fenómenos físicos de evaporación, condensación, precipitación, enriquecimiento de los compuestos de la tierra, y finalmente consumo.

El cumplimiento de este ciclo natural evitaría muchas dificultades para su utilización, ya que los procesos de evaporación, condensación en las nubes, precipitación a tierra y enriquecimiento de minerales necesarios en los manantiales, llevarían a su consumo directo en óptimas condiciones. No obstante, por lo explicado anteriormente, en la actualidad no sucede así. Es por ello la necesidad del hombre en modificar este ciclo natural, invirtiendo grandes recursos para su utilización.

En el siguiente esquema se puede ilustrar lo anterior:

Figura 7. *Secuencia de utilización del agua.*



Elaboración propia.

La figura anterior, muestra los pasos con una secuencia en dos etapas bien marcadas en la parte superior. La primera se inicia con la fuente de suministro y concluye en el consumo humano, pero en la segunda etapa, muchas veces los pobladores al utilizar el agua, desconocen o conceden poca importancia al destino del agua servida o consumida. Todavía esto se agudiza cuando el líquido utilizado comienza a acumularse al crecer desmesuradamente la población.

Capítulo 3

En las grandes ciudades peruanas abundan estas aguas servidas en lugares donde se acentúan y conviven las personas que resultan víctimas de sus consecuencias.

Tanto en el siguiente capítulo como en los restantes, el libro se apoya en los datos que aportó el trabajo de Quispe, (2017).

CAPÍTULO 4

Las aguas residuales o aguas servidas

Como se ha aclarado en la segunda parte del esquema, las aguas residuales producto del consumo, son aquellas que aparecen formando parte de los líquidos cloacales en cuales se incorporan los restos del lavado doméstico, de la alimentación, baños, etc. Las mismas pueden presentarse disueltas, suspendidas o mezcladas en estado intermedio denominado coloidal. También, estas sustancias, provengan o no de los hogares, pueden ser de naturaleza mineral u orgánica.

En cuanto a los minerales, estas sustancias también pueden proceder del uso casero (pinturas, aceites, productos químicos, etc.) o de las pequeñas o medianas industrias que arrojan indiscriminadamente sus desechos a los sumideros cloacales.

En la mayoría de las ciudades de los países subdesarrollados o naciones que le dan poca importancia al fenómeno, aparecen cada vez más, nuevas fábricas artesanales o semi industriales que arrojan gran cantidad de estos tipos de sobrantes al alcantarillado público. Desde luego, al proliferar las mismas, su control por parte de las autoridades, se hace cada vez más difícil.

Por lo que se hace evidente que este tipo de desecho ocasiona un gran perjuicio a la naturaleza y calidad del agua, pero en cuanto a las sustancias orgánicas sus efectos son más nocivos aún, ya que le comunican propiedades indeseables y peligrosas al líquido residual porque debido a la descomposición, los microorganismos y elementos patógenos asociados con estas

aguas se alimentan de materia orgánica muerta que actúan sobre esos complejos orgánicos en continua descomposición con la aparición de olores fétidos y colores que hacen perder transparencia al líquido (de ahí el otro nombre de aguas negras cuando interactúan con otros contaminantes).

Figura 8. Depósito de aguas negras.



Recuperado de <https://www.iagua.es/blogs/bettys-farias-marquez/que-son-aguas-negras->

Ampliando en ello, las aguas residuales provenientes de las industrias, se mezclan con las aguas negras. Esto hace que aumente la concentración del líquido, y al tener combinados elementos orgánicos con elementos químicos de desecho, se hace más difícil la separación de estos factores que de por sí han perdido la oxigenación adecuada.

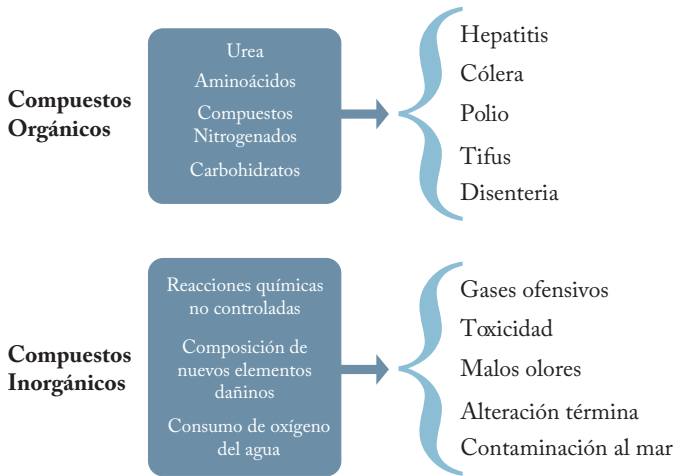
Son bastantes y variados los elementos destructivos que pululan en las mismas ciudades como, lavaderos de coches, mataderos de aves y porcinos no autorizados, plantas de fabricación de zapatos y papel, y otros. Los mismos vierten gran

cantidad de materia orgánica que una vez estancadas, consumen alta cantidad de oxígeno disuelto.

Otras, también distribuidas en la ciudad, arrojan ácidos, aceites de origen mineral y compuestos de hidrocarburo y formaldehído. Todos estos componentes generalmente elevan la acidez de las aguas.

A continuación, brindamos un esquema que trata del perjuicio para la salud, tanto de los compuestos orgánicos como de los inorgánicos presentes en las aguas negras:

Figura 9. Algunos componentes y efectos de las aguas negras.



Elaboración propia.

En cuanto a los compuestos orgánicos, existen otros tipos de enfermedades provocadas por este tipo de agua, aunque en el cuadro anterior sólo se reseñan las principales; ya que entre los agentes patógenos abundan las bacterias que pululan en las aguas servidas o residuales y encuentran su caldo de cultivo ideal en varios tipos de ellas. Las mismas se dividen en dos

clases: las aerobias que son aquellas necesitadas de oxígeno para vivir, y las anaerobias que no necesitan de él.

Las bacterias son generalmente dañinas en la vida humana produciendo graves enfermedades como las reseñadas en la figura 10. Para tratar las dolencias provocadas por las mismas, generalmente se usan antibióticos que las eliminan; sin embargo, ellas mismas tratan de protegerse a la acción de estos antibióticos.

Los antibióticos pueden salvar vidas, pero la resistencia a ellos por parte de las bacterias ha ido creciendo. Ello ocurre cuando estas se someten a un proceso de mutación (se transforman). Este proceso de mutación es causa de que los laboratorios químicos estén constantemente enfrascados en buscar y probar nuevos antibióticos ya que, las más sensibles mueren, pero quedan otras adaptables que se hacen muy resistentes. Es por ello que la medicina moderna cambia frecuentemente de este tipo de fármacos. Por ejemplo, la penicilina, que en un tiempo fue el más común y efectivo de ellos, ya no combate algunos tipos de enfermedades bacterianas que antes eliminaban, porque cada cierto tiempo surgen otros tipos de bacterias debido sobre todo a la mutación que mencionábamos anteriormente.

También se ha comprobado que estos microorganismos, aunque presentes en la atmósfera y otros medios, se concentran y abundan frecuentemente en el agua. El caso lamentable de Haití recientemente, provocó la proliferación del cólera que causó gran cantidad de víctimas fatales por la cantidad de agua contaminada en ese pequeño país caribeño.

Sin embargo, no todo en cuanto a las bacterias en el agua es negativo, ya que cuando se utiliza el proceso de degradación biológica, la materia de origen orgánico puede utilizarse creando una nueva biomasa que a la vez generan dióxido de carbono (CO_2) y agua como subproductos de esta degradación. Esto se ha logrado a través de la utilización de propios microor-

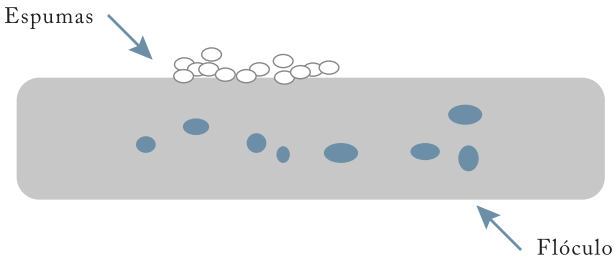
ganismos que tienen la función de neutralización de residuos domésticos e industriales.

Esas bacterias se alimentan de partículas disueltas en el agua que a su vez se transforman en otros productos que son capaces de aglutinarse en masas conocidas como flóculos que al agruparse se separan de forma bien definida que son separadas o extraídas de la laguna por diferentes medios. Estos flóculos logran una densidad superior al agua, por lo que se depositan en el fondo.

No obstante, las bacterias de tipo filamentosas, forman especies de burbujas que no se sedimentan formando espumas. Estas espumas ascendentes logran fácilmente recolectarse en la misma superficie como se observa en el dibujo de la figura

Es decir, las bacterias se agrupan en grandes volúmenes dentro de la materia orgánica. Cuando estos volúmenes aumentan suficientemente de tamaño, también aumentan en densidad formando unos flóculos que se precipitan aislándose de la masa de agua de menor densidad. El caso contrario, también beneficioso, ocurre cuando estas agrupaciones tienen menos densidad que el agua, flotando en forma de espuma que pueden ser recogidas y separadas de la masa de agua. Además, si estos flóculos poseen una buena consistencia, atrapan en su espuma a otros elementos no deseados o perjudiciales que pueden ser atrapados con facilidad dentro de la materia fangosa. En el dibujo de la figura 11 se ha hecho una representación tanto de los flóculos como de las espumas.

Figura 10. Acumulación de espumas y flóculos. (*Builking*).



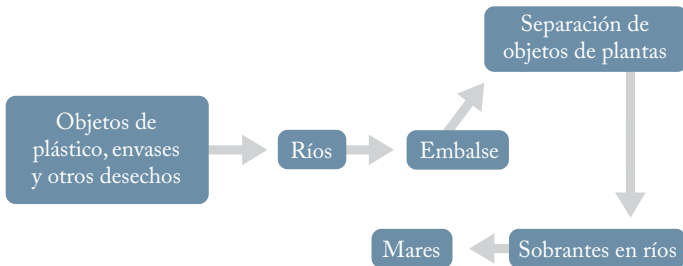
Elaboración propia.

Luego, estos flóculos al tener las bacterias concentradas y no dispersas, son más fáciles de separar dentro del volumen de agua de recolección.

De la acción de los compuestos inorgánicos en las aguas residuales, aunque sus consecuencias negativas aparentemente son menos directas, perjudican notablemente el entorno y el medio ambiente ya que emiten gases ofensivos que alteran y afectan las vías respiratorias. Algunos de ellos pueden ser peligrosamente tóxicos con sus malos olores y quizás el más dañino está relacionado con el efecto que hoy está causando alarmas a nivel mundial, o sea, la contaminación de los mares y océanos que va en ascenso galopante.

En este aspecto, aunque aparentemente no guarden relación con la contaminación del océano y las aguas residuales, está el fenómeno social del indiscriminado uso de plástico y otros materiales de embalaje que hacen un recorrido hasta el mar a través de los ríos. Estos materiales no se degradan con facilidad y recorren un camino no cíclico pues su trayecto final va a parar a las grandes masas oceánicas.

Figura 11. Trayecto de objetos no degradables hacia el mar. Fuente:



(Elaboración propia)

Observando la figura 12 se muestra el recorrido de los materiales desechables que se vierten al río. Las plantas de tratamiento, tanto de agua potable como las de agentes residuales, atrapan en su primera fase a los macrocuerpos, pero los restantes, donde se incluyen algunos agentes contaminantes, siguen el cauce del río, hasta llegar al mar.

Si tenemos en cuenta que en muchos casos el recorrido es extremadamente largo y que alrededor de él se acumulan asentamientos poblacionales en varias áreas que vierten todo tipo de desechos, así como empresas, mataderos de aves, almacenes sin previo control, etc., estos desechos se multiplican provocando gran cantidad de vertederos que al final perjudican y destruyen la flora y la fauna.

Ya esto, es característica rutinaria no sólo en la zona de estudio, sino, a lo largo del país donde existen este tipo de lagunas.

Figura 12. Parte del afluyente del río Rímac en Lima.



Foto cortesía de Sedapal.

Como se puede apreciar en la figura 12, esto es sólo una parte de elementos de desperdicios de todo tipo que alimentan las aguas residuales. El problema es que no sólo hay un tipo de objeto, sustancia o cuerpo. La masa es heterogénea, por tanto, el proceso de eliminación se hace cada vez más complejo.

Entonces, como se explicaba al principio, la dificultad estriba fundamentalmente en la conciencia social creada por conductas y hábitos que atentan seriamente contra la ecología y el equilibrio del sistema natural.

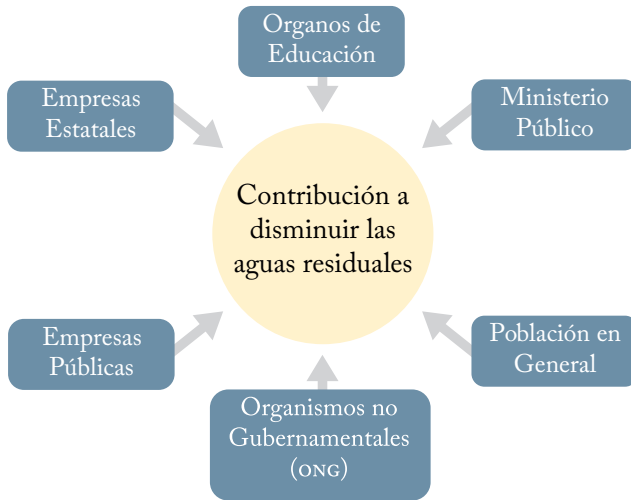
Si existiera esa conciencia en la población, serían innecesarios algunos costosos y laboriosos procesos para poder utilizar adecuadamente las aguas de consumo y para eliminar las aguas servidas. Las plantas de aguas residuales urbanas (ARU) simplificarían su proceso, y la salud ambiental cobraría su verdadero valor.

No obstante, los autores del presente libro coincidimos que en el problema existente deben coincidir varios factores de la sociedad y aunque las autoridades del Ministerio de Vivien-

da tengan un peso fundamental en ello, en otros organismos también recae gran parte de la responsabilidad ante estos alarmantes fenómenos.

Por ello, para una mejor comprensión de esto, focalizamos el problema de la siguiente manera:

Figura 13. Factores que deben contribuir a la disminución de aguas residuales.



Elaboración propia.

Aparte del Ministerio de Vivienda como principal órgano rector, dentro de los factores que inciden, la educación juega un papel primordial, y como es conocido, en el Perú, el Currículo Nacional es el documento modificado mediante R. M. 159/2017 que desde el año 2017 viene marcando la plataforma programática del sistema educativo nacional la cual contempla los conocimientos, actitudes y habilidades esperadas para que los alumnos durante su primera formación puedan apropiarse de

ellas en correspondencia con las necesidades de urgencia que apremian al país. Lo anterior se ha plasmado en objetivos, y dentro de estos figuran 31 competencias que 11 de ellas, se insertan de una manera u otra en la Educación Ambiental y en el cuidado del agua específicamente. En este rubro, las autoridades educativas, profesores, y alumnos están comprometidos en las tareas que se desprenden de estas competencias.

Por otra parte, el Ministerio Público tiene entre sus normas y orientaciones, velar para que la población no agrede indiscriminadamente los reservorios de agua, ni permita industrias y mataderos clandestinos que arrojan gran cantidad de desperdicios a las fuentes de agua.

Esto también concierne a las empresas estatales y públicas que deben lograr una conciencia entre sus directivos y empleados para evitar que lo anterior suceda.

También, algunas organizaciones no gubernamentales (ONG) se han formado y aún se están formando para cumplir el objetivo central propuesto en saneamiento, cuidado y ahorro del agua, y en fin, preservación del medio ambiente, para hacer de este propósito tarea de todos y el pueblo en general.

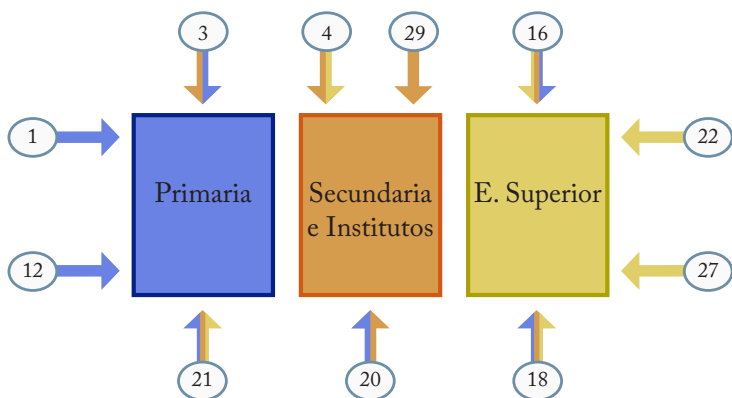
Sin embargo, de acuerdo a los resultados del trabajo de investigación que da cuerpo a este libro, no todo funciona de manera satisfactoria, ya que, en muchas ocasiones, las medidas se quedan en el papel y no se ven acciones en la práctica lo suficientemente certeras y concretas. Al contrario, las medidas algunas veces se ven desde un punto de vista formal sin una plataforma cohesionada que involucre a la comunidad en general.

CAPÍTULO 5

El papel de la educación en torno al problema

Uno de los rubros más importantes para lograr una conciencia social dirigida a la preservación ecológica y conservación de nuestras aguas, lo juega la educación del país. En el Perú se está trabajando actualmente en esto y, debido a su importancia, dedicamos un capítulo aparte. A continuación, detallamos la inserción de las once competencias dentro de un Programa que ejecuta Sedapal en Lima elaborado por uno de los autores de este libro.

Figura 14. Inserción de las competencias al Programa de Educación Sanitaria y Ambiental.



Diseño de Inserción. José R. del Valle G.

En un breve resumen de su incidencia se desglosan las mismas:

1. Desglose de las acciones

*a) Educación primaria. (Actividades)
Cómo llevarlo a la práctica:*

1 **Construir su identidad.**

Entra en las categorías abstractas y a largo plazo. Cuando al alumno de ese nivel se le amplía su horizonte cultural en talleres, **visitas guiadas a la planta**, concursos y otras actividades dentro del programa, se le debe dar participación a través de preguntas y **no de manera repetitiva**. En los talleres ha de hacerse de la misma forma. Es por ello que ceñirse a un guion de carácter plástico, no resuelve los problemas cognitivos ni afectivos del educando. El alumno debe acercarse al **por qué** y no aprenderse mecánicamente las tres etapas de la planta.

En los talleres se adicionan los experimentos recreativos respecto a las propiedades del agua, pero estos también deben despertar la **motivación** en el alumno, **no la curiosidad**.

Solución: Cursos de capacitación breves, dirigidos a los integrantes del Programa, pero adecuados a este nivel. Los mismos se proyectarán al orden:

- Social.
- Cultural.
- Científico.
- Educativo.
- Cognitivo.

