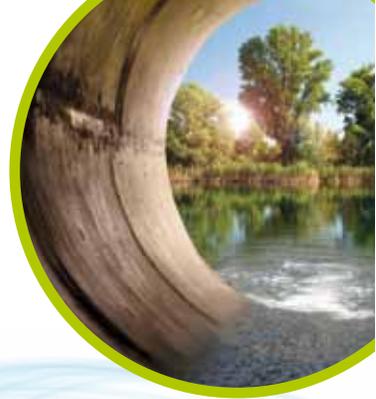




Universidad de Concepción



AGUA

LAS AGUAS SERVIDAS Y SU DEPURACION EN ZONAS RURALES: SITUACION ACTUAL Y DESAFIOS



EDITORAS
GLADYS VIDAL Y FRANCISCA ARAYA
Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA)
Facultad de Ciencias Ambientales
Universidad de Concepción

AGUA

LAS AGUAS SERVIDAS Y SU DEPURACION EN ZONAS RURALES: SITUACION ACTUAL Y DESAFIOS

Prohibida la reproducción total o parcial de esta obra
© Universidad de Concepción
Registro de Propiedad Intelectual N° 242.970 año 2014
I.S.B.N: 978-956-227-378-7

Primera edición

Agosto de 2014
Editorial Universidad de Concepción

Editores

Gladys Vidal y Francisca Araya

Diseño editorial

Okey diseño & publicidad Ltda.

Impresión

Impreso en Chile por Trama Impresores S.A.

Reservados todos los derechos

Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, almacenada en un sistema informático o transmitido de cualquier forma o por cualquier medio sin previo y expreso permiso de los editores.



Universidad de Concepción





Universidad de Concepción

LAS AGUAS SERVIDAS Y SU DEPURACION EN ZONAS RURALES:

SITUACION ACTUAL Y DESAFIOS

CONTENIDOS

- 8** PRESENTACION DEL LIBRO
Sr. Eric Forcael
Director Ejecutivo INNOVA Bío Bío
- 8** PROLOGO
Sr Alexander Chechilnitzky
Presidente AIDIS-CHILE
- 18** PREFACIO DE LAS EDITORAS
Gladys Vidal y Francisca Araya
Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA), Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA-CHILE, Universidad de Concepción, Concepción.
- 18** AGRADECIMIENTOS
- 28** **CAPITULO 1**
LAS AGUAS SERVIDAS EN ZONAS RURALES.
Francisca Araya, Silvana Pesante, Leonardo Vera y Gladys Vidal.
Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA), Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA-CHILE, Universidad de Concepción, Concepción. Centro de Investigación y Desarrollo en Recursos Hídricos (CIDERH), Universidad Arturo Prat, Iquique.
- 28** **CAPITULO 2**
RIESGO DE ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA EN ZONAS RURALES.
María Angélica Mondaca y Víctor Campos.
Departamento de Microbiología. Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad de Concepción.
- 28** **CAPITULO 3**
SISTEMA DE VIGILANCIA DE SALUD PUBLICA EN CHILE, ASOCIADO A LAS ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA.
Patricia González
Departamento de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA-CHILE, Universidad de Concepción.



AGUA



- 32** **CAPITULO 4**
CONTAMINANTES QUIMICOS EN LAS AGUAS SERVIDAS.
Carolina Reyes y Soledad Chamorro.
Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA), Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA-CHILE, Universidad de Concepción, Concepción.
- 42** **CAPITULO 5**
DESINFECCION DE AGUAS SERVIDAS TRATADAS EN ZONAS RURALES.
Carolina Baeza y Alfred Rossner.
Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA), Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA-CHILE, Universidad de Concepción, Concepción. Centro de Biotecnología, Universidad de Concepción, Concepción
- 58** **CAPITULO 6**
TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS SERVIDAS DE ORIGEN RURAL.
Francisca Araya, Leonardo Vera, Gabriela Morales, Daniela López y Gladys Vidal. Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA), Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA-CHILE, Universidad de Concepción, Concepción. Centro de Investigación y Desarrollo en Recursos Hídricos (CIDERH), Universidad Arturo Prat, Iquique
- 79** **ANEXOS**
Anexo 1: Proyectos Ejecutados y en Ejecución.
Anexo 2: Productos Generados.
Anexo 3: Galería Fotográfica Proyecto Innova Biobío 13.3327-IN.IPP.



Sr. Eric Forcael
Director Ejecutivo
INNOVA BIO BIO

PRESENTACION DEL LIBRO

Se estima que los recursos hídricos en Chile disminuirán, a causa de los efectos que se están generando por el cambio climático en la región. Como consecuencia, los sectores como la agricultura, la minería y el sector sanitario se verán afectados. Por otro lado, los sectores rurales en Chile presentan necesidades de tratamiento de las aguas, principalmente de las residuales, que se generan en estos sectores y que presentan un nulo o muy bajo tratamiento, alcanzando un 8%.

Bajo este escenario, INNOVA BIO BIO trabaja promoviendo la innovación, la transferencia de conocimiento y las capacidades tecnológicas en la región. El objetivo es contribuir a la competitividad regional y a la creación de futuras fuentes sustentables de empleo. En su línea de Innovación de Interés Público, en conjunto con la Universidad de Concepción, ha dado inicio al Proyecto “Recuperación de agua mediante jardines depuradores a partir de aguas servidas rurales: Aplicaciones innovadoras con impacto para la comunidad rural”. El propósito de la investigación es generar las bases de una nueva tecnología de tratamiento de aguas servidas en zonas rurales, con distribuciones semi-concentradas o dispersas. La idea es utilizar los nutrientes de las aguas servidas en la producción de flores y fibra, que puedan proyectar un negocio e impacto social, contribuyendo al beneficio de las comunidades rurales y resolviendo un problema de contaminación. Por otra parte, se espera poder proyectar lineamientos para la reutilización de las aguas tratadas de estos sectores, para beneficio de la agricultura rural.

Dentro de este marco conceptual, entonces, se hace la entrega del libro “Las aguas servidas y su depuración en zonas rurales: situación actual y desafíos”, que busca la capacitación del sector y, además, contiene los fundamentos básicos sobre el tratamiento de las aguas servidas en zonas rurales, sus características físico-químicas y microbiológicas, así como los riesgos de enfermedades infecciosas transmitidas por patógenos contenidos en aguas servidas no tratadas. Al mismo tiempo, se entregan lineamientos de tratamiento de estas aguas, y su desinfección para la prevención de enfermedades infecciosas gastrointestinales, minimizando así, la contaminación de estos ecosistemas. Considerando los beneficios de la tecnología de tratamiento, es fácil proyectar las posibles aplicaciones de reutilización de las aguas servidas tratadas, de esta forma, convertir un problema en un beneficio social y de incidencia económica.

Como Comité Tecnológico felicitamos a Gladys y a Francisca quienes, comienzan a concretar un trabajo de más de 7 años, una muestra de esfuerzo que causará un gran impacto en los sectores rurales. Esperamos concreten este anhelo con el total apoyo de INNOVA BIO BIO.

AGUA



Sr. Alexander Chechilnitzky
Presidente
AIDIS Chile

PROLOGO

Desde su creación en el año 1948, tanto AIDIS como su Capítulo Chileno, AIDIS-Chile, y los profesionales e instituciones que las integran, han tenido como preocupación principal y pionera el lograr el adecuado y oportuno acceso de toda la población rural y urbana al agua potable y a una disposición adecuada de sus excretas.

En nuestro país y después de muchos años de esfuerzo y de la sostenida aplicación de una política pública acordada en forma transversal y muy acertada, hemos logrado un singular éxito: hoy podemos enorgullecernos de que prácticamente el 100% de la población urbana cuente con un muy buen servicio de agua potable y que con cifras muy próximas al 100% también cuente con servicio de recolección, tratamiento y disposición de sus aguas servidas.

En el sector rural la cobertura del servicio de agua potable para el sector concentrado alcanza también al 100% y un alto nivel para el semiconcentrado, sin embargo en estas áreas aún existen retos importantes, encontrándose grandes atrasos en el desarrollo de la institucionalidad del sector rural y en forma muy especial también, del desarrollo de soluciones técnicas adecuadas para su saneamiento.

En este marco conceptual, se hace la entrega del libro "Las aguas servidas y su depuración en zonas rurales: situación actual y desafíos", cuyo objetivo es entregar elementos para ayudar a la capacitación de los actores protagonistas de este sector. Esta publicación entrega conocimientos básicos sobre las aguas servidas en zonas rurales, sus características físico-químicas y microbiológicas, así como los riesgos de enfermedades infecciosas transmitidas por patógenos contenidos en aguas servidas no tratadas en zonas rurales.

Al mismo tiempo, se entregan lineamientos de desinfección para prevención de enfermedades

gastrointestinales de origen hídrico y del tratamiento de estas aguas servidas para minimizar la contaminación de los ecosistemas acuáticos en las zonas rurales.

Considerando los beneficios de las tecnologías para la descontaminación de las aguas servidas, es posible poder proyectar aplicaciones de reúso de las aguas servidas tratadas y de esta forma, convertir este residuo en un recurso no convencional, en especial en tiempos en que la escasez hídrica está omnipresente. La normativa requerida para su materialización debe seguir los procedimientos habituales de aprobación y posterior sanción legal por la autoridad que autorice y permita controlar en forma efectiva su aplicación.

Se espera que con este aporte, las cooperativas y los comités rurales de agua potable que se encargan de la operación de los sistemas de abastecimiento de agua en las zonas rurales, puedan tener una información de fácil acceso y que contribuya a entender más profundamente a "las aguas servidas" y la estrecha relación que existe entre un elemento "indeseado" a un recurso no convencional "deseado".

Su correcta aplicación depende de la tecnología aplicada, que debe ser distinta a la que está operando actualmente en el país en los sectores urbanos concentrados, debido a sus especiales características, volúmenes involucrados, y los niveles de capacitación, energía y costos disponibles para la operación en dicho sector. Sin embargo, esto no debe ser una restricción para tener un control adecuado en los procesos y lograr una calidad del recurso tratado acorde con el uso que a continuación que le quiera dar.

Sin duda se trata de un aporte importante al saneamiento rural y por supuesto un gran aporte a la comunidad toda.



Dra. Gladys Vidal
GIBA-UDEC



Francisca Araya
GIBA-UDEC

PREFACIO DE LAS EDITORAS

Las aguas servidas son efluentes que resultan del uso del agua en las viviendas, principalmente, pero dependiendo de su forma de recolección, puede contener efluentes provenientes de la actividad comercial o la industria como resultado de las actividades de los asentamientos humanos. Las aguas servidas contienen materia orgánica e inorgánica, organismos vivos, elementos tóxicos, entre otros, que las hacen inadecuadas para su uso, y es necesaria su evacuación, recolección y transporte para su tratamiento y disposición final, según la Superintendencia de Servicios Sanitarios de Chile (SISS).

En Chile, se estima que existe un déficit en soluciones para el de tratamiento de las aguas servidas provenientes de la población rural que habita en comunidades semi-concentradas o dispersas, principalmente. La dificultad para llegar con soluciones de saneamiento efectivo a este grupo objetivo de la población, tiene diversas razones, que radican principalmente en: características de asociatividad de la población, tecnologías eficientes para pequeñas comunidades, nivel de tecnificación de las soluciones de tratamiento propuestas, costos de tratamiento del m³ de agua tratada, entre otros.

Por otra parte, las aguas servidas que son descargadas sin tratamiento previo, son causantes de contaminación y supone una limitación para una gestión adecuada de la calidad de agua de una cuenca hidrográfica. Esta disminución en el capital ambiental de una cuenca hidrográfica, tiene efectos directos en la salud y calidad de vida de la población que habita en dicho territorio. El desafío de contar con una población rural capacitada en temas relativos a aguas servidas y su tratamiento,

permitiría potenciar el avance del saneamiento de las aguas servidas y contar con un recurso hídrico seguro bajo un escenario de escases de agua, debido al cambio climático global.

En este contexto este libro “Las aguas servidas y su depuración en zonas rurales: situación actual y desafíos” es la primera entrega, como consecuencia de la ejecución del Proyecto INNOVA BIO BIO N° 13.3327-IN.IIP “Recuperación de agua mediante jardines depuradores a partir de aguas servidas rurales: Aplicaciones innovadoras con impacto para la comunidad rural” y de entender las necesidades actuales de capacitación de las asociaciones y/o cooperativas de Agua Potable Rural (APR). La información entregada ha sido ordenada en los seis siguientes capítulos: 1) Las aguas servidas en zonas rurales, 2) Riesgo de enfermedades transmitidas por el agua en zonas rurales, 3) Sistema de vigilancia de salud pública en Chile, asociado a las enfermedades transmitidas por el agua, 4) Contaminantes químicos en las aguas servidas, 5) Desinfección de aguas servidas tratadas en zonas rurales y 6) Tecnologías de tratamiento para aguas servidas de origen rural.

La publicación fue diseñada pensando en las falencias del conocimiento básico de las aguas servidas en el sector rural y para que exista un texto básico de referencia en el tema. Sin embargo, puede ser también consultada por técnicos, gestores públicos y de empresas privadas, relacionados con el tema de las aguas servidas y su tratamiento.

Editoras.

AGUA

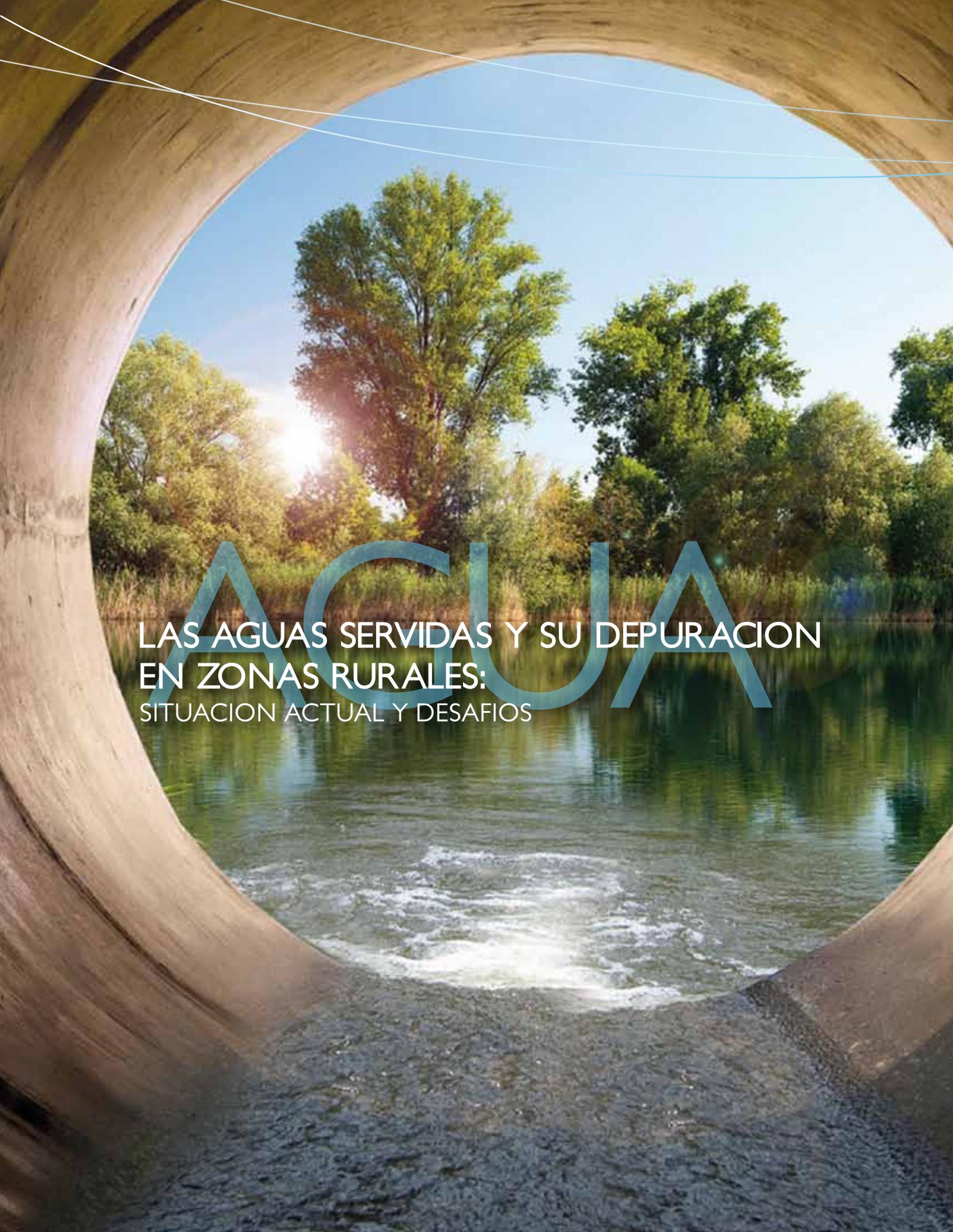
AGRADECIMIENTOS

Los editores agradecen al Fondo de Innovación Tecnológica de la Región del Biobío, INNOVA Bío Bío por la financiación del Proyecto INNOVA BIO BIO N° 13.3327-IN.IIP "Recuperación de agua mediante jardines depuradores a partir de aguas servidas rurales: Aplicaciones innovadoras con impacto para la comunidad rural" que ha hecho posible la realización del libro que se presenta.

La edición del libro "Las aguas servidas y su depuración en zonas rurales: situación actual y desafíos" es el resultado de un proceso de aprendizaje del Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA) de la Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA-Chile, durante el cual nos hemos beneficiado de los aportes de instituciones y actividades, de formación, investigación, seminarios y cursos de postgrados que se han realizado en esta Institución. Muy especialmente, los editores desean agradecer a los estudiantes de pre y postgrado que están y han realizado sus trabajos de tesis de pregrado, doctorado y trabajos de postdoctorado relativos a aguas servidas, que han favorecido a la generación de conocimiento. Muy particularmente, los editores agradecen a la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología (CONICYT) por el Apoyo a la Realización de Tesis Doctoral del Dr. I. Leonardo Vera y a la Srta. Daniela López "Sistema naturales de tratamiento de agua para área de baja densidad poblacional: Evaluación de la factibilidad de reuso de agua" (en ejecución). Así como a los Proyectos FONDECYT de postdoctorado otorgados de las Dras. Soledad Chamorro y Carolina Reyes para realizar investigaciones relativas al tema de

aguas servidas y su depuración. Finalmente, al "Fondo de Innovación Tecnológica de la Región del Bío-Bío", de CORFO-Innova Bio Bio en las diferentes convocatorias para apoyar a estudiantes de GIBA a la realización de Tesis de Educación Superior de Pre y Post Grado. Muy especialmente a todos ellos, pues, sin su ilusión y dedicación no hubiésemos podido interiorizarnos en la realidad de las aguas servidas, ni proyectar este libro con los fundamentos básicos aquí planteados.

Al Centro de Recursos Hídricos para la Agricultura y la Minería – CRHIAM - Proyecto CONICYT/ FONDAP/15130015 de la Comisión de Ciencias y Tecnología de Chile (CONICYT), por su apoyo en la edición de este libro.



ACQUA

LAS AGUAS SERVIDAS Y SU DEPURACION
EN ZONAS RURALES:
SITUACION ACTUAL Y DESAFIOS

CAPITULO 1

AGUAS SERVIDAS EN ZONAS RURALES

Francisca Araya¹, Silvana Pesante¹
Leonardo Vera², y Gladys Vidal¹

¹ Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA), Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA-Chile, Universidad de Concepción, Concepción.

² Centro de Investigación y Desarrollo en Recursos Hídricos (CIDERH), Universidad Arturo Prat, Iquique.

1. GENERALIDADES DE LAS AGUAS SERVIDAS

El agua es fundamental para la vida, y su demanda ha aumentado junto con el crecimiento de la población y de las economías de muchos países, por lo que puede ser considerada actualmente como un recurso estratégico. Como consecuencia de este crecimiento poblacional y del amplio desarrollo de actividades industriales, la producción de aguas servidas es cada vez mayor (Ramalho, 1996). Las aguas servidas pueden ser definidas como la mezcla de los desechos líquidos provenientes de los hogares, las instituciones

educativas y comerciales (aguas residuales domésticas), las fábricas e industrias (aguas residuales industriales) y las aguas de precipitaciones (lluvia) e infiltraciones, las que son juntadas y recogidas a través del sistema de alcantarillado (Báez, 2004).

Como se observa en la Figura 1, las aguas residuales domésticas, industriales y las aguas de precipitaciones e infiltraciones, presentan diferentes orígenes y contaminantes, por lo que las características de las aguas servidas varían de una localidad a otra.



Figura 1. Componentes de las aguas servidas

2. CLASIFICACION DE LAS AGUAS SERVIDAS

Las aguas servidas se pueden clasificar de acuerdo a su origen en aguas servidas de tipo urbano ó aguas servidas de tipo rural. La clasificación se puede realizar basándose en 2 criterios: a) cantidad producida, ó b) población. De acuerdo a la producción, la Agencia de Protección del Medio Ambiente de Estados Unidos (US EPA, del inglés United States Environmental Protection Agency) (2000), clasifica como aguas servidas de tipo rural a los residuos líquidos originados en poblaciones que producen menos de 3.800m^3 al día de aguas servidas. Por otro lado, de acuerdo a la población, la Unión Europea en la directiva EU 91/271 diferencia a las poblaciones inferiores a 2.000 Habitantes-Equivalente (Hab-Eq)¹ como aquellos que producen agua servidas de tipo rural.

En este mismo sentido, para Chile se considera que las aguas servidas de tipo rural se originan en asentamientos rurales, ó en asentamientos humanos concentrados ó dispersos que poseen 1.000 o menos habitantes, ó entre 1.001 y 2.000 habitantes con menos del 50% de su población económicamente activa dedicada a actividades secundarias y/o terciarias (Instituto Nacional de Estadísticas, 2002).



Figura 2. Población rural (izquierda) y población urbana (derecha)

3. PRODUCCION DE AGUAS SERVIDAS

La cantidad de agua servida generada por una población es proporcional con el consumo de agua potable abastecida. A nivel país, el consumo de agua potable en las poblaciones urbanas según cifras de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS) fue de 1.065 millones de m^3 en el año 2012, que se traduce en una dotación promedio medida en litros por habitante al día (L/(hab·d)) de 139,1 L/(hab·d), oscilando entre 74 L/ (hab·d) para Melipilla hasta los 538 L/ (hab·d) para algunas zonas de Santiago. En el caso de las poblaciones rurales, de acuerdo a Villarroel (2012), la dotación promedio alcanza los 124 L/(hab·d), oscilando desde los 15,42 L/(hab·d) en la región de Tarapacá hasta los 209,86 L/(hab·d) en la Región Metropolitana.

En la práctica, entre el 60 y el 85% del agua de abastecimiento consumida se transforma en aguas servidas, dependiendo este porcentaje del consumo de agua en actividades particulares como el riego de zonas verdes, de la existencia de fugas, del empleo del agua en procesos productivos, etc. (Alianza por el Agua, 2008). Sin embargo, a nivel internacional generalmente se estima que una población urbana tiene una producción de aguas servidas de alrededor de 200 L/(hab·d) (Henze et al., 2002). Además, se estima que las poblaciones urbanas presentan un consumo 20% superior respecto a las poblaciones rurales, presentando por tanto una mayor producción de aguas servidas (Von Sperling, 2007). En este sentido, a nivel internacional, para las poblaciones rurales se ha estimado una producción de aguas servidas de alrededor de 150 L/(hab·d) (Pujor y Lienard, 1989; Barrera, 1999).

En Chile, una estimación preliminar indicaría una producción promedio de aguas servidas urbanas que

¹ El concepto habitante equivalente está asociado a una descarga de contaminantes (unidad de de contaminante), específicamente a una carga orgánica biodegradable con DBO_5 de 60g de oxígeno por día. Este parámetro será explicado en la parte de contaminantes presentes en las aguas servidas.

AGUA

varía en el rango de 84 a 120 L/(hab·d) (SISS, 2012). También para Chile, Vera, 2012 estimó producciones de aguas servidas de tipo urbano cercanas a los 170 L/(hab·d), y para las aguas servidas de tipo rural un valor de 160 L/(hab·d). Este valor estimado para las aguas servidas de tipo rural, resulta similar con una diferencia máxima de 10% al valor de 150 L/(hab·d) que ha sido estimado a nivel internacional.

Los caudales de aguas servidas de las poblaciones tanto urbanas como rurales se caracterizan por presentar grandes variaciones horarias, diarias e incluso mensuales ó estacionales, si se trata de zonas turísticas (García y Corzo, 2008). La variación diaria de los caudales de aguas servidas que ingresan a las plantas de tratamiento sigue un patrón diurno, tal como se observa en la Figura 3 para el caso de las poblaciones urbanas. Los menores flujos ocurren durante la madrugada, donde el consumo de agua es menor, y los flujos presentes consisten de infiltraciones y pequeñas cantidades de aguas residuales domésticas. El primer aumento generalmente ocurre cerca al mediodía, cuando llegan a las plantas de tratamiento las aguas usadas al inicio de la jornada. El segundo aumento ocurre generalmente en las tardes entre las 19:00 y 21:00. Estos valores pueden variar según el tamaño de la población, la longitud del sistema de alcantarillado, la industrialización y la incidencia de la pluviometría (Metcalf y Eddy, 2003).

En la Figura 4 se observa la misma gráfica, pero para el caso las poblaciones rurales. En esta gráfica se puede ver que los caudales son menores al comparar con la Figura 3. Esto se debe a la menor población que descarga. Además al tener menor longitud los sistemas de alcantarillado, no se observan grandes aumentos durante el día.

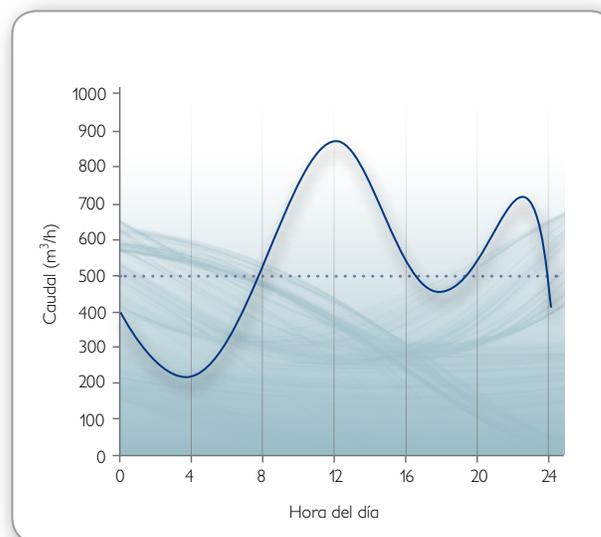


Figura 3. Variación del caudal de aguas servidas generadas durante el día en poblaciones urbanas. (—) Variación horaria. (.....) Media diaria (Fuente: Alianza por el Agua, 2008).

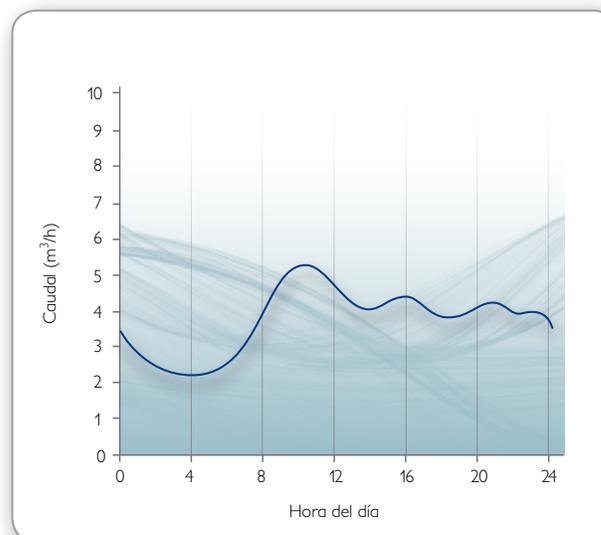


Figura 4. Variación del caudal de aguas servidas generadas durante el día en poblaciones rurales o de baja densidad. (Fuente: Pujor y Lienard, 1989).

Para una mejor comprensión de la variación horaria para la producción de aguas servidas (Figura 3 y 4), se puede usar como ejemplo el consumo de agua a nivel doméstico que va ligado al desarrollo de las actividades diarias. Para tener en cuenta, las actividades típicas de un hogar consumen: a) una lavadora automática, 200 L por lavado, b) una ducha, entre 80 y 100 L, c) un sanitario convencional, entre 15 y 20 L por descarga, y d) lavavajilla automático puede llegar a consumir hasta 30 L por ciclo de lavado (Barrera, 1999; Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla (CENTA), 2007). La contribución porcentual respecto al total de agua producida en un hogar por cada actividad es: a) baño-ducha (30%), b) sanitario (30%), c) lavadora (20%), y d) 20% restante se reparte entre lavavajilla, grifos y fugas (CENTA, 2007).

4. CONTAMINANTES PRESENTES EN LAS AGUAS SERVIDAS

Los principales contaminantes que pueden ser encontrados en las aguas servidas son (Alianza por el Agua, 2008):

- Material grueso: trozos de madera, trapos, plásticos, etc., que son arrojados a la red de alcantarillado.
- Arenas: incluye las arenas propiamente dichas, gravas y partículas más o menos grandes de origen mineral u orgánico.
- Grasas y aceites: sustancias que al no mezclarse con el agua permanecen en su superficie. Su procedencia puede ser tanto doméstica como industrial.
- Sólidos en suspensión: partículas de pequeño tamaño y de naturaleza y procedencia muy variadas.
- Sustancias con requerimientos de oxígeno y nutrientes: compuestos orgánicos e inorgánicos

fácilmente biodegradables y que pueden provocar eutrofización en los cuerpos de aguas receptores

- Agentes patógenos: organismos (bacterias, protozoos, helmintos y virus), presentes en mayor o menor cantidad en las aguas servidas y que pueden producir o transmitir enfermedades.
- Contaminantes emergentes: estas sustancias provienen principalmente de productos de cuidado personal, productos de limpieza doméstica, productos farmacéuticos, etc.

