

AGUAS RESIDUALES, SU IMPACTO SOBRE EL ECOSISTEMA ANTÁRTICO Y SU MITIGACIÓN POR MEDIO DE TECNOLOGÍAS DE DEPURACIÓN

Rodrigo Alejandro Marinković Peralta
Ingeniero Civil Químico

Punta Arenas, Chile

2016

CONTENIDO

CONTENIDO	2
RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. ANTECEDENTES GENERALES SOBRE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL CONTINENTE ANTÁRTICO	5
2.1. CALIDADES DE LAS AGUAS RESIDUALES.....	6
2.2. IMPACTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN ANTÁRTICA.....	8
3. ANTECEDENTES GENERALES SOBRE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)	11
3.1. PRETRATAMIENTO.....	11
3.2. TRATAMIENTO PRIMARIO.....	12
3.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO	13
3.4. TRATAMIENTO TERCARIO.....	14
4. DISCUSIÓN GENERAL	15
CONCLUSIONES.....	16
REFERENCIAS.....	17

RESUMEN

El presente trabajo expone información básica sobre las características de las aguas residuales y sus principales contaminantes. También se aborda la presencia implícita de contaminantes emergentes y los daños que podrían causar en el ecosistema antártico, ya que aún es un tópico que no se encuentra muy desarrollado y no se le ha dado la urgencia que debiera.

Se da a conocer de manera básica y general el funcionamiento de las plantas de tratamientos de aguas residuales, en particular de tecnología “lodos activados” por ser uno de los tratamientos biológicos más abundantes en el territorio antártico y por ser los más utilizados a nivel mundial.

La presente monografía se confeccionó a partir de la lectura de diferentes fuentes informativas como manuales de diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales, el Tratado Antártico, portales destinados a informar avances sobre materias antárticas de actualidad, en su mayoría electrónicas.

Se realiza una discusión con respecto a los hechos estudiados y se concluye que nuestro entendimiento sobre los impactos medioambientales causados por las aguas residuales descargadas sobre el ecosistema de Antártica es relativamente limitado y que con las plantas de tratamiento de aguas residuales estamos logrando solamente reducir nutrientes y DBO, pero no contaminantes emergentes, los cuales han sido escasamente estudiados, cuya finalidad tiene proteger la biota antártica.

PALABRAS CLAVES

Tecnologías de depuración, Antártica, aguas negras, *aguas residuales*, *plantas de tratamiento de aguas residuales*, EDAR, PTAR, contaminantes emergentes, contaminación antártica.

1. INTRODUCCIÓN

La generación de aguas residuales es una consecuencia inevitable de las actividades humanas. Estas actividades modifican las características de las aguas, contaminándolas e invalidando su posterior aplicación para otros usos.

Las aguas servidas sin un tratamiento previo, ocasiona daños, en ocasiones irreversibles, al medio ambiente, afectando tanto a ecosistemas acuáticos como terrestres.

En el tratamiento de las aguas residuales estas se someten a una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, que tienen como objetivo reducir el grado de contaminantes y permitir el vertido de los efluentes depurados, minimizando el riesgo para las personas y el medio ambiente.

Países que realizan el tratamiento de sus aguas residuales domésticas, como por ejemplo, Chile, Colombia, Venezuela, México, España y otros, poseen diversas normativas que establecen las concentraciones mínimas de cierto tipo de contaminantes con la finalidad de mitigar los impactos ambientales, sin embargo no se han determinado límites de contaminantes para el continente Antártico. Por ejemplo, Chile se basa principalmente en su Decreto Supremo N° 90.

Cuando hablamos de tratar las aguas residuales en el continente antártico hay que definir varias limitantes como, qué tipo de agua es la que se tratará (características físico-químicas aproximadas), potenciales tecnologías a utilizar para la depuración de dichas aguas y resultados esperados.

Por otro lado, la temática de aguas residuales en Antártica ha generado gran interés en grupos científicos y no científicos, preguntándose cómo afectan estas descargas sobre el medio marino antártico, así como el nacimiento de contaminantes emergentes que hasta el día de hoy se mantiene un grado de desconocimiento.

Para llevar a cabo un control, hoy en día se utilizan muchas estrategias de monitoreo ambiental y colección de muestras para determinar el grado de eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales en Antártica.

Este trabajo tiene por objetivo comprender el proceso de depuración de aguas residuales, sus debilidades y fortalezas.

2. ANTECEDENTES GENERALES SOBRE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS EN EL CONTINENTE ANTÁRTICO

Se entiende por concepto de aguas residuales domésticas a las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas

La procedencia de los posibles componentes de las aguas residuales domésticas y los principales contaminantes son:

Agua de cocina: “sólidos, materia orgánica, grasas y sales”.