3 **Asume una vida saludable.**

Comprende los tres niveles enlazados en el diagrama. Al respecto, el programa incluye dentro de sus actividades, algunas acciones cómo la descripción cualitativa sobre el cuidado del ambiente dada en:

- Los consejos proyectados mediante videos sobre la higiene personal y social en el correcto lavado de manos, baño, lavado de verduras, etc.
- Los videos actualizados sobre la obstrucción de alcantarillas y sus consecuencias, debido a una mala práctica de forma general.
- Las proyecciones brindadas en los talleres que ilustran la forma de vida de los habitantes en algunas regiones africanas donde apenas tienen agua para vivir.
- La información estadística sobre la poca higiene de los pobladores suburbanos por la escasa disposición del vital líquido.

4 Interactúa a través de sus habilidades sociomotrices.

Esta competencia se viene ejecutando en el programa a través de varias actividades y acciones. Especialmente en primaria, durante los talleres se efectúan juegos y tareas lúdicas donde los alumnos bailan, saltan valiéndose de un dado gigante y una alfombra plástica en el suelo.

Después de la tirada del dado al azar, aparece un mensaje con una tarea medioambiental sobre el cuidado del agua y la naturaleza. Esto se hace de forma competitiva y resulta eficaz como recurso educativo.

12 Escribe diversos tipos de textos en castellano como segunda lengua.

Durante los Concursos literarios que vienen realizándose por el programa, los alumnos elaboran fábulas o cuentos dedicados al cuidado del medio ambiente y preservación del agua, donde al final se seleccionan los tres primeros lugares y las tres menciones. Al final, en un acto a nivel central, se dan a conocer los resultados y ganadores con sus respectivos premios. En el año 2017 se recibieron más de 800 trabajos y en el 2018 sobrepasaron los 5000. El jurado fue muy profesional en la redacción, el mensaje y la ortografía. Actualmente, se están recibiendo trabajos similares.

16 Convive y participa democráticamente en la búsqueda del bien común.

Es sabido que, cuando los alumnos se reúnen grupalmente en actividades fuera del aula, se acentúan más los lazos de camaradería y amistad.

Precisamente, todas las actividades que desarrolla el programa, enlazándolas con la competencia #18 están encaminadas a este fin como proyecto y misión social.

18 Gestiona responsablemente el espacio y el ambiente.

Es totalmente obvio que todas las actividades del Programa de Educación Sanitaria y Ambiental descansan en esta competencia como piedra angular.

Para ello se contempla un plan de actividades completo dirigidas a ese fin. Es bueno señalar que existen coordinaciones con diferentes UGEL y dependencias del Minedu para efectuar dichas actividades (mediante un plan anexo).

20 Indaga mediante métodos científicos para construir conocimientos.

Las actividades que se realizan en la Enseñanza Primaria están centradas fundamentalmente en dos variantes: Recorrido a la planta y talleres a los Centros Educativos.

Ahora se ha escogido la variante que, antes del recorrido se expongan y ejecuten tres o cuatro experimentos sencillos a modo de motivación sobre: Conductividad térmica del agua, difusión en el agua, evaporación y condensación y filtración con modelo a escala. Luego, se les deja un fácil experimento de tarea. Todo el enfoque es constructivista como plantea el nuevo paradigma del currículo.

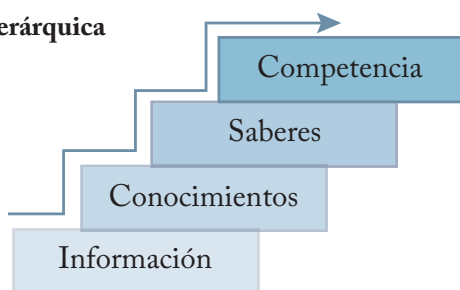
En el recorrido se les hace saber la aplicación de lo mostrado con anterioridad.

En los talleres a colegios, se incorporan algunos de estos experimentos a las otras actividades que se realizan.

21 **Explica el mundo físico basándose en conocimientos sobre los seres vivos; materia y energía; Tierra y universo.**

La aplicación de esta competencia está muy relacionada con la # 18, ya que en el enfoque de todas las actividades que contempla el Programa, se proporciona una explicación a este nivel sobre las mismas siguiendo la secuencia pedagógica siguiente cumpliendo así con las exigencias del Ministerio de Educación del Perú:

Escala jerárquica



De acuerdo a esta escala, las acciones pueden quedar a nivel de Información para el Nivel Primario, pero con un enfoque heurístico basado en preguntas y respuestas.

2. *Desglose de las acciones*

b) *Secundarias básicas e institutos. (Actividades)*
Cómo llevarlo a la práctica:

3 **Asume una vida saludable.**

Esta competencia también abarca los tres tipos de Enseñanza declarados. Al respecto, el programa incluye dentro de sus actividades, algunas acciones descritas para la Enseñanza Primaria como la descripción cualitativa sobre el cuidado del ambiente y su relación con la salud, pero en este nivel de enseñanza se **profundiza mucho más** sin descuidar el nuevo

paradigma en que se sustenta el Currículo Nacional según la estructura de su modificación.

Solución: Un curso de capacitación breve con el nuevo Paradigma del Currículo Nacional para el Nivel Medio.

16 Convive y participa democráticamente en la búsqueda del bien común.

Al igual que en la Enseñanza Primaria es sabido que, cuando los alumnos se reúnen grupalmente, se acentúan más los lazos de camaradería y amistad. En la Enseñanza Secundaria, se fortalecen más estos lazos, pero también pueden producirse contradicciones.

En todas y cada una de las actividades que contempla el Programa, existe un enfoque dirigido a la necesidad social de este bien común, entre ellas:

- La creación de los grupos “Guardianes del Agua” en los diferentes distritos.
- La siembra de árboles en los colegios con la coordinación de la dirección de los centros.
- Las ferias y eventos donde participa el programa con actividades e ideas prácticas.
- Las demás tareas contempladas en el Programa.

Precisamente, todas las actividades desarrolladas, enlazándolas con la competencia #18 están encaminadas a este fin como proyecto y misión social.

18 Gestiona responsablemente el espacio y el ambiente.

Desde luego, esa es la razón de ser del Programa, por tanto, todas las actividades enmarcadas dentro de esta competencia, responden a esta razón.

Para cumplir y hacer efectiva la inserción con esta competencia, se contempla un plan de actividades completo dirigidas a ese fin. Es bueno señalar que existen coordinaciones con diferentes UGEL y dependencias del Minedu para efectuar dichas actividades. (Plan anexo vigente aún).

20 **Escribe diversos tipos de textos en castellano como segunda lengua. Indaga mediante métodos científicos para construir conocimientos.**

La competencia # 12 se inserta en el Programa al igual que se hizo en Primaria a través del Tercer Concurso Artístico Literario, pero lógicamente con más rigor en las categorías que concursan respecto a la línea que sigue el mismo, o sea: Uso adecuado del agua y Conservación del Medio Ambiente. En ese mismo sentido, desde el año 2018 se convocó otra modalidad incluida en la competencia # 20 para este nivel de Enseñanza la que obtuvo sorprendentes resultados para estudiantes de los últimos ciclos. La misma consistió en la elaboración de trabajos científicos breves, tesinas, monografías, etc., que acerquen al alumno al futuro perfil universitario en el campo de la investigación bajo las normas APA.

21 **Explica el mundo físico basándose en conocimientos sobre los seres vivos; materia y energía; Tierra y universo.**

Dentro de las visitas guiadas y sobre todo en los talleres, se pueden hacer actividades experimentales donde se pongan de manifiesto las Leyes de Conservación y su aplicación, tales como:

- El proceso de filtración de impurezas del agua.
- El fenómeno de la difusión en los líquidos.
- La lixiviación entre soluto y solvente.
- Las consecuencias del puente de Hidrógeno.
- El papel del agua en los seres vivos.
- La evaporación y condensación, y sus consecuencias.
- La Ley de Conservación de la Energía y su manifiesto en los procesos de la planta.
- Las propiedades de los agentes químicos y las características del carbón activado.

29 **Gestiona su aprendizaje de manera autónoma.**

La misma razón de, que el enfoque de todas las actividades sean tratadas desde el enfoque constructivista, hacen que el estudiante se apropie por sí mismo de los conocimientos y habilidades. Esta competencia guarda estrecha relación con las restantes en la forma de exponerlas a los estudiantes.

3. *Desglose de las acciones*

b) Educación Superior. (Actividades)
Cómo llevarlo a la práctica:

4 **Interactúa a través de sus habilidades sociomotrices.**

Anualmente se efectúan recorridos a la planta en bicicleta organizados por el programa. Dichos recorridos tienen el doble propósito: Desarrollar habilidades físico motrices, e interactuar con la naturaleza.

16 **Convive y participa democráticamente en la búsqueda del bien común.**

Aunque en la universidad los alumnos son más autónomos, estos se integran de manera colectiva, sobre todo a actividades de corte científico y cultural.

Dentro de las actividades del plan, existen algunas que, necesariamente poseen un carácter eminentemente colectivo encaminado a lograr el bien común. Entre ellas:

- Conferencias científicas a universidades en torno al cuidado del medio ambiente y a los fenómenos naturales.
- Coordinación con autoridades universitarias para intercambios con el Programa.
- Coordinar con vista a los planes sociales como reforestación y trabajo comunitario.

18 Gestiona responsablemente el espacio y el ambiente.

Como esta competencia es la razón de ser del programa, Está contemplada dentro del plan de actividades para cumplir ese propósito. Es bueno señalar que existen coordinaciones con diferentes universidades y dependencias del Minedu para efectuar dichas actividades. Están contempladas dentro del Plan anexo (vigente aún).

21 Explica el mundo físico basándose en conocimientos sobre los seres vivos; materia y energía; Tierra y universo.

Se está llevando a cabo una nueva estrategia en las visitas por parte de los universitarios a la planta. Antes de efectuar la misma, se desarrolla un seminario teórico práctico de acuerdo a la carrera universitaria y el año que cursen. En estos momentos se han elaborado prácticas de laboratorio con diseños sobre ósmosis y ósmosis inversa. Estos diseños constituyen modelos sobre la desalinización del agua de mar.

22 Diseña y construye soluciones tecnológicas para resolver problemas de su entorno.

Ídem a la competencia 21 con algunas variaciones procedimentales prácticas.

27 Gestiona proyectos de emprendimiento económico y social.

Los alumnos universitarios, interactúan a través de talleres y visitas guiadas sobre la concientización del cuidado Conservación del Medio Ambiente, incluyendo a nuestro líquido vital, por supuesto, y toman elementos útiles para sus futuros trabajos de tesis o diplomas.

Como se puede observar, el programa abarca actividades con acciones concretas donde está involucrada Educación y una de las autoridades principales del agua.

CAPÍTULO 6

El papel del oxígeno y el nitrógeno en todo el proceso de aguas residuales.

El oxígeno es un elemento de la tabla periódica que pertenece al orden de los no metales considerado imprescindible para la vida. Contrario a lo que se considera popularmente, no es un elemento mayoritario en el aire, ya que se encuentra en proporción de sólo un 20% mientras que por ejemplo, el nitrógeno ocupa un 78% de esa masa.

Normalmente en la atmósfera terrestre se encuentra en estado molecular formado por dos átomos unidos por enlace covalente (O_2). Pero también se encuentra disuelto en el agua (OD).

En el reino animal que habita en la superficie terrestre (incluyendo por supuesto a la vida humana) como todos sabemos se consume directamente del aire atmosférico, pero aquellos organismos y animales que viven en el agua como los peces, algas, crustáceos y otros, lo consumen disuelto en el agua. Es por ello que el oxígeno disuelto (OD) es un indicador principal de la capacidad de un río para la mantención de la vida acuática de los organismos vivos.

Este entra a la masa acuática a través de la atmósfera disolviéndose con facilidad en el agua. Como los ríos tienen movilidad, el oxígeno molecular se difunde en todo el volumen líquido. Por ejemplo, en los ríos de aguas turbulentas, ciclones, cascadas, etc. hay más presencia de oxígeno. Por lo que se

infiere, en las aguas estancadas, hay menos cantidad de este importante elemento.

También hay otros factores que tienen gran incidencia en la cantidad de oxígeno que debe poseer el agua como, por ejemplo, las plantas que durante el día captan Dióxido de Carbono (CO_2) y devuelven oxígeno.

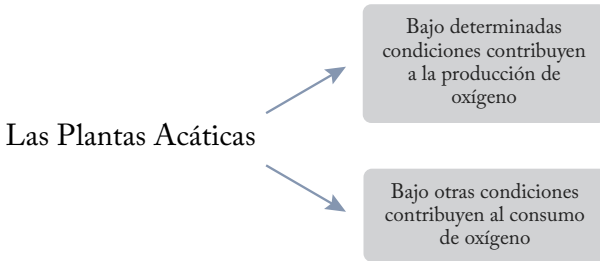
En ese reino vegetal se produce la fotosíntesis con ayuda de la luz, pero también interviene el oxígeno. Sin tratar de transformar este capítulo en algo tan complejo que sólo pueda entenderse por especialistas en el tema, trataremos de explicar los efectos de la reacción química presente en la fotosíntesis y que involucra al oxígeno:



Lo que quiere decir, que, en la fotosíntesis, por la acción de la luz de los rayos solares, las plantas, al consumir el dióxido de carbono y éste estar en presencia de agua, se produce una reacción química liberando oxígeno en mayor cantidad y un compuesto orgánico llamado glucosa ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) que a la vez está presente en los azúcares.

Otro factor que interviene en este proceso es la temperatura, ya que al aumentar esta, por el mismo nivel de evaporación, hay menos oxígeno en el agua. También cuando hay muchos consumidores como por ejemplo las bacterias aeróbicas de las que ya comentamos, consumen gran cantidad del referido elemento. Esto se nota en mediciones que reportan la disminución de oxígeno cuando hay superpoblación de plantas acuáticas.

Aquí se aprecia de nuevo, la contradicción aparente entre dos factores:



Resumiendo, en un párrafo de la publicación en blog de Lenntech⁵ (Organismo de los países bajos que se ocupa de la purificación del aire y el agua) se puede hacer el siguiente comentario:

Se estima que una proporcionada cantidad de oxígeno disuelto en el agua es totalmente necesario para la obtención de una calidad óptima, sabiendo que este elemento es imprescindible para cualquier forma de vida en la naturaleza. Los manantiales de agua pura los ríos y arroyos llevan consigo adecuadas cantidades para que subsistan las diferentes formas de vida; a estos sistemas naturales se llaman aeróbicos. Sin embargo, cuando que por cualquier motivo los niveles de oxígenos disueltos bajan en la cantidad necesaria para la vida, esta empieza a disminuir provocando altas proporciones de peces y crustáceos muertos.

Por otra parte, el nivel de oxígeno mide la calidad del agua en las coliformes fecales, ya que cuando nos referimos a formas de vida también incluimos a otros tipos de organismos vivos como los que sobreviven en el zooplancton también este elemento incide directamente en un sin número de propiedades incluidas el olor la transparencia y el sabor de este líquido vital.

5 Lenntech (Organismo de los países bajos que se ocupa de la purificación del aire y el agua).

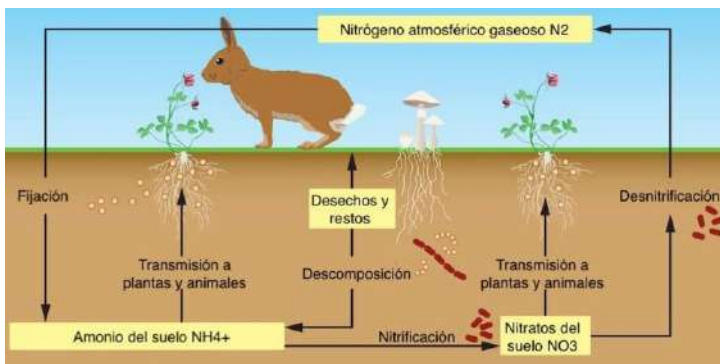
Es decir, igual que el oxígeno ocupa un papel preponderante en la vida terrestre, de igual forma en la vida acuática es indispensable su acción, algo que en las plantas de tratamiento de agua tienen bien en cuenta para calcular los parámetros óptimos en su utilización. Por tanto, las dos principales funciones que tiene el oxígeno dentro de las aguas podemos agruparlas de esta forma:

- La respiración de los seres vivos en el medio hídrico.
- La descomposición de la materia orgánica al morir

En cuanto al Nitrógeno (N), es el elemento que más abunda en la atmósfera terrestre, ya que el 78% de ella lo ocupa este gas, mientras que sólo el 20% corresponde al oxígeno.

Si en forma química pura forma parte del aire, cuando llega a la tierra se combina formando sales nitrogenadas, es por ello que tanto en el agua como en los suelos puede ser encontrado en forma de nitratos y nitritos. Las sustancias nitrogenadas tienen conexión entre ellas formando parte del ciclo del Nitrógeno.

Figura 15. *Ciclo del Nitrógeno y su transformación.*



Recuperado de: [https://concepto.de/ciclo-del-nitrogeno/.](https://concepto.de/ciclo-del-nitrogeno/))

Como se puede observar en la figura 11, el Nitrógeno se encuentra abundantemente en la atmósfera, luego pasa a la corteza terrestre formando amonio (NH_4) que se encarga en depositarse a las raíces de las plantas. Después, debido a los desechos orgánicos, se descompone en Nitratos (NO_3), A través de la tierra se desnitrifica dejando libre al gas que vuelve de nuevo a la atmósfera en forma de Nitrógeno.

Producto del aumento de gases en las industrias, ha ido cambiando la producción de Nitratos y Nitritos, es por esta causa que las proporciones de Nitrógeno en agua potable también han variado en los lechos acuíferos. Al alterarse el ciclo, la cantidad de estas sales (Nitratos y Nitritos ha aumentado) provocando la alteración cualitativa del agua y provocando enfermedades graves cuando el ser humano la consume.

A continuación, exponemos un resumen de la nocividad de estas sales para la salud cuando no se encuentran en la proporción adecuada:

Figura 16. *Nocividad de los Nitritos y Nitratos.*

<p>Proporción inadecuada de nitratos y nitritos</p>	<ul style="list-style-type: none">• Disminuyen la capacidad de movilidad de oxígeno en la sangre• Afectan la tiroides• Disminuyen el almacenamiento de vitamina A• Probables causas de algunos tipos de cáncer
--	---

Elaboración propia.

Esta inadecuada proporción de Nitratos y Nitritos, es causada por el uso indiscriminado del ser humano en la sobre dosis de fertilizantes, en la combustión maderable de los bosques, en la conservación de alimentos enlatados, etc. Al final, los mismos van a dirigirse a las aguas subterráneas y de ahí a las aguas superficiales que el propio hombre va a consumir de otras maneras.

