

REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE ALMERÍA EN LOS REGADÍOS DEL BAJO ANDARAX

JERÓNIMO J. PÉREZ PARRA

CIDH Almería

ANTONIO VALLVERDÚ ARBÓS

TRAGSA Almería

LA NECESIDAD DE REUTILIZAR LAS AGUAS RESIDUALES

INTRODUCCIÓN

El agua de calidad para satisfacer las necesidades humanas es un recurso cada vez más escaso, y su posesión constituye un factor esencial de civilización, de lo que da testimonio la historia de los asentamientos de la humanidad.

La escasez de recursos hídricos naturales en zonas áridas y semiáridas constituye un problema, a veces dramático, para la población asentada en ellas, como es el caso de las regiones mediterráneas, en las que la creciente acumulación de población unida a una escasa pluviometría irregularmente distribuida en el tiempo y a unos limitados recursos superficiales, están llevando al agotamiento y/o deterioro de los recursos subterráneos. En este contexto, la reutilización de las aguas residuales urbanas se perfila como una fuente adicional de agua merecedora de ser tenida en cuenta en la gestión global de los recursos hídricos, junto a medidas ya tradicionales como los trasvases desde cuencas excedentarias, la construcción de embalses para regular recursos superficiales, y otras medidas más innovadoras y costosas como la desalinización de agua del mar.

ELIMINACIÓN O REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES. LA OBLIGACIÓN DE DEPURARLAS

Las aguas residuales, como consecuencia de la incorporación a las aguas de abastecimiento de los restos de la actividad humana e industrial, pueden ser contempladas como un «caldo» que contiene millones de microorganismos aerobios y anaerobios, elementos orgánicos e inorgánicos disueltos y sólidos en suspensión. Su composición responde, de forma genérica, a los valores recogidos en el cuadro 1.

Además de la carga orgánica, el uso doméstico aporta sustancias minerales, que en unos casos añadirán valor fertilizante y en otros pueden suponer una carga tóxica limitante para su

reutilización (metales pesados como Cd, Hg o Zn). En el cuadro 2 se dan valores medios de estos aportes.

Si se dispone de suficiente agua de buena calidad, lo lógico es pensar en eliminar la residual, vertiéndola a algún medio receptor: río, mar, rambla, etc. En caso de limitadas disponibilidades de agua, sería un lujo no considerar la posibilidad de reutilización de un recurso necesario. Pero en una y otra situación será imprescindible proceder a la descarga de la contaminación incorporada a las aguas residuales, para evitar repercusiones indeseables sobre el medio ambiente y la salud pública, sometiéndolas a un grado de depuración que será función del origen de la carga contaminante, de la sensibilidad del medio receptor en caso de vertido o del destino que vayan a tener en caso de aprovechamiento posterior. Esta necesidad de depuración, no es ya algo aconsejable, sino que está recogido por las distintas legislaciones nacionales y se convierte en una obligación para los países comunitarios según diversas directivas del Consejo de la CEE, entre las que hay que destacar la de 21 de Mayo de 1991 (Directiva 91/271/CEE), que establece el compromiso para los Estados miembros de recoger las aguas residuales de aglomeraciones urbanas, de instalar sistemas de tratamiento adecuados para las mismas y define criterios para la determinación de zonas de vertido sensibles (lagos, arroyos, estuarios, bahías) y zonas menos sensibles. Así mismo, se fijan plazos para el cumplimiento de tales medidas, en defensa del medio ambiente, que oscilan entre el 31 de Diciembre del año 2000 para aglomeraciones de más de 15.000 habitantes y el 31 de Diciembre del año 2005 para núcleos de 2.000 a 15.000 habitantes.