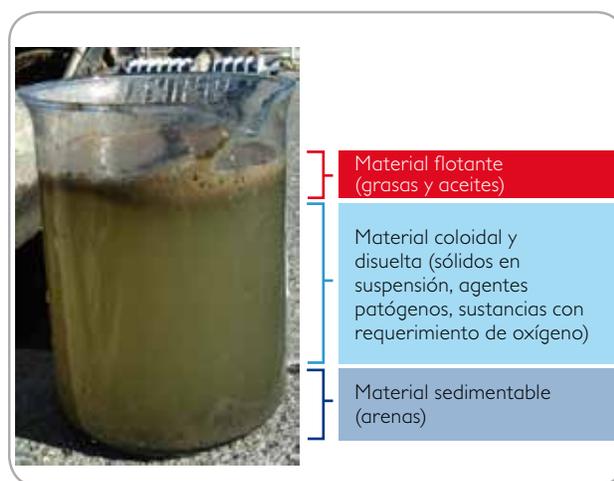


Figura 4. Componentes de las aguas servidas.

AGUA

5. CARACTERIZACION DE LAS AGUAS SERVIDAS

Las aguas servidas pueden ser caracterizadas basándose en sus constituyentes físicos, químicos y biológicos, permitiendo cuantificar los contaminantes presentes.

• Características físicas

Dentro de las características físicas se encuentran: a) sólidos sedimentables, suspendidos y disueltos. Aproximadamente el 60% de los sólidos son sedimentables y un 75% son de naturaleza orgánica (CENTA, 2007); b) temperatura, la que puede determinar la solubilidad de diversos gases como el oxígeno y también ejercer efecto en las reacciones químicas y biológicas que pueden ocurrir (Metcalf y Eddy, 2003); c) turbiedad y el color, debido a la materia en suspensión, organismos microscópicos y partículas que afectan el traspaso de la luz a través del agua, perturbando el desarrollo de organismos fotosintéticos (Ramalho, 1996); y d) el olor causado por los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica (Metcalf y Eddy, 2003).

• Características químicas

Estas se agrupan en constituyentes inorgánicos y orgánicos. Dentro de los constituyentes inorgánicos se encuentra principalmente: a) el pH, que expresa una tendencia de acidez del agua y generalmente se sitúa en un rango neutro (6,5 - 8,5); b) nutrientes, compuestos principalmente por nitrógeno y fósforo en sus diferentes formas, los cuales tienen un rol fundamental en la eutrofización de las aguas. El Nitrógeno es representado por Nitrógeno Total (NT), Amonio ($N-NH_4^+$), Nitrógeno Total Kjeldahl (NTK), Nitrito (NO_2^-) y Nitrato (NO_3^-); y

el Fósforo es representado por Fósforo Total (PT) y Fosfatos (PO_4^{-3}); y c) los metales pesados como arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), mercurio (Hg) y plata (Ag), los que pueden ser encontrados en las aguas servidas debido a las actividades industriales y agrícolas. Estos metales en altas cantidades pueden generar toxicidad en sistemas de tratamiento biológicos (Metcalf y Eddy, 2003).

Por otra parte, en los constituyentes orgánicos, la materia orgánica presente en las aguas servidas está constituida principalmente por proteínas (40 a 60 %), carbohidratos (25 a 50 %) y aceite y grasas (8 a 12 %), donde se encuentra tanto el carbono orgánico como el nitrógeno orgánico (Metcalf y Eddy, 2003). Como parámetros de medida se emplea: a) Demanda Química de Oxígeno (DQO), que es definida como la masa de oxígeno necesaria para la completa oxidación de los componentes orgánicos del agua; b) Demanda Biológica de Oxígeno a los cinco días (DBO_5), la cual está relacionada con la medición del oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica durante 5 días; y c) Carbono Orgánico Total (COT), que mide pequeñas concentraciones de materia orgánica en el agua a través del carbono liberado como CO_2 (Von Sperling, 2007). Cabe destacar que dentro de los constituyentes orgánicos se pueden encontrar en bajas concentraciones (10^{-12} a 10^{-3} mg/L) compuestos que pueden o se sospecha que pueden tener relación con la alteración de material genético celular y con la aparición de cáncer. Dentro de estos compuestos se encuentra: pesticidas organoclorados, compuestos poliaromáticos y derivados de compuestos para el cuidado personal (PPC) (Metcalf y Eddy, 2003).

• Características biológicas

Son de gran importancia, ya que se asocian principalmente a la presencia de microorganismos que pueden causar enfermedades a humanos y animales. Los microorganismos presentes en las aguas servidas pueden ser bacterias, protozoos, virus, helmintos, rotíferos, algas, entre otros, siendo las bacterias, las que se encuentran en mayor abundancia (Oakley, 2005). En particular, los organismos bacterianos patógenos excretados por el hombre, se presentan en pequeñas cantidades y son difíciles de aislar y de identificar. Para ello se emplea el organismo coliforme (grupo de bacterias presentes en el suelo, plantas, humanos y animales) como indicador (Crites y Tchobanoglous, 2000; Metcalf y Eddy, 2003).

Respecto a las concentraciones de los diversos constituyentes de las aguas servidas, se pueden establecer diferencias entre las de tipo urbano y las de tipo rural, debido a que presentan diferencias como la densidad poblacional, las diversas actividades que se ejercen, y los sistemas de recolección que se tienen en los núcleos humanos que las generan (Ramalho, 1998). De este modo existen poblaciones donde las cargas orgánicas y de nutrientes pueden alcanzar valores elevados (por ejemplo, superior a los 400 mg/L para DBO_5 , y superior a los 90 mg/L para NT), como también existen zonas de baja carga orgánica, nutrientes y otros parámetros (Vera, 2012). En este sentido, la Tabla 1 resume los rangos de concentración típicos encontrados en las aguas servidas de tipo urbano y rural. Esta Tabla demuestra la diferencia de concentraciones tanto de nutrientes como materia orgánica presente de acuerdo al origen del agua servida (urbano o rural). De otro lado, la Tabla 2 presenta valores de cargas unitarias (cargas por habitante) de aguas servidas generadas en entornos rurales de Estados Unidos (USA), Europa y Chile.

Tabla 1: Parámetros típicos encontrados en las aguas servidas (sin tratar) en zonas urbanas y rurales.

Parámetro	Tipo de asentamiento	
	Urbano	Rural
DBO_5	110 - 800	200 - 500
DQO	210 - 1600	200 - 1600
NT	20 - 85	35 - 100
NH_4^+	12 - 50	6 - 60
NO_3^-	<1	< 1
PT	2 - 23	6 - 30
PO_4^{-3}	3 - 14	6 - 25
SST	120 - 450	100 - 500
SSV	95 - 315	-
Coliformes fecales	$1 \cdot 10^3$ - $1,8 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^6$ - $1 \cdot 10^{10}$

Vera (2012), Concentraciones expresadas en mg/L, excepto los coliformes fecales en NMP/100 mL, NMP: Número Más Probable.

Tabla 2. Cargas unitarias por parámetro expresadas en g/(hab·d).

Parámetro	Localización geográfica		
	USA	Europa	Chile
DBO_5	35 - 60	30 - 40	15 - 50
DQO	115 - 125	75 - 120	50 - 125
SST	35 - 70	25 - 60	20 - 70
NTK	-	10 - 12	2 - 15
PT	2 - 5	2 - 4	0,6 - 2

AGUA

6. COMENTARIOS FINALES

El tratamiento de las aguas servidas es un indicador de desarrollo de los países. Actualmente y debido al cambio climático global que está experimentando la tierra, los países deben ser responsables con las políticas de salud y calidad de vida de la población. En este contexto, es importante que toda agua servida (tanto de origen urbano como rural) pueda ser tratada para eliminar compuestos químicos y biológicos que tienen el potencial de causar enfermedades en la población. Estas tecnologías de tratamiento permiten la descarga de aguas servidas tratadas a los diferentes cuerpos hídricos receptores (ríos, lagos, acuíferos y mares) sin generar un daño al medio ambiente, y además, reducir el riesgo para la población que utiliza como fuente de abastecimiento y recreación estos recursos.

Al mismo tiempo, en el contexto actual y haciendo énfasis nuevamente al escenario de cambio climático global, es posible también pensar que las aguas servidas tratadas pueden ser reusadas en actividades humanas. Las tecnologías empleadas para el tratamiento del agua servida, junto a los análisis de los riesgos biológicos y químicos derivados de las aguas servidas no tratadas, serán analizados en los próximos capítulos.

7. REFERENCIAS

- Alianza por el Agua. (2008). *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas*. Sevilla: Alianza por el Agua-CENTA
- Báez, J. (2004). *Ingeniería Ambiental. Sistema de recolección y evacuación de aguas residuales y pluviales*. Barranquilla: Universidad del Norte.
- Barrera, A. (1999). *Análisis y caracterización de los parámetros de las aguas residuales necesarios para el dimensionamiento de estaciones depuradoras de menos de 2000 Hab- Eq*. Trabajo de grado, Ingeniero Ambiental. Universidad Politécnica de Catalunya, España.
- Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla (CENTA). (2007). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales*. Sevilla: CENTA.
- Council Directive of 21 May 1991 concerning urban wastewater treatment (91/271/EEC) (1991). Official Journal of the European Communities, L135/40. Council of the European Communities (CEC).
- Crites, R. y Tchobanoglous G. (2000). *Sistemas de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados*. Santa Fé de Bogotá: Mc. Graw Hill.
- García, J. y Corzo, A. (2008). *Depuración con Humedales Construidos: guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial*. Barcelona: UPC.
- Henze, M., Harremoës, P., LaCour-Jansen, J. y Arvin, E. (2002). *Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes*. Heidelberg: Springer.
- Instituto Nacional de estadística (INE). (2002). *Glosario de términos de demografía y estadísticas vitales*. Recuperado en <http://palma.ine.cl/demografia/menu/glosario.pdf> [2011, octubre].
- Metcalf y Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment, and Reuse*. New York :McGraw-Hill.
- Oakley, S. (2005). *Lagunas de Estabilización en Honduras: Manual, diseño, construcción, operación y mantenimiento, monitoreo y sostenibilidad*. Honduras: Red Regional de Agua y Saneamiento de Centro América.
- Pujor, R. y Lienard, A. (1989). Qualitative and quantitative characterization of wastewater for small communities. (pp. 267-274). En: *International Specialized Conference on Design and Operation of Small Wastewater Treatment Plants*, Trondheim: Ødegard.
- Ramalho, R. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Barcelona: Reverte S.A.
- Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS). (2012). *Informe de Gestión del Sector Sanitario 2012*. Santiago: SISS.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA) (2000). *Manual: Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters*. Ohio: US. EPA.
- Vera, I. (2012). *Análisis de funcionamiento y patrones asociativos de sistemas de tratamiento convencionales y naturales de aguas servidas para la eliminación de material orgánica y nutrientes*. Trabajo de grado, Doctorado Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción, Chile.
- Villarroel, C. (2012). *Asociaciones Comunitarias de Agua Potable Rural en Chile: Diagnóstico y Desafíos*.

AGUA

Santiago: Sara Larraín y Teresa Montecinos.

- Von Sperling, M. (2007). *Biological Wastewater Treatment. Volume 1: Wastewater characteristics, treatment and disposal*. London: IWA Publishing.

PAGINAS DE INTERNET CON INFORMACION RELEVANTE

<http://www.aprchile.cl/>

<http://www.doh.gob.cl/APR/Paginas/Inicio.aspx>

<http://www.aidis.cl/>

AGUA

LAS AGUAS SERVIDAS Y SU DEPURACION
EN ZONAS RURALES:
SITUACION ACTUAL Y DESAFIOS



CAPITULO 2

RIESGO DE ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA EN ZONAS RURALES

María Angélica Mondaca y Víctor Campos

Departamento de Microbiología. Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad de Concepción, Concepción.

1. INTRODUCCION

El agua hace posible un medio ambiente saludable pero, al mismo tiempo puede ser el principal vehículo de transmisión de enfermedades infecciosas. Las enfermedades transmitidas por el agua son enfermedades producidas por el “agua sucia”, es decir las causadas por el agua que se ha contaminado con desechos humanos, animales o químicos. Según cálculos de la Organización Mundial de Salud (OMS) 2.600 millones de personas carecen de acceso a agua potable, y se estima que para el año 2015 esta cifra alcanzará las 2.700 millones de personas sin acceso a saneamiento básico.

A finales de 2011, se estimaba que había 2.500 millones de habitantes que carecían de acceso a servicios de saneamiento mejorados. De estos, 761 millones poseían solo uso de saneamiento público o compartido y 693 millones utilizaban instalaciones que no cumplen con las normas mínimas de higiene. La población restante (1.000 millones) que corresponde al 15% de la población mundial aún practican la defecación al aire libre y un gran porcentaje (71%) de la población que no tienen servicios de saneamiento viven en las zonas rurales áreas (OMS/UNICEF, 2013).

Mundialmente, esta falta de sistemas de tratamiento de aguas servidas y de agua limpia para beber, cocinar y lavar es la causa de más de 12 millones de defunciones por año, y más de 1.200 millones de personas están en

riesgo porque carecen de acceso a agua dulce potable . En lugares que carecen de instalaciones de saneamiento apropiadas, las enfermedades transmitidas por el agua pueden propagarse con gran rapidez. Esto sucede cuando desechos humanos que contienen organismos infecciosos son arrastrados por el agua o se infiltran hasta las fuentes de agua dulce, contaminando el agua potable y los alimentos. La magnitud de la propagación de estos organismos infecciosos en una fuente de agua dulce determinado depende de la cantidad de desechos humanos y animales que éste contenga. Dado que se puede producir la contaminación fecal de los abastecimientos de agua, si el agua no se trata adecuadamente, el patógeno puede penetrar en un nuevo hospedador, al consumirla.

Las enfermedades diarreicas, las principales enfermedades transmitidas por el agua, prevalecen en numerosos países en los que el tratamiento de las aguas servidas es inadecuado o nulo. Los desechos humanos se evacuan en letrinas abiertas, canales y corrientes de agua, o se esparcen en las tierras de cultivo sin tratamiento previo (United Nations Environment Programme (UNEP), 2004).

Según las estimaciones, todos los años se registran 4 billones de casos de enfermedades diarreicas, que causan 2,2 millones de muertes, sobre todo entre los niños de países en desarrollo (OMS, 2008). El uso de aguas



servidas como fertilizante puede provocar epidemias o enfermedades como el cólera. Estas enfermedades pueden incluso volverse crónicas en lugares donde los suministros de agua limpia son insuficientes.

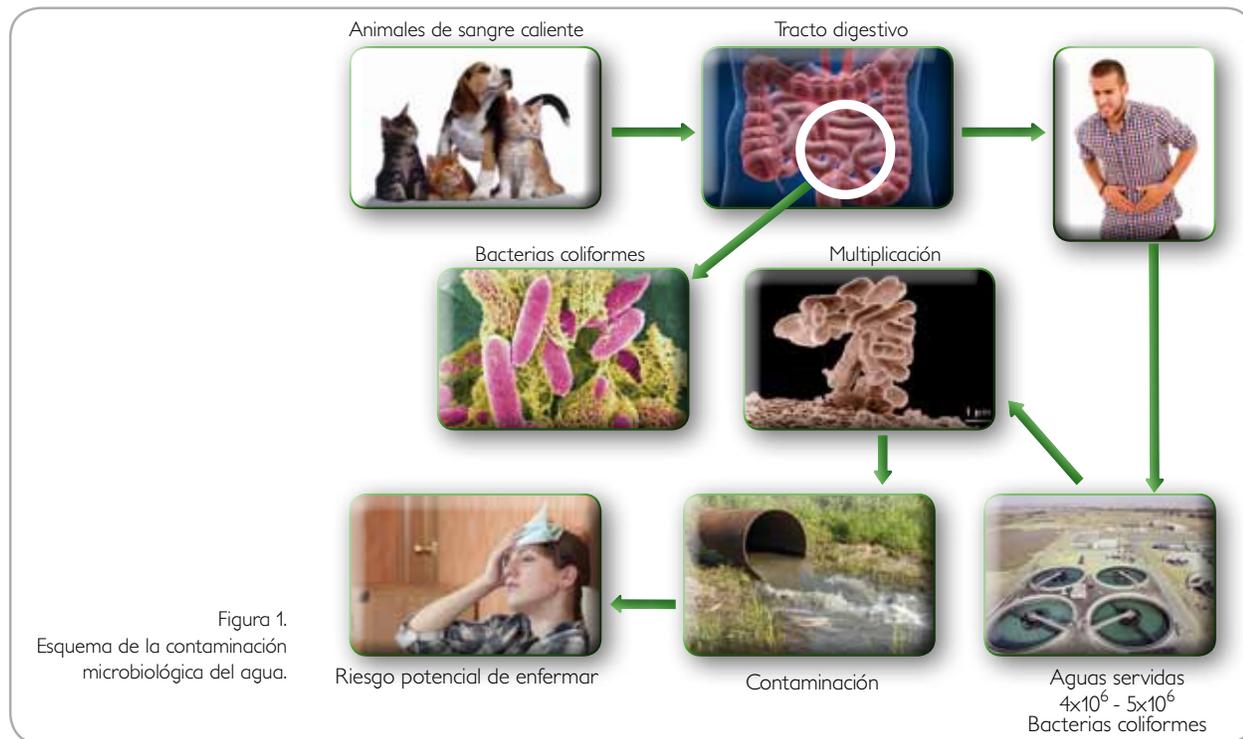
2. CONTAMINACION MICROBIOLÓGICA DEL AGUA

Los riesgos para la salud relacionados con el agua de consumo más comunes y extendidos son las enfermedades infecciosas ocasionadas por agentes patógenos (OMS, 2008). Estos agentes patógenos son biológicos, más que químicos, y las enfermedades que provocan casi siempre son contagiosas. Por lo general, los agentes patógenos pertenecen al grupo de los microorganismos,

que se transmiten en las heces excretadas por individuos infectados o por ciertos animales. De forma que estas enfermedades se suelen contraer al ingerirlos en forma de agua o de alimentos, contaminados por esas heces (vía fecal-oral) tal como se observa en la Figura 1.

Los patógenos humanos transmitidos por el agua incluyen muchos tipos de microorganismos tales como: bacterias, virus, protozoos y, en ocasiones, helmintos (lombrices), todos ellos muy diferentes en tamaño, estructura y composición.

En las siguientes tablas se presentan los principales microorganismos que pueden ser encontrados en las aguas contaminadas.



AGUA

Tabla 1. Principales bacterias transmitidas por el agua.

Bacterias	Fuente	Periodo de incubación	Duración	Síntomas
<i>Salmonella typhi</i>	Heces	7 - 28 días	5 - 7 días	Fiebre, tos, náusea, dolor de cabeza, vómito, diarrea.
<i>Salmonella sp.</i>	Heces	8 - 48 horas	3 - 5 días	Diarrea acuosa con sangre.
<i>Shigellae sp.</i>	Heces	1 - 7 días	4 - 7 días	Disentería (diarrea con sangre), fiebres altas, síntomas tóxicos, retortijones, pujos intensos e incluso convulsiones.
<i>Vibrio cholerae</i>	Heces	9 - 72 horas	3 - 4 días	Diarrea acuosa, vómito, deshidratación.
<i>V. cholerae</i> No.01	Heces	1 - 5 días	3 - 4 días	Diarrea acuosa.
<i>Eschericia coli enterohemorrágica</i> O157:H7	Heces	3 - 9 días	1 - 9 días	Diarrea acuosa con sangre y moco, dolor abdominal agudo, vómitos.
<i>E. coli</i> enteroinvasiva	Heces	8 - 24 horas	1 - 2 semanas	Diarrea, fiebre, cefalea, mialgias, dolor abdominal.
<i>E. coli</i> enterotoxigénica	Heces	5 - 48 horas	3 - 19 días	Dolores abdominales, diarrea acuosa, fiebre con escalofríos, náusea, mialgia
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Heces	1 - 11 días	1 - 21 días	Dolor abdominal, diarrea con moco, sangre, fiebre, vómito.
<i>Campylobacter jejuni</i>	Heces	2 - 5 días	7 - 10 días	Diarrea, dolores abdominales, fiebre y algunas veces heces fecales con sangre
<i>Plesiomonas shigelloides</i>	Heces	20 - 24 horas	1 - 2 días	Fiebre, escalofríos, dolor abdominal, náusea, diarrea o vómito.
<i>Aeromonas sp.</i>	Heces	Desconocido	1 - 7 días	Diarrea, dolor abdominal, náuseas, dolor de cabeza y colitis.

Fuente: Brock, et al., (2000) OMS, 2008, 2014



Figura 2. Principales bacterias transmitidas por el agua.

Tabla 2 . Principales virus transmitidos por el agua.

Virus	Fuente	Periodo de incubación	Duración	Síntomas
Enterovirus (Poliovirus 1, 2, 3, Coxsackie A y B, Echovirus).	Heces	3 - 14 días	Variable	Gastrointestinales (vómitos, diarrea, dolor y hepatitis), encefalitis, enfermedades respiratorias, meningitis, hiperangina, conjuntivitis.
Astrovirus	Heces	1 - 4 días	2 - 3 días	Nausea, vómito, diarrea, dolor abdominal, fiebre.
Virus de la Hepatitis A (VHA)	Heces	15 - 50 días	1 - 2 semanas hasta meses	Cansancio, debilidad muscular, pérdida de apetito, diarrea vomito, e ictericia (cambio en el color de los ojos y la piel hacia un tono amarillo).
Virus de la Hepatitis E (VHE)	Heces	15 - 65 días	Similar a lo descrito para VHA	Similar a lo descrito para VHA.
Rotavirus (Grupo A)	Heces	1 - 3 días	5 - 7 días	Gastroenteritis con náusea y vómito.
Rotavirus (Grupo B)	Heces	2 - 3 días	3 - 7 días	Gastroenteritis.
Calicivirus	Heces	1 - 3 días	1 - 3 días	Gastroenteritis.
Virus Norwalk-like	Heces	1 - 2 días	1 - 4 días	Diarrea, nausea, vómito, dolor de cabeza, dolor abdominal.

Fuente: Brock, et al., 2000 OMS, 2008, 2014

AGUA

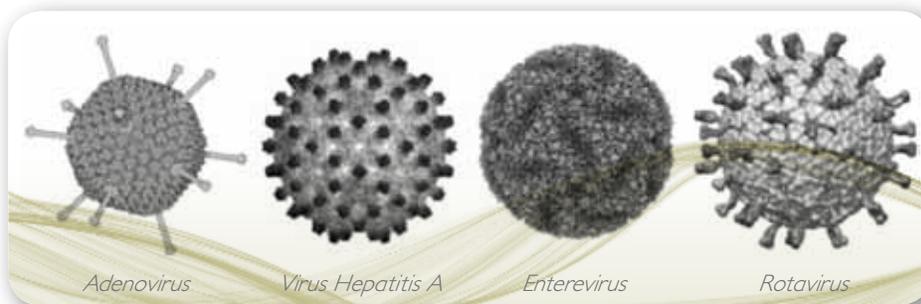


Figura 3. Principales virus transmitidos por el agua.

Tabla 3. Principales parásitos transmitidos por el agua.

Parasitos	Fuente	Periodo de incubación	Duración	Síntomas
<i>Giardia lamblia</i>	Heces	5 - 25 días	Meses - años	Puede ser asintomática (hasta un 50%) o provocar diarrea leve. También puede ser responsable de diarreas crónicas.
<i>Cryptosporidium parvum</i>	Heces	1 - 2 semanas	4 - 21 días	Provoca diarrea acuosa, con dolor abdominal y pérdida de peso.
<i>Entamoeba histolytica /Amebiasis</i>	Heces	2 - 4 semanas	Semanas - meses	Dolor abdominal, estreñimiento, diarrea con moco y sangre.
<i>Cyclospora var. cayetanensis</i>	Heces (oocistes)	3 - 7 días	Semanas - meses	Diarrea acuosa, náuseas, anorexia, dolor abdominal, fatiga, pérdida de peso, dolores musculares, meteorismo, y escasa fiebre.
<i>Balantidium coli</i>	Heces	Desconocido	Desconocido	Dolor abdominal, diarrea con moco y sangre.
<i>Dracunculus medinensis</i>	Larva	8 - 14 meses	Meses	El parásito eventualmente emerge (del pie en el 90% de los casos), causando edema intenso y doloroso al igual que úlcera. La perforación de la piel se ve acompañada de fiebre, náuseas y vómitos.

Fuente: Brock, et al., 2000 OMS, 2008, 2014



Figura 4.
Principales parásitos transmitidos
por el agua.

3. PRINCIPALES ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA

Las principales enfermedades que utilizan el agua como vehículo de transmisión, se presentan en la Tabla 4. El riesgo a estas enfermedades está vinculado al deterioro y escasez de agua.

Hay que tener en cuenta que la transmisión por el agua de consumo es sólo uno de los vehículos de transmisión de los agentes patógenos transmitidos por la vía fecal-oral. Pueden ser también vehículo de transmisión los alimentos contaminados, las manos, los utensilios y la ropa, sobre todo cuando el saneamiento e higiene domésticos son deficientes. Para reducir la transmisión de enfermedades por la vía fecal-oral es importante mejorar la calidad del agua y su disponibilidad, así como los sistemas de eliminación de excrementos y la higiene general (OMS, 2008).

AGUA

Tabla 4. Principales enfermedades transmitidas por el agua.

Enfermedad	Causa y vía de transmisión	Extensión geográfica	Número de casos	Defunciones
Disentería amebiana	Los protozoos pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados y por contacto de una persona con otra.	Todo el mundo	500 millones por año	40.000 a 100.000 muertes al año
Disentería bacilar	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, y por contacto entre personas.	Todo el mundo	90 millones por año	100.000 por año
Enfermedades diarreicas (incluye la disentería)	Diversas bacterias, virus y protozoos pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, y por contacto entre personas.	Todo el mundo	1.700 millones de casos cada año	760.000 en niños menores de cinco años cada año
Cólera	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, y por contacto entre personas.	Sudamérica, África, Asia	3 a 5 millones por año	100.000 a 120.000
Hepatitis A	El virus pasa por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, y por contacto entre personas.	Todo el mundo	1.4 millones de casos cada año	2.400 a 12.000
Fiebre paratifoidea y tifoidea	Las bacterias pasan por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, y por contacto entre personas.	Sudamérica, África, Asia	16 a 33 millones por año	216.000
Poliomielitis	El virus pasa por la vía fecal-oral por medio del agua y alimentos contaminados, y por contacto entre personas.	Endémica en Afganistán, Nigeria y el Pakistán	223 casos en el año 2012	9.000

Fuente: OMS, 2014



4. IMPLICACIONES SANITARIAS DE LA POTABILIZACION DEL AGUA

La falta de higiene y la carencia o el mal funcionamiento de los servicios sanitarios son algunas de las razones por las que la diarrea continúa representando un importante problema de salud en los países en desarrollo.

Los procedimientos sanitarios pueden aplicarse bien para evitar la contaminación del agua o bien para destruir el patógeno que ya se encuentre presente en ella. Los programas de depuración de agua han sido responsables de la disminución de las infecciones transmitidas por agua.

La eliminación de la turbidez del agua por filtración, proporciona un significativo descenso en la carga microbiana del agua. Pero la filtración, por sí sola, tiene sólo un valor parcial, porque muchos organismos son filtrables. A diferencia del tratamiento con cloro que ha demostrado ser eficaz en la disminución de la incidencia de enfermedades transmitidas por agua.

Para prevenir y controlar la contaminación biológica del agua debería realizarse un seguimiento de la calidad bacteriológica de las aguas de suministro en zonas rurales, así como desarrollar y adaptar metodologías que permitan detectar la presencia de microorganismos patógenos que no pueden aislarse por métodos convencionales.

5. MEDIDAS HIGENICAS EN LOS SUMINISTROS DE AGUA

El agua puede contaminarse en la fuente de suministro, por el ingreso de contaminantes durante la distribución del agua y dentro de la vivienda, por el uso de recipientes mal protegidos o por la manipulación insalubre del agua, aún cuando la fuente se encuentre razonablemente protegida. Por ello, para ayudar a prevenir las enfermedades transmitidas por agua, deberían tomarse algunas medidas sencillas como:

- Hervir el agua hasta que comience a evaporarse.
- Si no se cuenta con agua potable, desinfectar el agua colocando dos gotas de cloro por litro de agua, durante media hora, antes de su consumo.
- Lavar las manos después de ir al baño y antes de manipular alimentos.
- Lavar bien las frutas y verduras con agua apta para consumo.
- No bañarse en aguas que puedan estar contaminadas ni entrar en contacto con aguas estancadas.
- No comer nunca crudas las frutas u hortalizas en tierras que se hayan regado o contaminado con aguas servidas.

AGUA

6. REFERENCIAS

- Brock, D., Madigan, M., Martinko, J. y Parker J. (2000). *Biology of microorganisms*. España: Prentice-Hall.
- Klohn, W. y Wolter, W. (1998, marzo). *Perspectives on food and water*. Trabajo presentado en el International Conference of Water and Sustainable Development, Paris, Francia.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (1996). *The world health report 1996: Fighting disease, fostering development*. Ginebra: OMS.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2008). *Guías para la calidad del agua potable*. (3a ed.). Ginebra: OMS.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2014). *Hojas informativas*. Recuperado en <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/es/> [2014, abril].
- Organización Mundial de la Salud (OMS)-UNICEF. (2013). *Progress on sanitation and drinking-water - 2013 update*. Ginebra : UNICEF-OMS.
- Rahman, M. (1985). Impact of environmental sanitation and crowding on infant mortality in rural Bangladesh. *Lancet* 8445(2), 28-31.
- Serageldin, I. (1994). *Water supply, sanitation, and environmental sustainability: The financing challenge*. Washington: World Bank.
- Serageldin, I. (1995). Water resources management: New policies for a sustainable future. *Water International* 20(1), 15-21.
- Sherbinin, A. (1997). *Water and population: The urgent need for action*. New York: Inter-American Parliamentary Group on Population and Development.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (2004). *Water and Wastewater Reuse: An*

Environmental Sound Approach for Sustainable Urban Water Management. Japon: UNEP.

- Vanderslice, J. y Briscoe, J. (1995). "Environment interventions in developing countries: Interactions and their implications". *American Journal of Epidemiology* 141(2), 135-144.

PAGINAS DE INTERNET CON INFORMACION RELEVANTE

http://www.who.int/water_sanitation_health/es/

<http://www.ispch.cl/>

<http://www.wssinfo.org/>

ACQUA

LAS AGUAS SERVIDAS Y SU DEPURACION
EN ZONAS RURALES:
SITUACION ACTUAL Y DESAFIOS



CAPITULO 3

SISTEMA DE VIGILANCIA DE SALUD PUBLICA EN CHILE, ASOCIADO A LAS ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR EL AGUA

Patricia González

Departamento de Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA-Chile, Universidad de Concepción.