En este caso es un ciclo:

Hombre → Compuestos Nitrogenados

Aguas Subterráneas → Aguas Superficiales → Hombre

En su afán de proporcionar más beneficios a la agricultura en productividad y rapidez de crecimiento, los compuestos nitrogenados constituyen la base de los fertilizantes. Pero a veces estos se usan excesivamente de una cosecha para otra. Al perder el control y dosificación de los mismos, a través de la tierra o sembríos, los residuos acumulados se mezclan en el agua subterránea y de ahí al río que nutre las aguas superficiales. Lógicamente estas aguas superficiales constituyen el reservorio del hombre que para utilizarlas de nuevo en riegos y otras labores debe someterlas a una planta de tratamiento ya que usarlas en modo directo arrastraría consigo algunas sales nitrogenadas y otros compuestos en descomposición que perjudicarían notablemente la calidad de las plantas que se someten a regadíos y otras labores. Los frutos de estas plantas, al final van a ser consumidos por el hombre, a veces con consecuencias dañinas para la salud.

CAPÍTULO 7

El caso específico en el Perú

Como sabemos, el Perú es una nación extensa con características geográficas y socioculturales específicas y muy diversas. Esto provoca que, a la hora de acometer acciones en el orden general, estas tengan que particularizarse de acuerdo a las condiciones de cada región, distrito o provincia.

Por esta razón es bastante susceptible a los efectos de la variación del clima, esto conlleva entre otras cosas, a una manifiesta escasez de agua según las diferentes estaciones por las que transita cada año.

De forma general, la calidad de agua en el país no se puede calificar de óptima, haciendo que el Estado se enfrente a tomar decisiones donde interactúan varios organismos estatales como: La Autoridad Nacional del Agua; el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento; y el Ministerio del Ambiente.

De acuerdo a esta problemática, estos organismos se enfrentan a varias situaciones negativas como:

- El mal uso y despilfarro del líquido.
- Las sequías en algunas zonas y regiones.
- La falta de potabilidad en los reservorios debido a la agresión del hombre.
- La necesidad de plantas de potabilización en regiones vulnerables.

- La extensión de plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Las medidas destinadas a su aprovechamiento óptimo.
- El trabajo necesario para lograr una conciencia social.

En cuanto al mal uso y despilfarro del agua en el Perú, sería conveniente sacar una cita de parte de un fragmento donde plantea con cifras exactas lo siguiente:

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), ubica al Perú a nivel mundial en el puesto 17, en relación con la cantidad de agua disponible por persona y el Banco Mundial en el puesto 14 en acceso al agua a nivel de América Latina.

De acuerdo a los resultados estadísticos del país en este aspecto se disponen de 16 grandes reservorios donde se escurren más de 2 046 287 millones de metros cúbicos anuales. Esta riqueza hidrográfica, además, cuenta con cerca de 12,000 lagunas de la sierra y más de 1,000 ríos.

Como contradicción en esto por las características geográficas del país y por otros factores la distribución de los recursos hídricos es bastante dispareja ya que se tiene como cuestión antagónica que donde residen más habitantes hay enorme escás de agua a contrapelo de que las regiones menos pobladas cuentan con un gran porcentaje de líquido vital.

Por tanto, producto de esta desigualdad geográfica en relación con los pobladores y asentamientos urbanos y rurales, se hace evidente la no correspondencia entre necesidad y reservas de agua.

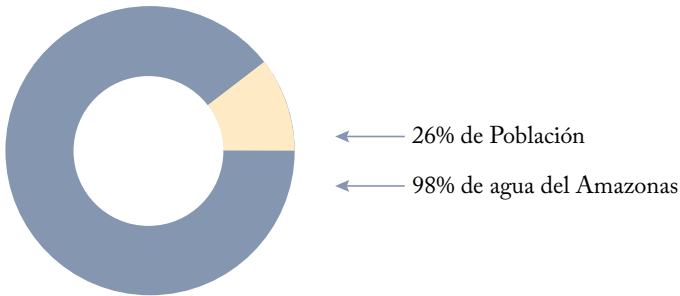
Hay muchos países (sobre todo desarrollados) que, a través de la técnica y modernización, han resuelto este problema desde hace mucho tiempo.

Baste recordar el enorme esfuerzo de la antigua Rusia Soviética que hizo desviar el caudaloso río Volga hacia la enorme

ciudad de Moscú en época del dictador Stalin, unos 320 kilómetros considerado en el mundo como una obra colosal en la década de los 50.

Volviendo al Perú, comparemos la cantidad de agua con el número de habitantes a través del esquema siguiente:

Figura 17. Distribución de agua en el Perú.



Elaboración propia.

Otro agravante que afecta seriamente al país es el despilfarro. Esto se debe fundamentalmente a la falta de conciencia social, algo que trataremos con más amplitud en el capítulo que le sigue al siguiente. Sin embargo, hay que tener en cuenta que los distritos y zonas con más solvencia económica son los que más sobreconsumen el preciado líquido; con marcada diferencia entre aquellas zonas más pobres que resultan mayoría en número de habitantes.

Comentando algunas partes del artículo anterior, es contradictorio que, a pesar de la riqueza hídrica del Perú, el líquido escasea por minutos. De esto hay varias causas como la deforestación, el calentamiento global y, sobre todo, el derroche debido a la falta de conciencia poblacional.

En estos momentos, en varias provincias y regiones, se nota la escasez de agua y sus consecuencias. Un ejemplo de esto es

el aumento poblacional desproporcionado y la gran expansión industrial.

Cada día un limeño gasta o consume 251 litros de agua, exactamente el doble que lo que un francés o un suizo usa en el mismo periodo.

El tema de las aguas de desecho una vez consumida, se va convirtiendo en una seria amenaza en todos sus aspectos.

De acuerdo a datos de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento a nivel nacional solo el 32.7 por ciento de las aguas residuales reciben tratamiento.

Por ejemplo, en los 2011 ocho departamentos no realizaron tratamiento de aguas residuales: Amazonas, Apurímac, Huancaavelica, Huánuco, Loreto, Madre de Dios, Pasco, y Ucayali.

El diagrama que exponemos, indica claramente lo anterior:

Figura 18. Desbalance del tratamiento de agua en el Perú.



Elaboración propia tomada de los datos anteriores.

Como se observa a simple vista, la desproporción es exagerada de acuerdo a las necesidades poblacionales.

Otra cuestión preocupante es el abastecimiento de agua en el Perú. En este aspecto existen problemas de índole social que siguen agravándose de forma alarmante. Por ejemplo, en la capital, los cerros escarpados y sin vegetación que rodean a Lima se han superpoblado, y la mayoría de ellos carecen de agua potable para su subsistencia.

Por eso prosigue el artículo de Tabra. (2017):

En el 2011, el 76,2 por ciento de los hogares se abastecían de agua para consumo humano proveniente del sistema de conexión a red pública y pilón de uso público. Sin embargo, aún existe un 23,8 por ciento de hogares que consumen agua proveniente de camión cisterna, pozo, agua de río u otra modalidad.

Esto indiscutiblemente se convierte de por sí en un problema social, ya que el área de Lima Metropolitana, así como las zonas enclavadas en la costa consumen más del 90% de agua, mientras que en las áreas rurales los valores de consumo oscilan entre un 38 y 55%.

Esa es otra arista del problema, por eso lo atribuimos a factores sociales más que a otra cosa, ya que cuando no hay un control urbanístico sobre el asentamiento de viviendas, entonces las condiciones no son óptimas para una adecuada calidad de vida.

En otro artículo publicado por (Betancourt, 2018)⁶ donde se refiere a las necesidades sociales podemos hacer el siguiente comentario:

Como se ha reseñado en párrafos anteriores, el arrojado de desechos y atoros en las tuberías hay que eliminarlos de alguna forma. Se conoce que los escasos de agua están en correspondencia inversa con la explosión demográfica y el desarrollo económico de los pobladores.

Unido a esto, el agua se utiliza cada vez más para fines más numerosos y para actividades más diversas; entonces el problema aumenta en una progresión incalculable, por eso en estos momentos se aprecia su utilidad y valor.

En la mayoría de los países del mundo se da gran importancia a todo lo concerniente al aspecto tecnológico, a su

6 Betancourt, R. Uso y manejo inadecuado del agua en la vida diaria

aplicación para remediar el conflicto, sin embargo, precisa de más objetividad el trabajo de debe hacerse respecto a la conciencia social de cada ciudadano en particular y de la sociedad en general.

En este libro nos referimos al agua potable como sustento vital, pero esos habitantes con sus precarias condiciones, a veces carecen de electricidad y desagüe adecuado para verter el agua residual en las alcantarillas, ya que en su mayoría carecen de ese tipo de drenaje y finalmente las aguas van a depositarse en el río.

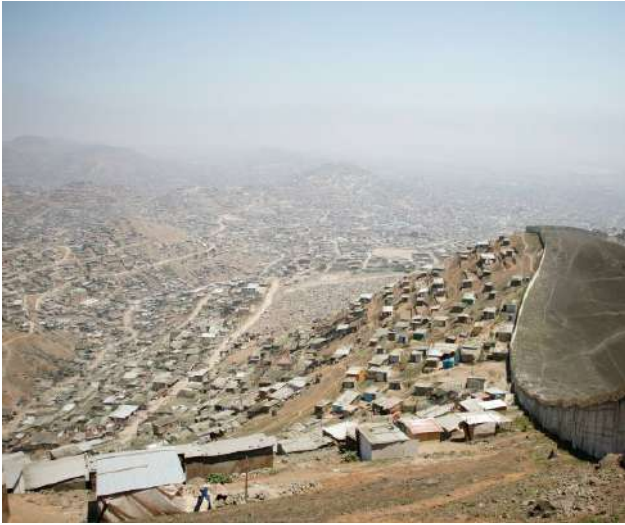
Es decir, que el sistema está colapsando inevitablemente sin una solución inmediata, ya que las medidas existen, pero el cumplimiento de las mismas está por ver todavía. Baste remitirse a la figura 19 de este capítulo y analizarla con detenimiento cuando se nota a simple vista que las dos tercias partes de las aguas residuales carecen de tratamiento.

Si en la capital existe y se mantiene el problema, hay que deducir qué ocurre en otras ciudades de menos infraestructuras y condiciones. Aunque hay que recalcar que estos asentamientos se establecen en las grandes ciudades que contradictoriamente ofrecen más oportunidad laboral, de servicios, transportes, y calidad de vida en general. Aunque ya esto es un problema eminentemente social por las malas condiciones existentes en las zonas. Contradictoriamente estas regiones, son las que proveen de los recursos o materia prima que sustentan la economía de los países productores de materia prima.

También es bueno aclarar que esto no ocurre sólo en el Perú ya que es característico de la mayoría de las grandes ciudades latinoamericanas⁷.

7 Sao Paolo, Río de Janeiro, Caracas, Bogotá y otras ciudades latinoamericanas presentan índices similares.

Figura 19. Asentamiento típico alrededor de la ciudad.



Recuperado de <https://www.convoca.pe/agenda-propia/el-cerro-donde-el-peru-se-divide-en-dos>

CAPÍTULO 8

La conciencia social y el efecto de las aguas residuales a nivel global

Se conoce que la conciencia social se genera a partir de la conciencia propia de cada individuo. De ahí que los estados intencionales (positivos o negativos) se generen a través de sus representaciones mentales.

Externamente, la conciencia se materializa a través de los hábitos y conductas de los seres humanos.

En una sociedad, cuando estos hábitos se generalizan, se convierten en normas de vida comunes. Los mismos forman parte de la rutina diaria a través de estados intencionales que tienen un origen casual como es el notorio caso de la agresión a la naturaleza, pero este tipo de agresión casi siempre posee un efecto causal debido a la necesidad propia del hombre y sus condiciones de vida.

Un ejemplo claro de ello lo tenemos en los basurales urbanos donde la población tiene la urgencia de eliminar los desperdicios y las autoridades no le proporcionan las condiciones óptimas para depositarlos en un lugar adecuado.

Sin embargo, en otros distritos y ciudades, los organismos responsables colocan recipientes apropiados de diferentes lugares para que las personas arrojen sus desechos de forma seleccionada. En el primer caso existía la necesidad, pero no las condiciones, en el segundo caso existe la misma necesidad, pero al proveer al hombre de las condiciones apropiadas, entonces

se crean los hábitos. Dichos hábitos son incorrectos en un caso y correctos en el otro.

Es decir que el cumplimiento de acciones por parte de la población recorre estos instantes:

Necesidad → Acciones → Hábitos

Cuando hay una debida organización social, sobre todo en las ciudades, no sólo se colocan recipientes para la recogida de desechos; también estos se ordenan de forma tal, que permite al personal encargado, hacer más fácil y viable su labor clasificándolos por tipo y composición de este desecho que luego se va a reciclar.

Figura 20. Depósitos ordenados para su reciclaje.



Recuperado de: <https://www.recytrans.com/>

Como dato curioso, en países desarrollados como Estados Unidos y Japón, el reciclamiento de algunos residuales reciclados se aprovecha convenientemente. Por ejemplo, en Japón con

materiales de desechos plásticos, han construido traviesas para las líneas de ferrocarril sustituyendo a la madera. De esa forma se logra un segundo propósito en el orden ecológico, pues así también se contribuye a la eliminación de la tala de árboles y deforestación.

También en algunas ciudades de Estados Unidos se fabrican grandes planchas de ese tipo de material que sirven de cimientto al concreto de las avenidas, evitando así la ruptura y agrietamiento de las mismas.

En cuanto a las aguas residuales citamos el caso específico de Perú en el contexto de este capítulo; ya que es frecuente que los ríos han sido y están siendo utilizados como sumideros para todo tipo de desperdicios.

Un ejemplo de ello es el río Rímac en Lima del cual ofrecemos en una de sus partes una foto en la figura 9. Aunque afortunadamente, gracias al aumento de volúmenes de agua que transportan y al movimiento de ellas en las épocas de lluvias, los ríos son capaces de auto regenerarse, y de esa manera, neutralizan bastante los efectos de las aguas residuales que han acumulado. No obstante, cuando hay mucha agua residual se pierde el equilibrio que debía existir en esta regeneración.

Esto evidentemente, es causa directa de la pérdida del oxígeno disuelto con las graves consecuencias explicadas en el capítulo 3, o sea: La respiración de los seres vivos dentro del agua y la descomposición de la materia orgánica al morir.

Es por ello que los programas de Educación Ambiental de varios organismos ejecutan un programa de índole social dirigido a todos los factores de la población con el objetivo central de cuidar el agua.

Un ejemplo de ello es el Programa de Educación Sanitaria y Ambiental de la empresa estatal Servicios de Agua Potable y alcantarillado (SEDAPAL) elaborado por los autores de este libro que entre sus actividades específicas contempla:

- a. Ejecutar talleres sobre cultura sanitaria y medioambiental y elaborar experimentos recreativos novedosos sobre las propiedades del agua, en organizaciones culturales, bibliotecas, parques recreativos, empresas y entidades educativas en general.
- b. Efectuar visitas programadas a la planta de tratamiento y a sus procesos, por escolares universitarios, público en general y otras entidades para mostrar todo el proceso que se lleva a cabo, y así, dar a conocer, y ayudar a concientizar sobre la labor realizada en esta.
- c. Registrar y evaluar la cantidad y calidad de estas visitas de forma periódica.
- d. Coordinar y dialogar previamente con autoridades del Minedu, con el fin de apoyar las medidas vigentes del actual currículo nacional en torno a la cultura ambiental, y certificar las estrategias utilizadas en los respectivos programas.
- e. Programar actividades diversas con escolares de todas las enseñanzas (concursos literarios y culturales en general, intercambios, debates, etc.) en relación con el cuidado y preservación del medio ambiente y uso responsable del agua.
- f. Programar un evento literario-científico de base donde participen estudiantes de Secundaria que serán evaluados por autoridades universitarias y expertos sobre el uso responsable del agua y cuidado del medio ambiente en Lima y Callao.
- g. Invitar a personalidades y especialistas al evento y garantizar su atención debida.
- h. Establecer reuniones de intercambio con universidades y centros científicos, para coordinar acciones y proyec-

tos a corto y largo plazo en torno al objetivo principal del programa.

- i. Programar un evento científico en la institución con actividades variadas, donde participen estudiantes y autoridades universitarias sobre el uso responsable del agua y cuidado del medio ambiente.
- j. Apoyar y accionar sobre las zonas vulnerables en la siembra y atención de diferentes tipos de plantas en actividades conjuntas con esas comunidades.
- k. Establecer un convenio con autoridades del Minsa para visitar los diferentes Centros de Salud y en forma conjunta, ejecutar acciones en beneficio de la población a través de talleres, ferias y campañas sobre higiene ambiental.

Establecer los compromisos de voluntariado interno para ejecutar diferentes actividades contempladas entre los objetivos de la empresa.

- l. Continuar y enriquecer el proyecto “Museo del Agua” en un parque frecuentado de la capital donde los visitantes puedan apreciar la labor que se realiza en Sedapal, además de informarse de aspectos importantes y evolución histórica acerca del agua
- m. Reactivar los comités de saneamiento formado por los niños, profesores y padres de familia (desde nivel Inicial hasta Secundaria) cuya labor fundamental esté en función del uso adecuado y responsable del agua y de la preservación del medio ambiente en general que denominaremos en adelante los “Embajadores del Agua”
- n. Controlar periódicamente el programa y su grado de cumplimiento, agregando nuevas iniciativas que enriquezcan el mismo.

- o. Supervisar y monitorear los talleres que se realizan en los proyectos del equipo en la etapa de estudios definitivos y obras.

Como se puede observar, este programa que viene ejecutándose tiene como fin primordial, despertar la conciencia social y en él se involucran varios organismos y factores de la comunidad, empezando desde los primeros años hasta el nivel universitario y que ellos a la vez sean portadores para revitalizar esta conciencia social.

Hay que aclarar que no solo esta empresa tiene este fin de carácter social, también hay otras, dentro y fuera de la capital peruana que tienen iguales propósitos. Aunque las tareas y actividades del Programa de Educación Sanitaria y Ambiental de Sedapal,⁸ perteneciente al equipo de Gestión Social, incorpora cada año nuevas iniciativas al respecto.

A nivel mundial, también hay gran preocupación por este tema y, son variados los artículos que tratan la problemática en cuestión. No es por gusto que se haya instaurado a nivel global la celebración del Día Mundial del Agua,⁹ dirigido a unificar criterios y a mancomunar esfuerzos para darle el verdadero valor que necesita la preservación de este líquido tan necesario para la vida.

8 El Programa de Educación Sanitaria y Ambiental de Sedapal pertenece al Equipo de Gestión Social de dicha empresa en Lima donde se ejecutan varias acciones dedicadas al cuidado del agua y al medio ambiente en general.