Aguas de lavadoras: detergentes y nutrientes.

Aguas de baño: jabones, geles, shampoo.

Aguas negras: procedente del metabolismo humano, sólidos, materia orgánica, nutriente, sales y patógenos.

Cada agua es única en sus características aunque en función del tamaño de la población, del sistema de alcantarillado empinado, del grado de industrialización y de la incidencia de la pluviometría, pueden establecerse unos rangos de variación habituales, tanto para los caudales como para las características fisicoquímicas de estos vertidos

El conocimiento de los caudales y características de las aguas residuales generadas en las aglomeraciones urbanas es básico para el correcto diseño de los sistemas de recogida, tratamiento y evacuación de las mismas.

Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), deben concebirse para poder hacer frente a las variaciones diarias de caudal y carga que experimentan estas aguas.

En la práctica, entre el 60% y 85% del agua de abastecimiento consumida se transforma en aguas residuales. Los caudales de aguas residuales oscilan durante todo el año y siguen una variación diaria que es fiel reflejo de la actividad de la población del lugar.

2.1. CALIDADES DE LAS AGUAS RESIDUALES

Los principales contaminantes son:

- Objetos gruesos (plásticos, trapos, etc.)
- Arenas: arenas propiamente dichas, grava y partículas más o menos grandes de origen mineral y orgánico.
- Grasas y aceites: sustancias que al no mezclarse con el agua permanecen en su superficie dando lugar a natas. Su procedencia puede ser musical o industrial.
- Sólidos en suspensión: partículas de pequeño tamaño y de naturaleza. Aproximadamente el 60% de los sólidos en suspensión son sedimentables y un 75% son de naturaleza orgánica.
- Sustancias con requerimientos de oxígeno, compuestos orgánicos e inorgánicos que se oxidan fácilmente, lo que provoca un consumo de oxígeno presente en el medio al que se vierte.

- Nutrientes (nitrógeno y fósforo): su presencia en las aguas es debida principalmente a fertilizantes y detergentes. Igualmente, las excretas humanas aportan nitrógeno orgánico.
- Agentes patógenos: organismos, presentes en menor o mayor cantidad en las aguas residuales y que pueden transmitir o emitir enfermedades.
- Contaminantes emergentes o prioritarios: sustancias presentes en productos de cuidado personal, productos de limpieza doméstica, productos farmacéuticos, etc. La mayoría de ellos no son removidos en plantas de tratamiento de aguas residuales.

En el tratamiento convencional de las aguas residuales, la reducción del contenido en los contaminantes descritos suele hacerse en forma secuencial.

Los parámetros empleados para caracterizar las aguas residuales

son:

- Aceites y grasas.
- Sólidos en suspensión
- Sustancias con requerimientos de oxígeno:

Para cuantificar estas sustancias los dos parámetros más utilizados son:

- Demanda bioquímica de oxígeno a los 5 días (DBO₅)
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Nitrógeno
- Fósforo
- Organismos patógenos

Cabe mencionar que las aguas residuales que llegan a la estación depuradora no siempre se mantienen constantes. Por lo anterior, para la correcta evaluación de los parámetros se precisa que la toma de muestras sea representativa. Para ello, en una campaña de muestreo, lo correcto es proceder a la toma de muestras a intervalos regulares. [1]

2.2. IMPACTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN ANTÁRTICA

El Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente permite que las estaciones antárticas descarguen aguas residuales en el mar o en pozos profundos en el hielo ubicados en zonas no costeras cuando no es posible remover esas aguas de la región. En el pasado, las aguas residuales se han vertido en zonas tierra adentro. Según lo establecido en el Protocolo, la descarga de aguas residuales en el mar debe tomar en consideración la “capacidad de asimilación del medio marino receptor” y debe realizarse, cuando sea factible, donde existan condiciones para “su dilución inicial y su rápida dispersión”; sin embargo, actualmente, dichos términos no están definidos. El nivel mínimo de tratamiento requerido es la maceración, pero solo cuando la población de las estaciones supera unas 30 personas durante el verano. En la práctica, se utiliza una amplia gama de tecnologías de tratamiento, que van desde no tratar el agua hasta avanzados sistemas de tratamiento terciarios. [2]

Muchos estudios sobre las aguas residuales antárticas se han centrado en medir su distribución y alcance en el medio marino y se han realizado principalmente durante el verano. Sin embargo, durante el invierno, cuando las zonas costeras están cubiertas de hielo marino, es posible que las condiciones de dispersión sean distintas. Se han identificados cuatro categorías de trazadores de dispersión de aguas residuales: bacterias entéricas humanas, biomarcadores humanos, contaminantes y marcadores moleculares de aguas residuales e

isótopos estables. Se han detectado trazadores de aguas residuales en aguas marinas, sedimentos marinos y biota, incluidos peces e invertebrados, hasta a 2 Km de distancia de las estaciones. En general, las aguas residuales descargadas a través de vertidos antárticos fluyen predominantemente a lo largo de la costa, y hay pocas pruebas de que se dispersen mar adentro. Cabe mencionar que la medición de los marcadores no indica si existirá algún impacto medioambiental.