1. INTRODUCCION

En el Capítulo 2 “Riesgo de enfermedades transmitidas por el agua en zonas rurales” del presente libro, se presentan las principales enfermedades transmitidas por el agua en zonas rurales. En este capítulo se presentará el sistema de vigilancia que realiza el Ministerio de Salud que tiene relación con las enfermedades en cuestión. Además se presentan una pequeña descripción de las enfermedades indicadas, el agente causal y las vías de transmisión.

2. SISTEMA DE VIGILANCIA DE ENFERMEDADES TRANSMISIBLES

El ámbito de acción de la Vigilancia en Salud pública está orientado a las enfermedades transmisibles debido a las constantes demandas que han surgido producto de la emergencia y reemergencia de enfermedades infectocontagiosas

La vigilancia en salud pública incluye acciones de recolección, análisis e interpretación de la información epidemiológica con el fin de detectar enfermedades de importancia en salud pública, la aparición de enfermedades emergentes o reemergentes o conocer los cambios en el comportamiento de la enfermedad, que permitan implementar oportunamente las medidas de prevención y control sobre los problemas que suponen un riesgo de salud en la población. Además la información proveniente de la vigilancia debe servir para evaluar la situación de salud, definir prioridades en salud, evaluar programas y conducir investigaciones.

El Decreto Supremo N° 158/04 “Reglamento sobre Notificación de Enfermedades de Declaración Obligatoria, es la base del sistema de Vigilancia nacional en Salud Pública”. A continuación se presenta una Tabla 1 donde se indican las Enfermedades Transmisibles de Declaración Obligatoria.

Tabla 1. Enfermedades Transmisibles de Declaración Obligatoria.

VIGILANCIA	ENFERMEDADES	
Vigilancia Universal	Botulismo	
	Brucelosis	
	Carbunco	
	Cólera	Causante con base en agua
	Coqueluche	
	Dengue	Causante con base en agua
	Enfermedad De Chagas	
	Enfermedad de Creutzfeldt Jakob	
	Enfermedad Invasora por Haemophilus Influenzae B	
	Enfermedad Meningocócica	
	Fiebre Amarilla	
	Fiebre del Nilo Occidental (West Nile)	
	Fiebre Tifoidea y Paratifoidea	Causante con base en agua
	Gonorrea	
	Hepatitis A, Viral sin otra especificación	Causante con base en agua
	Hepatitis B	
	Hepatitis C	
	Hidatidosis (Equinococosis)	
	Infección por Hantavirus	
	Infección por VIH y SIDA	
	Infección Respiratoria	
	Aguda Grave por Influenza	
	Lepra (Enfermedad de Hansen)	
	Leptospirosis	
	Malaria	
	Meningitis Bacterianas	
	Parotiditis	
	Peste	
	Poliomielitis	Causante con base en agua
	Psitacosis	
	Rabia Humana	
	Rubéola	
Rubéola Congénita		
Sarampión		
Sífilis		
Tétanos		
Tifus Exantemático Epidémico	Causante con base en agua	
Triquinosis		
Tuberculosis		

AGUA

VIGILANCIA	ENFERMEDADES	
Brote de causa infecciosa	Brote	
	Enfermedades Transmitidas por Alimentos (ETA)	
	Vibrio parahaemolyticus	
Vigilancia Centinela	Influenza	
	Diarreas Agudas en Menores de 5 Años	Causante con base en agua
	Varicela	

La vigilancia de enfermedades de las enfermedades transmisibles requiere de la articulación de tres subsistemas; vigilancia morbilidad, de laboratorio y ambiental, como lo indica la Figura 1, se muestra a continuación:

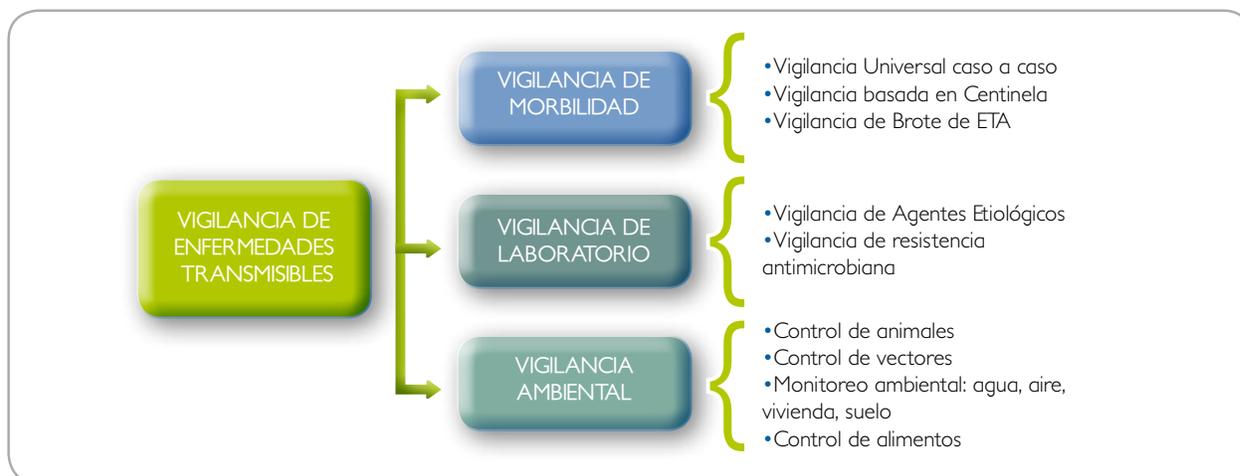


Figura 1. Sistema de Vigilancia de enfermedades transmisibles.

Tal como se muestra en la Figura 1, el Subsistema de Vigilancia de Morbilidad se refiere a la vigilancia basada en la notificación de casos de enfermedad detectados por el personal de salud en los establecimientos asistenciales. El sistema contempla tres tipos de vigilancia de morbilidad:

- Vigilancia universal Consiste en el reporte de todos los casos nuevos de una determinada enfermedad (cobertura universal). Trabaja con definiciones de casos sospechosos y confirmados; los casos sospechosos se definen dependiendo de las características clínicas de la enfermedad

y de los antecedentes epidemiológicos; los casos confirmados, en cambio, normalmente requieren criterios de laboratorio. La periodicidad de la notificación depende de la enfermedad a vigilar y se pueden distinguir dos grupos: las de notificación inmediata, que requieren mecanismos de control rápidos, habitualmente frente a la identificación de casos sospechosos, y las de notificación diferida, diaria desde el establecimiento asistencial a la Unidad de Epidemiología de la Autoridad Sanitaria.

- Vigilancia basada en establecimientos Centinelas corresponde a la vigilancia de un evento de salud determinado en una muestra de la población en riesgo, utilizando para centros informantes, habitualmente son establecimientos asistenciales, pudiendo ser también escuelas o industrias. La periodicidad del envío de esta información a la Autoridad Sanitaria es semanal.
- Vigilancia de Brotes de Enfermedades Transmitidas por Alimentos, esto consiste en la detección y control temprano de los brotes y la identificación de los factores de riesgo. Requiere de un sistema específico, basado en la detección en establecimientos asistenciales, especialmente en los de atención de urgencia. Este sistema involucra la notificación e investigación de todos los brotes de enfermedades transmitidas por alimentos, cualquiera sea su causa. La notificación desde el establecimiento de salud a la Autoridad Sanitaria es inmediata.

En la Tabla 1 se presentan todas las enfermedades de notificación obligatorias que en la actualidad son vigiladas por el Departamento de Epidemiología del Ministerio de Salud, de estas las que pudieran ser causadas

por el agua, son: Cólera, Dengue, Fiebre Tifoidea y Paratifoidea, Hepatitis A, Poliomieltis y Diarreas agudas en menores de 5 años. A continuación se presentan los síntomas frecuentes de estas enfermedades. Es importante que la población rural, que muchas veces no cuenta con las condiciones sanitarias adecuadas, este alerta a la presencia de estos síntomas y acuda inmediatamente al centro asistencial más cercano con el fin de evitar la propagación de la enfermedad.

3. MECANISMOS DE TRANSMISION DE ENFERMEDADES INFECTOCONTAGIOSA TRANSMITIDAS POR EL AGUA, SUJETAS A NOTIFICACIÓN OBLIGATORIA

Como lo indica la Figura 2 la transmisión de enfermedades se produce porque está la presencia de tres elementos básicos: el agente, reservorio y el huésped.

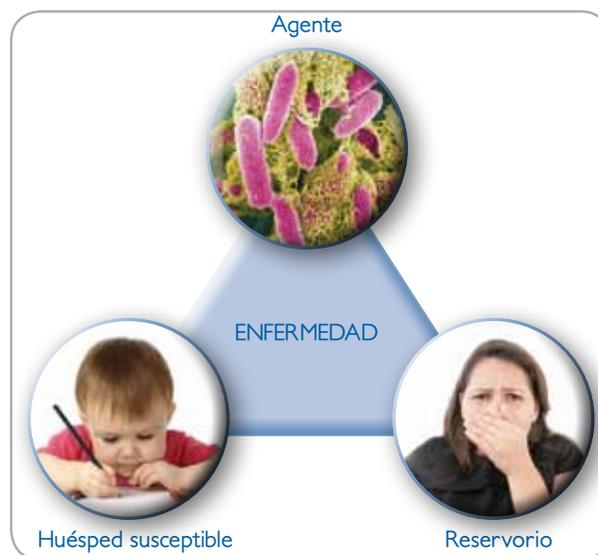


Figura 2. Elementos básicos para la transmisión de enfermedades: el agente, reservorio y el huésped.

AGUA

COLERA

Es una enfermedad diarreica aguda, que afecta a individuos de todas las edades. Se caracteriza por la aparición de diarrea acuosa con deshidratación secundaria. El inicio del cuadro es abrupto con diarrea líquida asociada a náuseas, vómitos, dolor abdominal. Puede haber calambres musculares resultantes por la pérdida importante de potasio a través de las deposiciones. La fiebre se presenta en baja frecuencia (5%). Las manifestaciones clínicas en los niños son similares a las descritas para los adultos.

La confirmación del caso de cólera se realiza por el Instituto de Salud Pública por aislamiento de cepas *Vibrio cholerae*.

El objetivo de la vigilancia es identificar fuentes de contaminación para interrumpir la transmisión.

Agente Causal:

La bacteria denominada *Vibrio Cholerae*.

Reservorio:

El hombre.

Vías y modo de transmisión:

Este microorganismo se propaga a través del agua, de alimentos contaminados y el vómito de enfermo.

La falta de lavado de manos y las deficiencias en la higiene personal y saneamiento básico son factores que contribuyen a la propagación de esta enfermedad. Otra forma de propagación se produce por ingesta de mariscos crudos procedentes de aguas contaminadas.

FIEBRE TIFOIDEA Y PARATIFOIDEA

Es una enfermedad bacteriana infecciosa caracterizada por presentar fiebre alta y continua por más de 3 a 4 días, compromiso del estado general, diarrea, periodos de constipación, dolor abdominal, molestias digestivas, dolor de cabeza intensos.

Agente causal:

Salmonella typhi o *Salmonella paratyphi*.

Reservorio:

El hombre.

Vías y modo de transmisión:

Por el agua y la contaminación de alimentos con restos de heces, por la presencia de moscas y otros insectos, frutas y verduras que son consumidas crudas y no son bien lavadas. Especialmente, las manos contaminadas con heces por malas prácticas de higiene o falta de hábitos de lavado de manos. Los moluscos y la leche son también vehículos de transmisión.

La forma de presentación habitual es a través de casos individuales y brotes intrafamiliares.

El objetivo de la vigilancia es disminuir la incidencia de la enfermedad.

HEPATITIS A

Enfermedad aguda que se presenta con compromiso del estado general, fiebre, náuseas, dolor abdominal, ictericia y sensibilidad del cuadrante superior derecho, acompañado de alteraciones de las pruebas hepáticas y elevación de las enzimas hepáticas. La severidad del cuadro de hepatitis aumenta con la edad.

Agente causal:

Virus de la hepatitis A (VHA).

Reservorio:

El hombre.

Vías y modo de transmisión:

Por alimentos o agua contaminados por las heces de una persona infectada. Los brotes transmitidos por el agua, aunque infrecuentes, suelen estar relacionados con casos de contaminación por aguas servidas (sanitarias) o de abastecimiento de agua insuficientemente tratada.

El virus también puede transmitirse por contacto físico estrecho con una persona infectada, pero no se propaga por contactos ocasionales.

La forma de presentación habitual es a través de casos aislados y brotes.

El objetivo de la vigilancia es disminuir la transmisión.

POLIOMELITIS

(Vigilancia de Parálisis Flácida Aguda (PFA) en menores de 15 años y Monitoreo de Síndrome de Guillain Barre).

El síndrome de Parálisis Flácida Aguda (PFA) se caracteriza por debilidad muscular de inicio brusco y progresión rápida, que comienza por las extremidades y puede llegar a comprometer los músculos de la respiración y/o estructuras anatómicas dependientes

del tronco encefálico en un lapso de 1 a 10 días. La poliomielitis clínica afecta al sistema nervioso central (el cerebro y la médula espinal). Las causas del síndrome de PFA son variables, e incluyen infecciones virales y bacterianas, tóxicos, traumatismos, tumores, trastornos inmunológicos, etc. Es una enfermedad muy infecciosa, pero se combate con la vacunación.

En América, no se han presentado casos de poliomielitis desde el año 1991, en Perú.

Agente causal:

Poliovirus.

Reservorio:

El hombre.

Vías y modo de transmisión:

Las partículas del virus se excretan en las heces durante varias semanas tras la infección inicial. La enfermedad se transmite principalmente a través de la ruta fecal-oral, por ingestión de alimentos o agua contaminada. A veces es transmitida a través de la ruta oral-oral.

El virus se propaga por:

- Contacto directo de persona a persona.
- Contacto con moco o flema infectados de la nariz o de la boca.
- Contacto con heces infectadas.

El virus entra a través de la boca y la nariz, se multiplica en la garganta y en el tubo digestivo para luego ser absorbido y diseminarse a través de la sangre y el sistema linfático. El tiempo que pasa desde el momento de resultar infectado con el virus hasta la aparición de los síntomas de la enfermedad (incubación) oscila entre 5 y 35 días (un promedio de 7 a 14 días). La mayoría de las personas no presenta síntoma.

AGUA

DIARREAS AGUDAS EN MENORES DE 5 AÑOS

Síndrome causado por variados agentes etiológicos cuya manifestación predominante es el aumento del número de evacuaciones, con heces acuosas o de poca consistencia. Con frecuencia se acompaña de vómitos, fiebre y dolor abdominal. Las formas varían desde leves a graves, con deshidratación y trastornos hidroelectrolíticos.

Agente causal:

Variación de microorganismos patógenos, bacterias, virus y protozoarios. El 70% de los casos de diarrea infecciosa es viral. Todos los años, las causas principales de gastroenteritis infantil son los Rotavirus, causantes de 600.000-800.000 muertes en todo el mundo. En un 1,5%-5,6% de los casos, la infección es de etiología bacteriana.⁴ Las bacterias más frecuentes son *Campylobacter* (2,3%), *Salmonella* (1,8%), *Shigella* (1,1%) o *Escherichia coli* (0,4%),

Reservorio:

El hombre.

Vías y modo de transmisión:

Las vías de transmisión de la diarrea, son las manos y boca mediante el consumo de alimentos y agua contaminados por moscas, basura, heces y mala higiene personal, sobre todo el lavado de manos y la mala higiene de las viviendas.

La forma de presentación habitual es Endémica y brotes principalmente en verano

El objetivo de la vigilancia es la detección temprana de brotes epidémicos y conocer prevalencia de agentes circulantes.

4. CONSIDERACIONES FINALES

El sistema de vigilancia de las enfermedades infectocontagiosa es una gran herramienta que permite

determinar los agentes causales, disminuir la transmisión y sobre todo adoptar políticas de salud pública para lograr la prevención.

En Chile, gracias a este sistema de vigilancia y las condiciones sanitarias y nutricionales actuales han permitido que las enfermedades diarreicas no figuren entre las cuatro principales causas de muertes en el niño bajo 5 años de edad; sin embargo, persiste como una patología de alta frecuencia. Es por ello que es necesario que la población se comprometa y tome las medidas preventivas necesarias para la disminución de estas enfermedades, sobre todo referente a conocer la procedencia del agua y los alimentos que se están consumiendo. Por otra parte, es prioritario que se consulte en los centros asistenciales cuando se tenga alguno de los síntomas detallados anteriormente y no se realice la automedicación.

5. REFERENCIAS

- Ministerio de Salud. (2011). *Recopilación de Normativas y Circulares de Enfermedades Transmisibles de Declaración Obligatorias*, Departamento de Epidemiología Ministerio de Salud. Santiago: Ministerio de Salud.
- Ministerio de Salud. (2000). *Normas Técnicas de vigilancia de enfermedades transmisibles*. Santiago: Ministerio de Salud.

PAGINAS DE INTERNET CON INFORMACION RELEVANTE

<http://epi.minsal.cl/vigilancia-epidemiologica/>
<http://www.seremidesaludbiobio.cl/epidemiologia/eno.html>
<http://epi.minsal.cl/epi/html/presenta/modelovigilancia2003.ppt>
<http://epi.minsal.cl/epi/html/public/vigilan/modelo.pdf>

ACQUA

LAS AGUAS SERVIDAS Y SU DEPURACION
EN ZONAS RURALES:
SITUACION ACTUAL Y DESAFIOS



CAPITULO 4

CONTAMINANTES QUIMICOS EN LAS AGUAS SERVIDAS

Carolina Reyes y Soledad Chamorro.

Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA),
Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA-Chile,
Universidad de Concepción, Concepción.

1. INTRODUCCION

El agua es uno de los recursos naturales indispensables para la vida, es por ello que el deterioro de este recurso puede afectar negativamente a la población. Se estima que el 71% de la superficie de la corteza terrestre está cubierta por agua, sin embargo, sólo una fracción de está (0,3%) se encuentra disponible para el consumo humano (U.S. Geological Survey). El continuo crecimiento de la población mundial, la desertificación causada por el cambio climático y el desarrollo económico, son los principales problemas a enfrentar para combatir el deterioro del recurso agua.

El hombre a través de diferentes actividades incorpora diariamente cientos de contaminantes a las aguas. La aparición de nuevas enfermedades y el desarrollo de la química analítica, han permitido que la comunidad científica centre sus estudio en la identificación y cuantificación de los diferentes contaminantes que puedan estar presentes en los diferentes tipos de aguas (servidas, rios, lagunas, lagos y/o subterráneas), logrando así detectar metales pesados (hierro, manganeso, aluminio, mercurio, cadmio o berilio), agentes patogénicos (bacterias, virus y hongos) y compuestos orgánicos (nitrógeno, fósforo, entre otros).

El desarrollo industrial y económico ha traído consigo la aparición de nuevas sustancias químicas, es así como surgen los plaguicidas, fármacos, fragancias, preservantes de alimentos, agentes anticongelantes, sustancias

plastificantes, agentes ignífugos (retardantes de llama), entre otros; estas sustancias se encuentran presentes en miles de productos tales como jabones, utensilios para el hogar fabricados a partir de plásticos, ropa, automóviles etc. Las propiedades fisicoquímicas de estas sustancias, no permiten que sean degradadas en el medio ambiente, persistiendo por años, lo cual puede afectar a la salud de la población.

En el presente capítulo se entrega una visión general de los diferentes contaminantes químicos presentes en las aguas servidas y sus potenciales efectos sobre la salud de la población.

2. ¿QUE CONTAMINANTES ENCONTRAMOS EN LAS AGUAS SERVIDAS?

La generación de aguas servidas es una consecuencia inevitable de las actividades humanas, estas modifican las características fisicoquímicas y biológicas del agua de partida, contaminándola o invalidando su posterior aplicación para otros usos.

De acuerdo a estudios realizados por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), el consumo de agua diario por persona en Chile, se encuentra en el rango de 200-300 L, este consumo incluye el agua utilizada para aseo personal, cocinar, lavado de ropa y/o vajilla.



Si se requiere evaluar el consumo de agua diario de una industria, este se encuentra estrechamente relacionado con el proceso productivo. Como ejemplo, según el informe elaborado por la Comisión Chilena del Cobre, durante el año 2012 se consumieron 12,4 m³/seg. de agua durante el proceso productivo del cobre.

Los contaminantes presentes en las aguas servidas pueden clasificarse de acuerdo a la concentración en que se encuentran en el medio ambiente:

2.1. Macrocontaminantes

Se consideran macrocontaminantes todos aquellos contaminantes cuya concentración en el medio ambiente es del orden de mg/L; dentro de esta clasificación encontramos materia orgánica, nutrientes y patógenos. Según la normativa ambiental vigente en Chile, la "Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales" D.S. 90/2000, establece los valores de emisión permitidos de estos contaminantes en las aguas marinas y continentales superficiales. En la Tabla 1, se presentan los valores máximos permitidos para nitrógeno, fósforo y coliformes fecales en aguas servidas previo a la descarga en aguas fluviales.

Tabla 1. Valores máximos permitidos para nutrientes y coliformes fecales establecidos en el D.S. 90/2000, para aguas servidas que serán descargadas en aguas fluviales.

Contaminante	Valor Máximo Permitido
Fósforo total	10 mg/L
Nitrógeno Total Kjeldahl	50 mg/L
Coliformes Fecales o Termotolerantes	1000 NMP ¹ / 100 mL

¹Número más probable

2.2. Microcontaminantes

El término microcontaminantes, hace referencia a todos aquellos contaminantes cuya concentración en el medio ambiente suele ser a nivel de trazas, es decir ng/L o µg/L. Dentro de esta clasificación encontramos los Contaminantes Orgánicos Emergentes (COEs), tales como metales, plaguicidas, hidrocarburos aromáticos, también conocidos como contaminantes prioritarios (CP) (PP, en inglés Priority Pollutants).

Los COEs corresponden a todos aquellos contaminantes desconocidos o no reconocidos como tales cuya presencia en el medio ambiente no es necesariamente nueva, pero si la preocupación por sus posibles efectos sobre el medio ambiente y la salud humana (Daughton, 2004). Son compuestos que presentan una elevada tasa de producción y consumo, además son incorporados continuamente en el medio ambiente, por lo que no necesitan ser persistentes para causar un efecto nocivo. Dentro de esta familia de contaminantes encontramos, fármacos y productos de higiene personal (PPCPs, del inglés "Pharmaceuticals and Personal Care Products"), productos veterinarios, aditivos para alimentos, subproductos de desinfección de aguas (nitrosaminas), aditivos industriales (benzotriazoles, benzotiazoles, ftalatos) y tensioactivos (Richardson, 2007). En la Tabla 2, se exponen diferentes tipos de COEs detectados en el medio ambiente.

AGUA

Tabla 2. COEs frecuentemente detectados en el medio ambiente.

Fármacos	Productos de Higiene Personal	Tensioactivos	Fragancias	Aditivos Industriales
Ibuprofeno	Triclosan	Detergentes	Tonalida	Lubricantes
Sulfametoxazol			Galaxolida	Anticongelantes
Diclofenaco			Plantolida	
Paracetamol				

Se consideran CP aquellas sustancias que, debido a su persistencia y toxicidad, pueden generar algún riesgo para los ecosistemas y la población en general, por lo tanto han sido regulados en directivas europeas con el fin de controlar su utilización, resguardar el medio ambiente y la salud humana. Los CP incluyen compuestos orgánicos sintéticos e inorgánicos, que presentan una elevada toxicidad y persistencia en el medio ambiente y/o son bioacumulables.

En la Figura 1 se presentan ejemplos de CP regulados según la normativa chilena existente.

48 112,40 2	82 207,19 2,4	28 58,71 2,3	80 200,59 1,2
756 320,9 8,65	1725 327,4 11,4	2730 1453 8,9	357 -38,4 16,6
Cd	Pb	Ni	Hg
(kr)4d ¹⁰ 5s ²	(Xe)4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ² 6p ²	(Ar)3d ⁸ 4s ²	(Xe)4f ¹⁴ 5d ¹⁰ 6s ²
Cadmio	Plomo	Níquel	Mercurio

Figura 1. Ejemplos de contaminantes prioritarios (CPs).

La Directiva Europea 2000/60/CE (Directiva Marco de Agua) y su posterior revisión (2008/105/CE) establecen parámetros para controlar la contaminación y establecen estándares de calidad ambiental para 33 sustancias prioritarias y proponen la revisión de 13 sustancias candidatas a ser prioritarias.

En el caso de la Legislación Chilena, el D.S. 90/2000, establece valores máximos permitidos en aguas servidas que son vertidas en aguas fluviales, para un grupo de CPs (Tabla 3).

Tabla 3. Límites máximos permitidos de cada contaminante en aguas servidas que serán vertidas en aguas fluviales establecidos en el D.S. 90/2000.

Contaminante	Valores Máximos Permitidos
Cadmio	0,01 mg/L
Mercurio	0,001 mg/L
Níquel	0,2 mg/L
Plomo	0,05 mg/L
Pentaclorofenol	0,009 mg/L
Triclorometano	0,2 mg/L



3. ¿COMO INGRESAN ESTOS CONTAMINANTES A LAS AGUAS SERVIDAS?

Las actividades humanas e industriales (agricultura, ganadería, etc) han ocasionado la continua incorporación de macro y microcontaminantes orgánicos a los cuerpos de agua superficiales y/o subterráneos a través de fuentes puntuales (efluentes industriales y domésticos), Plantas de Tratamiento de Aguas Servi-

das (PTAS) o difusas (fugas en alcantarillado, agricultura, debido a la utilización de lodos o estiércol contaminados, escorrentías de carreteras y aeropuertos) (Daughton, 2001; Ternes et al., 2004; Lapworth et al., 2012).

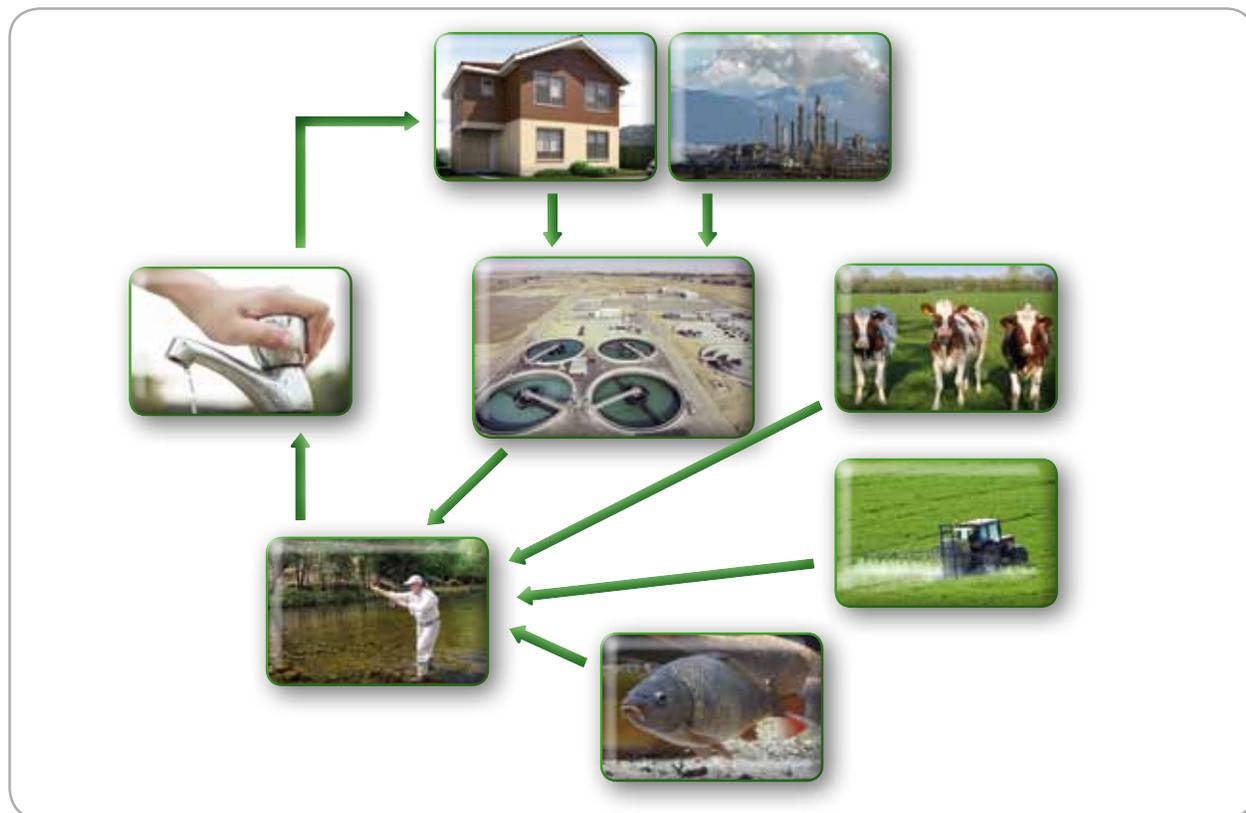


Figura 2: Fuentes y comportamiento de PPCPs en el ciclo del agua urbana. Adaptado de Ellis (2006).

AGUA

En la Figura 2, se presenta un ejemplo del comportamiento de los PPCPs en el ciclo del agua urbana.

La fuente principal de PPCPs en las aguas servidas son los hogares, los cuales descargan las aguas servidas generadas por las acciones cotidianas directamente a las PTAS a través de los sistemas de alcantarillado. Los efluentes hospitalarios e industriales son también descargados a las PTAS a través de sistemas de alcantarillados mixtos (domésticos e industriales) o a través de sistemas segregados. Los efluentes domésticos y/o industriales pueden ser descargados directamente a los ríos por accidente o por carencia de sistemas de alcantarillados de aguas servidas (poblaciones rurales). Actividades como la agricultura, ganadería y acuicultura, pueden dar lugar a la contaminación difusa ingresando a las aguas superficiales (fluviales o marítimas) o subterráneas (acuífero). Las plantas de tratamiento de aguas potables captan el agua de los ríos o acuíferos subterráneos contaminados y por medio de procesos como clarificación, desinfección, oxidación, etc. consiguen una eliminación significativa de microcontaminantes orgánicos. Sin embargo, debido a la reacción entre los precursores y los reactivos utilizados, pueden formarse subproductos de desinfección como trihalometanos, nitrosaminas o ácidos haloacéticos (Ternes, 1998).