9 La Asamblea General de las Naciones Unidas adoptó el 22 de diciembre de 1992 la resolución A/RES/47/193 por la que el 22 de marzo de cada año fue declarado Día Mundial del Agua.

Figura 21. *Visita a la planta de tratamiento La Atarjea por un grupo de estudiantes.*



Elaboración propia por cortesía de Sedapal.

Figura 22. *Obtención de una muestra de agua del río Rimac.*



Elaboración propia por cortesía de Sedapal.

CAPÍTULO 9

Proceso del lodo activado y las lagunas de maduración

Entre los recursos y métodos que emplea el hombre para evitar el estancamiento y descomposición indiscriminada de las aguas insalubres, nos referiremos a dos considerados procedimientos fundamentales para evitar este gran problema y a veces reutilizar el líquido en otras labores útiles al propio sostenimiento de la sociedad. Ellos son:

El lodo activado

Para hacer más asequible la explicación, primero vamos a referirnos a explicar brevemente qué es un lodo activado, así como también sus características y funciones principales en las plantas de tratamiento. El lodo activo o lodo activado constituye un proceso puramente biológico que se usa básicamente durante el tratamiento de aguas residuales. Como se sabe, estas aguas portan todo tipo de elementos de desechos tanto orgánicos como inorgánicos. Es tan amplio su uso que es considerado convencional, y consiste en un proceso capaz de desarrollar cultivos bacterianos que se agrupan en forma de flóculos¹⁰

10 Conjunto de partículas pequeñas aglutinadas en partículas más grandes y con mayor capacidad de sedimentación que se obtiene mediante tratamiento químico, físico o biológico. Masa floculada

dentro de un depósito agitado y aireado al mismo tiempo con la propia agua residual que a su vez metaboliza como nutrientes a los contaminantes biológicos que proceden de esta agua.

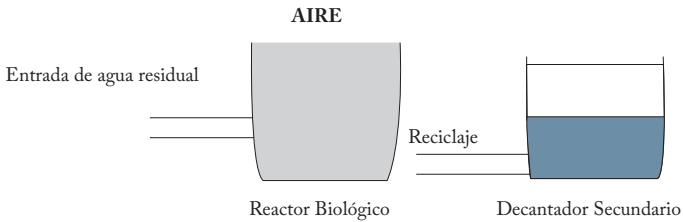
Dicha mezcla es homogenizada, mediante la unión de los flóculos bacterianos con el agua residual, mientras que el oxígeno suministrado a través del aire o resulta necesario para las bacterias u otros microorganismos nocivos que entran a formar parte de la mezcla.

El proceso de depuración se lleva a cabo por los propios microorganismos que se van concentrando o aglutinando en un espacio más reducido que un río o lago natural.

Este proceso orgánico se realiza por los propios microorganismos desarrollados sobre la materia orgánica. Los depósitos sobre los que actúa el lodo activado se desarrollan habitualmente en dos depósitos separados, aunque en plantas más modernas llevan cinco o más depósitos.

En síntesis, ofrecemos un esquema didáctico simplificado de lo anterior, aunque más adelante se ampliará el diagrama en otras de las figuras.

Figura 23. *Esquema del proceso de lodo activado.*



Fuente: Elaboración propia

que es formada por la acumulación de partículas suspendidas.

Los procedimientos que contienen lodo, de lodo destruye las partículas sólidas y sedimentos destructivos del barro, provocando entre otras cosas: la separación de líquidos, reducción del desgaste en el equipo, agitación de un barro más útil, mantenimiento de limpieza eficiente y más seguridad en el ambiente de trabajo.

Ampliando en lo anterior, se puede observar que el mismo consiste en una serie de procesos que tienen la propiedad de usar el oxígeno disuelto para que a través de este oxígeno se remuevan materias orgánicas que son atrapadas por este lodo. En todo el proceso, aparte de las materias orgánicas, también se adhieren otras partículas en toda la masa de lodo.

En la figura 16 ofrecemos un sistema simplificado, pero a escala práctica e industrial, en la actualidad, es algo más complejo. De forma general, el proceso de lodo activado tiene a su vez, tres fases básicas:

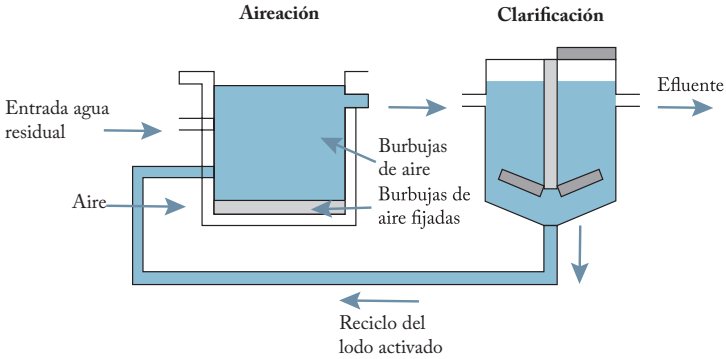
1. La utilización de un reactor donde los microorganismos se mantienen suspendidos en contacto con el aire circundante y de los residuos que comienzan a tratarse.
2. La fase que separa al líquido de los sólidos.
3. El sistema de reciclado que retorna el lodo activado al comienzo del proceso mediante la agitación. Dicha agitación evita sedimentos mezclando las bacterias con el agua residual.

La importancia principal de los lodos activados es que los microorganismos que se incorporan, consumen nutrientes que a la vez proporcionan el crecimiento celular.

De esa forma contribuyen a la limpieza del agua residual. El conjunto de organismos, vegetales o animales, que viven y se reproducen en determinadas condiciones de un medio (biocenosis) de los lodos activos dan información sobre las con-

diciones y estructura de los lodos activos, así como la limpieza que se puede alcanzar durante todo el proceso para eliminar los elementos patógenos.

Figura 24. Esquema del proceso real, aunque sencillo, de flujo de lodo activado.



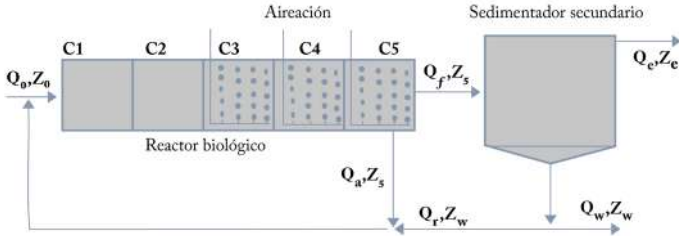
Recuperado de https://es.slideshare.net/ilserocio/lodos-activados?next_slideshow=1

En el diagrama se observa la entrada de aire a compresión que provoca las burbujas dentro del reactor (soplado por aire). Algunas se fijan al fondo y las menos densas entran al clarificador retornando al lodo activado formando un ciclo. En este proceso se remueve la materia orgánica.

Existen varios modelos en los procesos de lodo activado. El esquema representa uno de los más comunes, aunque el objetivo es el mismo: atrapar las bacterias y microorganismos en este tipo de plantas.

Digamos que, otro modelo más complejo es el siguiente:

Figura 25. Esquema más detallado del proceso de flujo de lodo activado



Fuente: Vera Cortés (2002)

En este plano de una (PTAR), los depósitos C1 y C2 carecen de aireación, por tanto, hay muy poco oxígeno disuelto, y los compartimentos C3, C4 y C5 son aireados por conducciones tubulares situadas en la parte inferior de las celdas.

El proceso tiene su continuación en otro depósito que corresponde al sedimentador secundario. En este no hay reacción de ningún tipo, y los lodos se sedimentan por su densidad, ya que no tienen aireación, y por tanto turbulencia y remoción de la masa.

Los factores que son controlados por el sistema son los siguientes con sus funciones:

- $Q_0 \longrightarrow$ Velocidad de flujo de la planta
- $Z_0 \longrightarrow$ Concentración de los componentes
- $Q_f \longrightarrow$ Velocidad de flujo que sale del reactor C5 hacia el sedimentador secundario
- $Q_a \longrightarrow$ Velocidad de flujo del recirculado interno en los reactores biológicos
- $Z_5 \longrightarrow$ Concentraciones de todos los compuestos en estos dos flujos

- $Q_r \longrightarrow$ Velocidad de flujo recirculante
- $Q_w \longrightarrow$ Velocidad de flujo de lodos de desperdicio
- $Z_w \longrightarrow$ Velocidad de flujo de lodos de desperdicio
- Q_e y $Z_e \longrightarrow$ Velocidad de flujo y las concentraciones en el efluente de la planta que salen del sedimentador secundario

En todo este proceso se obtiene un efluente con menores concentraciones de contaminantes; para ello es preciso mantener el control de oxígeno en los compartimentos C_3 , C_4 y C_5 , además del control de nitratos y nitritos.

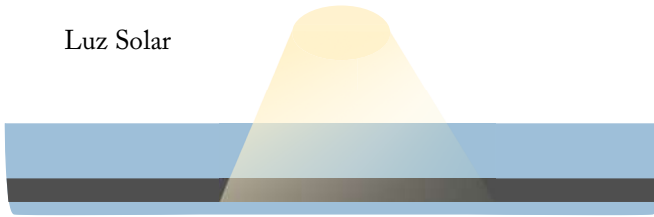
Las lagunas de maduración

Estos tipos de lagunas, están concebidas en general dentro de su diseño para el llamado tratamiento terciario donde se destruyen los elementos patógenos, sus nutrientes y algas dañinas. También forman parte de las llamadas lagunas de Oxidación que a su vez, no guardan diferencias en su construcción.

Se caracterizan por ser muy poco profundas con una profundidad próxima a un metro. Esto permite la penetración de la luz a la parte más profunda y también crear las condiciones aeróbicas durante toda la profundidad. La carga en el estanque de maduración se calcula sobre la suposición de que el 80% de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) se ha eliminado en el tratamiento anterior, o lo que es lo mismo, la materia orgánica ha desaparecido en su mayoría debido a la oxidación.

También, se considera el parámetro fundamental para dar una evaluación sobre el grado de contaminación del agua residual.

Figura 27. Esquema más detallado del proceso de flujo de lodo activado



Fuente: Elaboración propia.

La laguna de maduración es del tipo aerobia por lo que durante su proceso influye la luz en forma de energía lumínica que actúa directamente sobre las algas y bacterias que se asocian entre sí.

Las dimensiones en volumen de una laguna de maduración dependen del tiempo de retención requerido para que alcance una concentración de elementos patógenos que provienen de los desechos fecales.

Cuando son eliminados los coliformes fecales, y los patógenos, casi siempre se usa el agua proveniente de las mismas en riegos y otras actividades que no conllevan a la necesidad del consumo directo por el ser humano, aunque existen lugares tan insalubres y de pocos recursos que las recolectan y las filtran a expensas de los riesgos que ello conlleva.

Estas lagunas abundan en lugares alejados de las ciudades y relativamente cerca de albergues masivos, colegios internos con gran cantidad de estudiantes, campamentos militares extensos, etc., aunque con el desordenado crecimiento poblacional, algunas están formando parte del entorno urbanístico.

Figura 27. *Laguna de maduración.*



Fuente: cortesía de Sedapal tomado de sswm.info.

Las lagunas de maduración llevan implícitas a la maduración de los componentes vertidos en las mismas a cielo abierto. Se caracterizan por su proceso natural de depuración ya que degradan la materia orgánica y a su vez, las algas en la fotosíntesis proporcionan oxígeno a la materia.

Tipos de Lagunas de Oxidación o Estabilización

Estas lagunas pueden clasificarse fundamentalmente por su acción dominante en el orden biológico como: a) Aerobias. b). Anaerobias. c). Facultativas. d). Terciarias o de maduración.

- a. Las aerobias son aquellas que necesitan el oxígeno para funcionar.
- b. Las anaerobias no necesitan oxígeno pues mezclan la sedimentación de sólidos que se acumulan en el fondo

con el agua residual en la superficie. Estos lodos se sedimentan y queda la biomasa en suspensión en la masa flotante.

- c. Las lagunas facultativas operan, en su superficie como aeróbicas y en el fondo como anaeróbicas, dejando un espacio intermedio donde se acumulan las bacterias.
- d. Las lagunas de maduración en general ya fueron tratadas anteriormente.

Desde luego, las lagunas facultativas tienen sus ventajas, así como las desventajas.

Ventajas	<ul style="list-style-type: none">• Bajo consumo energético• Bajo costo de operación• Simple mantenimiento• Esquema simple de flujo• Remoción eficiente de patógenos• Disposición del efluente por evaporación• Evitan los picos hidráulicos de materia orgánica y de tóxicos
Desventajas	<ul style="list-style-type: none">• Extensos requerimientos de superficie• Existencia de terrenos bajos• Elevado contenido de algas• Depende de variables aleatorias (viento, radiación, variación de temperatura, etc.)• Generación de olores desagradables• Contaminación del suelo por infiltración

En este capítulo hemos abordado de forma general y tratando de simplificar en la mayor parte posible, los dos métodos más comunes para el tratamiento de las aguas residuales, o sea, **proceso del lodo activado y papel de las lagunas de maduración**.

Dichos métodos se aplican en varias ciudades y países del mundo a tal punto que constituyen patrones, aunque sus formas, partes y diseños pueden variar hasta en el mismo país.

Figura 28. Foto de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.



Foto cortesía de Sedapal.

CAPÍTULO 10

El dilema con las aguas servidas en el Perú

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) en el Perú, es un organismo estatal que se creó por el Decreto Ley N° 25965, adscrito al Consejo de Ministros.

Entre sus funciones principales están las siguientes:

- De regulación.
- De supervisión.
- De fiscalización y sanción
- De solución de controversias y reclamos

Respecto a las aguas residuales y su tratamiento, la SUNASS determinó en su último informe, que alrededor del 70% de las aguas residuales en el Perú no tienen tratamiento y que de las 143 plantas de tratamiento (en el año 2008), solamente el 14% cumplían con las normas establecidas para su óptimo funcionamiento.

Desde luego, después de este alarmante resultado, se han ejecutado nuevas plantas de tratamiento en el país hasta llegar al 2019 a un total de 204. Es decir, en este lapso de 10 años se ejecutaron 61 nuevas plantas. Las mismas se han puesto en marcha adaptándose a la realidad actual nacional; no obstante, se podría hacer la siguiente pregunta: ¿Al cambiar los diseños de las plantas actuales, también no se necesitaría cambiar las

normas para su evaluación? Al respecto, en un reciente informe brindado por el mismo organismo, señaló que sólo una de las 204 plantas en funcionamiento, cumple las normativas exigidas por la SUNASS.

En la redaccion@gestion.pe¹¹ se señala textualmente:

La SUNNAS informó hoy solo una de las 204 plantas de tratamiento de aguas residuales evaluadas en un reciente estudio funciona cumpliendo todas las normativas.

Y prosigue el informe: se requiere un gran acuerdo técnico para establecer las prioridades... Más del 30% de la población que tiene plantas, donde se han invertido millones, no tiene agua ni alcantarillado”, explicó el superintendente, en la presentación del estudio.

Fernando Momiy sugirió que, entre otras cosas, se invierta en el mejoramiento de estas infraestructuras y en la capacitación de los técnicos que las operan. También mencionó la necesidad de contar con un solo tarifario, no condicionado a la producción total de las plantas.

Respecto a la entrada de privados en la gestión del recurso hídrico, Momiy indicó que “no nos importa quién lo opera”, pues así el agente sea privado o público, deben estar en la capacidad de operar la infraestructura existente, dar un buen servicio. “La función reguladora será la misma”, expresó.

El dato

- Se necesita una inversión de S/ 7,300 millones para cerrar déficit de infraestructura en agua y saneamiento.

11 <https://gestion.pe/economia/sunass-204-plantas-tratamiento-aguas-residuales-cumple-normativas-112050-noticia/>

De todo esto se induce la falta de remodelación completa, no sólo en la creación de nuevas plantas, también, adecuar los parámetros evaluativos a las nuevas circunstancias y realidades actuales.

Figura 29. Vertimiento indiscriminado de aguas residuales.



Foto cortesía de Sedapal.

No obstante, en un recorrido a lo largo del país, de las 204 PTAR, no todas funcionan con los parámetros óptimos. Diciéndolo de otra forma, **no son totalmente eficientes**.

Las autoridades competentes¹² han encontrado una serie de deficiencias como las siguientes:

- Algunas no se adaptan al entorno geográfico donde están enclavadas porque siguen un patrón general de construcción bajo conceptos de módulos importados.

12 Datos tomados de <https://www.iagua.es/blogs/maria-sanchez-montes/aguas-residuales-peru-coste-improvisacion>

- Otras no tienen en cuenta la variedad de climas en el país.
- Falta de profesionalismo por las empresas instaladoras.
- Plantas abandonadas.
- Las empresas reguladoras están centradas en detectar estas situaciones, sin tiempo para adecuar estas situaciones.

Lo que quiere decir a todas luces, la falta de organización y a la vez unión de todos los organismos y empresas, tanto públicas como privadas, responsables en aglutinar criterios para resolver de forma eficaz la situación existente.

También se demuestra, un caso de planificación coherente en los deberes funcionales de dichas empresas donde se superponen tareas que van un único objetivo dentro de toda la estructura programática, y en muchos casos se apela a la improvisación sobre la marcha de las dificultades muchas veces no previstas a tiempo.

Tipos de aguas residuales en Lima

Como ya observábamos al principio, las aguas residuales se provocan por diferentes factores que se producen en la interacción con el ser humano. En este capítulo enumeramos y explicamos los siguientes.

a. Aguas domésticas.

Fundamentalmente se producen después de lavar los alimentos (verduras, legumbres, etc.). También aquellas de diferentes elementos orgánicos e inorgánicos cuando las personas se someten al aseo personal como el baño, la limpieza de dientes, limpieza del piso, etc.

Estas aguas residuales se denominan aguas residuales domésticas porque responden al uso diario de cada hogar en particular que sumados, exceden la cifra de miles o de millones.

b. Aguas residuales industriales.

Son aquellas que provienen de las actividades productivas tanto urbanas, como fuera de la ciudad. En el caso peruano, es abundante la minería y la misma también se asienta en lugares que no están debidamente controlados ni obedecen a las normas establecidas, como, por ejemplo, la minería clandestina.

c. Aguas provenientes de vertederos públicos urbanos.

Como es sabido, el Perú y sus ciudades se caracterizan por la gran cantidad de restaurantes que pululan en las grandes urbes. En ellos se arrojan desechos de comida, aceite de desecho, etc. Muchos de los mismos no cumplen con los estándares de calidad ambiental, por lo tanto, se hace difícil controlarlos.

Estos, al final van a depositarse a la red de alcantarillas y muchos son los que no reciben un tratamiento previo.

Actualmente están dirigidos con bastante efectividad algunas orientaciones y consejos de utilidad a la población.