POSIBILIDADES DE REUTILIZACIÓN

Las posibilidades de reutilización de las aguas residuales tratadas son numerosas y variadas, dependiendo del nivel de tratamiento a que se sometan, lo que determinará la calidad del efluente conseguido. Estas posibilidades de reutilización, atendiendo a la calidad del efluente, pueden agruparse como sigue:

DESTINO DEL AGUA REUTILIZADA	TIPO DE USO	CALIDAD EXIGIDA AL EFLUENTE (Grado de depuración)
Agrícola	Riego restringido	Baja
	Riego restringido	Alta
Recreativo	Uso general en finca	Muy alta
	Sin contacto humano	Baja
Industrial	Con contacto humano	Alta
	Usos secundarios	Baja
	Agua de proceso	Alta
Urbano	Agua de proceso en industriales agroal.	Muy alta
	Agua no potable	Baja
	Agua potable	Muy alta

Como ejemplo de los aprovechamientos agrupados en el cuadro anterior podemos citar el riego de cultivos industriales, riego de parques, campos de golf, creación de estanques y/o zonas húmedas ó el lavado de calles.

Conseguir la calidad de efluente exigible para cada uso hará necesario someter las aguas residuales a tratamientos adecuados para garantizar unas correctas condiciones sanitarias.

PLANIFICACIÓN DE LA REUTILIZACION

Definido el interés de la reutilización de las aguas residuales urbanas en zonas donde este recurso es especialmente escaso y por tanto valioso, es preciso, que las actuaciones que se lleven a cabo, sean realizadas de manera planificada, con el fin de garantizar la consecución de los objetivos propuestos. En este sentido y siguiendo a diversos autores, un esquema adecuado de planificación podría ser el siguiente:

- a) Estudio de viabilidad de la reutilización.
 - a.1.- Definición de posibles usos y usuarios.
 - a.2.- Determinación de calidad exigible según destino del agua.
 - a.3.- Estimación de costes: inversiones necesarias según usos, rentabilidad de las inversiones, etc.
 - a.4.- Informe de viabilidad: posibilidades y límites.

Estudiada la viabilidad de la reutilización se pasará a desarrollar detalladamente la propuesta más viable realizando un adecuado análisis técnico - económico que incluirá:

- b) Análisis técnico - económico.
 - b.1.- Caracterización física del medio receptor: clima, topografía, etc.
 - b.2.- Caracterización detallada del agua residual disponible, y de la calidad exigida al efluente.
 - b.3.- Definición del método de tratamiento adecuado y de las instalaciones necesarias.
 - b.4.- Evaluación económica de la inversión.

Por último se establecerá una fase de elaboración y ejecución de inversión y control del mismo que contendrá:

- c) Proyecto y ejecución de la actuación.
 - c.1.- Definición de usos y usuarios.
 - c.2.- Hipótesis del proyecto.
 - c.3.- Tratamiento de las aguas residuales para conseguir la calidad objetivo.
 - c.4.- Ingeniería del proceso.
 - c.5.- Presupuesto de ejecución.
 - c.6.- Plan de funcionamiento y explotación: gestión técnica y económica.

LA REUTILIZACIÓN AGRÍCOLA DE AGUAS RESIDUALES

La aplicación de las aguas residuales a terrenos agrícolas para riego, aprovechando su valor fertilizante, o para su eliminación evitando la contaminación de ríos, es una práctica realizada desde la antigüedad por griegos y romanos y habitual en China, Inglaterra o Alemania durante los siglos XVI, XVII, XIX y principios del siglo XX. A lo largo de este siglo la reutilización para la aplicación en riego de las aguas residuales, ha adquirido un nuevo auge como sistema alternativo de depuración, como mecanismo eficaz para regular los recursos hídricos en zonas muy deficitarias y para crear barreras hidráulicas contra la intrusión marina.

La agricultura en áreas áridas y semiáridas depende casi absolutamente del riego, y la demanda de agua para riego representa un porcentaje que supera en muchos casos el 80% de la demanda total de agua. La elevada demanda de agua para riego unida al hecho de que este uso ha pasado a ocupar el tercer lugar en la prioridades de satisfacción de demanda, después del suministro urbano y el uso ecológico, convierte el aprovechamiento de las aguas residuales en una fuente inestimable de este escaso recurso.