Sin embargo, a pesar de que el agua se somete a un doble proceso de tratamiento (potabilización y tratamiento de las aguas servidas), la eliminación de microcontaminantes orgánicos es parcial, lo que implica que el hombre está continuamente expuesto a dichos contaminantes pudiendo afectar a la salud humana.

4. EFECTOS TOXICOS DE LOS CONTAMINANTES QUIMICOS

La presencia de microcontaminantes orgánicos en el medio ambiente puede dar lugar a efectos toxicológicos en la población. La continua exposición a estos contaminantes, puede causar efectos a nivel del sistema endocrino y resistencia de las bacterias a los antibióticos. El amplio espectro de contaminantes detectados en el medio ambiente (propiedades fisicoquímicas, campo de acción) hace muy difícil identificar los efectos que puedan causar sobre los organismos.

La mayoría de los contaminantes evaluados se encuentran en concentraciones muy bajas, sin embargo, su continua incorporación en el medio ambiente y su persistencia generan motivos de preocupación, ya que pueden ser potencialmente dañinos para la salud humana.

Los efectos toxicológicos de los PPCPs suelen presentarse debido a la exposición involuntaria de los organismos, principalmente por rutas extracelulares como la adsorción (cutánea), ingestión (oral) y en el caso de compuestos volátiles por inhalación (Jjemba, 2008).

En el medio ambiente, la naturaleza tóxica de un contaminante se puede clasificar en: i) letal, puede causar la muerte de los organismos; ii) subletal, puede alterar el comportamiento y la productividad biológica; iii) crónica, puede perturbar las funciones genéticas de un organismo. Recientes estudios publicados determinan que las concentraciones detectadas de COEs en el medio ambiente, están muy por debajo de lo esperado para causar la muerte de los individuos.

Pépin (2006), plantea que las concentraciones detectadas en agua para ibuprofeno pueden causar



efectos subletales en camarón de agua dulce (*Gammarus pulex*), lenteja de agua (*Lemna minor*) y cianobacteria (*Synechocystis sp*).

La toxicidad crónica es debida a la continua exposición de los organismos a los contaminantes, a causa principalmente del prolongado tiempo de vida útil del compuesto, lo cual le permite bioacumularse o biomagnificarse en la cadena alimentaria.

4.1. Resistencia a antibióticos

Los antibióticos fueron desarrollados con el objetivo de impedir el crecimiento bacteriano, razón por la cual son ampliamente utilizados en medicina humana y animal. Los residuos de antibióticos están ampliamente distribuidos en las heces, residuos médicos, suelos y en todos los ambientes acuáticos debido al uso extensivo a través del tiempo en terapias humanas y en medicina veterinaria como promotores del crecimiento en ganadería y piscicultura (Kümmerer, 2004).

La resistencia a los antibióticos, hace referencia a la capacidad de los microorganismos para resistir los efectos de los antibióticos; esta puede ocurrir a través de un proceso de selección natural, como resultado de mutaciones ocurridas al azar, o artificialmente a través de la aplicación de una presión selectiva a una población (Kümmerer, 2009). Algunos casos de resistencia bacteriana han sido detectados en agua subterránea, lagunas, efluentes de PTAS y sedimentos.

4.2. Disrupción endocrina

Se entiende por disrupción endocrina a las alteraciones en el sistema endocrino debidas a la exposición a sustancias químicas (disruptor endocrino) que pueden afectar a la expresión de diversos genes

que se expresan bajo el estímulo de las hormonas. Las principales alteraciones son detectadas en el aparato reproductor, neoplasias, malformaciones, neurotoxicidad o una disminución de la respuesta inmunológica (Argemi et al., 2005).

Los disruptores endocrinos (EDCs, por su nombre en inglés endocrine-disrupting chemicals) son sustancias exógenas o mezcla de ellas que alteran las funciones del sistema endocrino y consecuentemente, ocasionan efectos adversos para la salud de un organismo, su descendencia o subpoblación. Son principalmente sustancias lipofílicas, persistentes y bioacumulables. Estos disruptores pueden minimizar o antagonizar las hormonas endógenas (Jjemba, 2008). Estos compuestos tienen efectos toxicológicos relevantes, ya que pueden afectar adversamente la reproducción de los organismos, afectando la sobrevivencia y existencia de poblaciones completas.

Los EDCs pueden ser de origen natural, como feromonas y fitoestrógenos, o sintéticos como pesticidas, alquilfenoles, bifenilos policlorados (PCBs, por su nombre en inglés polychlorinated biphenyls), ftalatos, bisfenol A, filtros UV, dioxinas, furanos, hidrocarburos aromáticos policíclicos, anticonceptivos, tributilestaño.

5. CONSIDERACIONES FINALES

La continua incorporación de microcontaminantes orgánicos al medio ambiente, puede afectar seriamente a la salud de la población, es por ello que es necesario evaluar los efectos toxicológicos a través de estudios específicos que permitan adquirir conocimientos sobre mecanismos de acción. La ausencia de estudios sobre efectos tóxicos de los COEs en la salud de la población y el medio ambiente, dificultan la creación de una

AGUA

normativa que regulen los niveles máximos de emisión a los cuerpos de agua receptores.

La principal vía de ingreso de COEs y PPs en el ciclo del agua son las aguas servidas, es por ello que es necesario estudiar nuevas alternativas de tratamiento de aguas servidas que sean capaces de eliminar a estos contaminantes.

6. REFERENCIAS

- Argemi, F., Cianni, N. y Porta, A. (2005). Disrupción endocrina: perspectivas ambientales y salud pública. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana* 39 (3), 291–300.
- Daughton, C.G. (2001). Pharmaceuticals and personal care products in the environment: Overarching issues and overview. *ACS Symposium Series* 791, 2–38.
- Daughton, C.G. (2004). Non-regulated water contaminants: emerging research. *Environmental Impact Assessment Review* 24 (7-8), 711–732.
- Ellis, J.B. (2006). Pharmaceutical and personal care products (PPCPs) in urban receiving waters. *Environmental Pollution* 144 (1), 184–9.
- Jjemba, P.K. (2008). *The occurrence and fate of pharmaceuticals and personal care products in the environment* (1a ed). New Jersey: John Wiley & Sons.
- Kümmerer, K. (2004). Resistance in the environment. *The Journal of Antimicrobial Chemotherapy* 54 (2), 311–20.
- Kümmerer, K. (2009). Antibiotics in the aquatic environment—a review—part II. *Chemosphere* 75 (4), 417–434.
- Lapworth, D.J., Baran N., Stuart, M.E. y Ward, R.S. (2012). Emerging organic contaminants in groundwater: A review of sources, fate and occurrence. *Environmental Pollution* 163, 287–303.
- Pépin, J.M. (2006). *Impacts écotoxicologiques de certains médicaments dans l'environnement*. Trabajo de grado, Magister en Medio Ambiente, Centre Universitaire de Formation en Environnement, Québec, Canada.
- Richardson, S.D. (2007). Water analysis: emerging contaminants and current issues. *Analytical Chemistry* 79 (12), 4295–4324.
- Ternes, A., Joss, A. y Siegrist, H. (2004). Peer reviewed: scrutinizing pharmaceuticals and personal care products in wastewater treatment. *Environmental Science and Technology* 38 (20), 92A–399A.
- Ternes, T. (1998). Occurrence of drugs in German sewage treatment plants and rivers. Dedicated to Professor Dr. Klaus Haberer on the occasion of his 70th birthday. *Water Research* 32 (11), 3245–3260.

PAGINAS DE INTERNET CON INFORMACION RELEVANTE

- Superintendencia de Servicios Sanitarios; www.siss.cl
- Decreto 90/2000. Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de residuos líquidos a aguas marinas y continentales superficiales; http://www.dga.cl/administracion-recursos-hidricos/Documents/DTO_90_07_MAR_2001.pdf
- Programa EPA, sobre Fármacos y Productos de Higiene Personal (PPCP); <http://www.epa.gov/ppcp/>
- Directiva Europea, “Directiva Marco del agua”; <http://www.directivamarco.es/>



AGUA

LAS AGUAS SERVIDAS Y SU DEPURACION
EN ZONAS RURALES:
SITUACION ACTUAL Y DESAFIOS

CAPITULO 5

DESINFECCION DE AGUAS SERVIDAS TRATADAS EN ZONAS RURALES

Carolina Baeza¹ y Alfred Rossner²

¹ Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA), Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA-Chile, Universidad de Concepción, Concepción.

² Centro de Biotecnología, Universidad de Concepción, Concepción.

1. INTRODUCCION

Estudios han investigado la eliminación/inactivación de microorganismos patógenos en sistemas descentralizados como los humedales construidos, considerando diferentes variables, tales como condiciones climáticas, tiempo de retención hidráulica, medios granulares y tipo de vegetación. Investigaciones han informado (García et al., 2003; Green et al., 1997; Ottova et al., 1997) que la inactivación de *Escherichia coli* se incrementa al aumentar el tiempo de residencia hidráulico; específicamente, García et al., (2003) observó que, aumentando el tiempo de residencia hidráulico a tiempos mayores de 3 días no resulta en un aumento significativo en la eliminación de microorganismos patógenos. Algunos autores informan que, dependiendo del diseño del humedal construido, esta tecnología puede lograr eficiencias de remoción de 99% y en algunos casos hasta 99,9% (Cirelli et al., 2007; García et al., 2003; Green et al., 1997). Aunque en ciertas condiciones operacionales se logran estos altos valores de eliminación de ciertos microorganismos patógenos, la necesidad de aumentar los niveles de desinfección es imperante, especialmente cuando se quiere implementar sistemas de reuso de agua servida tratada (Verlicchi et al., 2009), por ejemplo para riego.

La desinfección es el proceso de inactivación de organismos patógenos (causante de enfermedad) o para impedir su reproducción. Los organismos patógenos que se encuentran comúnmente en las aguas residuales

domésticas incluyen bacterias, virus, helmintos y quistes de protozoos. El objetivo del proceso de desinfección es proteger al público de enfermedades transmitidas por el agua tales como el cólera, la fiebre tifoidea, la disentería, la hepatitis y la salmonella, entre otras. La desinfección no debe confundirse con la esterilización. La esterilización es la destrucción completa de todos los macro y microorganismos en el agua.

Existen diferentes métodos para desinfectar aguas servidas que incluyen agentes químicos (ejemplo: cloro, cloroamina, ozono, dióxido de cloro, permanganato de potasio, entre otros), agentes físicos (ejemplo: radiación UV) e irradiación (ejemplo: electromagnetismo, rayos gamma).

El ozono es un desinfectante fuerte que logra inactivar a través de la oxidación directa/destrucción de la pared celular con pérdida de constituyentes celulares de los microorganismos. Además del ozono, la descomposición de este en agua genera radicales que, a su vez, también tienen una capacidad desinfectante. La complicación en la operación (se debe generar in-situ) y el tener personal altamente capacitado para operar hace que sea inadecuado para sistemas descentralizados. Para este tipo de sistemas instalados en zonas rurales sólo algunos métodos (cloro y UV) han sido utilizados habitualmente por ser prácticos, simples de operar, seguros, confiables y viables económicamente. Además,



existen desinfectantes que han sido evaluados en la literatura científica y podrían presentar una alternativa para sistemas descentralizados, estos son ácido peracético (agente químico) y desinfección por radiación solar (agente físico) (EPA 2002; EPA 2003; Metcalf y Eddy, 2003).

2. DESINFECCION CON CLORO

El cloro es un agente oxidante fuerte que ha sido utilizado desde 1914, donde se utilizó por primera vez como desinfectante en las ciudades de Altoona, Pensilvania y Milwaukee, Wisconsin, Estados Unidos. El cloro puede ser adicionado al agua como cloro gaseoso (Cl_2), líquido (hipoclorito de sodio, NaOCl) o sólido (hipoclorito de calcio, $\text{Ca}(\text{OCl}_2)$). La utilización de cloro gaseoso es inadecuado para sistemas rurales por ser un oxidante fuerte y altamente corrosivo, lo que representa un peligro de seguridad significativo y es por esto es necesario una infraestructura adecuada y personas capacitadas en su manejo. El hipoclorito de calcio es generalmente utilizado en sistemas rurales descentralizados como sistema de desinfección a través de un dispositivo sencillo de alimentación de tabletas cloradas. El agua a tratar pasa a través del alimentador y luego fluye a un tanque de disolución diseñado considerando el tiempo de contacto y la concentración residual de desinfectante. Por otro lado, los alimentadores de hipoclorito de sodio líquido pueden ser más confiables, pero requieren mayor control (inspección y calibración). Esto es a través de (1) una bomba de dosificación de diafragma, que son dosificadores de presión positiva donde la solución de cloro es presurizada por sobre la presión atmosférica y posteriormente es inyectada

a una tubería o (2) dispositivo Venturi que son dosificadores por succión o presión negativa, donde la solución de cloro es succionada por el vacío creado por el dispositivo Venturi. Además, existen tecnologías para la generación de hipoclorito de sodio in-situ, como la producción por celdas electrolíticas con fuente eléctrica o solar. Estos dispositivos no eran recomendados para sistemas rurales debido a su complejidad y elevado costo, pero esto se ha modificado por el uso de nuevos materiales y mejores eficiencias energéticas (OPS, 2007; EPA, 2003; Metcalf y Eddy, 2003).

Las sales de hipoclorito se hidrolizan para formar ácido hipocloroso (HOCl) según las siguientes reacciones:



La ionización del ácido hipocloroso a ion hipoclorito (OCl^-) se define por:



con una constante de reacción de ionización:

$$K_i = \frac{[\text{H}^+][\text{OCl}^-]}{[\text{HOCl}]} = 2,9 \times 10^8 \text{ mol/L a } 25^\circ\text{C}.$$

El valor de la constante K_i varía con la temperatura disminuyendo con esta (i.e. a 0°C , K_i tiene un valor igual a $1,5 \times 10^9 \text{ mol/L}$).

La ionización del ácido hipocloroso y la distribución de las especies son dependientes del pH como se ilustra en la Figura 1. La Figura 1 indica que en el rango de pH de 6,5 - 8,5 la ionización es incompleta y ambas especies (HOCl y OCl^-) están presentes. Bajo pH 6,5, no hay

AGUA

disociación de HOCl, pero cuando el pH es sobre 8,5, ocurre disociación completa a OCl^- . La especiación del ácido hipocloroso es relevante en la eficiencia de la desinfección, debido a que el efecto germicida del HOCl es mucho mayor que la especie OCl^- (de 40 a 80 veces) (Metcalf y Eddy, 2003).

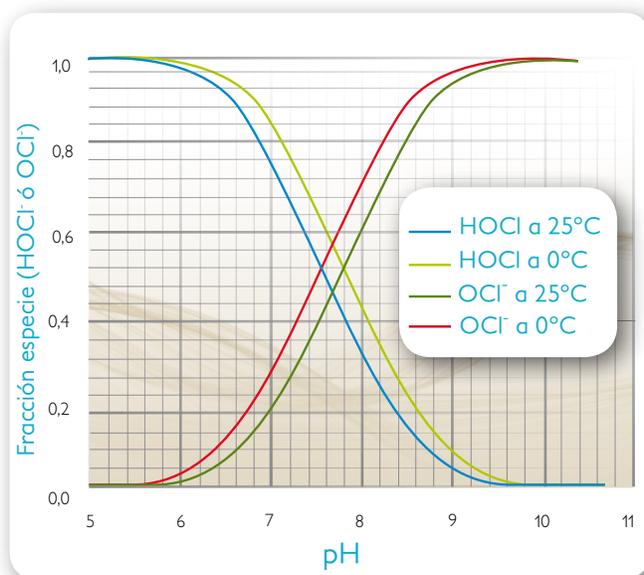


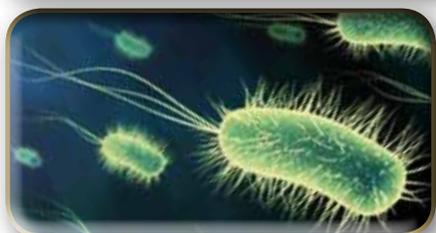
Figura 1. Distribución de la fracción de ácido hipocloroso y de iones hipoclorito en el agua como función del pH a 0 y 25 °C.

El mecanismo de desinfección por cloro incluye reacciones de oxidación, las que pueden alterar las estructuras químicas de las enzimas, precipitación de proteínas, modificación de la permeabilidad de la pared celular, produciéndose hidrólisis y disrupción mecánica. Aunque la desinfección con cloro es completamente efectiva para bacterias, su efectividad es menos segura para inactivar protozoos, específicamente *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium*, además de algunos virus. La Figura 2 muestra que en el proceso de desinfección con cloro no sólo se produce la inactivación de los patógenos, sino que además, proceden reacciones de oxidación con la materia orgánica disuelta en la matriz de agua. Estas reacciones generan compuestos no deseados que se denominan subproductos de desinfección, entre los cuales se destacan con mayor frecuencia y concentración los trihalometanos (THMs) y los ácidos haloacéticos (HAAs). En los THMs se incluyen el cloroformo, bromodiclorometano, dibromoclorometano y bromoformo, mientras los HAAs incluyen ácido monocloroacético, ácido dicloroacético, ácido tricloroacético, ácido monobromoacético y ácido dibromoacético. En adición, existe la formación de otros subproductos de desinfección tales como los haloacetosnitrilos, haloacetos, N-nitrosodimetilamina (NDMA), entre otros. Los subproductos de desinfección han recibido mayor atención en el proceso de potabilización de agua, donde las personas que están expuestas a dosis de trihalometanos totales en exceso a los niveles indicados por la normativa NCh409 podrían experimentar a largo plazo problemas en el hígado, los riñones o en el sistema nervioso central y un mayor riesgo de cáncer. Igualmente, la ingesta de ácidos haloacéticos sobre los niveles indicados por la

normativa NCh409 conlleva a un mayor riesgo de cáncer. Investigación reciente ha sugerido que ciertos subproductos de desinfección nitrogenados (por ejemplo, haloacetnitrilos) y ciertos subproductos de desinfección carbonosos no regulados (por ejemplo, haloacetaldehídos) pueden ser de mayor preocupación para la salud que los regulados (es decir, THMs, HAAs) (Kraßner et al., 2006; Muellner et al., 2007). Por otro lado, los subproductos de desinfección generados en tratamiento de aguas

servidas pueden ser tóxicos para los organismos acuáticos. Watson et al. (2012), observó un aumento de la toxicidad general de los subproductos de desinfección generados en efluentes residuales, usando un ensayo de bioluminiscencia in vitro, concluyendo que los subproductos de desinfección producidos al clorar aguas residuales pueden ser tóxicos y pueden tener un impacto perjudicial sobre los organismos acuáticos que están expuestos a ellos. Adicionalmente, es importante indicar que

RUTA DESEADA EN LA DESINFECCION POR CLORO

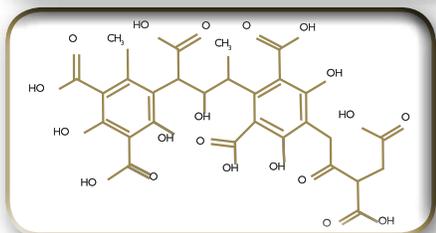


PATOGENOS



DESINFECCION
Inactivación de organismos patógenos
causantes de enfermedades

RUTA INDESEADA EN LA DESINFECCION POR CLORO



PRECURSORES ORGANICOS



PRODUCTOS DE DESINFECCION
Triaholemetanos (THMs)
Acidos haloacéticos (HAA)

Figura 2. Posibles rutas en la utilización de cloro como desinfectante.

AGUA

se ha investigado la formación de subproductos de desinfección en efluentes de humedales construidos. Por ejemplo Díaz et al. (2008) estudió los efectos de un sistema de humedales restaurados en California, en la producción de carbono y nitrógeno orgánico disuelto (COD y NOD, respectivamente) y el potencial de formación de subproductos de la desinfección, observando que los humedales aumentaron en las concentraciones de COD y NOD por un factor de 2,2 y 1,9 veces, respectivamente, aumentando el potencial de formación de todas las especies de subproductos de la desinfección sobre el 100%.

3. DESINFECCION CON LUZ ULTRAVIOLETA (UV)

El espectro electromagnético cubre un rango amplio de energías desde las ondas de radio hasta rayos gamma. La Figura 3 ilustra la región UV que comprende las longitudes de onda entre los 100 a 400 nm. El espectro UV está dividido en UV al vacío (100 – 200 nm), UV – C (200 – 280 nm), UV – B (280 – 315 nm) y UV – A (315 – 400 nm). El rango UV – C es el considerado mayoritariamente germicida, debido a que los rayos con longitud de onda entre 240 – 280 nm son fuertemente absorbidos por los ácidos nucleicos. Por lo que, el mecanismo de desinfección por UV tiene relación mayoritariamente con la inactivación de los ácidos nucleicos en los microorganismos, debido a que el ADN (ácido desoxirribonucleico) y el ARN (ácido ribonucleico) llevan la información genética usada en la reproducción. De tal manera que, dañando estas sustancias se pueden inactivar

efectivamente las células. Es importante puntualizar que la absorción de luz ultravioleta no destruye la integridad de los microorganismos y que los daños causados por la radiación UV pueden ser reparados por el organismo. Esta reparación molecular o reactivación se divide en dos tipos; fotorreactivación y reactivación en oscuridad y se puede llevar a cabo dependiendo del nivel del daño causado por la radiación. La fotorreactivación se lleva a cabo con la enzima denominada fotoliasa que se activa por medio de energía proveniente de la luz visible (300-500 nm) y la reactivación en oscuridad se realiza por una combinación de más de una docena de enzimas activadas por nutrientes de la célula. Se ha determinado que, en teoría, el daño causado por 1 mJ/cm² de radiación UV puede ser reparado por la célula de *E. coli* en sólo 30 min. Esto demuestra que la intensidad de la radiación UV es determinante en la cantidad de inactivación alcanzada en un tratamiento de este tipo. Otros factores que deben tomarse en cuenta para que un organismo tenga la posibilidad de reactivarse son la dosis UV (el efecto se reduce a altas dosis UV), la longitud de onda y tiempo de exposición a luz de reactivación. A diferencia del cloro la desinfección con luz UV es más efectiva en la inactivación de *Giardia lamblia* y *Cryptosporidium*. (Bolton y Cotton, 2008; McClean, 2006; Metcalf y Eddy, 2003; Metcalf y Eddy, 2007).

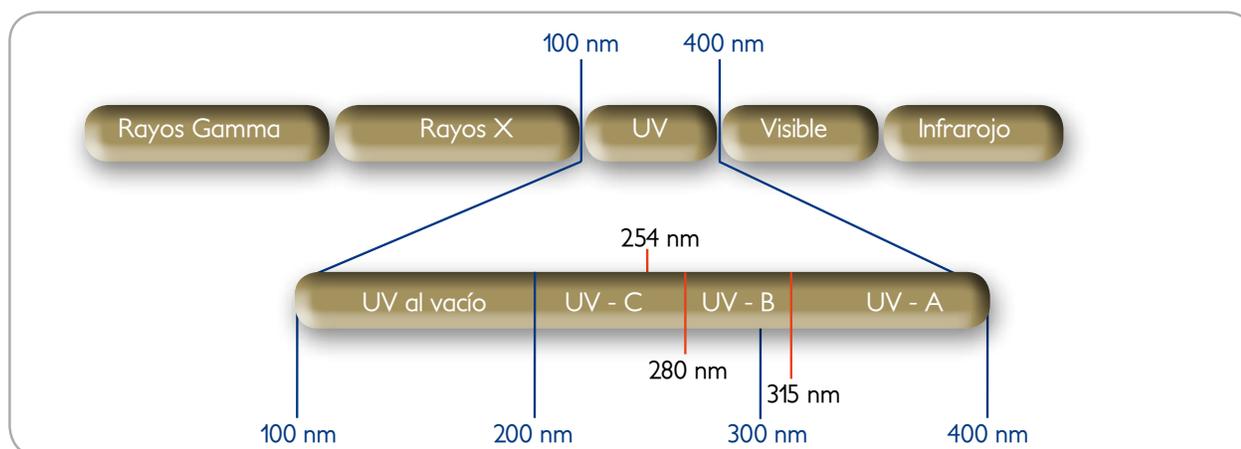


Figura 3. Ubicación de la región de longitud de ondas UV en el espectro electromagnético.

Las lámparas UV se clasifican en lámparas de arco de mercurio de baja o de mediana presión, ambas de intensidad baja o alta. Las lámparas de baja de presión son esencialmente de radiación monocromáticas a una longitud de onda de 253,7 nm, la cual es cercana a la longitud de 260 nm, considerada la más efectiva para la inactivación microbiana. Mientras las lámparas de mediana presión son policromáticas con un 27-44 % de la totalidad de la energía en el rango de longitudes de onda germicida UV-C y operan a temperaturas de 600 – 800° C. Las lámparas de mediana presión son capaces de emitir aproximadamente 50 a 100 veces más que el total de rayos UV-C emitidos por una lámpara de baja presión baja intensidad (Bolton y Cotton, 2008; Metcalf y Eddy, 2003; Metcalf y Eddy, 2007).

Debido a los bajos volúmenes a desinfectar, la necesidad de bajos consumos eléctricos y la necesidad de operaciones simples en los sistemas

descentralizados se utilizan mayoritariamente las lámparas de baja presión y baja intensidad. Los sistemas de desinfección UV consisten en (1) lámparas UV, (2) tubos o mangas de cuarzo en cuyo interior se encuentra instalada la lámpara (3) estructura de soporte de los tubos de cuarzo, (4) los balastos electrónicos (ballasts) para el suministro regular de energía a la lámpara UV y (5) fuente de alimentación eléctrica. Los tubos de cuarzo son utilizados para aislar las lámparas UV del contacto directo con el agua y para controlar la temperatura de la pared de la misma. Según el volumen a tratar (y por ende el número de lámparas necesarias) se opera la dirección del flujo en forma paralela o transversal a la lámpara y existen configuraciones de canales abiertos o sistemas de reactores cerrados. La Figura 4 ilustra un sistema de desinfección UV de reactor cerrado con lámparas en paralelo al flujo instalado en la Planta de tratamiento descentralizada de la localidad de Villa Laja, comuna de Laja.

AGUA



Figura 4. Fotografía de sistema de desinfección UV de reactor cerrado con lámparas en paralelo al flujo. Sistema instalado en la Planta de tratamiento descentralizada de la localidad de Villa Laja, comuna de Laja. Esta planta de tratamiento consiste en un sistema de biodiscos como tratamiento biológico de aguas servidas que recibe el agua servida de aproximadamente 130 casas. Estas lámparas poseen una vida útil de aproximadamente 10.000 horas (Foto tomada en Mayo del 2014).

4. EFECTIVIDAD DE LOS PROCESOS DE DESINFECCIÓN. DOSIS DE DESINFECTANTES

Los factores que influyen la acción y eficiencia de los desinfectantes y que deben ser considerados son:

(a) tiempo de contacto, (b) concentración del desinfectante (c) temperatura (d) tipo de microorganismo y (e) constituyentes del agua servida.

Concepto $C \times t$. El modelo de cinética de desinfección propuesta por Chick and Watson indica que la fracción inactivada es función de la concentración del desinfectante (C) y el tiempo de contacto (t) (donde N es el número de microorganismos activos restantes y N_0 es el número de microorganismos presentes inicialmente).

$$\ln\left(\frac{N}{N_0}\right) = -kC^n t \quad \text{Ecuación (1)}$$

Para la mayoría de los organismos n está en el rango entre 0,8-1,2, por lo cual es posible asumir n igual a 1. Esto indica que los parámetros de tiempo de contacto y concentración son de igual importancia. Por lo tanto, un valor fijo del producto de la concentración por el tiempo ($C \times t$) resulta en un grado fijo de inactivación (a un valor específico de temperatura y pH). En el caso del cloro, los valores de $C \times t$ son función de la temperatura, el pH y la concentración del desinfectante medido a la salida de la cámara de contacto. Esto último es importante, porque en la desinfección química del agua,



el desinfectante residual puede cambiar con el tiempo, y sobre todo cuando está presente nitrógeno orgánico o amonio debido a que al inicio del contacto con el cloro este procede a una rápida transformación desde su forma libre (HOCl/OCl^-) a las formas combinadas (por ejemplo: monoclóramina). Valores de $C \times t$ han sido publicados para variados organismos inactivados por diferentes desinfectantes, incorporando márgenes de seguridad. Una comparación general de la eficacia de diferentes tecnologías de desinfección por clase de organismo se presenta en el Tabla 1 (bacteria, virus y protozoos en efluente secundario filtrado a pH 7 y temperatura 20°C). Análogo al concepto $C \times t$ para la desinfección por cloro, la efectividad de la desinfección UV está basada en la dosis UV en que un organismo está expuesto y se define como:

Ecuación (2)

$$\text{Dosis UV (mJ/cm}^2\text{)} = \text{Intensidad UV}_{\text{promedio}} \times \text{tiempo de exposición}$$

Muchos de los valores $C \times t$ reportados en la literatura se basan en técnicas de análisis antiguas o se basan en estudios con reactores ideales (batch y controlados) para evaluar desinfección en la producción de agua potable. Pero, debido a la diferencia de las características de cada agua a tratar, la evaluación de $C \times t$ específicos para diferentes tipos de agua o para cada caso específico debe llevarse a cabo para establecer rangos de dosificación apropiados.

La Tabla 2 resume el impacto de constituyentes de aguas residuales en el uso de cloro y luz UV. De

lo descrito en la Tabla 2 es importante destacar que la presencia de sólidos suspendidos totales disminuye la efectividad de la desinfección, debido a que los microorganismos pueden cubrirse al encapsularse entre las partículas de material suspendido, evitando así el contacto directo con el agente desinfectante. La presencia de compuestos orgánicos disminuye el cloro disponible para la desinfección ya que reacciona a través de procesos selectivos de oxidación dependiendo de los grupos funcionales de estos compuestos orgánicos. Compuestos que contienen enlaces insaturados y anillos policíclicos que contienen grupos hidroxilos reaccionan rápidamente con cloro y ejercen una demanda de cloro. Por lo tanto, para la desinfección de un agua con alta carga de interferentes orgánicos se requiere cloro adicional y tiempos de contacto más largo. En el caso de la desinfección por UV, la eficiencia está limitada por la transmitancia de los rayos UV. Los contaminantes disueltos impactan la desinfección UV, ya sea directamente a través de la absorción de estos compuestos por rayos UV o mediante el ensuciamiento de las lámparas UV de tal manera que se reduce la intensidad que se aplica al efluente. Adicionalmente, los organismos que están asociados a una partícula pueden estar completamente protegidos de la incidencia de rayos UV (Bolton y Cotton, 2008; EPA, 2003; Metcalf y Eddy, 2003; Metcalf y Eddy, 2007).