Estos consejos, además de otros más ampliados, los generaliza Sedapal en su amplio Programa de Educación Sanitaria y Ambiental perteneciente al Equipo de Gestión Social de dicha empresa. Los mismos van dirigidos a colegios, centros públicos y universidades como parte de su plan de acciones.

A continuación, brindamos algunas acciones del Programa¹³:

13 Programa Educación Sanitaria y Ambiental. J. R del Valle y Luís Gonzales Muro.

1. Programar charlas, talleres y conferencias con diferentes organismos y empresas con el fin de promover buenas prácticas y crear **hábitos correctos en el buen uso del agua** y conservación del medio ambiente, creando la conciencia necesaria para cuidar el planeta enfocadas desde la perspectiva del trabajo científico.
2. Coordinar con diferentes Centros de Estudio (Enseñanza General Básica, Politécnicos y Universidades) para vincular los diferentes trabajos investigativos a los diferentes proyectos que se ejecutan en la planta.
3. Aplicar los resultados de las investigaciones, vinculadas al programa de Educación Sanitaria de Sedapal.
4. Crear un banco de problemas con los resultados anteriores, para poder utilizarlos oportuna y coordinadamente en función de la gestión social.
5. Comenzar a trabajar desde la base en actividades motivadoras en función de la Educación Sanitaria y Ambiental con alumnos de la Enseñanza Primaria y Secundaria a través de concursos y exposiciones hasta culminar en la Educación Superior.
6. Vincularse con la Asociación de Padres (CONAPAPA) con el fin de recabar el apoyo necesario para crear una cultura ambiental en sus hijos en función de las actividades de este programa.
7. Trabajar, con el fin de desarrollar un fórum de Ciencia y Técnica como colofón de las actividades investigativas en función del proyecto.

Los objetivos de dicho programa son los siguientes:

- Generar una cultura ambientalista y de conciencia social en niños, jóvenes y adultos.

- Promover el interés y la motivación hacia la creación científica.
- Vincular los aspectos cognitivos y educativos de la Enseñanza Básica y la Educación Superior, al Programa de Educación Sanitaria y Ambiental.
- Dar a conocer los principales logros y actividades que realiza el Programa de Educación Sanitaria de Sedapal a través del trabajo científico.
- Buscar alternativas de solución a los problemas ambientales, mediante un programa científico permanente.
- Contribuir a vincular los planes de estudio del Ministerio de Educación, al trabajo específico desarrollado por Sedapal en el área de Gestión Social.
- Divulgar los eventos e iniciativas para la incorporación de varios sectores en los mismos.

Al igual que este programa, existen otros organismos estatales que también contribuyen con acciones específicas a:

- Proteger al medio ambiente con acciones educativas.
- Ayudar a crear una conciencia social al respecto.
- Divulgar las tareas y consejos a la población.
- Coordinar con otros organismos la responsabilidad social en torno al tema.
- Hacer que se cumplan las normativas tanto del agua de consumo como para con las aguas residuales.

CAPÍTULO I I

Características hidrográficas de Moquegua como piloto del presente volumen

Moquegua es uno de los departamentos que forman la República del Perú. Ubicado al Sur del país en la cordillera de los Andes, limitando al Norte con Arequipa, al sur con Tacna, al Este con Tacna y al Oeste con el Océano Pacífico. Este departamento fue fundado en 1837.

Su clima es templado en la costa, con una temperatura promedio que oscila entre valores de 15 °C hasta 25 °C. Sin embargo, en la zona cercana a la cordillera este clima se torna árido y seco.

Las lluvias son escasas en la costa y en las partes bajas de la región andina, y llama la atención que, en las partes altas, las precipitaciones no pasan de los 500 mm anuales. La región cuenta con las dos cuencas hídricas siguientes: Cuenca del Río Moquegua perteneciente al Sistema Hidrográfico del Pacífico, la misma posee una longitud máxima de recorrido de 139 km., sus principales afluentes son los ríos Tumilaca, Torata, Moquegua e Ilo.

La otra es la Cuenca del Río Tambo. Ella nace en el Distrito de Yunga de la provincia de Sánchez Cerro, de la unión del río, y tiene un recorrido total de 276 km., desembocando en el Océano Pacífico en la parte que corresponde al departamento de Arequipa.

Hay que destacar que los ríos de Moquegua son de poco recorrido y de limitado caudal, siendo su principal afluente el río Tumulaca. También el río Tambo es el segundo en importancia hidrográfica en la región.

Figura 30. Mapa del departamento de Moquegua.



Recuperado de: es.wikipedia.org.

En cuanto a las aguas residuales en la zona, hay gran preocupación por parte de la población, ya que estas aguas no están uniformemente tratadas y constituyen un peligro para los habitantes.

Así lo afirma la SUNASS¹⁴ en un recorrido que se realizó durante el 2008 donde se informa textualmente:

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS) en Moquegua, durante las visitas técnicas efectuadas a la zona rural de Sánchez Cerro, detectó numerosas deficiencias en el servicio de agua potable y tratamiento de las aguas servidas. Cabe indicar que, a la fecha, se han caracterizado a 26 operadores del servicio de agua potable en el sector rural, ubicados en las provincias de Mariscal Nieto (Carumas, Cuchumbaya y San Cristóbal de Calacoa) y Sánchez Cerro (Ichuña, Ubinas, Matalaque y Quinistaquillas).

En las mencionadas visitas se pudo constatar que la mayoría de los centros poblados reciben el servicio de agua potable con serias deficiencias, lo que constituye un potencial peligro para la salud de las personas y el medio ambiente.

Durante las inspecciones técnicas se detectaron inconvenientes, como la falta de mantenimiento en los sistemas de captación y distribución, inadecuada cloración a los sistemas de almacenamiento para eliminar agentes bacteriológicos y vertimiento de aguas residuales sin tratamiento a los cauces, lo que genera contaminación. Por otro lado, se verificó que los operadores no cuentan con los suficientes recursos económicos para garantizar el servicio.

La principal función de la SUNASS es exigir que los servicios de agua potable, alcantarillado y tratamiento de aguas servidas, sean brindados en condiciones de calidad, preservando

14 Informe emitido por la SUNAAS en septiembre del 2018.

las fuentes de agua y promoviendo su uso más racional para darle sostenibilidad.

Por otra parte, se destaca que, en los últimos años en cuanto a la calidad del agua, se han desencadenado conflictos ambientales que conllevan también a conflictos sociales.

Estos conflictos han tenido tal trascendencia, como la provocada en enfrentar a pobladores urbanos con pobladores rurales. La causa ha radicado en la escasez del recurso hídrico, ya que los pobladores urbanos y agricultores ubicados en la parte media de la cuenca del río Moquegua tienen que compartir las pocas fuentes de agua superficial disponibles. También existe lo mismo con las aguas subterráneas de buena calidad ubicadas en la parte alta de la cuenca, para satisfacer las exigencias de los cultivos por el riego, y la necesidad humana por el agua de consumo. Sin embargo, en la zona de las aguas del subsuelo de la parte baja de la cuenca, no existe esta competitividad debido a que la calidad de las aguas no es apropiada para el consumo humano, siendo, por lo tanto, en su totalidad utilizadas para el desarrollo de la actividad agrícola.

Inminente peligro en la planta de residuales Omo-Moquegua

La investigación doctoral que da cuerpo a esta segunda parte del libro *Los efectos de los parámetros operativos en el diseño de la planta de tratamientos de aguas residuales OMO de Moquegua-2017* nos brinda valiosos elementos técnicos para un análisis lo suficientemente profundo; no obstante, a última hora, a escasos días antes de esta investigación el diario Prensa Regional¹⁵, publicó la siguiente noticia:

15 Diario Prensa Regional. 26 octubre, 2019.

El alcalde provincial de Mariscal Nieto, Abraham Cárdenas Romero, advirtió que el colapso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Omo, pondría en peligro la salud de la población de Ilo y Moquegua, debido a que las aguas que evacúan estas lagunas contendrían alto nivel de coliformes fecales y así serían vaciadas al río hasta llegar al puerto.

La denuncia pública de la autoridad fue dada a conocer ayer durante una visita a la PTAR de OMO, acompañada por un grupo de hombres de prensa del puerto de Ilo, quienes pudieron evidenciar el preocupante estado en que se encuentran las pozas, que están a punto de colapsar por haber superado su capacidad para el tratamiento de las aguas servidas.

El burgomaestre sostuvo que es necesario que las autoridades de Ilo y Mariscal Nieto deberían priorizar proyectos que apunten al cierre de brechas en temas de saneamiento básico y brindar agua de calidad a fin de mejorar la salud de la población. “Es urgente la construcción de una nueva PTAR Moquegua”, remarcó.

Explicó que su retiro del Comité de Monitoreo obedece a que dicha instancia de diálogo, no viene cumpliendo los compromisos asumidos, donde se busca la priorización de proyectos grandes en beneficio de la salud de la población como la construcción de plantas de tratamiento de agua potable.

Esta noticia encierra temas de salubridad alarmantes, ya que la población necesita de una remodelación y modernización de la planta en la región investigada. Esta posición del alcalde fue defendida y acatada por diferentes funcionarios, así como de la población local que son quienes sufren más las consecuencias de este conflicto.

En parte de un artículo sobre esta problemática publicado por Cabezas. (2018) hacemos el siguiente comentario:

Habló del tema del agua y consideró las dificultades para el acceso que la población, donde considera que actualmente persiste falta de equidad entre las ciudades y las zonas rurales. Brindó datos generales entre ellos que la población rural urbana utiliza, un 96% de agua potable tratada, mientras que el 84% de los pueblos rurales sólo disponen de ella. También refiriéndose a las aguas de saneamiento mejoradas los valores apuntan hacia un 82% de las primeras frente a unos 51%. Como nos hemos referido en capítulos anteriores este es una dificultad más seria, ya que las personas se preocupan solamente por el agua potable mientras que si sigue este ritmo podría en un futuro el mundo convertirse en un lodazal difícil de controlar.

Actualmente lo anterior está cobrando poco a poco sus secuelas, como por ejemplo en la salubridad donde las enfermedades diarreicas provocadas por aguas contaminadas constituyen la tercera causa de infantes cuyas edades fluctúan entre 1 y 5 años de edad. También se reportan más de 160 millones de niños que sufren de mal nutrición crónica, anemia y retardo del crecimiento.

Estos mismos cálculos indican que cada año podrían evitarse alrededor de 1 millón de muertes con una adecuada potabilización del agua junto al saneamiento debido.

Las organizaciones mundiales están tomando medidas globales encaminadas a buscar una igualdad, proteger el ecosistema dentro de la nueva agenda de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Esta agenda se traza una serie de metas que involucran a todos los gobiernos al sector privado, y la sociedad civil.

Comentando este artículo anterior, se nota a simple vista la evidente contradicción en el funcionamiento de la planta cuya investigación doctoral sirvió de objeto a este libro, y los resultados negativos que su diseño ha provocado y sigue provocando.

Una de las graves consecuencias analizadas en el informe se refiere a la deposición de coliformes fecales. A continuación, ofrecemos un resumen de las enfermedades producidas por estos en el ser humano.

- Enfermedades diarreicas agudas.
- El cólera.
- La enfermedad mortal de Guillain Barré.
- Manifestaciones neurológicas.
- Dificultades de crecimiento infantil.

Breve explicación general del sistema de control Fuzzy

En el lenguaje coloquial cuando se habla de comparaciones siempre se usan de formas dispersas o aleatorias que constituyen la base de todas las operaciones mentales que le siguen a la comparación en el pensamiento.

Por ejemplo, cuando un ser humano transita por la niñez (5 a 7 años), la mesa del comedor de su casa la encuentra inmensa, pero ese niño al crecer y convertirse en adulto, observa la misma mesa de otro tamaño más pequeño. Entonces cabría la pregunta: ¿Cuál es el tamaño real de la mesa? La respuesta tendría obligatoriamente que ser ambigua o habría que buscar patrones de referencias medibles para los niños y para los adultos, algo que no es usual porque los patrones responden a medidas estándar.

En este mismo tema, un médico no puede hablar con precisión científica cuando dice: *Tiene Ud. La presión alta.* Para

hablar con exactitud, la ciencia se ha encargado de establecer parámetros exactos que convierten lo cualitativo en cuantitativo (Ley de la Dialéctica).

Otro ejemplo es el de un cosmonauta que pierde la noción de “arriba o abajo”, esto ocurre cuando no poseemos los llamados Sistemas de Referencia, y esos sistemas no son más que elementos comparativos para establecer parámetros.

Y a medida que la vida se moderniza más, pues van surgiendo procesos aleatorios diversos que alteran bastante aquello que necesitamos medir. Es por ello que la lógica difusa (*fuzzy logic*, en inglés) es lo mejor adaptable al mundo contemporáneo.

La Matemática de las variables o cálculo diferencial e Integral precisamente se creó para unificar conceptos abstractos variables y aplicarlos en la práctica.

El quid de este problema radica en hallarle comprensión a aquellos cuantificadores que miden la calidad de un proceso con el mayor grado de exactitud posible.

A colación comentamos acerca de una definición extraída de: https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica_difusa:

En el estudio de los conjuntos difusos se definen matemáticamente con su traducción literal las operaciones de unión intersección diferencia pertenencia, negación o complementos corresponde a cada uno de estos conjuntos difusos una función de pertenencia para sus elementos, es decir, de qué forma para el elemento de ese conjunto.

Está basado en reglas heurísticas de la siguiente forma:



En esta lógica se utiliza el lenguaje heurístico como, por ejemplo:

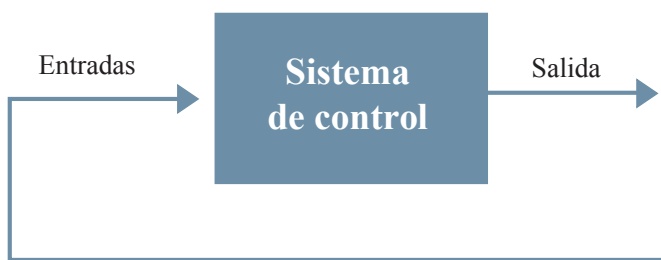
- Si tienes mucha hambre entonces hace día que no comes.

- Si te duele la cabeza entonces tienes algún problema de salud.

Estos métodos llamados inferencia debe ser sencillo de comprender, versátiles y eficientes, y las áreas que comprenden aparecen solapadas entre sí, como mezcladas, aunque cada una de ellas es el resultado de una regla de inferencia.

La lectura, comprensión y utilización de estas reglas, deben ser manejadas por expertos que por extensión de sus neuronas y experiencias le hacen tomar decisiones acertadas.

Un esquema sencillo del funcionamiento para un sistema difuso siempre se apoya en datos de entrada y salida como el que mostramos a continuación:



Entorno Físico

En el esquema que se muestra el sistema de control efectúa los cálculos heurísticamente. La salida actúa sobre el entorno físico y aprovecha los valores procesados en las entradas.

Un ejemplo de ello es el funcionamiento de una plancha eléctrica moderna regula su temperatura según las características de la tela. Los chips difusos dentro del sistema de la plancha recogen los datos de entrada, que lo proporcionan los tipos de tela, y de este resultado el sensor ordenará la temperatura de dicha plancha.

El sistema de lógica difusa se usa cuando hay una complejidad antes y las ecuaciones diferenciales no dan resultados exactos, como ya explicábamos en los primeros capítulos.

Sin embargo, no es necesario hacer uso de la lógica difusa cuando existían modelos matemático preciso como el ejemplo de las leyes de conservación formuladas hace dos siglos por Robert Mayer.

Hay varios ejemplos de sistemas lineales en las ciencias, como así también de sistemas no lineales y **caóticos**. En estos últimos, a veces las predicciones fallan por la gran cantidad de factores aleatorios imprevistos que intervienen.

Pongamos un ejemplo de sistema lineal:

En esto, los científicos recurren a la llamada “Predicción de Laplace” donde plantea: **Si se conociera la velocidad y la posición de todas las partículas del universo en un instante dado, se podría predecir el futuro por el resto de los siglos.**

Desde luego, el matemático Laplace afirmó esto hace más de dos siglos basándose en las leyes de otro genial científico como lo fue Isaac Newton del que proponemos otro ejemplo en una de sus tres Leyes de la Dinámica.

Él demostró que una fuerza o sistemas de fuerzas aplicadas sobre un cuerpo de masa **m** provocan una aceleración:

$$\sum F = m \cdot a \quad \text{o} \quad \text{despejando: } a = \frac{F}{m} \begin{matrix} \rightarrow \\ \rightarrow \end{matrix} \text{atractores}$$

Esto quiere decir que, para cualquier valor de la masa o de la fuerza que se aplica, siempre existe una aceleración directa o inversa a las otras dos variables.

Lo anterior es un **sistema lineal** que siempre responde a la ley, y no hay factores aleatorios que adulteren la ley.

Otro ejemplo más claro se ofrece cuando queremos predecir lo que se dilata un puente o una línea de ferrocarril en verano con esta sencilla ecuación: $\Delta L = L_i \cdot \alpha \cdot \Delta t$

De donde:

- ΔL \longrightarrow Significa la longitud que se va a dilatar
- L_i \longrightarrow La longitud inicial del puente o viga
- α \longrightarrow El coeficiente de dilatación lineal del material del puente
- Δt \longrightarrow La variación de temperatura del puente

Con la ecuación: $\Delta L = L_i \cdot \alpha \cdot \Delta t$ se puede siempre detectar en cuánto se dilató dicho puente.

Lo que significa que estamos ante un fenómeno lineal que sólo depende de las variables formuladas en la ecuación, por tanto, no hay factores ajenos (aleatorios)¹⁶ o los mismos apenas afectan al sistema como para no tenerlos en cuenta.

Predecir estos hechos fue siempre fácil, ya que sólo había que sustituir las variables por sus valores en cualquier momento y la ecuación brindaba la solución final exacta. Al igual ocurre con las propias Leyes de Newton o las famosas leyes de transformación aplicadas a todo hecho natural y luego convertidas en transformaciones algebraicas que al final ofrecen una comprobación estricta. Sin embargo, el propio progreso social, ha permitido durante su avance, que a medida que se desarrolle la naturaleza, también aparezcan nuevos tipos de hechos y fenómenos o que estos fenómenos se hagan más complejos como es el caso que nos ocupa en esta investigación donde existen muchas variables en un mismo sistema y el pro-

16 Fenómenos aleatorios. Son variables que no intervienen directamente en el sistema, o no previstas que pueden influir.

pio sistema está sometido a variaciones o mutaciones a veces nuevas.

Al tratar de interpretar estas variables que aparecen comúnmente en forma cualitativa, resultan difíciles de medir a través de un patrón de comparación, por lo que es común que se aplique el cálculo infinitesimal. De ahí, que surjan las lógicas difusas compensatorias (LCD) involucradas en el sistema de control Fuzzy.