El aprovechamiento en agricultura y sus limitaciones

Como se ha indicado anteriormente, el aprovechamiento para riego en la agricultura de las aguas residuales constituye una alternativa especialmente adecuada de reutilización. No obstante, y ésta sólo será óptima si se cuenta con las condiciones y conocimientos necesarios para garantizar tanto la conservación de la fertilidad del suelo (características orgánicas, minerales e hidrogeológicas) como la obtención de productos que respondan a las calidades higiénicas y sanitarias exigibles según su destino, para lo cual, es necesario que el aprovechamiento de aguas residuales se realice de modo controlado.

Los elementos presentes en las aguas residuales, que pueden limitar su uso en riego, son los siguientes:

- Sólidos en suspensión: Su acumulación da lugar a depósitos de lodos que generan condiciones anaeróbicas en el suelo, pudiendo, además, provocar obturación en sistemas de riego localizados.
- Materia orgánica biodegradable: Las proteínas, carbohidratos y grasas generan unas necesidades de oxígeno disuelto, medidas como DBO₅ ó DQO (Demanda bioquímica y química de oxígeno), cuya no satisfacción da lugar al desarrollo de condiciones sépticas.
- Patógenos: La presencia de virus (enterovirus, adenovirus, rotavirus) y bacterias (coliformes, fecales), de origen humano y su posible transmisión a través de los productos cultivados puede ser origen de enfermedades.
- Nutrientes: Los nutrientes como nitrógeno, fósforo o potasio esenciales para el desarrollo vegetal, enriquecen las aguas para riego, pero una carga excesiva puede provocar efectos nocivos para el terreno y/o las aguas subterráneas.
- Materia orgánica no biodegradable: Determinados productos tóxicos no degradables por los sistemas de tratamientos de AR, tales como fenoles, pesticidas y organoclorados, pueden limitar el uso en riego de las AR.

PH: El pH del agua afecta la solubilidad de los metales y pueden alterar el equilibrio del suelo.

Metales pesados: Los vertidos industriales, sobre todo, pueden aportar al agua metales como cadmio, mercurio, cinc y otros, cuya presencia reduce la aplicabilidad para riego de las aguas residuales por sus efectos tóxicos para los cultivos y la salud.

Conductividad eléctrica: Una excesiva salinidad derivada de la presencia de iones Na, Ca, Mg, Cl, ó B, puede producir daños a los cultivos y provocar problemas de permeabilidad en el suelo (SAR).

Cloro residual: Concentraciones de radicales de cloro libre mayores que 0,5 mg/l, limitan la aplicación del agua a cultivos sensibles.

El conocimiento de todos estos parámetros nos permitirá adecuar el tratamiento a que deben someterse las aguas residuales para reutilizarlas en riego, en función del tipo de cultivo a que se apliquen. De este modo podemos agrupar los cultivos en tres grupos, según la calidad de efluente exigible para regar cada una de ellas, del modo siguiente:

Grupo I: Calidad exigida al efluente: Baja

- Cultivos industriales: Algodón, fibras.
- Cultivos procesados antes de consumo humano: Granos, oleaginosas, remolacha azucarera.
- Hortalizas y frutas producidas para envasado o sometidas a procesos que destruyen los patógenos.
- Cultivos forrajeros para alimentación animal desecados antes del consumo.
- Riego de viveros, bosques o jardines inaccesibles al público.

Grupo II: Calidad exigida al efluente: Alta

- Forrajes para consumo fresco.
- Cultivos para el consumo humano que no tengan contacto directo con el agua (se desechan frutos caídos): frutas, etc.
- Cultivos para consumo humano que se sirven cocidas: patatas, berenjenas, remolacha.
- Cultivos.

Grupo III: Calidad del efluente: Muy alta

- Cultivos para consumo humano que se sirven crudos: hortalizas y frutas.
- Riego de parques y prados con libre acceso público.

El riego de cultivos incluidos en este tercer grupo, implica someter al efluente a procesos de desinfección antes de su uso.

ALGUNOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES PARA SU REUTILIZACIÓN EN AGRICULTURA

Los sistemas de tratamiento de las aguas residuales difieren sensiblemente en función del volumen a tratar (tamaño de población), pudiendo establecerse una primera clasificación en dos grandes grupos: pequeñas depuradoras para núcleos de población menores de 15.000 habitantes y grandes depuradoras para núcleos mayores de 15.000 habitantes.