La EPA (Environmental Protection Agency, Estados Unidos, 2002) entrega directrices de las dosis de cloro y UV para aplicaciones de tratamiento de aguas servidas en sistemas descentralizados. Para la desinfección con cloro (a través de sistemas de dosificación de hipoclorito de calcio) de un agua servida proveniente de un

AGUA

efluente de estanque séptico se requiere un rango de 35 -50, 40 - 55 y 50 - 65 mg/L de cloro a pH 6, 7 y 8, respectivamente. La aplicación de esta concentración está basada en un tiempo de contacto de 1 hora a una temperatura de 20°C. Este tiempo de contacto se incrementa a 2 horas a una temperatura de 10°C y a 8 horas con una temperatura de 5°C. Cuando el efluente ha sido tratado biológicamente, previo a la desinfección, los valores de concentración de cloro cambian a 15 -30, 20 - 35 y 30 - 45 mg/L a pH 6, 7 y 8, respectivamente. Para el caso de la desinfección con lámparas UV, las directrices indican valores típicos de diseño: dosis UV igual a 20-140 mJ/cm², tiempo de contacto igual a 6 – 40 segundos, efluentes con una transmitancia UV entre 50 – 70 % y una velocidad de 5 – 38 cm/s.

de la lámpara según la vida útil especificada por el fabricante (además las lámparas se deben disponer adecuadamente, ya que generan un residuo peligroso debido al contenido de mercurio presente). A diferencia del cloro la desinfección UV no produce ningún efecto residual que pueda afectar a organismos en general, no se producen subproductos de desinfección ni queda un agente desinfectante residual. Además, al utilizar cloro, será necesario declarar (eliminación de la totalidad del cloro residual presente en el agua después del proceso de desinfección por cloro) después del proceso de desinfección para reducir los efectos tóxicos del cloro de los efluentes descargados a los cursos de agua receptores o si planea reusar esta agua para el riego.

5. OTRAS CONSIDERACIONES

Los sistemas de desinfección de cloro o radiación ultravioleta instalados en zonas rurales serán efectivos mientras se operen en forma correcta y se realicen los procedimientos de mantención adecuados. En el caso de utilizar incorrectamente los dispositivos de cloro, esto puede resultar en una sobredosis de cloro aumentando la producción de subproductos de desinfección, o si el dispositivo está roto u obstruido no se logrará desinfectar por insuficiencia en la concentración de cloro al tiempo de contacto diseñado, generando riesgos microbiológicos. Para los reactores UV también se requiere una mantención de rutina que incluye la limpieza de los tubos de cuarzo donde se alojan las lámparas UV, realizar el seguimiento de la intensidad de los rayos UV y realizar el reemplazo adecuado

Tabla 1. Rango estimado de valores de Cxt necesarios para la inactivación de bacteria, virus y protozoos en efluente secundario filtrado a pH 7 y temperatura 20°C (Metcalf y Eddy, 2003).

		Inactivación*			
Desinfectante	Unidad	1 - Log	2 - Log	3 - Log	4 - Log
Bacteria					
Cloro (libre)	mg•min/L	0,1 - 0,2	0,4 - 0,8	1,5 - 3	10 - 12
Cloramina**	mg•min/L	4 - 6	12 - 20	30 - 75	200 - 250
Ozono	mg•min/L		3 - 4		
Radiación UV***	mJ/cm ²		30 - 60	60 - 80	80 - 100
Virus					
Cloro (libre)	mg•min/L		2,5 - 3,5	4 - 5	6 - 7
Cloramina	mg•min/L		300 - 400	500 - 800	200 - 1200
Ozono	mg•min/L		0,3 - 0,5	0,5 - 0,9	0,6 - 1,0
Radiación UV	mJ/cm ²		20 - 30	50 - 60	70 - 90
Protozoos					
Cloro (libre)	mg•min/L	20 - 30	35 - 45	70 - 80	
Cloramina	mg•min/L	400 - 650	700 - 1000	1100 - 2000	
Ozono	mg•min/L	0,2 - 0,4	0,5 - 0,9	0,7 - 1,4	
Radiación UV	mJ/cm ²	5 - 10	10 - 15	15 - 25	

*Log destrucción / inactivación:

1-Log de inactivación es igual a 90% de inactivación, 2-Log de inactivación es igual a 99% de inactivación, 3-Log de inactivación es igual a 99,9% de inactivación y 4-Log de inactivación es igual a 99,99% de inactivación.

**Desinfectante más débil comparado con HOCl y que resulta de la reacción de HOCl con amonio.

*** 1 mJ/cm² = 1 mWs/cm² = 10 J/m².

AGUA

Tabla 2. Impacto de constituyentes de aguas residuales en el uso de cloro y UV (EPA, 2003; Metcalf y Eddy, 2003).

Efectos en la desinfección de aguas servidas		
Constituyentes	Cloro	Radiación UV
Presencia de compuestos orgánicos	Puede ejercer una demanda de cloro, formación de compuestos orgánicos clorados	Los materiales húmicos son fuertes adsorbedores de la radiación UV, disminuyendo la transmitancia
Aceites y Grasas	Puede ejercer una demanda de cloro	Se puede acumular en las fundas de cuarzo de las lámparas UV, puede absorber la radiación UV
Sólidos suspendidos	Protección de bacterias asociadas a sólidos y ejerce demanda de cloro	Absorción de radiación UV, puede encubrir bacterias
Alcalinidad	Ningún o mínimo efecto	Puede formar precipitados de carbonato en los tubos de cuarzo, también afecta la solubilidad de los metales que pueden absorber la luz UV
Dureza	Ningún o mínimo efecto	El calcio y magnesio y otras sales pueden formar depósitos minerales en los tubos de cuarzo, especialmente a temperaturas elevadas
Amonio	Se combina con cloro para formar cloroaminas	Ningún o mínimo efecto. Sólo a altas concentraciones puede absorber los rayos UV la luz y reducir transmitancia
Nitrito	Oxidado por cloro, reduce la efectividad del cloro y formación de N-nitrosodimetilamina (NDMA). El NDMA es un posible cancerígeno	Ningún o mínimo efecto. Sólo a altas concentraciones puede absorber los rayos UV la luz y reducir transmitancia
Nitrato	La nitrificación completa puede conducir a la formación de NDMA debido a la presencia de cloro libre. Nitrificación parcial puede ocasionar dificultades estableciendo la dosis adecuada de cloro.	Ningún o mínimo efecto
Fierro	Oxidado por cloro, es decir demanda cloro	Fuerte adsorción de la radiación UV, puede precipitar en tubos de cuarzo, puede adsorber sobre sólidos en suspensión y encubrir bacterias por adsorción
Manganeso	Oxidado por cloro, es decir demanda cloro	Absorbedor fuerte de radiación UV
pH	Afecta la distribución de especies de ácido hipocloroso y ion hipoclorito	Puede afectar la solubilidad de los metales y carbonatos



6. REFERENCIAS

- Bolton, J.R. y Cotton, C.A. (2008). *The Ultraviolet Disinfection Handbook*. (1a. ed.), Denver: American Water Works Association.
- Cirelli, G.L., Consoli, S., Di Grande, V., Milani, M. y Toscano, A. (2007). Subsurface constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in agriculture: five years of experiences in Sicily, Italy. *Water Science and Technology* 56 (3), 183-191.
- Diaz, F.J., Chow, A.T., O'Geen, A.T., Dahlgren, R.A. y Wong, P.K. (2008). Restored wetlands as a source of disinfection byproduct precursors. *Environmental Science & Technology* 42(16), 5992-5997.
- Garcia, J., Vivar, J., Aromir, M. y Mujeriego, R. (2003). Role of hydraulic retention time and granular medium in microbial removal in tertiary treatment reed beds. *Water Research* 37(11), 2645-2653.
- Green, M.B., Griffin, P., Seabridge, J.K. y Dhoobie, D. (1997). Removal of bacteria in subsurface flow wetlands. *Water Science and Technology* 35(5), 109-116.
- Krasner, S.W., Weinberg, H.S., Richardson, S.D., Pastor, S.J., Chinn, R., Scrimanti, M.J., Onstad, G.D. y Thurston, A.D. (2006). Occurrence of a new generation of disinfection byproducts. *Environmental Science & Technology* 40(23), 7175-7185.
- McClean, J. (2006). Comparación de Mecanismos de Reparación Microbiana con Lámparas UV de Baja y Mediana Presión. *Agua Latinoamérica*. 6(4), 12 – 14.
- Muellner, M.G., Wagner, E.D., McCalla, K., Richardson, S.D., Woo, Y.T. y Plewa, M.J. (2007). Haloacetonitriles vs. regulated haloacetic acids: Are nitrogen-containing DBPs more toxic? *Environmental Science & Technology* 41(2), 645-651.
- Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2007). *Guía para la selección de sistema de desinfección*. Lima: OPS.
- Ottova, V., Balcarova, J. y Vymazal, J. (1997). Microbial characteristics of constructed wetlands. *Water Science and Technology* 35(5), 117-123.
- Verlicchi, P., Galletti, A. y Masotti, L. (2009). A promising practice to reclaim treated wastewater for reuse: Chemical disinfection followed by natural systems. *Desalination* 247(1-3), 490-508.
- Watson, K., Shaw, G., Leusch, F.D.L. y Knight, N.L. (2012). Chlorine disinfection by-products in wastewater effluent: Bioassay-based assessment of toxicological impact. *Water Research* 46(18), 6069-6083.
- Metcalf y Eddy (2007). *Water Reuse, Issues, Technologies, and Applications*. (1a ed.) New York: McGraw-Hill.
- Metcalf y Eddy (2003). *Wastewater Engineering Treatment and Reuse*. (4a ed), New York: McGraw-Hill.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2002). *Onsite wastewater treatment systems manual*. Washington: US EPA.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2003). *Wastewater Technology Fact Sheet: Disinfection for Small Systems*. Washington: US EPA.

AGUA

AGUA

LAS AGUAS SERVIDAS Y SU DEPURACION
EN ZONAS RURALES:
SITUACION ACTUAL Y DESAFIOS



CAPITULO 6

TECNOLOGIAS DE TRATAMIENTO PARA AGUAS SERVIDAS DE ORIGEN RURAL

Francisca Araya¹, Leonerdo Vera², Gabriela Morales¹, Daniela López¹ y Gladys Vidal¹

¹ Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental (GIBA), Facultad de Ciencias Ambientales y Centro EULA-Chile, Universidad de Concepción, Concepción.

² Centro de Investigación y Desarrollo en Recursos Hídricos (CIDERH), Universidad Arturo Prat, Iquique.

1. INTRODUCCION

El tratamiento del agua servida presenta tres partes principales: a) recolección, b) tratamiento y c) restitución en los sistemas acuáticos receptores (ríos, lagos, lagunas, acuíferos, mar) (Massoud et al., 2009). De las tres partes, el tratamiento representa la parte principal donde se remueven las sustancias contaminantes del agua servida. El proceso de tratamiento se realiza en una instalación física denominada Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS). La eliminación de sustancias contaminantes en las PTAS es realizada por etapas, las que comúnmente se denominan: a) tratamiento primario, b) tratamiento secundario, y c) tratamiento terciario. Cada etapa de tratamiento presenta un objetivo específico. El tratamiento primario se encarga de la eliminación de

sólidos gruesos y de partículas sedimentables. Por su parte, el tratamiento secundario se encarga de la eliminación de compuestos solubles presentes en el agua servida, siendo principalmente aplicada para la eliminación de la materia orgánica. Finalmente, el tratamiento terciario se ocupa también de la eliminación de compuestos solubles, pero busca la eliminación de sustancias particulares, siendo aplicado principalmente para la eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y organismos patógenos. En este sentido, la Figura 1 presenta el esquema general de tratamiento, junto con las etapas y objetivos a tenerse en una PTAS. De otro lado, la Tabla 1 resume de manera global rangos de eliminación de algunos parámetros de calidad de agua.

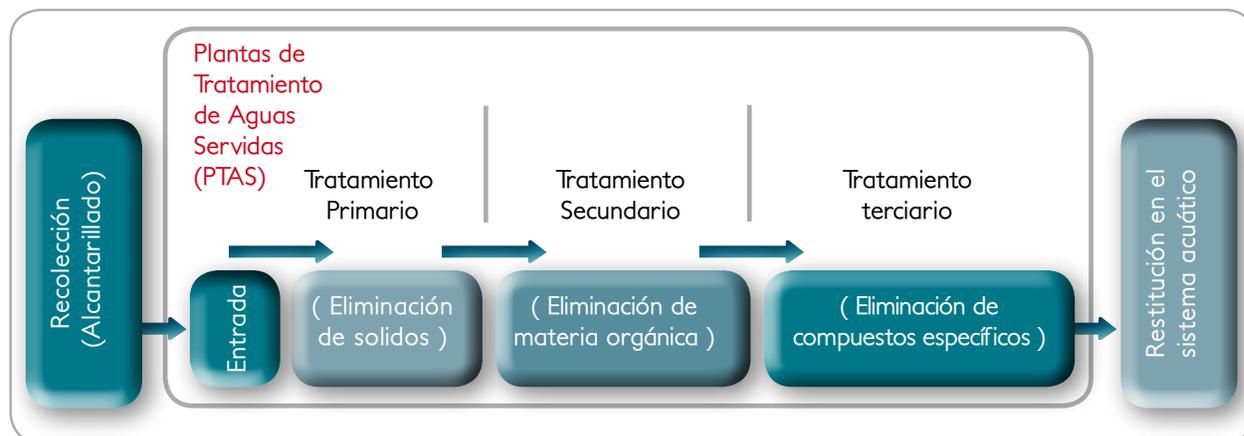


Figura 1. Esquema general de tratamiento de aguas servidas.

Tabla 1. Eficiencias típicas de eliminación (%) por etapa de tratamiento para algunos parámetros comúnmente empleados en la evaluación de la calidad de las aguas servidas.

Parámetro	Primario	Secundario	Terciario
DBO ₅ *	25-40	80-95	95-98
Sólidos Suspendidos	40-70	80-90	50-75
<i>E. coli</i>	5-15	90-98	98-99

* Demanda biológica de oxígeno

Fuente: Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla (CENTA), 2007

Cada etapa de tratamiento implica el uso de alternativas tecnológicas. En el caso de las alternativas tecnológicas aplicadas en las diferentes etapas de tratamiento de una PTAS, emplazada para tratar las aguas servidas generadas en un sector rural, existen una serie de consideraciones necesarias a tener en cuenta:

- a) usar tecnología de la menor complejidad posible.
- b) requerir el mínimo mantenimiento en equipos (por la dificultad de acceso a algunos sectores rurales y también por la distancia respecto a centros urbanos).
- c) reducir al máximo la producción de residuos derivados del tratamiento (por el costo de transporte a sitios de disposición adecuados).
- d) emplear diferentes fuentes de energía (recomendable el uso de energías renovables).
- e) realizar manuales de operación sencillos (por la poca o nula experiencia de los operadores y usuarios finales).

- f) poner en marcha y capacitar en la etapa inicial a los operadores del sistema.
- g) intentar emplear tecnología que permita recuperar recursos del sistema de tratamiento.
- h) causar el mínimo impacto visual del sector de emplazamiento, tratando de integrar la tecnología al paisaje circundante.

Estas recomendaciones están enfocadas en garantizar el éxito en la instalación, y además garantizar en el tiempo la sostenibilidad económica, ambiental y social de la PTAS emplazada en un sector rural. Al respecto, la Figura 2 presenta alternativas tecnológicas que han sido aplicadas para el tratamiento de aguas servidas generadas en poblaciones rurales. A nivel internacional se ha recomendado principalmente como tratamiento secundario el uso de tecnologías de la menor complejidad posible como por ejemplo las tecnologías no convencionales.

AGUA

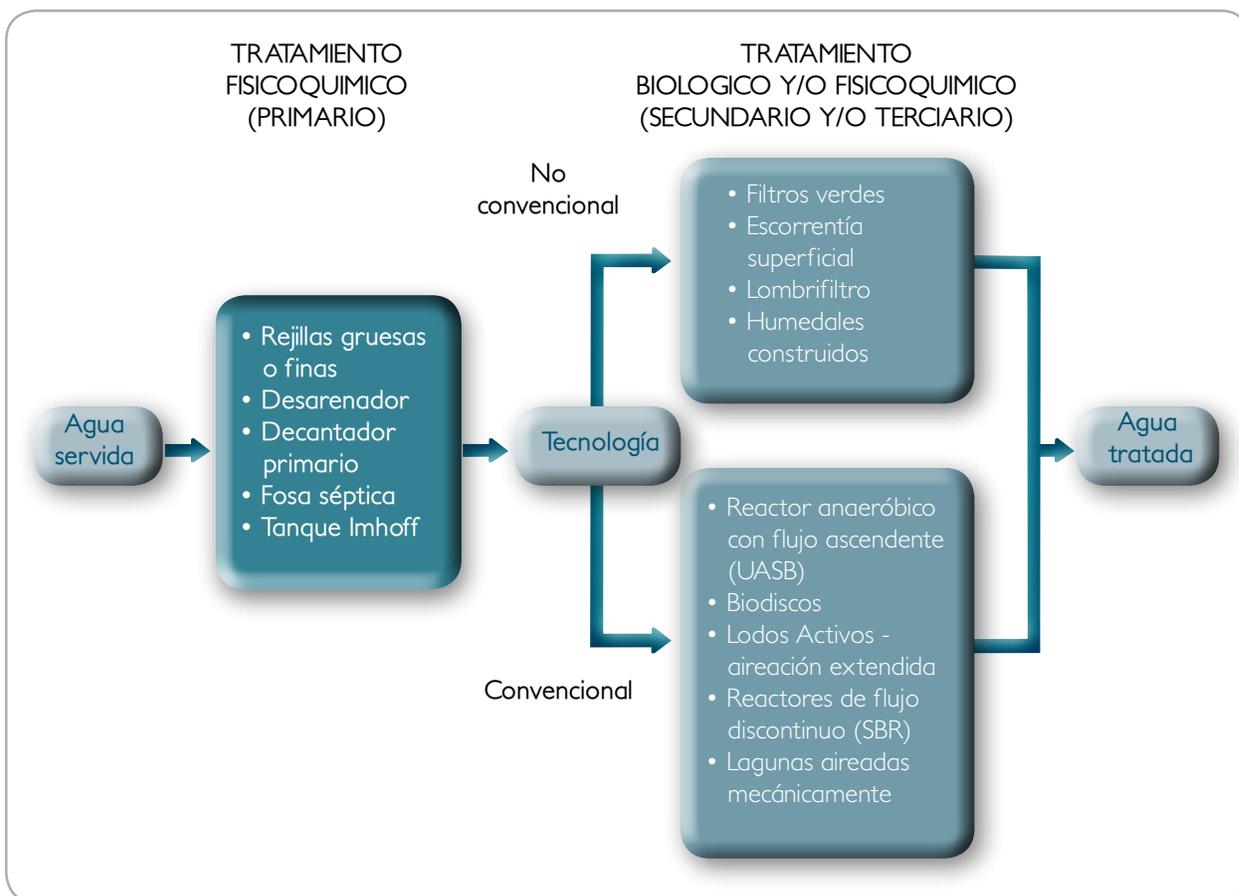


Figura 2. Tecnologías de tratamiento aplicadas en una secuencia de tratamiento de aguas servidas en el sector rural. (Adaptado de Vera, 2012).

Para Chile, la Figura 3 muestra la proporción de las principales tecnologías que han sido aplicadas en el tratamiento secundario en cerca de 550 PTAS que tratan las aguas servidas de los sectores rurales. De las aproximadamente 10 tecnologías empleadas (en la clasificación otro se incluyen: humedales construidos, lagunas de estabilización y lagunas aireadas mecánicamente), la de mayor proporción con más del

70% de participación corresponde a lodos activados, en la modalidad aireación extendida y reactores de flujo secuencial (también conocidos como SBR, del inglés "Sequencing Batch Reactor"). Esto en contraposición con la recomendación internacional de usar tecnologías de menor complejidad. De acuerdo a Rodríguez (2012), en una evaluación realizada en PTAS del sector rural emplazadas en las Regiones IV, V, VI y Metropolitana,

se concluye que la mayoría de ellas funciona de manera inadecuada desde el punto de vista de la sostenibilidad económica y de cumplimiento de normativa vigente. Además, plantean la necesidad de implementar nuevas alternativas a la tecnología mayormente empleada en el sector rural como son los lodos activados.

Teniendo en cuanto lo anterior, el objetivo del presente capítulo es describir a modo orientativo las diferentes tecnologías empleadas en PTAS aplicadas en el tratamiento de aguas servidas generadas en poblaciones rurales.

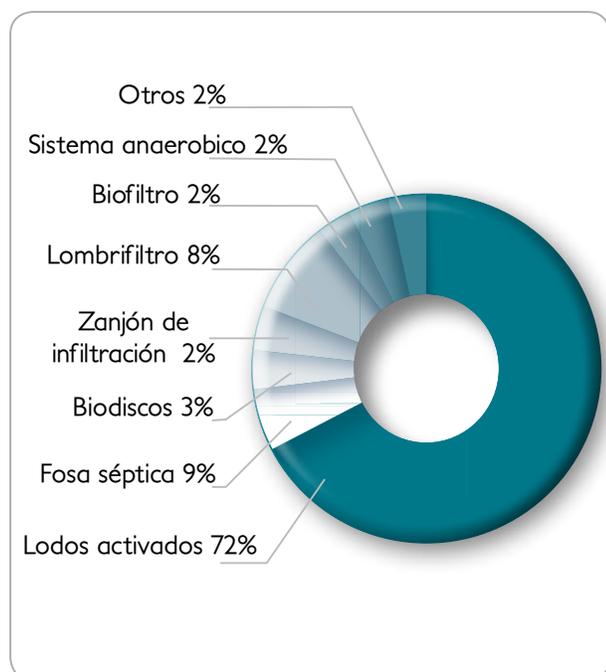


Figura 3. Participación porcentual de tecnologías empleadas como tratamiento secundario en PTAS del sector rural en Chile. Fuente: SUBDERE, 2012.

2. TRATAMIENTOS PRIMARIOS DE AGUAS SERVIDAS

1.1 Consideraciones generales

A continuación se describe de forma resumida cada uno de los procesos que integran el tratamiento primario. Estos son: desbaste, desarenado, sedimentación y flotación.

Desbaste. Es el primer paso necesario en una PTAS. El objetivo de este tratamiento es la eliminación de sólidos de tamaño mayores, para prevenir interferencias con tratamientos posteriores y como protección de los equipos. La separación de sólidos se logra por medios netamente físicos, empleando rejías, cribas o tamices.



Figura 4 Alternativas de desbaste. a) Tamiz rotatorio, b) Rejilla manual. Fotos cortesía de Leonardo Vera.

Desarenado. Este proceso está orientado a la separación de partículas sólidas pequeñas de alta densidad, básicamente material de origen inorgánico como la arena, lo que es de suma importancia para evitar daños por abrasión en tuberías, bombas y

AGUA

reactores. La eliminación ocurre por sedimentación (o decantación), simplemente por disminución de la velocidad de flujo de la corriente líquida. Normalmente se opera a velocidades del orden de 0,3 m/s, para separar arena con un diámetro superior a 0,2 mm.



Figura 5. Desarenador con limpieza mecánica. PTAS Los Ángeles (Chile). Foto: Cortesía Leonardo Vera.

Sedimentación. Es una de las técnicas más utilizadas para la eliminación de partículas en suspensión menores a 1 mm y su funcionamiento está basado en la ley de gravedad. A veces es necesario el acondicionamiento previo de las partículas para mejorar su separación, lo que se logra mediante un proceso de floculación y/o coagulación por adición de productos químicos. La decantación puede ocurrir de acuerdo a los siguientes 4 mecanismos: a) sedimentación de partículas discretas, b) sedimentación de partículas floculantes, c) sedimentación por zona y d) sedimentación por compresión.



Flotación. La flotación está basada en el mismo principio físico de la sedimentación, pero en este caso las partículas en suspensión se localizan en la parte superior del agua. Se puede realizar por disminución de la velocidad de la corriente de agua, o por el uso de aireación. En el caso de emplear aireación, las partículas en suspensión son arrastradas por burbujas de aire hacia la superficie del agua. Este proceso se emplea en los casos en que las densidades de las partículas y de la fase líquida son similares o para el caso de partículas muy pequeñas, por ejemplo fibras vegetales muy finas o gotas de aceite. El objetivo del sistema es la generación de una alta densidad de burbujas de aire de tamaño muy pequeño, para lo cual se ha desarrollado los siguientes tipos de procesos empleados a nivel industrial:

- a) flotación por aire disperso
- b) flotación por aire disuelto
- c) flotación por vacío
- d) flotación por cavitación.



Figura 7 . Eliminación de sustancias flotantes del agua servida.

Foto: Cortesía Leonardo Vera.

En general, los procesos primarios remueven de las aguas servidas hasta un 70% de los sólidos suspendidos, siendo común un valor inferior a 60%. Además, esta eliminación de sólidos también contribuye a la eliminación de la DBO_5 en una proporción inferior al 40%.

2. TRATAMIENTOS SECUNDARIOS DE AGUAS SERVIDAS

2.1 Consideraciones generales

El tratamiento secundario es el encargado de eliminar la materia orgánica biodegradable, coloidal y disuelta, por procesos biológicos tanto aeróbicos como anaeróbicos, para transformarla a gas y biomasa. Este proceso utiliza una población mixta de microorganismos que emplea la materia orgánica como fuente de carbono y nutrientes contenidos en el agua servida y que contaminan el agua. Este mecanismo es el empleado por las corrientes de

aguas naturales, como los lagos y los ríos, cuando se auto purifican. Las aguas servidas que contienen compuestos contaminantes se ponen en contacto con una densa población de microorganismos apropiados, durante un tiempo suficiente que les permita a los microorganismos descomponer y eliminar, según se desee, los compuestos contaminantes. En los procesos naturales, los compuestos se eliminan principalmente por descomposición, por lo general oxidación, por metabolismo microbiano y conversión en materias microbianas celulares. Los procesos intensificados en gran escala poseen un mecanismo adicional de eliminación, por medio del cual los contaminantes se absorben y aglomeran con las densas masas microbianas que se utilizan.

Existen diversas tecnologías aplicadas al tratamiento secundario de aguas servidas. Estas tecnologías poseen características biológicas y de procesamiento diferente, lo que lleva a que sean clasificadas en: a) convencional, y b) no convencional.

Las tecnologías convencionales están diseñadas para depurar las aguas servidas mediante procesos como sedimentación, filtración, adsorción, precipitación química, intercambio iónico, degradación biológica, entre otras, los que transcurren de forma secuencial en tanques y reactores, y a velocidades aceleradas gracias al aporte de energía. Por tanto, son consideradas como una solución intensiva desde el punto de vista de la energía, y de la poca superficie necesaria para su implementación.

Por el otro lado, en las tecnologías no convencionales se presentan los mismos procesos que en las tecnologías convencionales, los que se complementan con procesos propios de la naturaleza (fotosíntesis, fotooxidación, asimilación por parte de las plantas, etc.). Sin embargo, la diferencia con las tecnologías convencionales, radica en

AGUA

que los procesos de depuración ocurren a una velocidad “natural” (sin aporte de energía), desarrollándose todos ellos de forma combinada en un único “reactor-sistema” (García et al, 2006).

2.2 Tecnologías Convencionales

Fosa séptica

La fosa séptica es un sistema sencillo de tratamiento de las aguas servidas cuyo objetivo principal es la eliminación de los sólidos presentes en el agua.

Esta tecnología se consideraba un sistema de tratamiento primario, pero en la actualidad es utilizado en gran parte de las poblaciones rurales como sistema único de tratamiento. Según Huertas y Marcos (2012), es considerado como tratamiento único en poblaciones menores de 250 habitantes (hab) y como etapa previa en poblaciones menores de 1.000 hab.

Condiciones de operación

En una fosa séptica se separan por un lado los sólidos flotantes que hay en la superficie, incluidos aceites y grasas, y por otro lado, los sólidos sedimentables que se acumulan en el fondo. Un esquema simplificado de una fosa séptica puede observarse en la Figura 8.

La fracción orgánica de los sólidos que se acumulan en el fondo de las fosas experimenta reacciones de degradación anaerobia, licuándose, reduciendo su volumen (hasta en un 40%) y desprendiendo biogás, mezcla de metano y dióxido de carbono, principalmente, y en mucha menor cuantía de compuestos del azufre (ácido sulfhídrico, mercaptanos, etc.).

Las fosas sépticas tienen capacidad de eliminar entre 50 y 70% de sólidos suspendidos, y entre 30 y 50% de la materia orgánica, (Romero, 2004; CENTA, 2007).

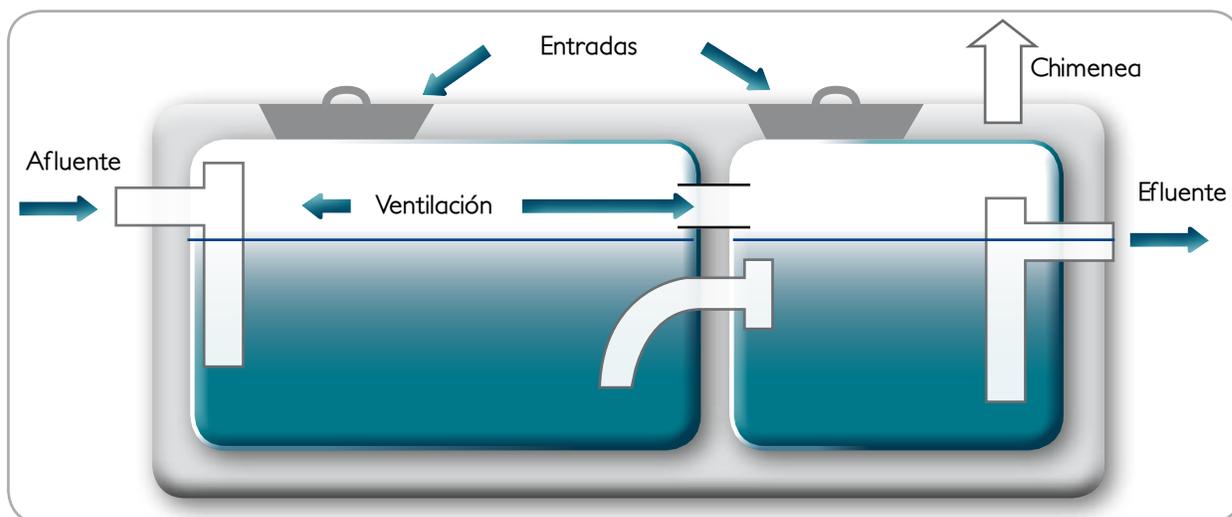


Figura 8. Esquema general de una fosa séptica.