CAPÍTULO 12

El uso de los controladores Fuzzy en las plantas de lodos activados

En la tesis doctoral de (Quispe, 2017) se hace un estudio cuantitativo de la planta y el uso de los sensores para los controladores Fuzzy de lodos activados utilizada en varias plantas, donde se describe la tesina empleada en dicho proceso.

Con el fin de no hacer muy extensa la explicación, el autor plantea la definición siguiente:

Según los investigadores Manga, Serralta, Seco, Ferrer, (2001) el enfoque tradicional, el diseño de un controlador automático de una PTAR se basa en un análisis cabal de proceso y una vez que se posee un modelo cuantitativo de éste, todas las decisiones se calculan usando algoritmos estrictamente numéricos. Es evidente que solo a procesos “**dóciles**” al análisis cuantitativo les son aplicables técnicas de control de naturaleza numérica. Por otro lado, existe un número considerable de procesos difíciles de controlar automáticamente en virtud a complejidad de su “**modelamiento**” preciso y sin embargo, “**operadores humanos**” muestran magníficos resultados en su control. Esto, unido a la aparición de la teoría de los conjuntos fuzzy y la disponibilidad de potentes medios de cómputo, estimuló la investigación acerca de las estrategias de control

de esos operadores, expresadas por medio de “**reglas heurísticas**”, para convertirlas en estrategias de control automático.

El controlador lógico fuzzy (CLF) resultante se basaría, entonces, en el “**modelo lingüístico**” de la estrategia del operador humano, o sea, en un “modelo decisional” del experto. La esencia de tal modelo es un programa basado en “**reglas**”, por lo que clasifica entre los llamados “**sistemas Expertos**”.

En la mayoría de los casos, las reglas toman la forma:

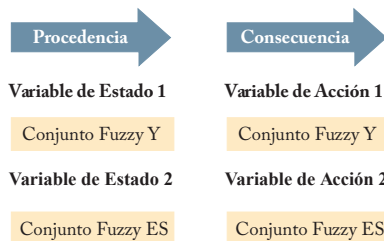
Si [procedencia] **Entonces** [consecuencia]

La procedencia refleja el “**estado**” (la salida) de proceso, mediante términos lingüísticos y la consecuencia representa las “acciones de control” (**variables manipuladas, entradas**) también lingüísticas que se les hacen corresponder por el experto. (p.p. 38,40)

La procedencia refleja el “**estado**” (la salida) de proceso, mediante términos lingüísticos y la consecuencia representa las “acciones de control” (**variables manipuladas, entradas**) también lingüísticas que se les hacen corresponder por el experto.

De modo que la precedencia sería de la forma:

Figura 31. El conjunto Fuzzy en las variables de estado y acción.



Fuente: Elaboración propia.

Para explicar el esquema de la forma más viable posible, diremos que los controladores Fuzzy (CLF) manejan un área de control a través de un modelo heurístico, este modelo tiene su definición.

Se formuló por Bransford y Stein¹⁷ (1984). Ellos incluían cinco pasos en el proceso que resumimos a continuación:

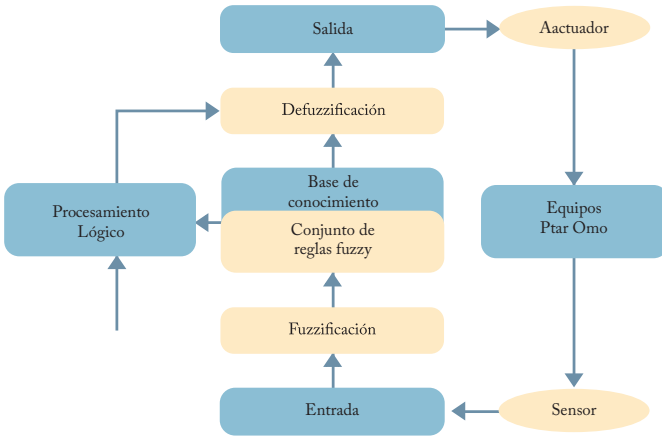
- Identificar el problema.
- Definirlo exactamente y presentarlo.
- Explorar todas las estrategias viables para acometerlo.
- Poner en práctica las estrategias.
- Lograr la solución y validarla, es decir, comprobar si fue factible.

Lo que quiere decir que, este modelo no se limita a sustituir y trabajar ecuaciones matemáticamente, también intervienen directamente los procesos mentales derivados del raciocinio del hombre.

El sistema Fuzzy puede acercarse lo suficiente con bastante precisión como lo hace cualquier función continua no lineal y hasta las lineales. Por tanto, esto se traduce en propiedades semánticas de las variables que intervienen en el sistema, tanto de entrada como de salida.

17 Bransford y Stein. Matemáticos que diseñaron el control fuzzy en 1988

Figura 32. Figura básica de un sistema de controlador Fuzzy.



Elaboración de la tesis de doctorado Quispe (2017).

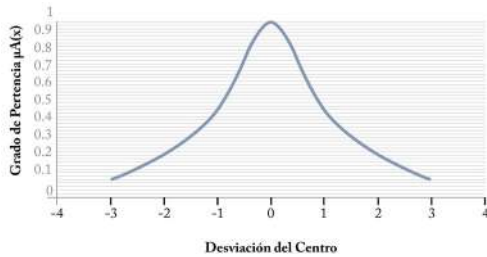
Adaptado de Meneses 1997.

De acuerdo a la Figura 32, este proceso comienza con la señal eléctrica que es convertida en una representación significativa llamada fuzzificación. Lo que es lo mismo, estas señales se convierten en datos cuantitativos.

Estos valores, ejecutan todas las reglas posibles almacenadas en una base de conocimientos que se convierten en una nueva representación de conjuntos fuzzy para una base de salida. Dichos datos llegan de nuevo a los sensores repitiéndose el proceso las veces que sean necesarias teniendo en cuenta las conclusiones de los especialistas.

A continuación, representamos en una “Campana de Gauss” los valores más probables que pueden encontrarse en un operador fuzzy y con los que el especialista trabaja normalmente para un conjunto estable:

Figura 33. Conjunto fuzzy estable. Adaptado de González Carlos (2011)

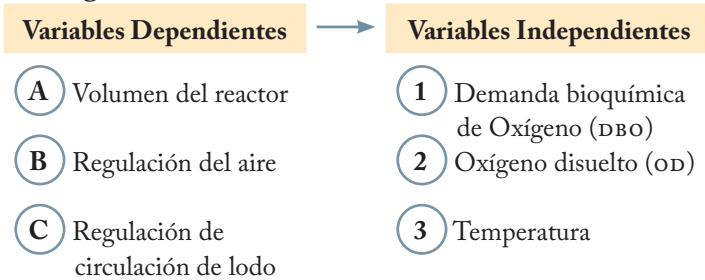


El mismo se adapta en un modelo lingüístico que agrupa los datos para trabajarlos previamente por los especialistas después de tomarlos de un control automático pero se traducen al lenguaje de expertos basándose en algoritmos numéricos que son procesados por operadores humanos que a la vez usan modelos heurísticos para comprender de la manera más fiable la respuesta de dichos procesos.

En dicho sistema existen sistemas de variables con las que hay que trabajar, y como en todos ellos, las hay *dependientes e independientes*.

Las mismas, se exponen en un diagrama simplificado donde se observa la relación entre ambas variables y su dependencia con el sistema controlador:

Figura 34. Relación entre las variables del controlador.



Elaboración propia.

Explicando estas variables, comencemos por las dependientes enlazándolas con las independientes:

- A1** El volumen del reactor de la planta depende de la demanda bioquímica de Oxígeno, donde se realiza la actividad de degradación de los microorganismos presentes en las aguas residuales.
- B2** Regulación del aire está en dependencia de la abertura de forma automática para que pase el flujo que pasa a través de un área determinada según el oxígeno disuelto mediante la difusión gaseosa.
- C3** Regulación de recirculación de lodo Es el flujo volumétrico de lodo que pasa a través de un área determinada por unidad de tiempo.
La temperatura es uno de los parámetros más importantes en todo el proceso, ya que posee un efecto notable sobre las características del agua. Ella está presente en todo el proceso.

Como es conocido, la temperatura regularmente varía con el clima. Este parámetro posee varias definiciones dentro de la Física Teórica, pero la definición más asequible plantea que

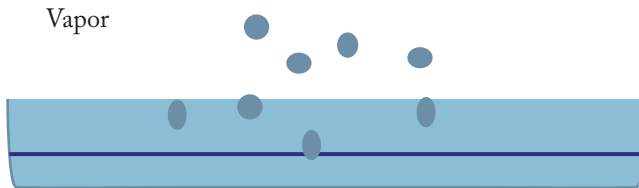
la temperatura es la medida del calor y el calor no es más que Energía.

Es bastante conocida la ecuación lineal $Q = m \cdot c \cdot (\Delta t)$ donde Q es el calor, m la masa, c el calor específico de la sustancia, y Δt la variación de temperatura del cuerpo.

Especialmente, en las aguas residuales este parámetro aumenta debido a las reacciones químicas que ocurren dentro del controlador. Dichas reacciones liberan energía en su proceso en forma de calor. Es por ello que las aguas residuales permanecen regularmente cálidas, mientras que las aguas de consumo contenidas en un mismo volumen, poseen menos temperatura.

Existen procesos en la vida diaria que lo demuestran. Supongamos que disponemos de 100 litros de agua en un recipiente en forma de botella de boca estrecha, y este se vierte completamente en un sistema abierto. Entonces midamos el tiempo de evaporación por diferentes métodos, siempre tomando el líquido que va quedando en el recipiente

Figura 35. Evaporación del agua en un lago



Fuente: Elaboración propia.

Cuando el agua se evapora sin recibir calor del exterior necesita energía, entonces es necesario que tome el calor de su propia masa. Al restarle calor para el proceso de evaporación, esta, al perder calor, lo entrega al aire. Ello origina que el agua se enfríe y por lo tanto, que su temperatura disminuya.

CAPÍTULO 13

Las lagunas de maduración

La construcción de las lagunas de maduración, generalmente es más económica en las PTAR que las plantas de lodo activado.

Como hemos abordado en el capítulo 7 donde se hace una breve comparación entre un proceso y otro, abundaremos en este aspecto.

Primero, las lagunas de maduración son muy efectivas para la degradación de los coliformes fecales. Se ha tenido el caso, que estas eliminan hasta un 90% de los elementos patógenos que contienen las aguas residuales. Aunque también, se necesita más de una laguna de maduración.

Figura 36. Laguna de maduración.

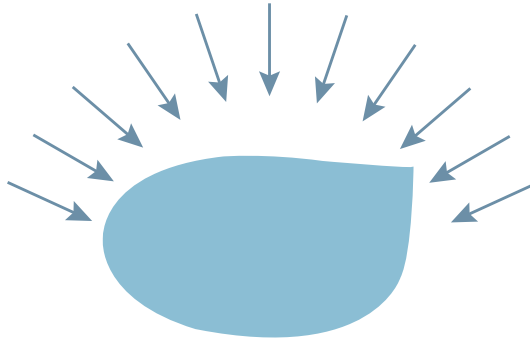


Cortesía de Sedapal.

El origen de las lagunas de maduración radicó en embalses donde el agua era utilizada frecuentemente para el riego en la agricultura.

Luego, debido al crecimiento poblacional, estas fueron cambiando su propósito, ya que la necesidad imponía que los pobladores la consumieran directamente sin ningún tipo de tratamiento; pero al decursar de los años, ante la densidad de habitantes que comenzaron a habitar cerca de dichos embalses, lo anterior se convirtió en problema para los mismos ciudadanos y para los gobiernos regionales.

Figura 37. *Croquis de invasión de pobladores alrededor de los estanques.*



Elaboración propia.

Los tipos más conocidos de lagunas de maduración existentes, así como sus características fueron mencionados en capítulo anterior.

Es por ello que, en este tipo de lagunas es fundamental la presencia de algas que son las que suministran el oxígeno. El objetivo de las lagunas facultativas es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada

estabilización de la materia orgánica, y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes.

La profundidad de las lagunas facultativas es bastante similar a las aerobias, es decir, entre 1 y 2 metros. En este tipo de lagunas hay una actividad constante entre algas y bacterias. Ellas poseen tres zonas de acuerdo a la función que realiza:

Figura 38. Foto de laguna de maduración terciaria.



Cortesía de Sedapal.

Caso aparte, merecen un comentario sobre los factores físicos, químicos y biológicos de estas lagunas.

Factores físicos

Temperatura:

Este es un parámetro que incide bastante en estas lagunas, ya que la velocidad de degradación de la materia orgánica, aumenta con la temperatura y con ello la degradación de los elementos

patógenos. Cuando hay baja temperatura, lógicamente ocurre lo contrario, es decir, se retrasa la descomposición de la materia orgánica debido al cambio de velocidad del movimiento de las moléculas.

Viento: El viento también tiene un efecto importante en el procedimiento que se usa en las lagunas, ya que por el proceso de inducción se asegura una buena mezcla, aireando la parte superficial y haciendo ascender las moléculas internas. Esto asegura un mejor grado de estabilización del agua residual.

Precipitación: El agua de lluvia tributa cierta cantidad de oxígeno a las lagunas, precisamente por la gran cantidad de este elemento contenido en el agua de lluvia. Sin embargo, el oxígeno disuelto tiende a bajar después de aguaceros porque arrastra los sedimentos arrastrados.

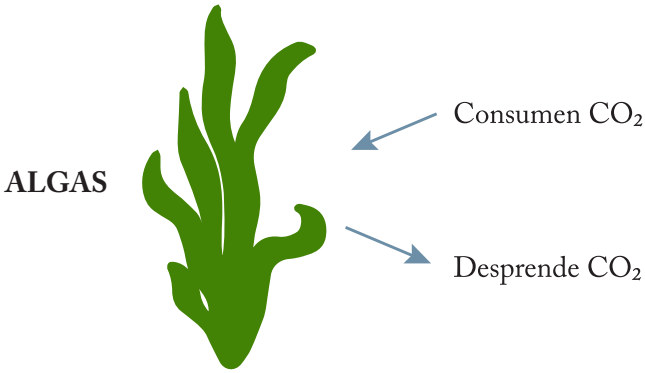
Factores químicos:

El pH: Como se observó en el capítulo 2 (figura 7), el pH en el agua es fundamental, ya que un pH (con valores cercanos a 7) es neutro. Desde luego, lograr esto es bastante ideal.

Este valor viene en correspondencia, por la fotosíntesis en las algas y la degradación de los compuestos orgánicos que poseen las bacterias.

El proceso representado en la Figura 39 hace desplazar el equilibrio de los carbonatos y aumenta el pH, tornándose el agua alcalina o básica que, según estudios de terreno alcanzan un valor cercano a 9.

Figura 39. *Fotosíntesis en las algas.*



Elaboración propia.

Sin embargo, cuando se degrada la materia orgánica, esto estimula la formación de CO_2 como producto final, causando una disminución de pH, lo que produce un carácter ácido.

Oxígeno disuelto: La concentración de oxígeno disuelto a lo largo del día, es muy importante, ya que presenta variaciones constantes en todo el proceso. Su contenido es bajo en las primeras horas de la mañana y alcanza valores máximos por la tarde. Las capas de la superficie presentan gran cantidad de oxígeno disuelto, mientras que éste va disminuyendo en el fondo hasta casi anularse.

Factores biológicos:

Como es de suponer, los factores biológicos constituyen variables tanto en el reino animal como en el vegetal que a su vez

dependen de los procesos físicos y químicos; de ello que en este capítulo se tratará sólo uno de ellos.

Nutrientes: Tanto las algas como las bacterias se alimentan continuamente y lo hacen a base de nutrientes son fundamentales para la buena marcha del tratamiento en lagunas. Es lógico que en este proceso se alcancen concentraciones que no abastezcan para el siguiente desarrollo de dichos microorganismos. De ahí radica la importancia de este proceso biológico.

Mención aparte merecen los factores sociales que a juicio de todos son muy importantes, ya que han sido causa directa de riñas entre pobladores, huelgas y todo tipo de conflictos, generados fundamentalmente por la insuficiencia de estas plantas en satisfacer las necesidades de la población.

Hasta aquí se han abordado los aspectos más interesantes del tratamiento de aguas residuales por el método más conocido y abundante en cuanto a su clarificación y a la eliminación de cuerpos y elementos patógenos.

CAPÍTULO 14

El caso Omo- Moquegua. Resultados de una investigación

Como pilotaje de los capítulos preliminares de este libro se escogieron interesantes resultados de la planta de aguas residuales en el departamento de Moquegua al Sur del Perú en la cordillera de los Andes, como ya se expresaba en el capítulo 9.

Esta planta actualmente presenta elementos objeto de análisis, tanto en el plano tecnológico como en el social en general, por cierto, el más agravante.

En las épocas de lluvia en el río Moquegua, se incrementan los volúmenes de agua, haciendo que los ríos puedan autoregenerarse. De esta forma, se neutralizan parcialmente los graves efectos de las aguas residuales que debido al vertimiento de desechos van en aumento.

Sin embargo, estas aguas residuales, a medida que crece la población, superan cada vez más a la cantidad precipitada por las lluvias lo que conlleva a una considerable pérdida del oxígeno disuelto en la misma (O₂). Esto provoca irremediablemente la desaparición de insectos, moluscos y peces, rompiendo la cadena alimenticia cuando en épocas anteriores, los pobladores aledaños se ocupaban, y algunos sustentaban su vida en las labores de pesca sobre todo de peces que podían subsistir en el río.

Sobre este aspecto, ya, desde algunos años, los hombres que se dedicaban a la pesca como sustento de vida, ya hoy prácticamente no lo pueden hacer por la contaminación de dicho afluente. De este tema extraemos una noticia del diario Correo que apareció el 18 de junio del 2015 donde se expresa textualmente:

Moquegua: Pescadores denuncian contaminación del río Tambo

Los pescadores artesanales de camarón de los distritos de Omate, Coalaque, Quinistaquillas y La Capilla están siendo afectados por la contaminación del río Tambo, por lo cual en los últimos días se movilizaron a la parte alta de la cuenca comprobando que proviene de la cuenca del Coralaque.

Los afectados son aproximadamente 500 pescadores y de manera indirecta las familias de dichos trabajadores que bordea las 2,000 personas, según señaló el alcalde de Sánchez Cerro, Federico Castillo.

La autoridad acompañó a la delegación que constató que habría contaminación en la quebrada del río Coralaque donde se ubica la minera Aruntani. Indicó que se ha ocasionado la mortandad de truchas.

Se tomaron las muestras de agua y ejemplares de truchas muertas para realizar los respectivos análisis de laboratorio. En los próximos días se realizará una movilización exigiendo al Gobierno Regional Moquegua el cumplimiento de la ordenanza que determina de interés regional toda la cuenca del río Tambo.