El Protocolo señala que deberían tomarse precauciones para evitar que se introduzcan microorganismos no autóctonos en la Antártica, aunque no menciona específicamente los riesgos planteados por las aguas residuales. La descarga de aguas residuales libera grandes cantidades de virus, agentes patógenos y microorganismos no autóctonos en el medioambiente, que podrían permanecer viables durante períodos extendidos y también podrían constituir una amenaza importante para especies autóctonas de microbios y de macrofauna. Las aguas residuales también podrían contener elementos genéticos móviles (como los codificados para ofrecer resistencia a los antibióticos), detectados como establecidos en poblaciones locales de bacterias y animales, y denominados también “contaminación genética”. Sin embargo, más allá de estipular la presencia de microorganismos no autóctonos, se han realizado pocas investigaciones para determinar los posibles impactos. Existen muchos registros de agentes patógenos relacionados con enfermedades (p. ej., *Salmonella*) presentes en la vida silvestre antártica, incluidos pingüinos de Adelia y macaroni, skúas, focas peleteras, albatros y gaviotas, aunque no hay pruebas de fuentes antropogénicas ni de posteriores brotes de enfermedad. Sin embargo, se halló materia fecal humana en la vida silvestre antártica (p. ej., en almejas, peces, erizos de mar y estrellas de mar) con una incidencia mayor en zonas más cercanas al vertido de agua, lo que indica una ingestión de aguas residuales, confirmada posteriormente por isótopos estables. Si bien no se han informado síntomas de enfermedad, se informó sobre una mayor incidencia de anomalías en los órganos internos de los peces.

Nuestro entendimiento de los impactos medioambientales causados por las aguas residuales descargadas en ecosistemas de la Antártida es

relativamente limitado. Las comunidades bentónicas marinas se han estudiado en las estaciones McMurdo, Casey y Davis como indicadoras de la contaminación por aguas residuales. En general, los impactos en las comunidades se correlacionaban con la escala de descarga de aguas residuales, con la diversidad y abundancia reducidas de especies y con la predominancia de algunas especies oportunistas. Los estudios ecotoxicológicos de aguas residuales son poco comunes, pero, efectivamente, indican toxicidad para los invertebrados marinos antárticos en bajas concentraciones tras estar expuestos durante varias semanas. Se sabe muy poco acerca de los impactos del vertido de aguas residuales en zonas tierra adentro, como pozos de hielo, lagos de agua dulce y arroyos o zonas libres de hielo. A partir de tasas de degradación extremadamente bajas y del cambio climático reciente, podrían producirse exposiciones de desechos históricos y problemas de contaminación a largo plazo.

La eficacia de las plantas de tratamiento de aguas residuales depende del tipo y el nivel del tratamiento. El tratamiento de aguas residuales tradicional quita nutrientes (para prevenir la eutrofización) y reduce las concentraciones de microorganismos / agentes patógenos. Las aguas marinas antárticas no suelen tener nutrientes limitados; sin embargo, los contaminantes y los microorganismos podrían causar riesgos significativos para el medioambiente. La mayoría de los sistemas de tratamiento utilizados en las estaciones quita nutrientes y reduce la DBO, y refleja, por lo tanto, procesos de tratamiento secundario descritos en el Protocolo (es decir, Interruptores Biológicos Giratorios).

[3]

3. ANTECEDENTES GENERALES SOBRE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (PTAR)

El mundo tecnológico de los tratamientos de aguas residuales pueden ser físicos, químicos, biológicos o una combinación de todos ellos. Por tal motivo es que en esta sección se describirá a modo básico las etapas de un proceso de depuración biológica por medio de lodos activados.