Ventajas

- Bajos costes de explotación y mantenimiento.
- Fácil y rápida instalación en el caso de las unidades prefabricadas.
- Nulo impacto visual al disponerse las fosas enterradas.
- Consumo energético nulo.

Desventajas

- Riesgo de contaminación de las aguas subterráneas en caso de construcción deficiente.
- Bajos rendimientos en reducción de carga orgánica y abatimiento de patógenos, por lo que se precisan tratamientos secundarios.
- Generación de malos olores si no se mantienen adecuadamente.

Reactor anaeróbico con flujo ascendente

Esta tecnología anaeróbica (se realiza en ausencia de oxígeno) conocida también como UASB (del inglés "Upflow Anaerobic Sludge Blanket"). Consiste básicamente de un tanque a través del cual ingresa el agua servida en la parte inferior, y luego por la circulación se eleva a través de lecho de lodo anaeróbico, que es retirado por separadores en la parte superior, permitiendo la descarga de un efluente clarificado y la generación de biogás como subproducto, tal como se observa en la Figura 9.

Condiciones de operación

Esta tecnología es la más común dentro de los reactores anaeróbicos (van Haandel y Lettinga, 1994) y requiere aproximadamente un área de 0,1 m²/hab (Álvarez et al., 2008).

La concentración de sólidos dentro del reactor en la zona más difusa, es decir, en la parte superior es de 5 a 40 g/L. En la parte inferior del reactor, la concentración de sólidos puede variar de 50 a 100 g/L (Metcalf y Eddy, 2003).

Estos sistemas pueden alcanzar remociones de hasta un 90% de DQO con cargas orgánicas en el rango de los 12 a 20 kg DQO/m³·d y con temperaturas entre 30-35°C (Metcalf y Eddy, 2003).

Dado que estos sistemas tienen velocidades altas de sedimentación (20 a 80 m/h) grandes cantidades de biomasa pueden acumularse en la parte inferior y de esta manera, soporta cargas de hasta 5 gDQO/gSSV·d con tiempos de de retención hidráulica (TRH), menores de 4 horas (Kalyuzhnyi et al., 2006).

Para mantener el lodo en suspensión es necesario tener velocidades de flujo ascendente en el rango de 0,8-1 m/h (Metcalf y Eddy, 2003).

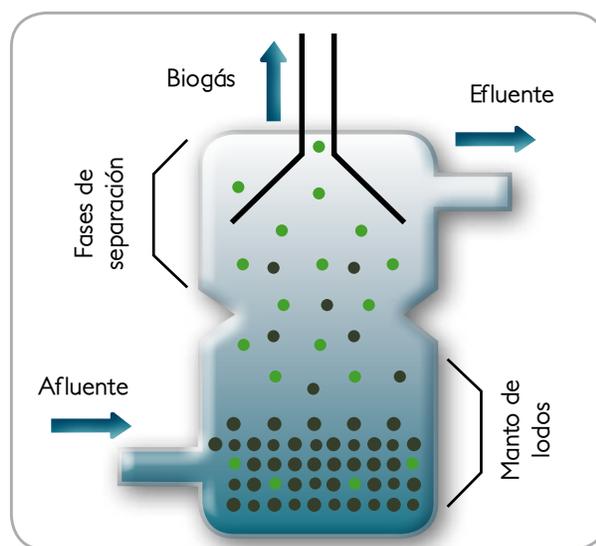


Figura 9. Esquema general de un reactor UASB.

AGUA

Ventajas

- Alta reducción de la materia orgánica.
- Puede soportar un elevado índice de carga orgánica (hasta 10 kg de $\text{DBO}_5/\text{m}^3\cdot\text{d}$) y de carga hidráulica.
- Baja producción de lodos.
- Generación de biogás como subproducto, el que puede ser utilizado como fuente de energía (pero primero es necesario limpiarlo).

Desventajas

- Es difícil mantener las condiciones hidráulicas adecuadas (se debe equilibrar el flujo ascendente y el índice de sedimentación).
- Tiempo de arranque prolongado.
- El tratamiento puede ser inestable con cargas hidráulicas y orgánica variables.
- Se requiere una fuente constante de electricidad.
- No todas las piezas y materiales pueden estar disponibles localmente.
- Es necesario que expertos se encarguen del diseño y la supervisión de la construcción.

Biodiscos

Los biodiscos o también conocidos como contactores biológicos rotatorios (CBR) son sistemas donde la depuración del agua, al igual que en el caso de los filtros biológicos, es producida por una biopelícula adherida a un material de soporte inerte.

Estos consisten en una serie de discos, situados sobre un eje a corta distancia unos de otros. Los microorganismos se adhieren sobre la superficie de los discos hasta formar una película biológica (o biofilm) sobre la superficie mojada de los mismos.

Condiciones de operación

Existen variados tipos de configuraciones de CBR. El más usual está conformado por un conjunto de discos no muy separados, de material biocompatible, usualmente de poliestireno o polietileno, con diámetros comprendidos entre 3 y 4 m montados en un eje horizontal de aproximadamente 7,5 m de longitud, que gira a baja velocidad (1 a 2 revoluciones por minuto (rpm)), dentro de un tanque cilíndrico al que es alimentada el agua residual por un extremo, saliendo tratada por el extremo opuesto y siendo, eventualmente reciclada. Los discos están sumergidos en el agua hasta alrededor de un 40% de su área y al girar, su superficie es bañada y luego la película formada en torno a la biopelícula es oxigenada al entrar en contacto con el aire. (Ramalho, 1993). Un esquema simplificado del proceso se observa en la Figura 10.

Estos sistemas están diseñados para poblaciones de entre 500 y 2.000 hab, y la superficie necesaria está entre los 0,3 y 0,7 m^2/hab (Huertas y Marcos, 2012). La carga orgánica que soportan estos sistemas varía en el rango de 20 a 30 $\text{gDBO}_5/\text{m}^2\cdot\text{d}$ (Metcalf y Eddy, 2003).

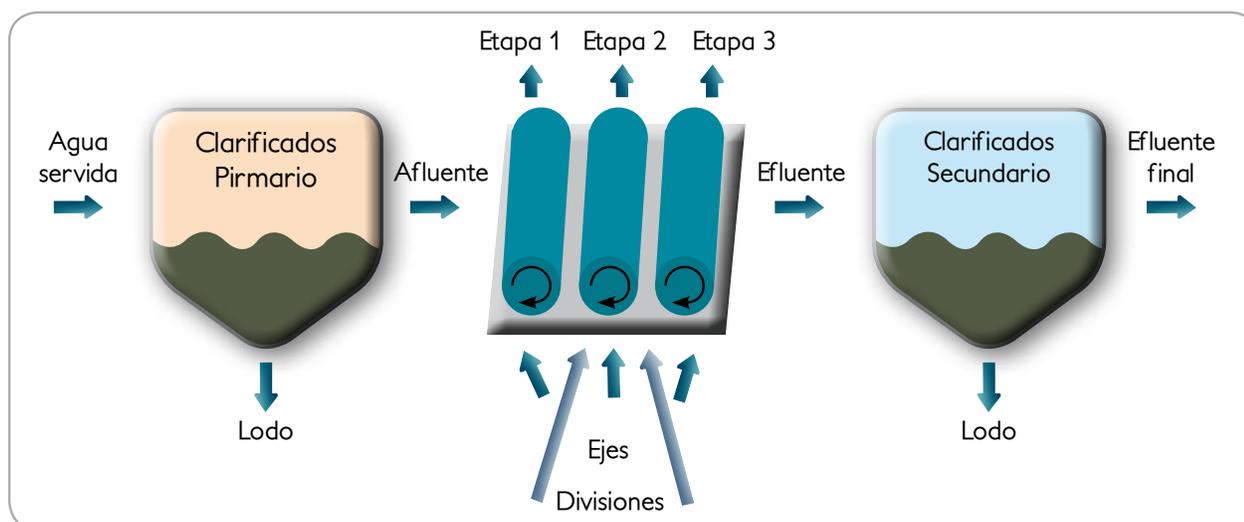


Figura 10. Esquema simplificado de un sistema de biodiscos.

Ventajas

- Bajo consumo de energía y mantenimiento más sencillo.
- Poseen alta estabilidad en casos de variaciones súbitas de caudal o cargas orgánicas.
- Bajo nivel de ruido por la baja potencia instalada.
- Baja producción de lodos debido al uso de cultivo fijo.

Desventajas

- Se requiere tratamiento primario.
- Pueden presentarse problemas en el mantenimiento si existen problemas en los ejes.
- Cada cierto tiempo se produce desprendimiento del biofilm, lo cual paraliza el proceso hasta que se produzca la recolonización.
- Tendencia a generar olores, especialmente en determinadas épocas del año.
- Es necesario contar con una fuente de energía permanente para hacer rotar los discos.



Figura 11. Sistema de Biodiscos PTAS Villa Laja.

AGUA

Lodos activados-aireación extendida

La tecnología de lodos activados, es una de las más utilizadas a nivel mundial para el tratamiento de las aguas servidas en poblaciones urbanas. El proceso se basa en que las aguas servidas se pongan en contacto con una población microorganismos, en un sistema aireado y agitado (Vera et al., 2013).

De manera general, un sistema de lodos activados se compone de dos partes, un tanque de aireación y uno de sedimentación o clarificador, tal como se observa en la Figura 12. En el tanque de aireación, las aguas servidas ingresan y se mezclan con los microorganismos en presencia de aire, durante algunas horas. Esto permite que las bacterias y otros microorganismos, los que corresponden al "lodo", descompongan la materia orgánica presente en las aguas servidas. Una vez producida la degradación, el "lodo", pasa al tanque de sedimentación, donde decanta separándose del agua servida tratada. De esta manera, se obtiene por un lado, agua tratada y por otro, una corriente de lodos, de la cual, una fracción es recirculada al tanque de aireación y otra es eliminada del sistema (Metcalf y Eddy, 2003).

Condiciones de operación

En términos de diseño, la tecnología de lodos activados utiliza entre 0,2 y 0,3 m²/hab, siendo recomendada para zonas de alta densidad poblacional (con más de 15.000 hab) (Metcalf y Eddy, 2003; Fundación Chile, 2014). Por otro lado, los requerimientos energéticos, están asociados fundamentalmente a la necesidad de aireación, lo que se refleja en consumos de energía 20–35 kWh/hab·año (Vera et al., 2013) para poblaciones urbanas.

Operacionalmente, para que el proceso funcione de manera adecuada es necesario considerar parámetros clave como, la cantidad de materia orgánica que ingresa al sistema que está en el rango de 0,1 a 0,3 kg DBO₅/m³·d), el tiempo que el agua servida permanece en el tanque de aireación, que debe ser suficiente para permitir el contacto entre la materia orgánica y los microorganismos (12 a 36 horas) y la cantidad de lodo (microorganismos) que hay en el tanque de aireación y que está determinada por la recirculación. Estos sistemas operados en las condiciones anteriormente mencionadas pueden alcanzar eficiencia de eliminación de materia orgánica de alrededor de 93 - 98% en términos de DBO₅ (Vera et al., 2013).

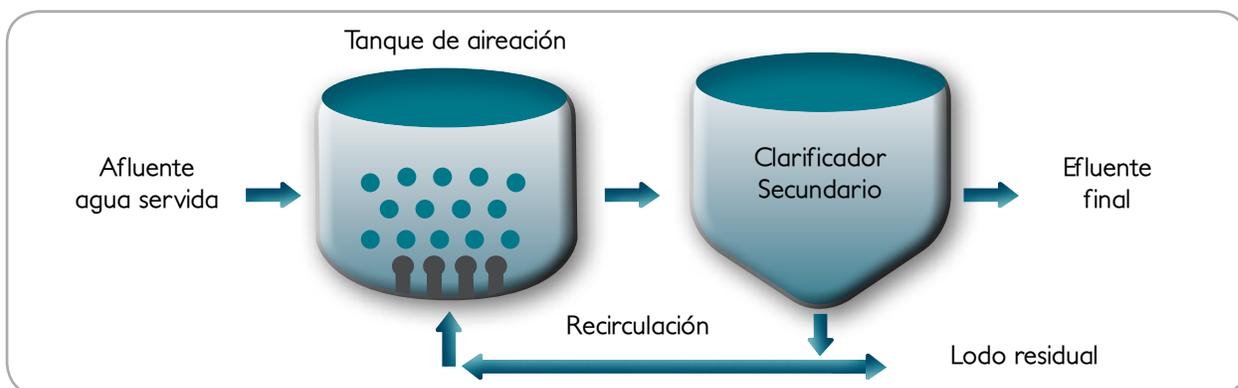


Figura 12. Esquema simplificado de un sistema de lodos activados.

AGUA

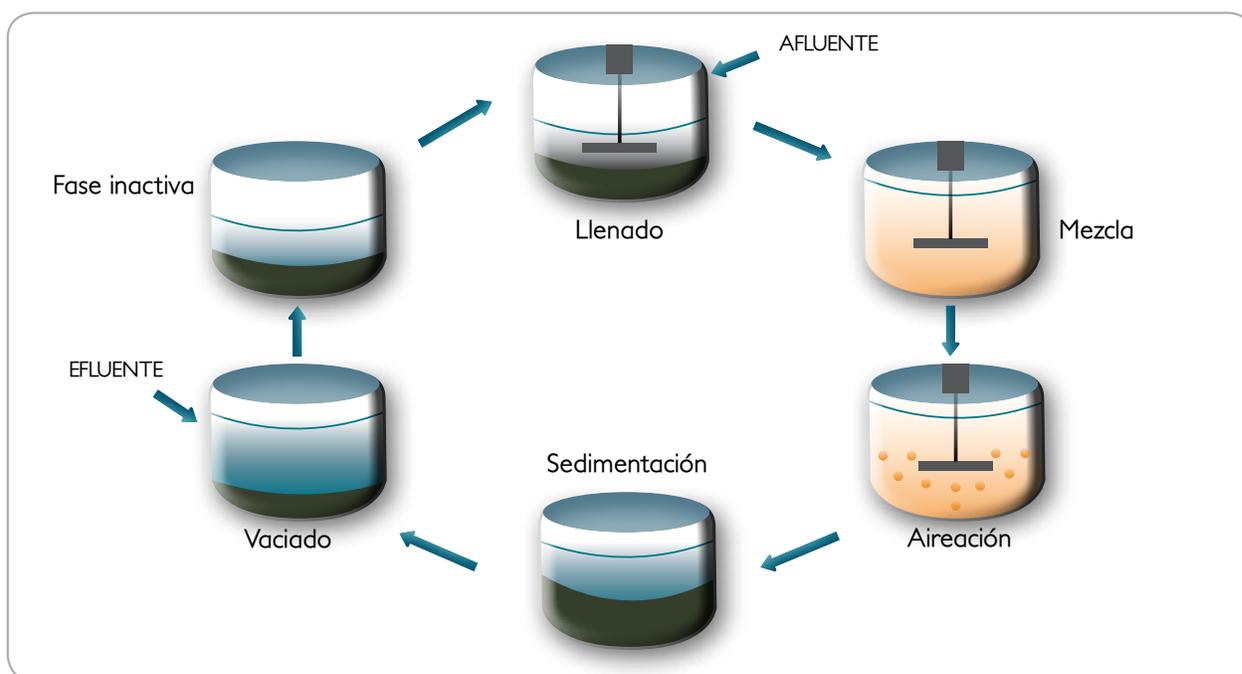


Figura 14. Esquema simplificado de un SBR.

Condiciones de operación

Los tiempos de retención y las cargas varían con cada reactor y dependen en gran medida de la carga de agua residual específica. Generalmente, un sistema SBR trabaja con un tiempo de retención hidráulico de 4 a 12 h y con cargas de materia orgánica de 0,10 a 0,30 kg DBO₅/m³·d (Vera et al., 2013). La concentración de sólidos en suspensión del licor mezcla (SSLM) se suele mantener entre 1.500 y 5.000 mg/L. El control general del proceso puede ser llevado a cabo automáticamente utilizando sensores o temporizadores.

Estos sistemas están diseñados para núcleos de 500 a 2.000 hab (Huertas y Marcos, 2012) y se necesita un espacio de 0,89 m²/hab (Vera et al., 2013).

Se ha estimado que los SBR permiten bajar hasta un 60% del costo de operación respecto de los procesos de lodos activados (Singh y Srivastava, 2011). El ahorro de energía es debido por un lado, al realizarse el proceso de tratamiento y decantación en un tanque único, se evita el bombeo por recirculación del lodo, y por el otro lado, la cantidad de aire aplicada en periodos, para un SBR varían entre 2 y 4 horas, mientras que para los lodos activados aireación extendida, 18 y 24 horas, (Romero, 2004). Esto representa una reducción de la aplicación de aire en un SBR entre 0 y 70%, y por ende una reducción del costo de operación.

El agua residual afluyente debe pasar a través de rejillas y desarenador antes de llegar al SBR.

Ventajas

- La homogenización de caudales, el tratamiento biológico y la sedimentación secundaria pueden lograrse en un tanque reactor único.
- El área superficial requerida es mínima.
- El sistema puede ser operado para alcanzar nitrificación, desnitrificación y remoción de fósforo sin adición de reactivos químicos.
- Estabilidad y flexibilidad: se adaptan a condiciones fluctuantes y toleran variaciones en la carga orgánica.
- Eliminación de: DBO_5 y nutrientes (N, P) sobre el 70%.
- Permite mayor control sobre el crecimiento de microorganismos filamentosos.
- Menores costos de inversión ya que no requiere una bomba para el retorno de lodos y el sedimentador secundario es de menor tamaño debido a la excelente sedimentabilidad del sistema.
- Generación de lodos secundarios “estabilizados” que pueden ser aprovechados como fertilizantes, mejoradores de suelo y obtención de biogás, entre otras.
- Sin impacto visual, pueden ser instalados bajo tierra.

Desventajas

- Se requiere un nivel mayor de complejidad de las unidades de programación temporal y controles, especialmente en sistemas de mayor tamaño
- Un nivel más alto de mantenimiento asociado con el tipo de controles, interruptores automáticos y válvulas automáticas.
- Las necesidades de mantenimiento de los interruptores y las válvulas automáticas que controlan la secuencia de operación pueden ser mayores que en los sistemas convencionales de lodos activados.
- Requiere capacitación técnica del o los usuarios.

- Riesgo de taponamiento de los dispositivos de aireación durante ciclos operativos específicos.
- No es aplicable a todo tipo de efluente orgánico, la presencia de compuestos tóxicos puede afectar negativamente el desempeño de este tratamiento.

Lagunas aireadas mecánicamente

La tecnología de lagunaje consiste en el almacenamiento de las aguas servidas durante un tiempo variable en función de la carga aplicada y las condiciones climáticas, de forma que la materia orgánica resulte degradada mediante la actividad de los microorganismos presentes en el medio acuático. Las lagunas aireadas mecánicamente son semejantes a las lagunas de estabilización, con una única diferencia, son dotadas de equipos de aireación cuya principal finalidad es introducir oxígeno a la masa líquida. La diferencia principal con los sistemas de lodos activados es que no poseen recirculación del lodo (Ramalho, 1993).

Las lagunas aireadas mecánicamente se pueden clasificar en 2 tipos:

- a) Aerobia con mezcla completa,
- b) Facultativa aireada mecánicamente.

En las lagunas aerobias de mezcla completa la potencia de la aireación es suficiente para mantener los sólidos en suspensión y para proporcionar oxígeno disuelto en todo el volumen líquido. Mientras que en las lagunas facultativas con aireación mecánica, la potencia entregada sólo permite introducir oxígeno necesario para el proceso, pero no asegura que todos los sólidos se mantengan en suspensión. Esto trae como consecuencia la generación de algas y la decantación de parte de los sólidos en la laguna, los cuales se digieren anaeróbicamente en el fondo. (Ramalho, 1993; Crites et al., 2006).

AGUA

Condiciones de operación

Las aguas servidas crudas son descargadas directamente en la laguna después de pasar por un tratamiento preliminar.

En la mayoría de los casos, la aireación no se aplica de manera uniforme en todo el sistema sino que se divide en sectores. Por ejemplo, la aireación más intensa se utiliza en el primer sector, y ya el último sector puede tener poca o nula aireación para permitir la sedimentación de partículas. En algunos casos, posterior a la laguna de aireación se utiliza una laguna de sedimentación que cumpla este objetivo.

Una laguna aerobia es adecuada para tratar aguas servidas domésticas e industriales de baja a mediana intensidad de pequeñas y medianas poblaciones (<10.000 habitantes), Si bien requiere de un nivel medio-alto de espacio, éste es menor al que requiere una laguna facultativa aireada mecánicamente (0,45 a 1,05 m²/hab). Las lagunas aerobias presentan TRH de 3 a 6 días, mientras que las lagunas facultativas aireadas poseen TRH de 4 a 10 días (US EPA, 1992; Metcalf y Eddy, 2003).

Las profundidades varían para ambos tipos de laguna entre los 2 y 5 m (Metcalf y Eddy, 2003) y se estima el consumo de energía inferior en un 50% respecto a cualquier sistema de lodos activados, variando entre 12 y 15 kWh/hab·año (Arceivala y Asolekar, 2007).



Figura 15. Laguna aireada mecánicamente. PTAS Tangamanga, San Luis de Potosí, México.

Ventajas:

- Proceso simple y confiable.
- Bajos costos de construcción, operación y mantenimiento
- Baja producción de lodos comparado con un sistema convencional y lodos parcialmente estabilizados.
- Resiste cargas shock u operación intermitente.
- Eficientes en remoción de patógenos.
- Alto contenido de nutrientes en el efluente, puede ser utilizado en riego.
- Eliminación eficiente de: DBO₅, sólidos suspendidos y patógenos.
- Fácil control de la operación.
- No requiere clarificación previa.
- Generan un efluente de alta calidad, con baja inversión y bajos costos operativos

Desventajas:

- Altos requerimientos de energía a bajas condiciones de carga.
- Existen numerosas variables que no se pueden controlar e influyen en el proceso (ej. el viento y la temperatura).
- En climas fríos (bajo 10°C) se reduce la actividad biológica, por ende la eficiencia es más baja, requiriéndose más terreno o mayores tiempos de retención.
- Si la sedimentación no es la adecuada, el efluente puede contener algas que traen consigo un alto contenido de SST y DBO₅.
- No son tan eficientes en la eliminación de nutrientes.
- Lodos generados no son directamente aplicables a la tierra.
- Puede presentar problemas de olor, mosquitos e insectos si la mantención no es la adecuada.
- Generación de lodos secundarios, al igual que los sistemas de lodos activados.
- Mayor requerimiento de espacio que los sistemas de lodos activados.
- Requiere de aireación artificial, lo que implica un gasto energético que se debe tener en cuenta en la operación.

2.3 Tratamientos No Convencionales

Filtros Verdes

Esta tecnología se basa en la utilización de una superficie de terreno, sobre la que se establece una especie forestal y a la que se aplica, generalmente por inundación o surcos, el agua residual a tratar.

Las especies vegetales deben ser de mínimas exigencias de mantenimiento, rápido crecimiento, tolerantes a suelos húmedos y gran capacidad de asimilar nutrientes y consumo de agua (Huertas y Marcos, 2012).

Las especies vegetales más usadas en los filtros verdes son los chopos (*Populus Nigra*), aunque en la actualidad se está empezando a utilizar eucaliptos (*Eucalyptus*). Con esta tecnología de depuración, las aguas depuradas no son reutilizables de forma inmediata, sino que se infiltran en el terreno y se incorporan a los acuíferos (CENTA, 2007).

La depuración en los filtros verdes, se produce mediante la acción conjunta del suelo, los microorganismos y las plantas, a través de mecanismos físicos, químicos y biológicos. (de Bustamante et al., 2005).

Condiciones de operación

El influente que se aplica al Filtro Verde debe someterse previamente, como mínimo, a un proceso de desbaste, de forma que se eviten obstrucciones en las tuberías de conducción y reparto.

La alimentación se realiza de manera intermitente (cada 4 a 10 días), dependiendo de la cantidad de lluvias en cada época del año. El caudal de alimentación oscila entre 20 y 60 m³/ha·d.

Esta tecnología está diseñada para poblaciones de 500 a 25.000 hab y se requieren suelos semipermeables, aguas servidas no industriales, capa freática mayor a 2 metros y un área de 50 m²/hab (López et al., 1998).

AGUA

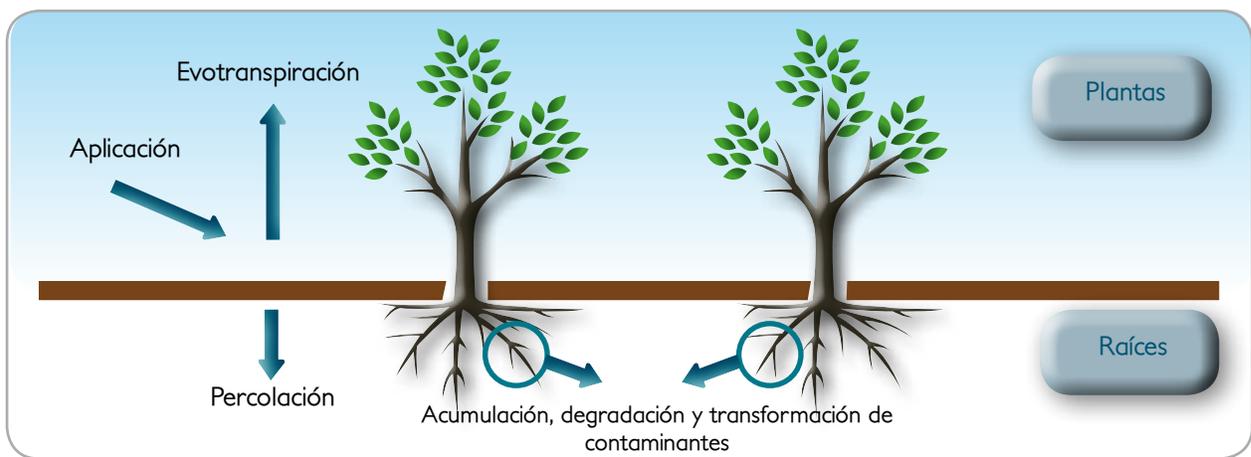


Figura 16. Esquema general de un filtro verde.

Ventajas

- Sencillez operativa, dado que las labores de explotación y mantenimiento se limitan a la retirada de residuos del Pretratamiento, la rotación periódica de la parcela a la que se aplica el agua residual, y un volteo cada trimestre, con objeto de romper las costras que hayan podido formarse y para re-airear el terreno.
- El sistema puede operar sin ningún consumo energético.
- Los costos de la planta de tratamiento pueden ser sufragados, en parte, por la comercialización de la madera producida.
- No se producen lodos en el proceso depurador.
- Perfecta integración en el medio rural.
- Admite perfectamente incrementos en los caudales de aguas servidas a tratar, ocasionados por incrementos poblacionales veraniegos.

Desventajas

- Exige una gran superficie de terreno para su implantación (1 ha /200 hab), por lo que su coste

de implantación se relaciona directamente con el precio del suelo.

- Requiere terrenos no muy escarpados, con una determinada capacidad de filtración y que no presenten acuíferos someros.
- Riesgo de contaminación de acuíferos
- Pueden producir molestias como: el mal olor, moscas y mosquitos.
- No es aplicable en zonas de elevada pluviometría.

Lombrifiltro

El Lombrifiltro o también conocido como biofiltro, es un sistema de tratamiento biológico de cultivo fijo, en base a lombrices y bacterias combinado con diferentes estratos filtrantes inertes y orgánicos. El afluente, aguas servidas o residuos líquidos orgánicos, son regados en la superficie del lombrifiltro, y escurren por el medio filtrante quedando retenida la materia orgánica, la cual es consumida por las lombrices y bacterias (Figura 17).

Esta tecnología está patentada en Chile como "Sistema Tohá" de tratamiento de aguas servidas,

creada y desarrollada por el Dr. José Tohá Castellá, en el laboratorio de Biofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. Esta patentada por la Fundación para La Transferencia Tecnológica, UNTEC (Patente N° 40.754).



Figura 17. Esquema general de un lombrifiltro.

Condiciones de operación

El tipo de lombriz usada en este tipo de sistema es la californiana. Esta puede criarse en cualquier lugar del planeta que posea temperaturas ambientales que no superen los 40°C. Se estima que entre 14°C y 27°C alcanzan la máxima capacidad de reproducción y de producción de humus. Además, cuando la temperatura es inferior a 7°C, las lombrices no

se reproducen, pero siguen produciendo abono, aunque en menor cantidad.

Los lombrifiltros son baratos de construir y son usados en localidades de hasta 3.000 habitantes (Baraño y Tapia, 2004). Respecto al tamaño se pueden tratar 0,6 m³/día de aguas servidas con un área unitaria de 0,75 m²/hab.

Ventajas:

- Rápida puesta en marcha ya que no requiere creación de biomasa.
- Se obtiene compost que puede ser utilizado como abono orgánico.
- Bajos costos de inversión, operación y mantenimiento, al tener bajos requerimientos energéticos.
- Recuperación rápida ante aumentos de cargas orgánicas no controlados.

Desventajas:

- Requiere de mayor superficie que sistemas convencionales.
- Sensibilidad a variaciones bruscas de carga orgánica.
- Posible fuente de olores y vectores sanitarios.
- Climas extremadamente fríos pueden afectar proliferación de lombrices en el lecho.

Escorrentía superficial

Esta tecnología consiste en la aplicación del agua residual pretratada sobre la parte superior de terrenos con vegetación herbácea y con pendientes adecuadas, esto para que las aguas puedan fluir superficialmente hasta zanjas de recogida que se ubican al final de la pendiente (Figura 18). Se alternan periodos de riego con periodos de secado. La duración de cada período depende de los objetivos que se pretendan alcanzar con el tratamiento.