Raúl Ticona Montes, jefe zonal de Produce informó que visitaron la zona y se comprobó los daños por la contaminación,

por lo cual hizo un llamado a los entes respectivos a tomar medidas inmediatas.

Figura 41. Pesca de bagre en aguas turbias de río peruano.

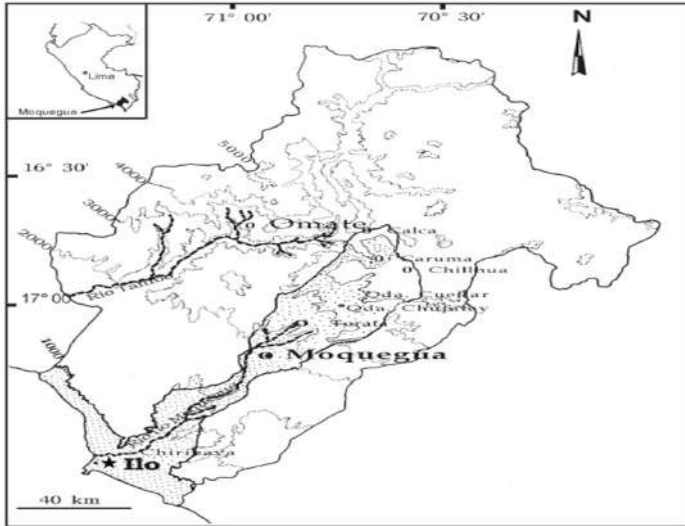


Foto tomada de diario Perú 21. Edición 17/09/201

Siguiendo con la investigación sobre la que toma cuerpo este capítulo, Quispe (2017), también hay otros datos de tipo social con cifras exactas que abarcan otras aristas del problema en cuestión, como por ejemplo el siguiente párrafo que expone:

Frente a la situación de poca disponibilidad de agua para la agricultura y una creciente demanda competitiva entre el consumo humano y el riego agrícola, En Moquegua, a través de EPS Moquegua S.A., se inician los estudios de evaluación del tratamiento de las aguas residuales que realizan en PTAR OMO que es de su propiedad, y que produce 4 225 000 m³/año de aguas residuales tratadas y descargan directamente al río Moquegua (135,8 l/s). Con este fin EPS Moquegua S.A. contrató al laboratorio de ensayo Servicios Analíticos Generales S.A.C. (SAG) acreditado por INACAL, para que realice el monitoreo hídrico general, en su reporte del mes de junio de 2016 con-

Figura 40. Mapa del Departamento de Moquegua.



enviar en
alta reso-
lución

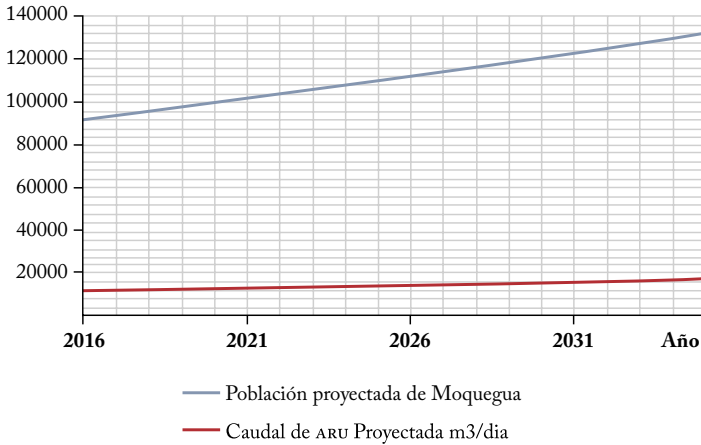
Elaboración propia extraída de la Investigación doctoral *Los efectos de los parámetros operativos en el diseño de la PTAR Omo- Moquegua. 2017.*

cluye, que la ciudad de Moquegua genera aguas residuales urbanas con una demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)²⁰ de 270,3 mg/l, la que es tratada en la PTAR OMO, logrando bajarlo a 70,69 mg/l, esta es descargada directamente al río Moquegua que tiene una $DBO_5 < 2,00$ mg/l y como consecuencia del vertimiento es incrementada la DBO_5 a 21,75 mg/l. Siendo un problema ambiental en Moquegua esta contaminación del río. (p.p.3).

Lo que quiere decir que la PTAR Omo-Moquegua concebida para resolver un problema en la población, está generando otro de orden social, ya que no abastece los niveles de necesidad de la población, y en un futuro según los cálculos probabilísticos la situación empeorará paulatinamente.

Derivada de la investigación que sirvió de base a este libro, ofrecemos este comportamiento:

Figura 42. Comparación entre el caudal de aguas residuales y la necesidad poblacional.



Elaboración propia extraída de la Investigación doctoral *Los efectos de los parámetros operativos en el diseño de la PTAR Omo-Moquegua. 2017.*

Como se observa, mientras que el caudal de aguas residuales urbanas se mantiene constante en la planta (alrededor de 15000 m³ por día), la necesidad poblacional comenzó alrededor de 100000 m³ y se dispara hacia cifras verdaderamente alarmantes.

Entonces, es evidente que, desde sus inicios, la planta no cubrió las necesidades de la población.

Otro gran problema está relacionado con la falta de mantenimiento de la planta. Para ello extraemos otro fragmento de la tesis doctoral Quispe, (2017) que, dentro de su investigación resumió lo siguiente:

La planta de tratamiento de aguas residuales OMO, que cuenta con lagunas facultativas: dos primarias, dos secundarias y dos terciarias, procesa 142 lps (12 300 m³/día), inició sus operaciones el 06 de agosto de 2014.

La remoción del DBO₅ es de 73,85 % y la Norma Técnica Peruana S.010 exige que sea 95 %, las lagunas facultativas de la PTAR OMO, solamente alcanzan una remoción de 73,85 %, razón por lo que se debe en forma urgente la ampliación de las lagunas o modificación como la que proponemos en esta tesis.

La remoción de los otros contaminantes también es baja, esto es debido a que el PR¹⁸ va disminuyendo.

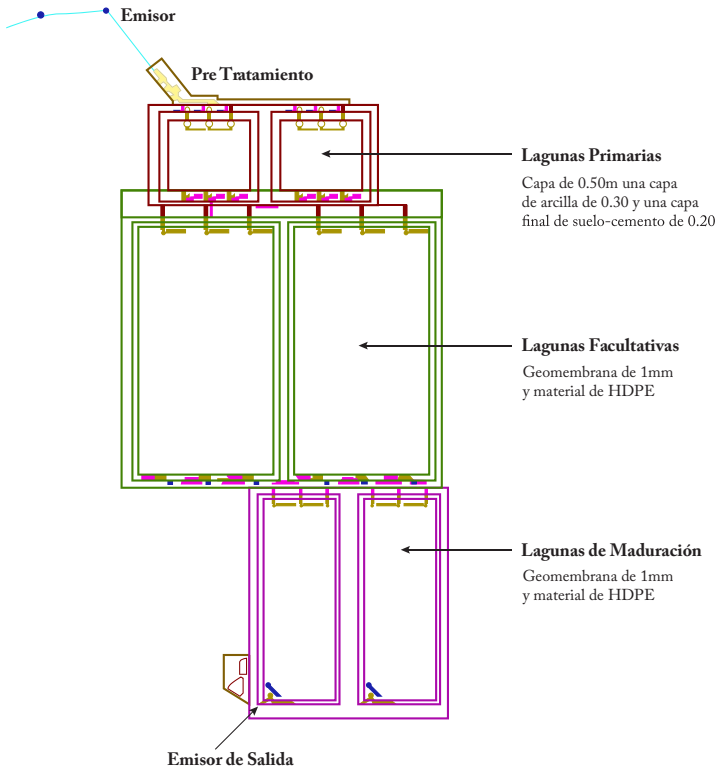
Según Sergio Rolim (2000) el agua residual contiene 0,1 % de sólidos, de esto la mitad es sedimentable, esta información lo utilizamos para elaborar la tabla 15.

En la tabla de la figura se observa el incremento de la producción de ARU en Moquegua y la acumulación de lodos en el fondo de las lagunas facultativas por falta de mantenimiento, reducen el periodo de retención (PR) afectando en forma negativa a la remoción de los elementos contaminantes.

Comparando la eficiencia de las lagunas facultativas, en la evaluación realizada Jesús García y Jorge Garrido (1994) a una laguna de estabilización de una Planta Extractora de Monterrey determinó que la descarga está por el orden de 130 mg de DBO₅/litro; la descarga de la planta OMO tiene un promedio de 70,96 mg de DBO₅/litro, lo que demuestra que las lagunas facultativas no tienen una buena remoción, por lo que es necesario modificar la PTAR OMO.

18 Período de retención de las lagunas facultativas.

Figura 43. Distribución de las lagunas facultativas de la PTAR OMO.

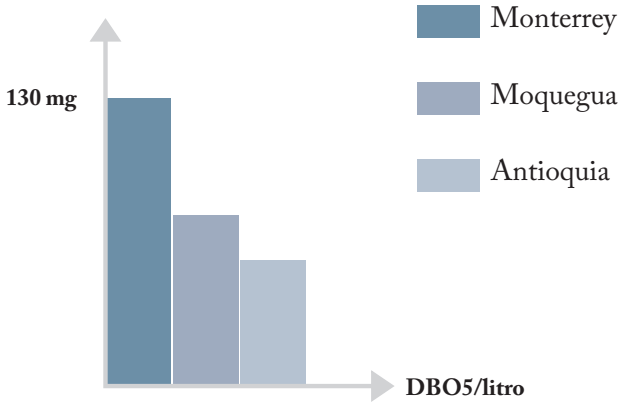


(Vista superior) Expediente técnico del GRM.

También, en su trabajo para optar el grado de maestro, la ingeniera Gloria Correa (2008) determinó que las lagunas de estabilización del Municipio de Santa Fe de Antioquía Colombia descargan las aguas residuales tratadas con 60,6 mg de DBO₅/litro, lo que ratifica la baja eficiencia de remoción de las lagunas facultativas. (p.p. 98).

Llevando esta muestra tipo de las tres lagunas latinoamericanas en cuanto a la norma de Demanda Bioquímica de oxígeno a los 5 días de incubación, tenemos:

Figura 44. Comparación de remoción de tres plantas latinoamericanas.



Elaboración propia.

De acuerdo a estas gráficas, se observa a simple vista que la remoción en la planta investigada es bastante baja, aunque el caso colombiano es más bajo aún.

A continuación, en la tabla 1 extraída de la propia investigación que se tomó como referencia, se brindan interesantes datos de los que comentamos los principales:

TABLA I.
 Contaminación generada en el Río Moquegua por
 la descarga de la PTAR OMO – Moquegua

Parámetros	Unidades	Punto de Muestreo			
		100 m río arriba	100 m río abajo	Incremento Contaminación	Incremento porcentual
Aceites y grasas	mg/L	0,5	0,5	0	0,00%
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	2	21,16	19,16	958,00%
Demanda Química de oxígeno (DQO)	mg/L	10	54,75	44,75	447,50%
Sólidos suspendidos totales (TSS)	mg/L	3	18,96	15,96	532,00%
Fosfatos (PO ₄ -3)	PO ₄ -3 mg/L	0,024	3,8	3,776	15 733,3%
Nitratos	NO ₃ -N mg/L	1,12	1,02	-0,1	-8,93%
Oxígeno Disuelto (OD)	O ₂ mg/L	11,61	11,46	-0,15	-1,29%
Numeración de Coliformes Fecales	NM-P/100mL	130	170	40	30,77%

Parámetros	Unidades	Punto de Muestreo			
		100 m río arriba	100 m río abajo	Incremento Contaminación	Incremento porcentual
Numeración de Coliformes Totales	NMP/100mL	1300	49 000	47700	3 669,2%
pH	unid. pH	8,5	7,96	-0,54	-6,35%
Conductividad	μS/cm	26,82	1561	1 534,18	5 720,3%
Temperatura	°C	26,82	26,82	0	0,00%

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 1 se observa que por el efecto de la descarga del agua residual tratada en la PTAR OMO, contamina al Río Moquegua incrementando en 44,75 mg/L la demanda química de oxígeno (DQO) que corresponde al (447,5 %).

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en 19,16 mg/l que corresponde a un (958 %), Los sólidos suspendidos totales (TSS) (532 %), 15,96 mg/l y en 47 700 NMP/100 mL.

La numeración de coliformes totales (3 669,2 %).

Como se aprecia, estos valores tomados en el terreno, indican que la planta prácticamente no cumple su función como indican los bajos guarismos señalados en rojo sobre demanda química de oxígeno.

También es alarmante, la numeración de coliformes fecales que, como se sabe, son los causantes de varias enfermedades gravísimas para la salud como hemos detallado en capítulos anteriores.

Entonces, está demostrado que las lagunas facultativas de OMO deben reemplazarse por otra planta de tratamiento más eficiente.

En general, en Moquegua se afrontan varios problemas en el tratamiento de aguas residuales y la emanación de sus plantas.

Por ejemplo, en la municipalidad provincial de Ilo existe un grave peligro por carecer de un sistema efectivo en plantas de tratamiento de residuales. Este peligro que está en el entorno poblacional fue difundido en el diario Prensa Regional en Julio del 2018 con el título ¿Ilo necesita un sistema de tratamiento de aguas residuales o un sistema verde de tratamiento de aguas residuales? del que extraemos un fragmento:

La EPS ILO para el tratamiento de aguas residuales tiene un sistema de lagunas de oxidación semiparalizadas con emanación de gases y olores fétidos, motivo por el cual la Municipalidad Provincial de Ilo firma un convenio con la empresa minera Southern Cooper para la construcción e instalación de dos plantas de Tratamiento de aguas residuales por un valor aproximado de 130 millones de soles.

El sistema propuesto de las Plantas de Tratamiento de aguas residuales es un sistema electromecánico y químico. Los detalles de cómo funcionan ya han sido difundidos, lo que no se ha difundido bien es que tiene un alto costo de operación; por lo tanto, no es un sistema ambientalmente sostenible y que seguirán las emanaciones de gases y olores fétidos, tienen un corto tiempo de vida útil.

Es decir que según el artículo, el problema radica en la sostenibilidad de las PTAR y en su mantenimiento adecuado, no sólo en su construcción.

Como es de deducir, aquí lo ecológico y lo social están muy ligados, ya que el asunto medioambiental, incide directamente en la población.

Figura 45. Foto de laguna Omo Moquegua.



Recuperado deWikipedia.org.

CAPÍTULO 15

Conclusiones y recomendaciones de la investigación en Omo-Moquegua

La Planta de Tratamientos de Aguas Residuales estudiada no está en correspondencia con las demandas de la población, lo que origina problemas sociales entre los moradores de la locación como se aprecia en la figura 40.

También se analizó que el contenido de estas aguas no responde a las exigencias de higiene establecidas, siendo focos de enfermedades ambientales, además del daño que provocan al ecosistema natural de la región.

Por otra parte, los recursos de mantenimiento son insuficientes para mantener un ritmo sostenible en su proceso, algo que es tan necesario en todo sistema de flujo constante o en toda construcción civil de la que se tratare.

Y como algo importante se ha podido constatar la falta de un trabajo profundo y sistemático en lograr una conciencia social que permita a la población, no arrojar desperdicios y objetos al caudal fluvial que en un principio es el factor primario que repercute en este tipo de planta.

El mismo está incluido en varias normativas ministeriales y organismos del Estado, que van desde el Currículo Nacional de Educación¹⁹, hasta las organizaciones sociales de cada comunidad.

19 Currículo Nacional Resolución Ministerial n° 281-2016-minedu

De acuerdo a lo explicado en los capítulos anteriores se puede concluir con interesantes propuestas apoyadas en los resultados de esta planta que entre sus estudios puede concluir:

Primero:

Recomendar a la EPS Moquegua modificar o sustituir la PTAR OMO, con la construcción de una planta de lodos activados en reemplazo de las lagunas de maduración que aunque tengan mayor coste en su construcción, mejorarán la calidad del agua tratada y beneficiará considerablemente a sus pobladores.

Segundo:

Los componentes de una planta de lodos como son: La cámara de rejillas, desarenador y sedimentador primario pueden ser utilizados de la actual planta.

Tercero:

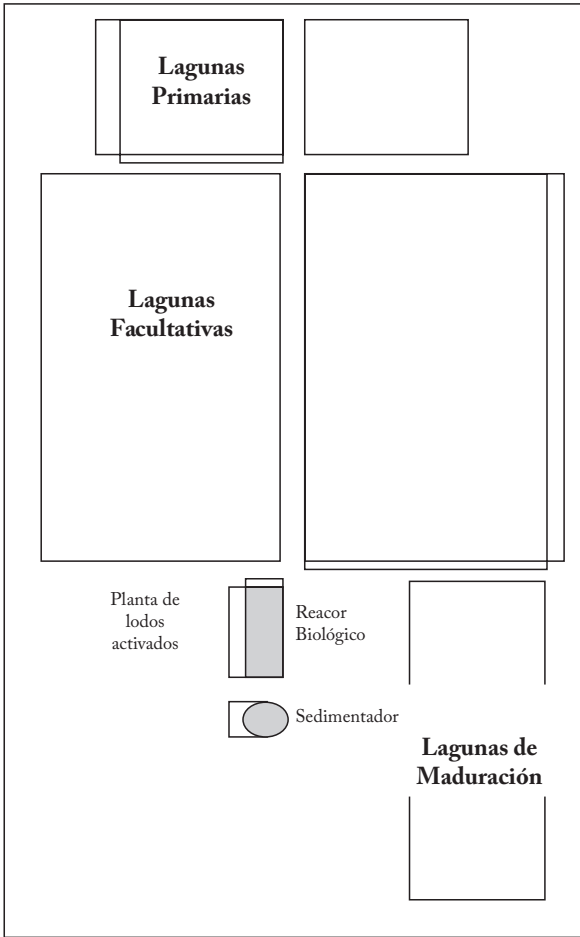
La planta de lodos activados propuesta está diseñada para que pueda operar tratando las aguas residuales de Moquegua, de tal forma que en su mantenimiento se tenga que operar sin las lagunas primarias y lagunas facultativas.

Cuarto:

La operación de la PTAR OMO modificado garantiza un tratamiento cumpliendo con las exigencias normativas hasta el año 2030, para el incremento de las aguas residuales por el crecimiento poblacional de Moquegua, la cual tendrá una producción proyectada de 15 688,2 m³/día, aunque según el diseño de la planta modificada podría tratar hasta 24 600 m³/día.

que contempla de sus 31 competencias, 11 relativas al tema objeto de estudio de este trabajo.

Figura 46. Propuesta de modificación de la PTAR OMO.



Elaboración propia.