Las instalaciones de tratamiento de aguas servidas contemplan 3 etapas globales. La primera donde conducen el agua “cruda” a través de un sistema de tuberías y/o bombas, constituido por limitadores de caudal o aforos de tal manera que en momentos picos de consumo no llegue una gran cantidad de agua a tratar hacia la siguiente fase. Posteriormente viene el tratamiento propiamente tal, el cual se subdivide en etapas de tratamiento primario, secundario y terciario, entre otros. En este proceso el agua cruda transportada es tratada reduciendo algunos contaminantes y degradando u oxidando la materia orgánica presente en el agua. Finalmente, una vez tratada el agua esta sigue por dos líneas, una que evacúa el efluente depurado hacia el mar en este caso y por otra parte una línea de lodos, producto del crecimiento celular de los microorganismos, los cuales deben ser removidos del sistema en un porcentaje determinado y luego estabilizados para ser dispuestos en contenedores adecuados para su disposición final o utilizados como reconstituyente de suelos debido a sus propiedades. [\[4\]](#)

3.1. PRETRATAMIENTO

Las aguas residuales son sometidas a una serie de procesos físicos y mecánicos para remover la mayor cantidad de materia, que por su

naturaleza o tamaño, pueden originar problemas en las etapas posteriores del tratamiento.

Dentro de estos procesos físicos y mecánicos se puede destacar el **desbaste, tamizado, desarenado, desengrasado**. [4]

3.2. TRATAMIENTO PRIMARIO

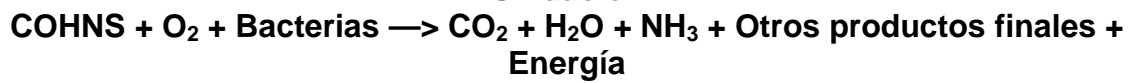
El principal objetivo de los tratamientos primarios se centra en la eliminación de sólidos en suspensión, consiguiéndose además una cierta reducción de la contaminación biodegradable, dado que una parte de los sólidos que se eliminan está constituida por materia orgánica. Los tratamientos primarios más habituales son la decantación primaria y los tratamientos fisicoquímicos. Algunos tipos de tratamiento primario son:

- **Decantación Primaria:** su objetivo es la eliminación de la mayor parte posible los sólidos sedimentables, bajo la acción exclusiva de la gravedad. La retirada de estos solidos es muy importante ya que, en caso contrario, originarían fuertes demandas de oxígeno en el resto de las etapas de tratamiento de la estación. [5]
- **Tratamientos Fisicoquímicos:** en este tipo de tratamiento, mediante la adición de reactivos químicos, se consigue incrementar la reducción de los sólidos en suspensión, al eliminarse, además, solidos coloidales, al incrementarse el tamaño y densidad de los mismos mediante procesos de coagulación-floculación. [5]

3.3. TRATAMIENTO SECUNDARIO

También llamado tratamiento biológico, se realiza con la ayuda de microorganismos (fundamentalmente bacterias) que en condiciones aerobias actúan sobre la materia orgánica presente en las aguas residuales. Una parte de la materia orgánica se oxida por la flora bacteriana, que obtiene de esta forma la energía necesaria para el mantenimiento celular. De forma simultánea, otra fracción de materia orgánica se convierte en nuevo tejido celular nuevo (síntesis celular), empleándose para ello la energía liberada en la fase de oxidación.

Oxidación

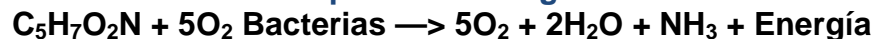


Síntesis



Donde COHNS representa los elementos predominantes en la materia orgánica presente en las aguas residuales y $\text{C}_5\text{H}_7\text{O}_2\text{N}$ representa la composición media de los microorganismos encargados de la biodegradación de la materia orgánica [5]. Finalmente, cuando se consume la materia orgánica disponible, las nuevas células empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para el mantenimiento celular. Este tercer proceso se conoce como respiración endógena.

Respiración endógena



El aporte de oxígeno para el mantenimiento de las reacciones de oxidación, síntesis y respiración endógena, se efectúa introduciendo, generalmente, aire en los recipientes en que se llevan a cabo estas reacciones, recipientes que se conocen con el nombre de reactores biológicos o cubas de aireación. Las nuevas bacterias que van apareciendo en los reactores, como consecuencia de las reacciones de síntesis, tienden a unirse (floculación),

formando agregados de mayor densidad que el líquido circundante, y en cuya superficie se va adsorbiendo la materia en forma coloidal. Para la separación de estos agregados, conocidos como lodos o fangos, el contenido de los reactores biológicos (licor de mezcla), se conduce a una etapa posterior de sedimentación (decantación o clarificación secundaria), donde se consigue la separación de los lodos de los efluentes depurados por la acción de la gravedad.