AGUA

Condiciones de operación

El agua servida es aplicada en suelos impermeables, sobre terrazas diseñadas con pendientes entre 2 y 8% (US EPA, 2006) (Figura 18). El tratamiento es logrado por procesos: a) físicos (filtración), b) químicos (precipitación) y c) biológicos (degradación de materia orgánica) (WEF, 2010). Este sistema se aplica a poblaciones inferiores a 500 habitantes (Moreno et al., 2003). La aplicación de agua servida se realiza por 8 h/d, durante 5 o 7 días

a la semana (US EPA, 2006). Middlebrooks *et al.* (1981), estimó que para sistemas de tratamiento en el terreno como los descritos, los requerimientos de energía representaban sólo el 15% de lo necesitado para un sistema de lodos activados.

La extensión necesaria del terreno oscila entre 10 y 44 m²/hab.

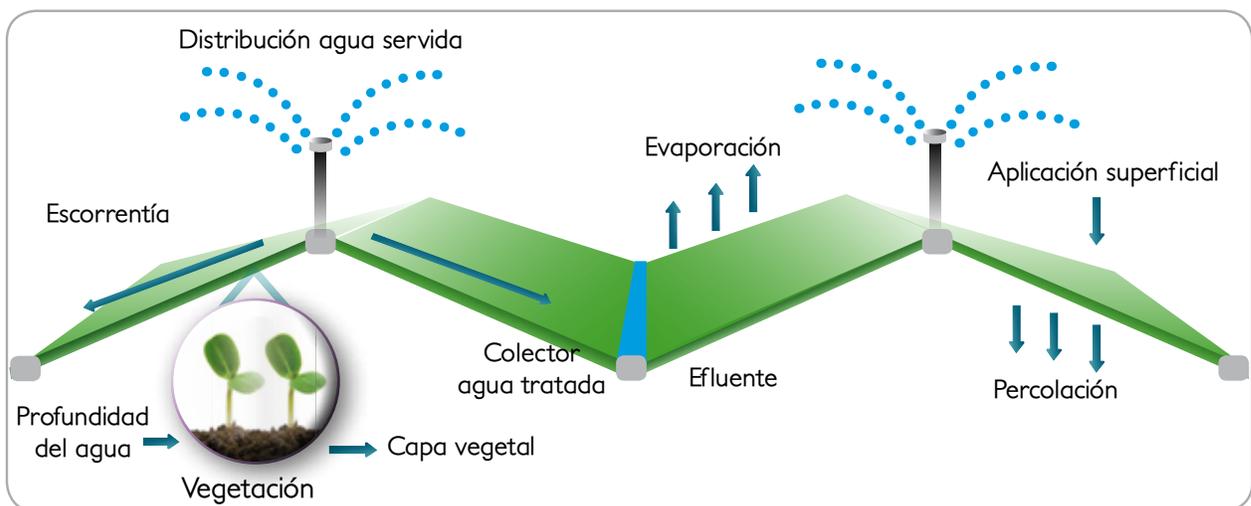


Figura 18. Esquema de un sistema de escorrentía superficial.

Ventajas

- Requiere de escaso pretratamiento.
- Adaptable a un amplia rango de permeabilidades.
- Buena eliminación de nitrógeno.
- No generan lodos.
- Bajos costes de construcción, energía y mantenimiento.
- Sistemas flexibles y poco susceptibles a cambios en caudales y carga del influente.
- La biomasa vegetal actúa como aislante del sedimento.
- No generan olores, integrándose bien con el paisaje.
- No suelen aparecer problemas de moscas y mosquitos.
- Incrementan la diversidad ambiental de la zona con la creación de un hábitat para la fauna.
- Ausencia de equipos electromecánicos.

Desventajas

- No presentan muy buen rendimiento en la eliminación del fósforo.
- Criterios de diseño y funcionamiento no suficientemente conocidos.
- Desconocimiento de procesos biológicos e hidrológicos que intervienen.
- Necesidad de dos o tres estaciones de crecimiento.
- Pérdidas de caudal por evapotranspiración.
- Infestación por plagas de las plantas vasculares emergentes y subemergentes.

Humedales Construidos

Los humedales construidos son sistemas de tratamiento constituidos por lagunas o canales poco profundos (de menos de 1 m), impermeabilizados y plantados con especies vegetales propias de zonas húmedas, como la caña (*Phragmites australis*), totora (*Schoenoplectus californicus*) y junco (*Typha angustifolia*). También pueden ser utilizadas plantas ornamentales como la cala (*Zantedeschia aethiopica*) y lirios (*Iris spp.*), entre otras. En estos sistemas, el tratamiento de las aguas servidas, se produce mediante las interacciones entre el agua, el sustrato sólido, los microorganismos y la vegetación (García y Corzo, 2008; USEPA, 2000).

Según el régimen hídrico, los humedales construidos se pueden clasificar en dos tipos, los de flujo horizontal superficial (HS) y los de flujo subsuperficial. En el humedal de flujo superficial el agua está expuesta a la atmósfera y circula en contacto con los tallos y hojas de las plantas. Por otro lado, en los humedales de flujo subsuperficial, el agua circula de manera subterránea, a través de

un medio de soporte (grava o arena) y en contacto con las raíces de las plantas. Así mismo, según la forma de aplicación del agua, los humedales subsuperficiales se dividen en humedales construidos de flujo horizontal (HSS), donde el agua circula horizontalmente y de manera permanentemente (Figura 19), y los humedales construidos de flujo vertical (VSS), donde la circulación del agua es de tipo vertical y se realiza en pulsos (Vymazal, 2008; Kadlec y Wallace, 2009).

Condiciones de operación

En términos de terreno, los humedales construidos utilizan entre 0,8 y 20 m²/hab. Ésta superficie puede ser hasta 80 veces más de la que necesitan las tecnologías convencionales, por lo que su uso está restringido a lugares con disponibilidad de terreno, siendo recomendados para zonas rurales. Respecto al requerimiento de energía, los humedales construidos presentan consumos inferiores a 0,2 kWh/m³, mientras que cualquier proceso convencional presenta consumos por lo menos tres veces superior (Kadlec y Wallace, 2009).

Al estar basados en un proceso natural, la operación y mantención de estos sistemas es sencilla. Sin embargo, es necesario considerar ciertos parámetros como, las características del agua servida ya que estos sistemas toleran cargas orgánicas entre 1 - 25 gDBO₅/m² d; la altura de la columna de agua (60 - 90 cm) y el tiempo que ésta permanecerá en el sistema (1 a 15 días). Además, las plantas utilizadas deben ser cosechadas para asegurar el buen rendimiento del sistema (Vymazal, 2008; Kadlec y Wallace, 2009).

AGUA

En general, es posible afirmar que estos sistemas son eficientes en cuanto a la eliminación de materia orgánica (DBO_5), sólidos y nitrógeno, con rendimientos

superiores al 80%. Así como una reducción significativa de metales y patógenos.

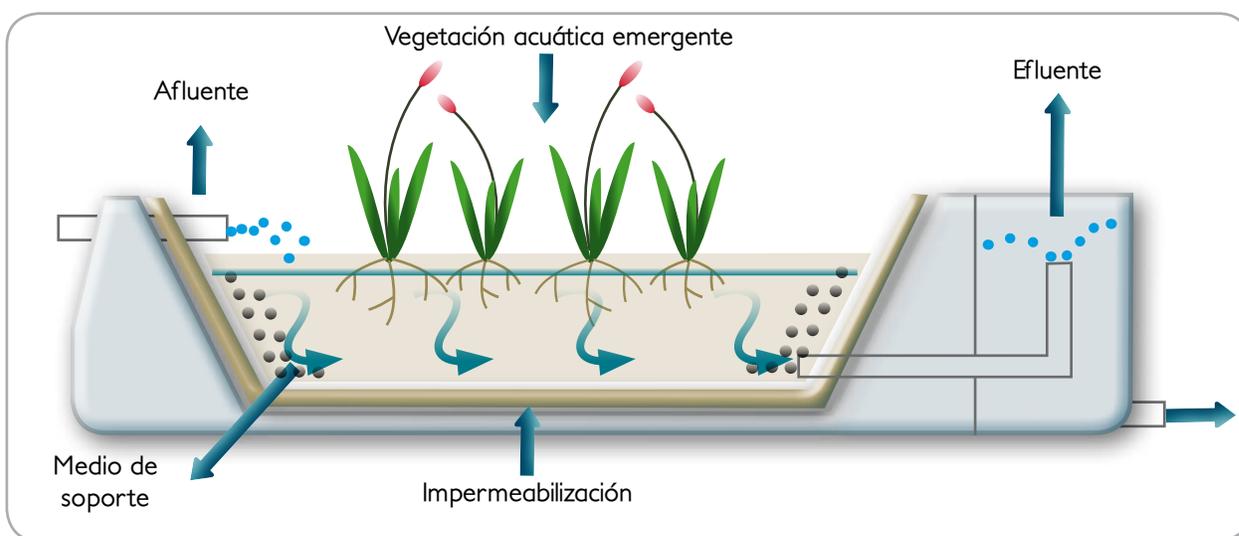


Figura 19. Esquema general de un humedal horizontal subsuperficial (Adaptado de Vera, 2012).

Ventajas

- Buena eficiencia de eliminación de materia orgánica (30- 95%) y nitrógeno (20 – 60%).
- Gastos de operación y de mantenimiento bajos, ya que no se utiliza maquinaria sofisticada, ni se requieren profesionales especializados o aportes de reactivos químicos.
- Bajo y hasta nulo consumo energético.
- Fácil operación y mantención, ya que son mínimos los requerimientos de equipos y de capacitación de los operadores.
- Poseen valor estético, pudiendo ser utilizados como zonas verdes y de recreación pasiva.
- Sirven de hábitat para la vida silvestre, integrándose con el paisaje natural.
- La vegetación cosechada puede ser utilizada en compostaje, artesanía o venta en el caso de plantas ornamentales, añadiendo un valor económico al tratamiento.
- No se producen lodos como subproducto del tratamiento.
- Los sistemas que emplean medios de soporte (HSS y VSS) gracias al aislamiento térmico, tiene la potencialidad de funcionar bien en temperaturas ambientales inferiores a las de congelamiento ($< 4^{\circ}C$).

Desventajas

- Requieren una superficie superior a la requerida por las tecnologías convencionales (entre 20 y 80 veces superior).
- Larga puesta en marcha. Desde algunos meses o un año en sistemas con flujo subsuperficial hasta varios años en sistemas con flujo superficial.
- Pocos o ningún factor de control durante la operación.
- Necesidad de realizar un tratamiento primario previo a la aplicación en la unidad de humedal construido.
- En el caso de los humedales subsuperficiales, susceptibilidad a la colmatación del medio granular si el agua tiene un contenido elevado en determinados contaminantes, como por ejemplo grasas y aceites y aportes continuados de sólidos finos.
- Es posible que humedales del tipo HSS generen en mayor proporción gases del efecto invernadero como el metano (CH_4) y óxido de nitrógeno (N_2O).
- El rendimiento del sistema puede ser menos constante que un tratamiento convencional.

3. TRATAMIENTO TERCIARIO

Los Tratamientos terciarios (conocidos también como tratamientos avanzados), permiten obtener efluentes finales de mejor calidad, para que puedan ser vertidos en zonas donde las normativas son más exigentes (por ejemplo, descargas en lagos o lagunas) o para poder reusar el efluente tratado.

La eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo), se realiza frecuentemente por procesos biológicos. No obstante, el caso del de fósforo, los procesos de precipitación química, empleando sales de hierro y de aluminio, continúan siendo hoy en día los de mayor aplicación.

En la eliminación biológica de nitrógeno se opera de forma secuencial, bajo condiciones óxicas y anóxicas, que dan como resultado final la liberación de este nutriente a la atmósfera, en forma de nitrógeno gaseoso.



Figura 20. Sistema piloto de humedales construidos en la PTAS de Hualqui (Proyecto GIBA-UDEC en convenio con ESSBIO S.A.).

AGUA

Para la eliminación biológica del fósforo se combinan reactores operando bajo condiciones anaerobias, óxicas y anóxicas, quedando el fósforo almacenado en los microorganismos, que posteriormente se extraen como lodos en exceso.

Con relación a la desinfección de los efluentes, el cloro ha sido, y continua siendo, el desinfectante típico en el campo de las aguas tratadas, pero al

incrementarse el numero de requisitos para lograr bajas o indetectables cantidades de cloro residual en los efluentes tratados, se ha hecho necesario la implantación de procesos posteriores de dechloración, o bien, la sustitución de los sistemas de cloración por sistemas de desinfección alternativos, tales como la radiación UV, el empleo de ozono o el empleo de membranas.



Figura 21. Sistemas terciarios de desinfección. Sistema de desinfección con cloro mediante cámara de contacto (izquierda) PTAS Contulmo y desinfección por UV (derecha) PTAS Villa Laja.

4. REFERENCIAS

- Álvarez, J., Ruiz, I. y Soto, M. (2008). Anaerobic digesters as a pretreatment for constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 33(1): 54–67.
- Arceivala, S. y Asolekar, S. (2007). *Wastewater treatment for pollution control and reuse*, (3a ed.) New Delhi: McGraw-Hill.
- Barañao, P. y Tapia L. (2004). Tratamiento de las aguas servidas: situación en Chile. *Revista Ciencia & Trabajo* 13, 111-117.
- Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla (CENTA). (2007). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales*. Sevilla: CENTA.
- Crites, R., Middlebrooks, J. y Reed, S. (2006). *Natural wastewater treatment systems*. CRC Florida: Press Taylor & Francis Group.
- de Bustamante, I., Vera, S., Sanz, J.M., Alpuente, J., Mateos, J., León V., López P., Corvea J.L. y Larrañaga J. (2005, julio). *Tecnologías de depuración de aguas residuales mediante filtros verdes: diseño, funcionamiento, evolución y control de la contaminación de las aguas subterráneas*. Trabajo presentado en el Encuentro Internacional en Fitodepuración, Lorca, España.
- Fundación Chile. (2014, abril). Tecnología de lodos activados, tecnología convencional de tipo biológico. Recuperado en http://www.sinia.cl/1292/articles-49990_30.pdf.
- García I, Betancort J., Salas J., Peñate B., Pidre J y Sardón, N. (2006). *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población*. Gran Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias.
- García, J. y Corzo, A. (2008). *Depuración con humedales construidos: guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial*. Barcelona: Editorial UPC.
- Huertas R. y Marcos R. 2012. *Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Valladolid: Confederación Hidrográfica del Duero
- Kadlec, R. y Wallace, S. (2009). *Treatment Wetlands*. Florida: Taylor & Francis Group.
- Kalyushnyi, V., Fedorovich V. y Lens P. (2006). Dispersed plug flow model for upflow anaerobic sludge bed reactors with focus on granular sludge dynamics. *Industrial Microbiology and Biotechnology*, 33, 221-237.
- López, C. Germán, C. Francisco, A. y Herce, C. (1998). *Filtros verdes en pequeños municipios*. Trabajo presentado en el Congreso del Agua, Zaragoza, España.
- Mace, S. y Mata-Alvarez, J. (2002). Utilization of SBR technology for wastewater treatment: An overview. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 41(23), 5539–5553.
- Massoud, M., Tarhini, A. y Nasr, J. (2009). Decentralized approaches to wastewater treatment and management: applicability in developing countries. *Journal of Environmental Management*, 90(1), 652–659.
- Metcalf y Eddy. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment, and Reuse*. New York: McGraw-Hill.
- Middlebrooks, E., Middlebrooks, C. y Reed, S. (1981). Energy requirement for small wastewater treatment systems. *Journal Water Pollution Control Federation*, 53(7), 1172–1197.

AGUA

- Ramalho, R. (1993). *Tratamiento de aguas residuales*, Québec:Reverté.
- Rodríguez, P. (2012). Saneamiento en el sector rural: en busca de opciones sostenibles. *Revista AIDIS Chile* 42, 11-16.
- Romero, J. (2004). *Tratamiento de Aguas Residuales* (3a ed). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Singh, M. y Srivastava, R. (2011). Sequencing batch reactor technology for biological wastewater treatment: a review. *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 6(1): 3–13.
- Subsecretaria de Desarrollo Regional (SUBDERE). (2012). Resumen catastro plantas de tratamiento de aguas servidas - Sector rural - Año 2012. Recuperado en : http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/catastro_plantas_tratamiento_aguas_servidas_sector_rural_ano_20121.pdf. Consultado: Abril de 2014.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA) (1992). *Manual wastewater treatment/disposal for small communities*. Cincinnati: US EPA.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA) (1999). *Wastewater technology fact sheet: sequencing batch reactors*. Washington: US EPA.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2006). *Process Design Manual Land Treatment of Municipal Wastewater Effluents*. Cincinnati: US EPA.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA) (2000). *Manual: Constructed wetlands treatment of municipal wastewaters*. Cincinnati: US EPA.
- Van Haandel, A. y Lettinga, G. (1994). *Anaerobic Sewage Treatment*. Michigan John Wiley & Sons.
- Vera I., Sáez, K. y Vidal, G. (2013). Performance of 14 full scale sewage treatment plants: comparison between four aerobic technologies regarding effluent quality, sludge production and energy consumption. *Environmental Technology* 34 (15), 2267-2275.
- Vera, I. (2012). *Análisis de funcionamiento y patrones asociativos de sistemas de tratamiento convencionales y naturales de aguas servidas para la eliminación de material orgánica y nutrientes*. Trabajo de grado, Doctorado Ciencias Ambientales, Universidad de Concepción, Chile.
- Vymazal, J. y Kröpfelová, L. (2008). *Wastewater treatment in constructed wetlands with horizontal sub-surface flow*. Heidelberg:Springer.
- Water Environment Federation (WEF). (2010). *Natural systems for wastewater treatment. manual of practice No. FD-16*. Alexandria: WEF.

ANEXO 1: PROYECTOS EJECUTADOS Y EN EJECUCION POR EL GRUPO DE INGENIERIA Y BIOTECNOLOGIA EN EL AREA DE LAS AGUAS SERVIDAS

PROYECTO 1

Proyecto Internacional Europa-Latinoamérica, Programa Alfa II-0543-FI-FA-FCD, RED TECSPAR, Programa de Cooperación Académica entre la Unión Europea y América Latina: "Tecnologías sostenibles para la potabilización y tratamiento de aguas residuales" (2005-2010).

- **Universidades Participantes:** Universidades de: degli Studi di Padova (Italia) Dublin Institute of Technology (Irlanda), APPLUS – Certification Technological Center (España). Antioquia (Colombia), Autónoma de San Luis De Potosí (México,) Politècnica de Catalunya (España) y Universidad de Concepción.
- **Investigación Responsable de Chile:** Dra. Gladys Vidal, Universidad de Concepción.

RESUMEN

La gestión adecuada de los recursos hídricos a nivel global es uno de los principales retos de la humanidad. Actualmente hay más de 1500 millones de personas que no tienen acceso al agua con garantías suficientes de calidad. Esto es debido, principalmente al vertido incontrolado de aguas residuales a las fuentes de abastecimiento y a la falta de sistemas fiables de tratamiento de las aguas distribuidas. Queda claro, por tanto, que la potabilización y la depuración de aguas deben formar parte de un binomio inseparable, si el objetivo final es la promoción de la Salud Pública y la preservación del medio ambiente.

Los sistemas convencionales de potabilización y depuración requieren de numerosos equipos y sistemas electromecánicos que producen costes de explotación y mantenimiento elevados. En consecuencia, la implantación de estos sistemas plantea grandes dificultades en países con

problemas económicos, por lo que las tecnologías sostenibles de bajo coste se convierten en una alternativa viable.

El objetivo principal de la red fue la transferencia de conocimientos y experiencias desde Europa a América Latina, para potenciar la implantación de tecnologías sostenibles de potabilización y depuración que incidan de forma positiva a la calidad de los recursos de hídricos y, a la vez, favorezcan la disminución del uso de aditivos químicos, la reducción en la generación de subproductos y otros residuos, la minimización del consumo de agua y/o de energía y la valoración de los recursos depurados para la agricultura o de usos no convencionales.

La red pretendió ser un instrumento para intercambiar conceptos y adquirir nuevos conocimientos en cuanto a procesos y tecnologías y formar profesionales en las tecnologías sostenibles

AGUA

para la potabilización y la depuración. El trabajo en red permitió la generación de la suficiente masa crítica de científicos y técnicos que puedan abordar, desde una perspectiva multidisciplinar, las diferentes problemáticas relacionadas con la temática aprovechando las fortalezas y experiencias de cada uno de los grupos participantes.



PROYECTO 2

Proyecto de Doctorado Beca Programa CONICYT, AT-24100052 “Análisis de funcionamiento y patrones asociativos de sistemas de tratamiento convencionales y naturales de aguas servidas para la eliminación de materia orgánica y nutrientes” (2009-2012).

- **Estudiante de Doctorado en Ciencias Ambientales:** Leonardo Vera, Universidad Javeriana, Colombia.
- **Profesor Guía:** Dra. Gladys Vidal, Universidad de Concepción.

RESUMEN

El desarrollo de actividades humanas ha generado una fuerte presión sobre los sistemas acuáticos continentales por demanda de agua, y disposición de aguas servidas. Las aguas servidas se originan por la mezcla de los residuos líquidos producidos por las diferentes actividades humanas de un asentamiento, los que son recolectados y transportados por un sistema de alcantarillado. En este sentido, la descarga de aguas servidas sin tratamiento presenta efectos en el funcionamiento de los sistemas acuáticos continentales, causando oscilaciones de oxígeno disuelto, eutrofización, toxicidad y enfermedades en los seres humanos.

Para mitigar el efecto ambiental por descarga de aguas servidas en sistemas acuáticos continentales, el tratamiento se constituye de tres partes: recolección, tratamiento y restitución. Esta tesis se focalizó en la evaluación de sistemas de tratamiento de tipo convencional y natural y el objetivo de esta tesis fue evaluar el funcionamiento y la relación entre sistemas de tratamiento convencionales y naturales, para la eliminación de materia orgánica y nutrientes, a través de patrones asociativos, empleando herramientas estadísticas, conceptuales y operacionales.

Los resultados establecieron que asociativamente influentes y efluentes son similares entre sistemas convencionales y naturales. Para el funcionamiento, se determinó como patrón asociativo la Eliminación Unitaria Diaria (ELUD). Los valores de ELUD fueron entre 2 y 20 veces superiores en los sistemas convencionales, siendo más intensivos. Se obtuvieron índices de operación de energía eléctrica y producción de biosólidos superiores en los sistemas convencionales. En el caso de la energía eléctrica el uso en sistemas convencionales y naturales es diferente, estando directamente relacionado con el tratamiento en los sistemas convencionales por la aireación. De otro lado, la producción de biosólidos de los sistemas naturales fue un 50% menor. Así, su producción fue por biomasa de la zona foliar de las plantas, y no por lodo derivado del tratamiento.

AGUA



PROYECTO 3

Proyecto Movilidad Erasmus-Mundus Universidad de Valladolid (España) – Universidad de Concepción. Proyecto de tesis para optar al título de Ingeniero Químico: “Evaluación de la capacidad de retención de fósforo mediante procesos de adsorción empleando zeolita, y su aplicación en sistemas de humedales construidos para la depuración de aguas residuales urbanas” (2009-2010).

- **Estudiante Movilidad Erasmus-Mundus:** Elisabet Andres, Universidad de Valladolid (España).
- **Profesor Guía:** Dra. Gladys Vidal, Universidad de Concepción.

RESUMEN

En los últimos años, la presión ejercida sobre los recursos hídricos ha llevado a centrar los esfuerzos en la implementación de sistemas de recogida y tratamiento de las Aguas Residuales Urbanas. Sin embargo, debido al elevado costo de implementación y operación no resultan rentables para pequeñas comunidades. Por ello, se buscan alternativas de tratamiento de aguas residuales más eficientes y económicamente viables entre las que se encuentran los humedales. Dentro de estos sistemas, el mejor mecanismo de eliminación de nutrientes, especialmente fósforo, es mediante procesos de adsorción sobre el medio, por ello es muy importante la selección del substrato si se pretende este fin. La zeolita es un mineral natural de origen volcánico que se caracteriza fundamentalmente por tener una elevada porosidad y una gran capacidad de intercambio iónico, además, se trata de un recurso abundante y de bajo coste, por lo que en este estudio se propone como material de soporte. El objetivo de esta tesis fue analizar la capacidad de eliminación de fósforo (fosfato) mediante procesos de adsorción, empleando zeolita como material adsorbente, y estudiar su viabilidad como soporte en sistemas híbridos de humedales construidos.

Se dispuso a escala de laboratorio un sistema de humedales híbridos de flujo subsuperficial compuesto por dos líneas, una empleó grava como material de soporte, y otra que empleo la misma zeolita. Cada una de las líneas contó con un primer humedal de flujo subsuperficial vertical (HFSSV) alimentado con agua residual urbana, efluente del tratamiento primario de una planta de tratamiento, y un segundo humedal de flujo subsuperficial horizontal (HFSSH) que fue alimentado por la descarga del primero. Se llevo un seguimiento en cuanto a la eliminación de fósforo y DQO (Demanda Química de Oxígeno).

Los resultados obtenidos para el fósforo, durante este periodo de muestreo, indicaron que la grava alcanza rápidamente su estado de saturación tras 17 días de operación, a partir de los cuales, la eliminación de fósforo no tenía lugar mediante procesos de adsorción, descendiendo así la eficiencia de eliminación del mismo hasta valores entre 40-60 %, mientras que la zeolita, continuo eliminando fósforo sin llegar a saturarse, alcanzando eficiencias de eliminación cercanas al 100% durante todo el periodo de muestreo. Respecto a la eliminación de DQO,

AGUA

ambos medios presentaron prácticamente la misma eficiencia cercana al 90%. Por tanto, a partir de estos resultados, la zeolita se presenta como un material eficiente para la depuración de aguas residuales en materia de DQO y fósforo, mejor que la grava.



PROYECTO 4

Proyecto de apoyo a la realización de Tesis de Educación Superior de Pre Grado y Post INNOVA BIO BIO N° 10 CH S2 680 F11 “Alternativas de tratamiento de aguas servidas para núcleos humanos de baja densidad poblacional mediante sistemas híbridos de humedales artificiales” (2011-2012).

- **Estudiante de Bioingeniería:** Francisca Araya.
- **Profesores Guía:** Dra. Gladys Vidal, Leonardo Vera (Co-Guía).

RESUMEN

Una opción para el tratamiento de las aguas servidas generadas en núcleos poblacionales pequeños, son los humedales artificiales, que pueden clasificarse en 3 tipos: a) Flujo horizontal superficial (HFHS); b) Flujo horizontal subsuperficial (HFHSS); c) Flujo vertical subsuperficial (HFVSS).

Con humedales artificiales con medios tradicionales como la grava, se alcanzan eliminaciones de materia orgánica superiores al 75%, y para los nutrientes la combinación de humedales de tipo HFVSS y HFHSS (sistemas híbridos) ha alcanzado eliminaciones de amonio (NH_4^+) de hasta 80%. Respecto al fósforo, su eliminación se favorece al utilizar medios especiales con capacidad de captar nutrientes mediante procesos de adsorción (como la zeolita), que luego pueden liberarse por desorción, dando la aplicabilidad de ser reutilizado como fertilizante.

El objetivo de este trabajo es evaluar el uso de zeolita y grava como medio de soporte en sistemas híbridos de humedales artificiales, para eliminar materia orgánica y nutrientes de las aguas servidas.

Para esto, se construyó un sistema híbrido de humedales artificiales (HFVSS + HFHSS) a escala laboratorio. La operación se dividió en 4 etapas,

según la estrategia de aireación de los humedales HFVSS: Etapa I-aireación 24 h/d, Etapa II-aireación 1 h/d, Etapa III-aireación 4 h/d, y, Etapa IV-sin aireación.

Los resultados encontrados presentaron porcentajes de eliminaciones para materia orgánica del 75% para las cuatro etapas. Para los nutrientes, la eliminación de fosfato (PO_4^{-3}) alcanzó un 45% y 76 % para grava y zeolita, y de 88% y 99% para NH_4^+ , respectivamente. De la eliminación de nutrientes más de un 30% correspondió a la captación de las plantas, y en el caso de la zeolita hasta 27% correspondió al efecto de la adsorción.

Finalmente, la zeolita como medio de soporte aumento significativamente ($p < 0,05$) en más de un 20%, la eliminación de materia orgánica y nutrientes, respecto del medio de grava.

AGUA



PROYECTO 5

Proyecto de Doctorado Beca Programa CONICYT, AT-24100052 “Humedales construidos para el tratamiento de aguas servidas en áreas de baja densidad poblacional: evaluación de la factibilidad de reuso de agua” (2011 – en realización).

- **Estudiante de Doctorado en Ciencias Ambientales:** Daniela López.
- **Profesor Guía:** Dra. Gladys Vidal.

RESUMEN

La demanda de los recursos hídricos en Chile, se prevé que aumente debido a los efectos negativos que se generaran por el impacto del cambio climático global. Debido a esto muchos sectores productivos se verán afectados. Entre ellos, la agricultura, minería, industrial y municipal. Refiriéndose al sector municipal como el sector encargado del abastecimiento de servicios sanitarios. Los sectores rurales en Chile, generan una gran cantidad de aguas residuales, las cuales llegan a cuerpos de aguas en su mayoría sin tratamiento previo. Las características de las aguas residuales domesticas, tienden a variar dependiendo principalmente de la cantidad de actividades humanas que se desarrollen. El tratamiento de las aguas residuales rurales en Chile, presenta una muy baja cobertura (8%), donde sus principales sistemas de tratamiento y disposición son la fosa séptica (48%) y pozo negro (31%). Los cuales, presentan muy bajas eficiencias en la depuración de las aguas residuales, generando efluentes con altas concentraciones de materia orgánica, nutrientes y organismos patógenos, siendo un efluente que no posee características físico-químicas ni microbiológicas adecuadas para ser descargado directamente a un cuerpo receptor. Un

sistema de tratamiento que ha surgido en los últimos años corresponde a los humedales construidos. Estos humedales, se han utilizado para el tratamiento de aguas residuales domesticas como tratamiento secundario o terciario, presentando altos niveles de eficiencia en materia orgánica (75-95 %), nutrientes (>50%) y patógenos (>70 %). Estos altos niveles de eficiencia han generado la posibilidad de reutilizar los efluentes provenientes de los humedales para riego en varios países a nivel mundial. Es por ello que se hace imprescindible estudiar y analizar la capacidad de eficiencia que presentan los humedales artificiales como sistemas de tratamiento no convencionales para Chile. De manera de conocer su comportamiento, y a su vez asegurar la calidad (a nivel de reuso) de los efluentes que estos sistemas generan.