Haciendo un breve análisis técnico que justifica la remodelación o modificación de la planta según el modelo presentado

en la figura 45 apoyada por la tabla 2 que muestra el balance del contaminante de DBO_5 se puede concluir:

Que la concentración de los elementos contaminantes de la PTAR OMO que es de 13,52 mg DBO_5 /l, baje a 5,21 mg DBO_5 /l. Este primer valor está por debajo de los estándares de calidad del agua, ya que los límites máximos permisibles están en el rango de 10 mg DBO_5 /l.

También se determinó el Tiempo de Retención Hidráulico (TRH) del reactor biológico de la planta de lodos activados es igual a 17,26 horas. La norma técnica peruana, indica que el TRH debe estar entre 16 a 48 horas. Valor que valida las dimensiones del Reactor Biológico y del Sedimentador.

Tabla 2. Balance del contaminante DBO_5 estimado en el río Moquegua por la descarga del efluente de la PTAR OMO modificada.

Zona de Muestreo	Caudal lps	Concentracion mg de DBO_5 /l	Total mg DBO_5
PTAR OMO	142,00	13,52	1919,84
RIO ARRIBA	367,08	2	734,16
RIO ABAJO	509,08	5,21	2654,00

Fuente: Elaboración propia.

De todo lo anterior, en cuanto a la tesis que sirvió de sustento a este volumen, se pudo constatar que se cumple la hipótesis general que expresa:

Los parámetros operativos tendrán un efecto significativo en el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales en las operaciones de la Planta de tratamiento de aguas residuales de - OMO de Moquegua. Esto se ha corroborado en todas las partes cualitativas y cuantitativas de este trabajo.

Referencias

- ACHENIE, L. y Sinha, M. (2003). The design of blanket wash solvents with environmental considerations. *Advances in Environmental Research*, 8: 213-227.
- ALARCÓN, E. (1998, octubre). Representatividad del muestreo en la evaluación de sistemas de tratamiento de aguas servidas. XIII Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS - Antofagasta, Chile.
- ALARCÓN, E. Sepúlveda, C. Quintro, C. (1998). *Control de calidad estadístico aplicado a la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno*. XIII Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS - Antofagasta, octubre de 1999 - CHILE.
- ALCOCER, V. Gonzáles, A. Arreguín, F. Ramírez, A. (2003). *Aplicación de un modelo sistemático de uso eficiente del agua en la ciudad de Puebla, México*. Seminario Internacional de Hidroinformática de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos. 283-289.
- ALONSO, M. Rojas, R. Soto, F. Molina, A. Cruz, M. (2002). *Aplicación del tratamiento primario avanzado (TPA) a las aguas residuales de una unidad habitacional de Santa Cruz Xoxocotlan OAX, para ser utilizadas en riego agrícola*. Federación Mexicana de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del ambiente. AIDIS. Memorias FEMISCA - México.
- APAZA, A. (2015, junio, 18). Moquegua: Pescadores denuncian contaminación del río Tambo. *Correo*. Recuperado de <https://diariocorreop.pe/edicion/moquegua/moquegua-pescadores-denuncian-contaminacion-del-rio-tambo-595759/?ref=dcr>
- ARREGUÍN, F. y Alcocer, V. (2004). Modelación del uso eficiente del agua considerando la calidad de la misma. *In-*

- geniería Hidráulica en México* – Julio – Septiembre (2004) 19(3): 83-102.
- BARAJAS, M. (2002). *Eliminación Biológica de Nutrientes en un reactor biológico secuencial, caracterización y estimulación de las fuentes de carbono del agua residual urbana*. Memoria para optar el Grado de Doctora en Ciencias Biológicas, Universidad Politécnica de Catalunya, España.
- BÉRANGER, S. Sleep, B. Sherwood, B. Pérez, F. (2005). Transport, biodegradation and isotopic fractionation of chlorinated ethenes: modelling and parameter estimation methods. *Advances in Water Resources Review*, 28: 87-98.
- BETANCOURT, R. (s.f). Uso y manejo inadecuado del agua en la vida diaria. Recuperado de <https://www.monografias.com/trabajos93/uso-y-manejo-inadecuado-del-agua-vida-diaria/uso-y-manejo-inadecuado-del-agua-vida-diaria.shtml>
- BURBANO, A. Dionysiou, D. Suidan, M. Richardson, T. (2005). Oxidation Kinetics and effect of pH on the degradation of MTBE with fenton reagent. *Water Research Review*, 39: 107-118.
- CABEZAS, C. (2018). Enfermedades infecciosas relacionadas con el agua en el Perú. *Revista peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*. vol.35 no.2. (p.4).
- CAMPOS, C. (2003). Comportamiento de los indicadores de contaminación fecal en los diferentes sistemas de desinfección. *Hidrored.com* - CYTED México.
- CAMPOS, C. (2003). Indicadores de contaminación fecal en aguas. *Hidrored.com* - CYTED México.
- CARRASCO, E. Rodríguez, J. Puñal, E. Roca, E. y Lema, J. (2004). Diagnosis of acidification status in an anaerobic wastewater treatment plant using a fuzzy-based expert system. *Control Engineering Practice*. 12:1 59-64.

- CHÁVEZ, H. Mendoza, W. Yupanqui, A. y otros (2004). *Diagnóstico agrario 2004 – región Tacna*. Dirección Regional Agraria – Tacna 182-264.
- CISTERNA, P. y Peña, D. (1999). *Determinación de la relación DQO/DBO₅ en aguas residuales de comunas con población menor de 25 000 habitantes en la VIII Región*. XIII Congreso de Ingeniería Sanitaria y Ambiental AIDIS - Antofagasta, octubre de 1999 - CHILE.
- COLLACCI, A. (2018, mayo). La situación de las aguas residuales en Lima. Recuperado de <https://puntoedu.pucp.edu.pe/opinion/la-situacion-de-las-aguas-residuales-en-lima/>
- CLARA, M. Kreuzinger, N. Streann, B. Gans, O. Kroiss, H. (2005). The solids retention time – a suitable design parameter to evaluate the capacity of wastewater treatment plants to remove micropollutants. *Water Research Review*, 39: 97-106.
- CRITES, R. Tchobanoglous, G. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Bogotá, Colombia: Editorial Mc Graw Hill.
- DE Esparza, M. L. y De Zumaeta, M. (2000). Riesgos para la Salud por el uso de Aguas Residuales en Agricultura (Aspectos Toxicológicos). *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS)* – Perú.
- EPA – Environmental Protection Agency, Science & Technology. www.epa.gov.
- EL consumo de agua en porcentajes. (2019, diciembre). Consumo de agua per cápita. Recuperado de https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/el-consumo-de-agua-en-porcentajes.asp
- ESCALANTE, V. Cardoso, L. Ramírez, E. Moeller, G. Mantilla, G. Montecillos, J. Servin. C. y Villavicencio, F. (2003). *El reúso del agua residual tratada en México*. Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento

- de Aguas Residuales. Universidad del Valle, Instituto CINARA, Cartagena - Colombia. 230-236.
- ESCALAS, A. (2006). Modelación matemática de procesos biológicos de tratamiento. *Tecnologías sostenibles para el tratamiento de aguas y su impacto en los sistemas acuáticos*. Universidad de Concepción, Concepción, Chile, 5 de julio de 2006.
- ESTELLER, M. (2002). Vulnerabilidad de acuíferos frente al uso de aguas residuales y lodos en agricultura. *Revista Latino-Americana de Hidrogeología, México*. 2: 103-113.
- FALL, CH. (2003). Modelación matemática de plantas de tratamiento de lodos activados. CYTED XVII – *Agua potable para comunidades rurales, reúso y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas*. CTED México 240-255.
- FERNÁNDEZ, J. Omil, F. Méndez R. y Lema J. (2001). Anaerobic Treatment of Fibreboard Manufacturing Wastewaters in a Pilot Scale Hybrid USBF Reactor. *PERGAMON PII: S0043-1354(01)00152-X. Great Britain*.
- FERNÁNDEZ, M. Álvarez, A. Espigares, M. (2001). “*Transmisión fecobáctérica y virus de la hepatitis A*”. Congreso de Higiene y Sanidad Ambiental. España 1: 8-18.
- FOSTER, S. Gale, I. Español, I. (1994). Impacto del uso y disposición de las aguas residuales en los acuíferos con referencia en América Latina. *UK Overseas Development Administration British Geological Survey*; Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. 1-82.
- GARCÍA, D. Gallego, I. Díaz, C. (2003). Software de ayuda al diseño y concepción de la fase de pretratamiento de agua residual DPTAR® v.1. *Hidrored.com - CYTED México*.
- GHALY, A. Kamal, M. Mahmoud, N. (2005). Phytoremediation of aquaculture wastewater for water recycling and production of fish feed. *Environment International*, 31: 1-13.

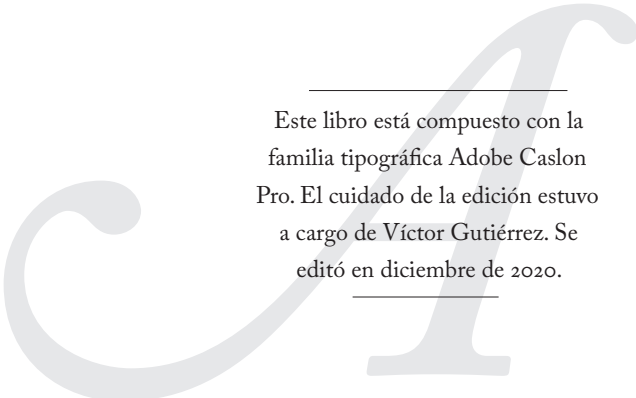
- GIANELLA, J. Gonzales, G. Huertas, C. Pilco, C. Arenas, F. Rivera, S. Izquierdo, R. y Polo, E. (2004). *Plan integral de Desarrollo de Tacna 2005 – 2012*. Comisión Especial de Alto Nivel creada por D.S. 030-2004-PCM y 031-2004-PCM. 1-52.
- GOONETILLEKE, A. Thomas, E. Ginn, S. y Gilbert, D. (2005). Understanding the role of land use in urban stormwater quality management. *Journal of Environmental Management Review*, 74: 31-42.
- GONZÁLES, C. (2011). *Lógica Difusa, una introducción práctica*. Acceso el 30 Julio 2017, a la Web de la Escuela Superior de Informática de la UCLM. http://www.esi.uclm.es/www/cglez/downloads/docencia/2011_Softcomputing/LogicaDifusa.pdf.
- HADAS, O. Corradini, M. Peleg, M. (2004). Statistical analysis of the fluctuating counts of fecal bacteria in the water of Lake Kinneret. *Water Research*, 38: 79-88.
- HUANG, H. LI, H. (2005). Perturbation finite element method of structural analysis under fuzzy environments. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 18: 83-91.
- JAMSHID, S. Mahdizadeh, K. Afshar, A. (2004). A stochastic dynamic programming model with fuzzy storage states for reservoir operations. *Advances in Water Resources*, 27: 1105-1110.
- KAMINARI, N. Ponte, M. Ponte, H. Neto, A. (2005). Study of the operational parameters involved in designing a particle bed reactor for the removal of lead from industrial wastewater - central composite design methodology. *Chemical Engineering Journal Review*, 105: 111-115.
- LAGUNAS de oxidación. ¿Qué son? (2016, mayo). Recuperado de <https://www.tratamientodelagua.com.mx/lagunas-de-oxidacion-que-son/>

- LAZCANO, L, Ortiz, J. Ramírez, R. Durán, A. (2004). *Evaluación de la biodegradabilidad de diferentes aguas residuales pretratadas con el método de Fenton*. México D. F. Facultad de Química, Universidad Autónoma de México.
- LIU, S.S. y Liang, T.T. (2004). Return sludge employed in enhancement of color removal in the integrally industrial wastewater treatment plant. *Water Research*, 38: 103-110.
- LÓGICA difusa. (s.f). En Wikipedia. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica_difusa
- LÓPEZ, R. Morales, J. Díaz, A. Vaca, M. Lara, A. y Lizardí, A. (2000). *Modelado del flujo en una planta de tratamiento de agua*. Federación Mexicano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, AIDIS. Memorias Técnicas México D.F., *FEMISA*, 2000 p. 1-10 tomo II.
- MALDONADO, L. Carrasco, M. Raymundo, R. (2004). La Agricultura Urbana en Lima: Estrategia Familiar y Política de Gestión Familiar. *Reporte Final de Investigación para Agropolis, Programa Internacional de Becas de Investigación en Agricultura Urbana. Centro Internacional de la Papa (CIP) – Cosecha Urbana – Lima*.
- MANGA, J. Serralta, J. Seco, A. Ferrer, J. (2001). Desarrollo de un sistema de control basado en lógica difusa para la aireación en un proceso de fangos activados. Barranquilla. Colombia. *Ingeniería & Desarrollo, Universidad del Norte*, 9: 35-56.
- MARA, D. y Pearson, H. (1998). *Design manual for waste stabilization ponds in mediterranean countries*. England. Lagoon Technology International Ltd.
- MÁRQUEZ, A. y Guevara, E. (2004). Descripción y evaluación del funcionamiento de un sistema de tratamiento de aguas residuales en una industria avícola. *Revista Ingeniería UC*. Vol. 11 núm. 2 agosto 2004, pp. 92-101. Venezuela.

- MÁRQUEZ, M. García, A. Ramos, J. Márquez, C. y Baños, U. (2014). Control predictivo usando un modelo difuso para la tasa de crecimiento bacteriano. *Research in Computing Science* 73 (2014). pp. 117-128.
- MENESES, J. (1997). *Inteligencia Artificial en el Control de Proceso: Control Fuzzy Basado en PLC*. TECSUP. Perú.
- METCALF & Eddy (2003). *Wastewater Engineering, treatment and Reuse*. 4rd Ed. Mc. Graw Hill Companies – Nueva Delhi.
- MOSCOSO, J. y Egocheaga, L. (2004). Avances del Inventario Regional de la Situación de las Aguas Residuales Domésticas en América Latina. *Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS. Lima 2004*.
- MÜHLECK, R. Grangler, A. Jekel, M. (2003): Evaluación ecológica de los conceptos de ECOSAN y sistemas convencionales de aguas residuales. 2º Simposio Internacional sobre Saneamiento Ecológico – Alemania. Sección H: 535-543.
- NELSON, K. Jiménez, B. Tchobano G. Darby, J. (2004). Sludge accumulation, characteristics, and pathogen inactivation in tour primary waste stabilization ponds in central Mexico. *Water Research Review*, 38: III-127.
- OMS (1989). *Medidas de protección sanitaria en el aprovechamiento de aguas residuales*. Directrices sanitarias sobre el uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura. Ginebra, OMS, 1989. 40-64. Reproducido también en REPINDEX No. 57, marzo 1996.
- ORON, G. (2002). *Agriculture, water and the environment: future challenges*. IWA Regional Symposium on Water Recycling in the Mediterranean Region, Iraklio. I: 61-67.
- PEÑA, C. y Lara, J. (2013). Simulación de un controlador basado en el algoritmo Q-Learning en un sistema de lodos activados. *LACCEI'1013 – August 14-16-2013, Cancún, México*.

- POR qué es importante el oxígeno disuelto en el agua. (s. f). En Wikipedia. Recuperado de <https://www.lenntech.es/porque-es-importante-el-oxigeno-disuelto-en-el-agua.htm>.
- RAMALHO, R. (1990). *Tratamiento de Aguas Residuales*. Facultad de Ciencias e Ingeniería Universidad Laval. Quebec. Canadá: Editorial Reverté S.A.
- RODRÍGUEZ, J. (2012). *Evaluación del Desempeño de un Sistema de Lodos Activados en la Modalidad de Estabilización por Contacto Sin Clarificación Primaria Tratada Agua Residual Doméstica*. Tesis para obtener el Grado de Maestro Universidad del Valle – Santiago de Cali.
- ROLIM, S. (2000). *Sistemas de Lagunas de Estabilización, cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío*. Colombia: Editorial McGraw Hill Interamericana.
- QUISPE, M. (2017). *Los efectos de los parámetros operativos en el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales Omo de Moquegua 2017*. (Tesis doctoral). Universidad Jorge Basadre Grohmann. Tacna. Perú.
- RESOLUCIÓN Ministerial N° 159-2017-MINEDU, Lima, Perú, 08 de marzo de 2017.
- ROMERO, J. (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales, Teoría y Principios de Diseño*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. ISBN 958-8060-13-3.
- SÁNCHEZ, O. (2006). *Tratamiento Biológico de Aguas Residuales*. Apuntes de Clases del Curso de Posgrado de la Facultad de Ciencias Naturales y Formales. UNSA Arequipa.
- SOTIL, G. (2017). Día Mundial del Agua: *Tratamiento de las aguas residuales*. Recuperado de <https://www.unapiquitos.edu.pe/contenido/opiniones/Dia-Mundial-del-Agua.Tratamiento-de-las-aguas-residuales.html>
- SUPO, R. (2003). *Lógica Difusa*. Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

- TABRA, S. (s.f). La preocupante y desigual situación del agua en el Perú. Recuperado de <https://www.servindi.org/actualidad/84511>
- TEJADA, G. (2000). Tutorial de Lógica Fuzzy. *Facultad de Ingeniería Electrónica de la UNMSM – Lima – Perú.*
- VERA, G. (2002). *Control Inteligente de una Planta Aeróbica de Tratamiento de Aguas Residuales.* Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ciencias. CINVESTAV – IPN. Unidad Guadalajara. México.
- LÓGICA difusa. (s.f). En Wikipedia. Recuperado de: https://es.wikipedia.org/wiki/L%C3%B3gica_difusa:



Este libro está compuesto con la familia tipográfica Adobe Caslon Pro. El cuidado de la edición estuvo a cargo de Víctor Gutiérrez. Se editó en diciembre de 2020.

El futuro del planeta hoy presenta pronósticos trágicos. En la primera conferencia internacional celebrado en 1992 en Río de Janeiro, los países asistentes se comprometie-ron a afrontar el problema de los gases de efecto invernadero firmando la Convención Marco sobre el Cambio Climático.

El hombre se encuentra en una situación difícil de confrontación con su conciencia y su prolongación vital está en peligro. ¡Vivir o morir!

La temperatura promedio del planeta ha crecido 0,8 grados centígrados desde 1980, según el Instituto de estudios Espaciales de la NASA. Las últimas dos décadas del siglo XX fueron las más calurosas en cientos de años. Las temperaturas en Alaska, el Oeste canadiense y el Este de Rusia han subido a un ritmo que duplica el promedio mundial. El hielo del ártico está desapareciendo rápidamente y la región puede experimentar su primer verano completamente libre de hielo tan pronto como en el año 2040. Los glaciares se disuelven, las estaciones se modifican, los bosques se extinguen, miles de especies sucumben y el agua dulce languidece: la vida amenaza con desaparecer o mutar a estados imprevistos.



N NOSÓTRICA
EDICIONES