De los lodos decantados una fracción se purga como lodos en exceso, mientras que otra porción se recircula al reactor biológico para mantener en él una concentración determinada de microorganismos. [5]

3.4. TRATAMIENTO TERCIARIO

Los tratamientos terciarios (conocidos también como tratamientos avanzados, y otros) permiten obtener efluentes finales de mejor calidad para que puedan ser vertidos en zonas donde los requisitos son más exigentes o puedan ser reutilizados. La eliminación de materia particulada y coloidal presente en los efluentes depurados, puede lograrse mediante la aplicación de tratamientos fisicoquímicos (coagulación-floculación) y la posterior etapa de separación (decantación, filtración). Para la eliminación de nutrientes (nitrógeno y fosforo), se recurre cada vez más al empleo de procesos biológicos. No obstante, el caso del de fosforo, los procesos de precipitación química, empleando sales de hierro y de aluminio, continúan siendo 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 su liberación a la atmosfera, en forma de nitrógeno gaseoso.

Para la eliminación biológica del fosforo se combinan reactores operando bajo condiciones anaerobias, óxicas y anóxicas, quedando el fosforo almacenado en los microorganismos, que posteriormente se extraen como lodos en exceso. Combinando los procesos anteriores también es posible la eliminación

conjunta de ambos nutrientes. Con relación a la desinfección de los efluentes depurados, si bien el cloro ha sido, y continua siendo, el desinfectante típico en el campo de las aguas residuales, al incrementarse el número de requisitos para lograr bajas o indetectables cantidades de cloro residual en los efluentes tratados, se hace precisa la implantación de procesos posteriores de decloración, 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. [6]

4. DISCUSIÓN GENERAL

A pesar de los avances tecnológicos lo que se está logrando con respecto a los tratamientos biológicos sólo es reducir nutrientes y DBO, pero no ha existido una real preocupación para establecer una línea base de los contaminantes emergentes y reforzar la investigación en esa área. Probablemente se debería estudiar implementar etapas posteriores a un tratamiento terciario, donde existan mecanismos selectivos para la remoción de contaminantes emergentes como antibióticos, polibromodifenil éter, metales y otros.

Se debería considerar llevar a discusión en la próxima reunión consultiva del Tratado Antártico, la modificación de los límites mínimos permisibles para contaminantes en los cuerpos marinos antárticos, ya que en este momento no existe una limitación y menos una sanción frente a personas u organizaciones que atenten contra el continente Antártico. En este momento, Antártica está desprotegida ambientalmente desde el punto de vista de la emisión de residuos líquidos.

Se debe potenciar la transferencia de conocimientos y establecer guías con mejores prácticas disponibles con la finalidad de lograr una mejor operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que es un factor clave en su correcto funcionamiento y a su vez considerar en los próximos diseños

los incrementos o disminución de población que pueden lograr que el sistema de depuración se vuelva inefectivo.

CONCLUSIONES

Los requisitos mínimos del Tratado Antártico no son suficientemente efectivos para limitar el impacto ambiental de los efluentes.

No hay ningún medio verificador que asegure que no se esté impactando el medioambiente antártico con la emisión de residuos líquidos desde las bases antárticas.

Nuestro entendimiento de los impactos medioambientales causados por las aguas residuales descargadas en el ecosistema de la Antártica es relativamente limitado.

No se tiene conocimiento del verdadero impacto de los contaminantes emergentes.

No es suficiente trabajar con sistemas de tratamiento de lodos activados convencionales. Se debe apuntar a mejorar las tecnologías de tratamiento de aguas residuales.

Se requiere diseñar en conjunto con los otros países, guías de buenas prácticas para la operación de las plantas de tratamiento de aguas residuales

REFERENCIAS

1. Alianza por el agua, *Manual de depuración de aguas residuales urbanas* (pp. 15-24). España: Ideasmares. [1]
2. Alianza por el agua, *Manual de depuración de aguas residuales urbanas* (pp. 25-31). España: Ideasmares. [4]
3. Alianza por el agua, *Manual de depuración de aguas residuales urbanas* (pp. 34-36). España: Ideasmares. [5]
4. Alianza por el agua, *Manual de depuración de aguas residuales urbanas* (pp. 37-38). España: Ideasmares. [6]
5. Ministerio de Justicia y Derechos Humanos, Presidencia de la Nación - Argentina. (21 noviembre 2016). *Protocolo al Tratado Antártico sobre Protección del Medio Ambiente, adoptado en Madrid.* Recuperado de <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/0-4999/614/norma.htm> [2]
6. *Portal de medioambientes antárticos.* (21 noviembre 2016). Recuperado de <https://www.environments.ag/resumenes-informativos/fuentes-dispersion-e-impactos-de-las-aguas-residuales-en-la-antartida/> [3]