El objetivo de este proyecto de tesis doctorado es evaluar el tratamiento de aguas servidas en áreas de baja densidad poblacional mediante humedales construidos para evaluar la factibilidad de reuso de agua.

Para el desarrollo de esta tesis se utilizará un humedal construido de flujo subsuperficial (HFHSS), que constará de 4 celdas paralelas de 4,5 m² cada

AGUA

una, con medio de soporte de gravilla (3/4"-1"), y un tiempo de retención hidráulico (TRHt) (teórico) igual a 3,4 días, con un volumen total aproximado de 1,28 m³. Cada celda estará plantada con un total de 18 ejemplares, las celdas 1 y 3 serán plantadas con *Phragmites australis* mientras que las celdas 2 y 4 serán plantadas con *Scirpus californicus*. Para la alimentación del humedal se utilizará agua residual doméstica que llega a la Planta de tratamiento de aguas servidas (PTAS) de Hualqui.



PROYECTO 6

Proyecto de tesis para optar al grado de Ingeniero Ambiental “Puesta en marcha de un sistema piloto de humedales construidos de flujo subsuperficial para la depuración de aguas servidas rurales: Consideración de indicadores de sustentabilidad”.

- **Estudiante de Ingeniería Ambiental:** Karen Rojas.
- **Profesores Guía:** Dra. Gladys Vidal, Leonardo Vera (Co-Guía).

RESUMEN

Desde hace más de treinta años, los humedales construidos se han utilizado en Europa, para tratar aguas servidas de pequeños municipios. En la actualidad estos sistemas se están aplicando en todo el mundo. Los humedales construidos se clasifican en: a) flujo horizontal superficial (HFHS); b) flujo horizontal subsuperficial (HFHSS); c) flujo vertical subsuperficial (HFVSS).

En Chile actualmente, no se utilizan humedales construidos para tratar aguas servidas, a pesar que estos constituyen una alternativa al problema del saneamiento de las zonas rurales. Por esto, es importante evaluar el funcionamiento de un HFHSS para la depuración de aguas servidas rurales en la Región del Biobío, y analizar con indicadores de sustentabilidad la potencialidad de implementación, en comparación a los sistemas convencionales instalados, para este segmento de la población. Para esto, se dispuso en la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de la comuna de Hualqui un sistema de HFHSS a escala piloto, constituido por cuatro celdas paralelas de 4,5 m² con medio de soporte grava. Dos celdas fueron plantadas con *Phragmites australis*, y las otras dos celdas con *Scirpus californicus*.

Durante el monitoreo, el HFHSS presentó eficiencias de eliminación para los parámetros DQO, DBO₅, Sólidos Suspendidos Totales (SST), Amonio (NH₄⁺) y NT hasta de un 79%, 68%, 96%, 91% y 45% en primavera y 61%, 76%, 92%, 60%, 63,8% en invierno para cada uno de los parámetros respectivamente, siendo las celdas plantadas con *Phragmites australis* superiores en promedio de 14,2% en invierno y de 10,8% en primavera respecto a las plantadas con *Scirpus californicus*.

Finalmente, los indicadores ambientales del HFHSS presentaron un menor consumo de energía con 18,23 kw-hr/hab•año y una mayor potencia instalada 0,78 kw/hab que otros sistemas de tratamiento. Además, no presentó, consumo de productos químicos, ni insumos. Respecto a los niveles de cumplimiento del Decreto Supremo (DS) 90, para el HFHSS son inferiores al 40%, esto se explica por ser esta una etapa de puesta en marcha del sistema. Respecto a los indicadores económicos, esta planta presenta un costo de inversión de 2,32 millones de pesos por habitante, lo que representa que es hasta 12 veces más que un sistema convencional. Sin embargo por economía de escala puede ser reducido hasta 0,035 millones de pesos por habitante.

AGUA



PROYECTO 7

Proyecto de tesis para optar al grado de Bioingeniero "Operación de un sistema piloto de humedales construidos para la depuración de aguas servidas: Consideraciones de la actividad biológica en la eliminación de materia orgánica y nutrientes" (2012-2013).

- **Estudiante de Bioingeniería:** Daniel Fuenzalida.
- **Profesores Guía:** Dra. Gladys Vidal, Daniela López (Co-Guía).

RESUMEN

Las aguas servidas rurales en Chile tienen depuración solo en un 8% de la población. Esta problemática ambiental puede ser solucionada mediante la implementación de humedales construidos. Los humedales de flujo horizontal subsuperficial (HSS), que utilizan grava como medio de soporte, poseen eficiencias de eliminación de 75-95% de materia orgánica biodegradable (DBO₅), 30-60% para nitrógeno (NT) y 10% para fósforo (PT).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la evolución de la actividad microbiana en el soporte granular de un HSS, y ver si ésta influyó en la eliminación de la materia orgánica y nitrógeno del efluente tratado de aguas servidas.

Para esto se utilizó una planta piloto de HSS construida en Hualqui, con 4 celdas en paralelo con grava como medio de soporte. Dos celdas fueron plantadas con *Phragmites australis* y las otras dos con *Schoenoplectus californicus*, monitoreándolas por 420 días.

Se pudo comprobar que, para las cuatro celdas, existió aumento de las eficiencias de eliminación de materia orgánica (medida como Demanda Química

de Oxígeno) de 30 a 70% y sólidos (SST) de 70 a 95%. A su vez, balances de masa indicaron que cerca de un 35% de NT y 10% de PT fue eliminado por las celdas durante los primeros 420 días de operación.

La actividad microbiana de los HSS fue evaluada a través de las bacterias metanogénicas. Estas bacterias, en condiciones ideales, degradarían más del 60% de la materia orgánica (DQO) alimentada, mostrando las mayores actividades específicas de la biomasa ($> 20 \text{ mL CH}_4/\text{g SSV}\cdot\text{día}$) en las zonas de entrada y media de los HSS, con una producción cercana a $10 \text{ L CH}_4/\text{celda}\cdot\text{día}$.

Finalmente, las celdas de HSS plantadas con *Phragmites australis* y las celdas con *Schoenoplectus californicus* presentaron eficiencias de eliminación similares luego de 420 días de operación, tanto para la eliminación de materia orgánica como para sólidos y nutrientes.

AGUA



PROYECTO 8

Proyecto FUNDACION MAPFRE (España), en el marco del Programa Ayudas a la Investigación 2011 – Medio Ambiente. Fundación MAPFRE, Núm. de registro MA/11/AYU/026 “Control de la contaminación de aguas servidas en áreas rurales de alta sensibilidad sísmica, a través de humedales construidos: Incidencia en la eliminación del potencial biológico evaluado como disrupción endocrina (CON2ASER)” (2012).

- **Investigador Responsable:** Dra. Gladys Vidal.
- **Co-Investigadores:** Daniela Lopez, Leonardo Vera, Dra. Soledad Chamorro y Dra. Carolina Baeza.

RESUMEN

El terremoto ocurrido el 27 de febrero de 2010 en el sur de Chile puso de manifiesto la vulnerabilidad de la disponibilidad de agua potable y de su tratamiento en una situación de emergencia. Estas limitaciones, comunes en zonas rurales de América Latina, se pueden resolver mediante opciones como las tecnologías naturales de tratamiento del agua, que eliminan las sustancias contaminantes de las aguas residuales a través de procesos naturales que no requieren de energía externa ni de aditivos químicos, además de ser estables frente a fenómenos sísmicos. El objetivo de este proyecto fue evaluar el comportamiento de operación de humedales artificiales de tipo subsuperficial (HSS) utilizando *Scirpus sp.* y *Phragmites sp.* para tratar aguas servidas provenientes de núcleos poblacionales rurales.

Para la realización de este proyecto se implementó una estación experimental, constituida por cuatro unidades paralelas de HSS. Está ubicada dentro del terreno de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) de la comuna de Hualqui, provincia de Concepción, región del Biobío (Chile), perteneciente a la Empresa de Servicios Sanitarios del Biobío (ESSBIO S.A.) (36°59'26.93" de la latitud sur; y 72°56'47.23" de longitud oeste).

Los resultados indicaron que los HSS evaluados presentaron eliminaciones de entre el 50 y el 98% para

materia orgánica y sólidos con mayores eficiencias a lo largo del año debido probablemente a la aclimatación de la biomasa bacteriana, mientras que los nutrientes fueron eliminados en menores porcentajes de hasta el 40% en el caso de $N-NH_4^+$ y hasta el 60% en el caso del fósforo. Sin embargo, la alta eficiencia observada en invierno puede estar potenciada por el efecto de las precipitaciones, generando una sobreestimación de la eficiencia en la eliminación de fósforo. Los efluentes tratados mediante HSS no presentaron toxicidad aguda evaluada a través de *Daphnia Magna*. Sin embargo, no fue posible evaluar actividad endocrina debido a la interferencia que pudo existir con compuestos que fueron tóxicos para la activación de la levadura *Saccharomyces cerevisiae* recombinante. Todo lo anterior confirmó que los humedales tienen una efectividad depuradora como sistemas de tratamiento de aguas servidas para el sector rural. Además, son funcionalmente estables frente a fenómenos.

AGUA

FUNDACIÓN MAPFRE



PROYECTO 9

Proyecto de Seminario de Investigación de Ingeniería Ambiental “Eliminación de materia orgánica y nutrientes de aguas servidas de origen rural mediante la utilización de humedales construidos plantados con especies ornamentales” (2012-2013).

- **Estudiante de Ingeniería Ambiental:** Gabriela Morales.
- **Profesores Guía:** Dra. Gladys Vidal (Guía), Daniela López (Co-Guía).

RESUMEN

El tratamiento de las aguas servidas es fundamental para la conservación de los recursos hídricos y de los ecosistemas asociados a ellos. Para los sectores urbanos se han implementado diversas tecnologías de tratamiento, consideradas como convencionales. Estas tecnologías, debido a su alto consumo energético y su necesidad de mantenimiento, no son recomendadas para zonas rurales. Una opción para el tratamiento de las aguas servidas generadas en estos sectores son las tecnologías no convencionales. Dentro de ellas se encuentran los humedales construidos, que son sistemas diseñados y construidos para utilizar los procesos naturales que involucran vegetación, suelos, y consorcios microbianos, para tratar las aguas servidas.

Los humedales construidos se pueden clasificar en 3 tipos: a) Flujo superficial horizontal (HS) que presenta lámina de agua visible; b) Flujo subsuperficial vertical (VSS) y c) Flujo subsuperficial horizontal (HSS). En los dos últimos, el agua servida es distribuida a través de, un lecho de grava, plantado con vegetación emergente típica de humedales naturales. Por ello, presentan la ventaja de no exponer el agua durante el proceso de tratamiento, disminuyendo el riesgo de exposición a agentes contaminantes. Además, el HSS debido a

la forma de aplicación del agua puede funcionar sin energía.

Las plantas más utilizadas en HSS corresponden a especies de los géneros Phragmites, Typha y Schoenoplectus. Estas plantas tienen eficiencias de eliminación que varían, entre 60% y 95% para materia orgánica valorada como Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO5), de un 30% a 65% para nitrógeno total, y entre 40% y 60% para fósforo total. Sin embargo, se ha recomendado el uso de plantas locales y/o de especies ornamentales para ser utilizadas en HSS. Las plantas ornamentales pueden mejorar la infraestructura del sistema de tratamiento, proporcionar beneficios económicos a la comunidad a través de la producción de flores, sin que aparentemente se afecte la eficiencia de tratamiento del sistema. Para plantas ornamentales se han alcanzado eficiencias de eliminación que varían entre 70% y 80% para la DBO5, entre 45% y 60% para nitrógeno total, y entre 40% y 50% para fósforo total.

Debido a lo previamente descrito, el objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de eliminación de materia orgánica y nutrientes contenidos en las aguas servidas de origen rural de Chile, utilizando humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial, plantados con las especies ornamentales.

AGUA



PROYECTOS EN EJECUCION (A JUNIO 2014)

PROYECTO 10

Proyecto del Fondo de Ciencia y Tecnología (FONDECYT) 3120216 para estudiantes de Postdoctorado 2012 "Evaluación de la eliminación del potencial biológico presente en aguas residuales urbanas y efluentes de celulosa Kraft a través de sistemas biológicos convencionales y no convencionales detectado con *Saccharomyces cerevisiae Recombinante* y *Daphnia magna*" (2012-2015).

- **Investigador responsable:** Dra. Soledad Chamorro.
- **Profesor Patrocinante:** Dra. Gladys Vidal.

RESUMEN

Investigaciones recientes han demostrado que la acción de microcontaminantes específicos, con actividad que imitan la acción de hormonas endógenas, pueden ser encontrados en efluentes de la industria de celulosa kraft y aguas residuales urbanas y generan efectos de disrupción endocrina. Sistemas de tratamientos establecidos para la depuración de aguas residuales urbanas, como para las industrias de celulosa kraft, están basados principalmente en sistemas biológicos convencionales denominados lodos activados. Este sistema presenta una alta eficiencia en la remoción de materia orgánica (> 60 %). Sin embargo, no remueve compuestos específicos tales como 17-estradiol, 17- β -etinilestradiol, dietilstilbestrol y fitosteroles, isoflavonas, estilbenos y compuestos aromáticos cíclicos, presente en aguas residuales urbanas y efluentes de celulosa kraft, respectivamente.

Sistemas no convencionales como humedales construidos, son una alternativa costo-efectiva a los sistemas convencionales de tratamiento tipo lodos activados. Específicamente, humedales basados en sistema de flujo horizontal subsuperficial (FHSS) y sistemas

de flujo vertical (FV), presentan eliminaciones de materia orgánica cercana al 70 %. Además se ha observado una remoción sobre el 90 % de potenciales compuestos activos como los son, los de origen farmacéuticos, de cuidado personal y herbicidas.

Basado en la necesidad de conocer el comportamiento de los sistemas convencionales en la depuración de aguas residuales urbanas y de celulosa kraft, así como de evaluar el potencial biológico presente en estos, nace este proyecto que tiene como objetivo evaluar la eliminación del potencial biológico presente en aguas residuales urbanas y efluentes de celulosa kraft, a través de sistemas biológicos convencionales y no convencionales detectado con *Saccharomyces cerevisiae recombinante* y *Daphnia magna*.

Debido a lo previamente descrito, el objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de eliminación de materia orgánica y nutrientes contenidos en las aguas servidas de origen rural de Chile, utilizando humedales construidos de flujo horizontal subsuperficial, plantados con las especies ornamentales.

AGUA



PROYECTO 11

Proyecto del Fondo de Ciencia y Tecnología (FONDECYT) 3140162 para estudiantes de Postdoctorado 2013 “Evaluación de la eliminación de microcontaminantes orgánicos, nutrientes y materia orgánica contenidos en agua residual doméstica tratada por los humedales construidos” (2013-2016).

- **Investigador responsable:** Dra. Carolina Reyes.
- **Profesor Patrocinante:** Dra. Gladys Vidal.

RESUMEN

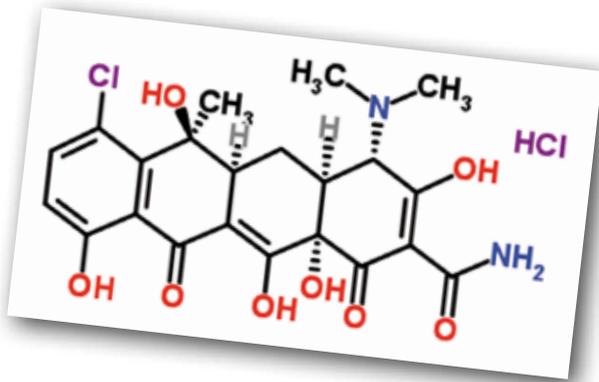
La calidad del agua es un recurso escaso y esencial para el desarrollo humano. Debido a esto, el tratamiento de aguas residuales y la reutilización del agua y la recuperación son muy importantes con el fin de asegurar una gestión sostenible del recurso. La presencia de Contaminantes Orgánicos Emergentes (COE) en el medio ambiente plantea muchas preguntas acerca de su peligro para los seres humanos y sobre las consecuencias que estas sustancias pueden provocar en los ecosistemas de agua y suelo. Varios estudios han reportado que las plantas de tratamiento de aguas residuales no son capaces de eliminar los COEs. Por esta razón es frecuente para detectar estos compuestos en el agua superficial, agua potable, suelos y lodos, tejidos vegetales y organismos. Debido al potencial riesgo ambiental, las nuevas tecnologías de tratamiento se deben desarrollar para minimizar la concentración de los COE en el medio ambiente.

Los humedales construidos son sistemas alternativos al tratamiento convencional de aguas residuales para pequeñas comunidades (hasta 2.000 personas). Esto se debe principalmente a que los costos de operación y mantenimiento se reducen. A pesar de las ventajas, la obstrucción del

lecho es el problema más importante durante la operación debido a los sólidos y grasas contenidas en el influente. Varios estudios han descrito la capacidad de humedales construidos para la eliminación de materia orgánica y nutrientes; recientemente se han empezado a aplicar en la eliminación de microcontaminantes orgánicos. El objetivo principal de este proyecto es evaluar la capacidad de humedales construidos de eliminación microcontaminantes orgánicos, materia orgánica y los nutrientes de las aguas residuales urbanas.



AGUA



PROYECTO 12

Proyecto de Seminario de Investigación de Ingeniería en Biotecnología Vegetal “Evaluación de patógenos en el agua servida tratada proveniente de un sistema de tratamiento de humedal construido”.

- **Estudiante de Ingeniería en Biotecnología Vegetal:** Catalina Mardones.
- **Profesores:** Dra. Katherine Sossa (Guía) Dra. Gladys Vidal (Co-Guía), Daniela López (Co-Guía).

PROYECTO 13

Proyecto de Seminario de Investigación de Ingeniería Ambiental “Evaluación de humedales construidos plantados con especies ornamentales en la eliminación de materia orgánica, nutrientes y contaminantes patógenos de aguas servidas de origen rural”.

- **Estudiante de Ingeniería Ambiental:** Viviana Burgos.
- **Profesores:** Dra. Gladys Vidal (Guía), Daniela López (Co-Guía), Francisca Araya (Co-Guía).

PROYECTO 14

Proyecto de Seminario de Investigación de Ingeniería Ambiental “Plan de gestión para minimizar los riesgo de las enfermedades infecciosas gastrointestinales en la zona rural de la comuna de Tirúa”.

- **Estudiante de Ingeniería Ambiental:** Daniel Mundaca.
- **Profesores:** Dra. Patricia González (Guía), Gladys Vidal (Co-Guía), Francisca Araya (Co-Guía).

PROYECTO 15

Proyecto de Seminario de Investigación de Ingeniería Ambiental “Diagnóstico técnico de procesos de desinfección (Cloro y ultravioleta (UV)) en sistemas de tratamiento de aguas servidas descentralizados”.

- **Estudiante de Ingeniería Ambiental:** Loreto Acevedo.
- **Profesores:** Dra. Ana Carolina Baeza (Guía), Gladys Vidal (Co-Guía), Francisca Araya (Co-Guía).

AGUA



Catalina Mardones



Viviana Burgos



Daniel Mundaca



Loreto Acevedo

PROYECTO 16

Proyecto INNOVA BIOBIO en el marco de su línea de innovación de interés público 13.3327-IN.IIP “Recuperación de agua mediante jardines depuradores a partir de aguas servidas rurales: Aplicaciones innovadoras con impacto para la comunidad rural”

- **Investigador responsable:** Dra. Gladys Vidal.
- **Co-Investigadores:** Francisca Araya, Dr. Jorge Jara, Dra. Carolina Baeza, Dra. Patricia González, Dra. Soledad Chamorro, Dra. Katherine Sossa y Dra. Carolina Reyes.

RESUMEN

El sector rural de Chile, presenta necesidades de tratamiento de las aguas. Las tecnologías de tratamiento deben dar respuestas muy distintas a las ya instaladas en ciudades, debido a la baja densidad de la población rural, baja tecnificación, necesidades energéticas y consideraciones en la operación.

Dentro de las alternativas tecnológicas que ha sido implementada como sistemas no convencionales o tecnología verde se encuentra el uso de jardines depuradores. Esta tecnología pasiva de tratamiento para las aguas servidas rurales, utiliza la capacidad depurativa de plantas macrófitas, tales como *Phragmites* sp. y *Schoenoplectus* sp., para ser empleadas en estos sistemas. Una vez que el agua ha sido tratada a través de estos jardines depuradores, es posible evaluar la potencialidad de reusar el agua en la agricultura.

Esta propuesta tiene dos ejes principales: a) Utilización de diferentes tipos de plantas macrófitas y ornamentales con la finalidad de poder utilizar los nutrientes de las aguas servidas en la producción de flores y fibra que puedan proyectar un negocio e impacto social, contribuyendo al beneficio

social de la comunidades rurales y resolviendo un problema con contaminación rural, b) Reutilización de las aguas tratadas de las comunidades rurales, para beneficio de la agricultura rural. Por antes descrito, este Proyecto tiene como objetivo central: Desarrollar e implementar jardines depuradores para recuperación de agua a partir de aguas servidas rurales y generar fibra de uso comercial. Los objetivos específicos asociados a la ejecución de este proyecto son:

- 1) Diseñar y operar jardines depuradores de agua servidas rurales para la recuperación de agua;
- 2) Caracterizar y evaluar diferentes tipos de macrófitas respecto a su capacidad para depurar agua y producción de fibra de uso comercial;
- 3) Identificar y evaluar usos del agua tratada en la agricultura rural, considerando calidad del agua y tipo de riego.
- 4) Realizar actividades de difusión y masificación de la operación y monitoreo de jardines depuradores, a la comunidad interesada.

AGUA



ANEXO 2: PRODUCTOS GENERADOS POR EL GRUPO DE INGENIERÍA Y BIOTECNOLOGÍA EN EL AREA DE LAS AGUAS SERVIDAS

PUBLICACIONES EN REVISTAS DE CORRIENTE PRINCIPAL (ISI)

Vera, I., Araya, F., Andres, E., Sáez, K., Vidal, G. (2014). Enhanced phosphorus removal from sewage in mesocosm-scale constructed wetland using zeolite and artificial aeration. *Environmental Technology* 35 (13), 1639-1649.

Rojas, K., Vera, I., Vidal, G. (2013). Influence of season and species *Phragmites australis* and *Schoenoplectus californicus* on the removal of organic matter and nutrients contained in sewage wastewater during start up operation of the horizontal subsurface flow constructed wetland. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia* 69, 289-299.

Vera, I., Sáez, K., Vidal, G. (2013). Performance of 14 full-scale sewage treatment plants: Comparison between four aerobic technologies regarding effluent quality, sludge production and energy consumption. *Environmental Technology* 34 (15), 2267-2275.

Vera, I., García, J., Sáez, K., Moragas, L., Vidal, G. (2011). Performance evaluation of eight years experience of constructed wetland systems in Catalonia as alternative treatment for small communities. *Ecological Engineering* 37 (2), 364-371

PUBLICACIONES CON COMITE EDITORIAL (NO ISI)

Morales, G., López, D., Vera, I., Vidal G. (2014) Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas. *Theoria* (en prensa)

Vidal, G., López, D., Vera, I., Chamorro, S., Baeza, C. (2013). Control de la contaminación de aguas servidas en áreas rurales de alta sensibilidad sísmica a través de humedales construidos. *Revista Seguridad y Medio Ambiente - Fundación Mapfre* (ISSN: 1888-5438) 33 (131), 52-60.

Plaza de los Reyes C., Vera I., Salvato M., Borin M., Vidal G. (2011). Consideraciones para la eliminación de nitrógeno en humedales artificiales. *Tecnología del Agua* (ISSN 0211-8173) 330 (6), 40-49.

CONGRESOS INTERNACIONALES Y NACIONALES

López, D., Fuenzalida, D., Vera, I., Vidal, G. *Evaluación de las emisiones de metano provenientes de humedales de flujo subsuperficial que tratan aguas servidas a través de actividad metanogénica*. Segunda Conferencia Panamericana de sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua, 8 a 12 de junio de 2014, Morelia, Michoacán, México. Aceptado para poster.

AGUA

Morales, G., López, D., Vera, I., Vidal G. *Humedales contruidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas*. Segunda Conferencia Panamericana de sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua, 8 a 12 de junio de 2014, Morelia, Michoacán, México. Aceptado para poster.

Vera, I., Araya, F., Andrés E., Vidal, G. *Evaluation of natural zeolite (Mordenite) as medium in horizontal subsurface flow constructed wetland for phosphate removal from sewage wastewaters*. EcoTechnologies for wastewater treatment, 25 a 27 de Junio de 2012, Santiago de Compostela, España. Aceptado para poster

Vera, I., Araya, F., Andrés E., Vidal, G. *Evaluación del tratamiento de aguas servidas en humedales de flujo subsuperficial mediante el uso de zeolita natural (Mordenita) como medio de soporte*. Conferencia Panamericana en sistemas de humedales para el manejo, tratamiento y mejoramiento de la calidad del agua. 26 de febrero a 2 de marzo de 2012, Pereira, Colombia. Aceptado para presentación oral

Araya, F, Vera, I., Vidal, G *Sistema híbrido de humedales artificiales como alternativa para la depuración de las aguas servidas en comunidades*

rurales. XIX Congreso Chileno De Ingeniería Sanitaria Y Ambiental. 28 al 30 de Noviembre de 2011, Concepción, Chile. Aceptado para presentación oral.

Vera, I., García, J., Moragas, L., Sáez, K., Vidal, G. *Humedales artificiales para tratamiento de aguas servidas en comunidades rurales ubicadas en climas mediterráneos: análisis de 8 años de operación de plantas a escala real*. XIX Congreso Chileno De Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 28 al 30 de Noviembre de 2011, Concepción, Chile. Aceptado para presentación oral.

ANEXO 3: PROYECTO INNOVA BIOBIO 13.3327-IN.IIP:
RECUPERACION DE AGUA A PARTIR DE AGUAS SERVIDAS
RURALES MEDIANTE JARDINES DEPURADORES:
APLICACIONES INNOVADORAS CON IMPACTO PARA LA
COMUNIDAD RURAL (PERIODO DE EJECUCION: 2014 – 2017)
Página web: www.eula.cl/giba

INVESTIGACION PRELIMINAR



Humedales escala laboratorio utilizados para la realización de tesis de pregrado de Francisca Araya (Bioingeniería)(2010).

AGUA



Análisis de plantas del humedal escala laboratorio (2011).



Análisis de plantas del humedal escala laboratorio (2011).



Inauguración Sistema piloto de humedales construidos-PTAS Hualqui (2011).



Sistema Piloto de Humedal Construido-PTAS Hualqui (Junio, 2011).



Monitoreo de sedimento y plantas del Sistema Piloto de Humedal Construido.



Sistema Piloto de Humedal Construido-PTAS Hualqui (Diciembre, 2011).



Sistema Piloto de Humedal Construido-PTAS Hualqui (Mayo, 2012).

AGUA



Monitoreo del Sistema Piloto de Humedal Construido. Daniel Fuenzalida, Tesista de Bioingeniería (2012).



Sistema Piloto de Humedal Construido-PTAS Hualqui (Octubre, 2012).



Modificación del sistema de pretratamiento del Piloto de Humedal Construido-PTAS Hualqui (2013).



Sistema Piloto de Humedal Construido-PTAS Hualqui (2014).



Montaje de Humedales a escala laboratorio con plantas ornamentales (2014).



Realización seminario internacional "Humedales naturales y construidos: innovación para la conservación y gestión sustentable de la biodiversidad" (2012).



Mesa redonda realizada en seminario internacional "Humedales naturales y construidos: innovación para la conservación y gestión sustentable de la biodiversidad" (2012).

AGUA



Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental, GIBA, 2013.



Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental, GIBA, 2014.

PROYECTO INNOVA BIOBIO 13.3327-IN.IIP: RECUPERACION DE AGUA A PARTIR DE AGUAS SERVIDAS RURALES MEDIANTE JARDINES DEPURADORES: APLICACIONES INNOVADORAS CON IMPACTO PARA LA COMUNIDAD RURAL (Periodo de ejecución: 2014 – 2017)

www.eula.cl/giba

Entidad ejecutora: Grupo de Ingeniería y Biotecnología Ambiental, Universidad de Concepción

El sector rural de Chile, presenta necesidades de tratamiento de las aguas. Las tecnologías de tratamiento deben dar respuestas muy distintas a las ya instaladas en ciudades, debido a la baja densidad de la población rural, baja tecnificación, necesidades energéticas y consideraciones en la operación.

Dentro de las alternativas tecnológicas que ha sido implementada como sistemas no convencionales o tecnología verde se encuentra el uso de jardines depuradores. Esta tecnología pasiva de tratamiento para las aguas servidas rurales, utiliza la capacidad depurativa de plantas macrófitas, tales como *Phragmites sp.* y *Schoenoplectus sp.*, para ser empleadas en estos sistemas. Una vez que el agua ha sido tratada a través de estos jardines depuradores, es posible evaluar la potencialidad de reusar el agua en la agricultura.

Esta propuesta tiene dos ejes principales: a) Utilización de diferentes tipos de plantas macrófitas y ornamentales con la finalidad de poder utilizar los nutrientes de las aguas servidas en la producción de flores y fibra que puedan proyectar un negocio e impacto social, contribuyendo al beneficio social de las comunidades rurales y resolviendo un problema con contaminación rural, b) Reutilización de las aguas tratadas de las comunidades rurales, para beneficio de la agricultura rural. Por antes descrito, este Proyecto tiene como objetivo central: Desarrollar e implementar jardines depuradores para recuperación de agua a partir de aguas servidas rurales y generar fibra de uso comercial. Los objetivos específicos asociados a la ejecución de este proyecto son: 1) Diseñar y operar jardines depuradores de agua servidas rurales para la recuperación de agua; 2) Caracterizar y evaluar diferentes tipos de macrófitas respecto a su capacidad para depurar agua y producción de fibra de uso comercial; 3) Identificar y evaluar usos del agua tratada en la agricultura rural, considerando calidad del agua y tipo de riego. 4) Realizar actividades de difusión y masificación de la operación y monitoreo de jardines depuradores, a la comunidad interesada.

Este proyecto contempla a la Universidad de Concepción como entidad ejecutora, la I. Municipalidad de Hualqui y la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) como entidades públicas interesadas. Las implicancias finales de este proyecto es poder dar una alternativa viable al Programa de Agua Potable Rural (APR), los Comités y Cooperativas de APR.



AGUA

LAS AGUAS SERVIDAS Y SU DEPURACION EN ZONAS RURALES: SITUACION ACTUAL Y DESAFIOS