Dentro del primer grupo podemos destacar los sistemas que aplican tecnologías blandas y de bajo coste, imitando procesos naturales, reduciendo al mínimo la acción del hombre y evitando consumos energéticos costosos. Entre éstos sistemas se incluyen el lagunaje, los filtros de arena y turba y los filtros verdes.

Las grandes depuradoras usan sistemas convencionales de depuración que incluyen un pretratamiento, un tratamiento primario, un tratamiento secundario de fangos activos o lechos bacterianos y, opcionalmente, un tratamiento terciario ó de desinfección, con empleo de cloro, ozono, ácido paracético, radiación ultravioleta u otros desinfectantes.

A los sistemas mencionados pueden añadirse otros, de gran interés cuando se pretende aprovechar el agua para riego, como son:

- Tratamientos cal-magnesio a alto PH con reciclado de coagulantes químicos.

- Tratamiento suelo-acuífero (recarga de acuíferos), consistentes en la purificación del efluente en el transcurso de su infiltración en el suelo y fluencia en el acuífero, desde el que será recuperado. Este tratamiento requiere un buen conocimiento de la hidrogeología del acuífero, siendo un sistema de fácil operación y bajo coste, fiable para la calidad final del efluente y adecuado para un almacenamiento estacional y plurianual que permita su ajuste a una demanda continua.

De los tratamientos citados, merece especial atención la técnica de lagunaje, que puede definirse como un sistema de tratamiento de AR que emplea como soporte una laguna o serie de ellas, en las que se consigue la estabilización de la materia orgánica por medio de procesos biológicos, físicos y químicos, en los que intervienen numerosos microorganismos que actúan sobre dicha carga orgánica.

Este sistema presenta algunas limitaciones y muchas ventajas. Entre las limitaciones pueden citarse las siguientes:

- Las instalaciones requieren amplias superficies para exponer las algas a la irradiación solar (1Ha/1.000-2.000 Hab.), ya que el oxígeno necesario para obtener condiciones aerobias es generado por fotosíntesis.

- Es un sistema sensible a la climatología y por lo tanto, poco controlable, lo que puede ocasionar la ocupación de malos olores y mosquitos, sobre todo, en condiciones de alta carga orgánica.

No obstante lo anterior, es un sistema que reúne una serie de ventajas, que lo hacen muy atractivo, como son:

- Es idóneo para depurar efluentes de origen doméstico como son los de los núcleos pequeños con poca industria.

- Su construcción es simple y de bajo coste.

- Requiere pocas instalaciones mecánicas por lo que su mantenimiento es simple y barato.
- Es un proceso natural con casi nulo consumo energético, que forma un ecosistema con posibilidad de uso ecológico como zona húmeda.
- Es un sistema sensible capaz de absorber variaciones periódicas de caudal y eficaz como fase previa a otros procesos como la recarga de acuíferos.
- Obtiene muy buenos rendimientos de depuración, facilitando la reutilización.

SITUACIÓN ACTUAL DE LA REUTILIZACION AGRÍCOLA DE AGUAS RESIDUALES.

En apartados anteriores se citaban ejemplos históricos del aprovechamiento de las aguas residuales urbanas, pero existen otras muchas experiencias actualmente en desarrollo que merece la pena citar.

Por su importancia, hay que referirse a la reutilización de aguas residuales en Israel, donde se aprovechan actualmente más de 65% (unos 150 Hm³/año) de las aguas residuales del área Metropolitana de Tel Aviv en los riegos de la región de Dan, mediante técnicas de lagunaje y recarga de acuíferos. Otra experiencia destacable es el riego de frutales realizado en California.

Ya en nuestro país, encontramos valiosas experiencias en Santa Cruz de Tenerife, Cataluña, Valencia, Castellón, Mallorca

En Almería se está ejecutando actualmente un proyecto para la reutilización de las aguas residuales de la ciudad de Almería en los regadíos del Bajo Andarax, auspiciado por la Junta de Andalucía. Con este Proyecto se pretende recuperar unos 15 Hm³/año, para garantizar los regadíos de 3.000 Has de cítricos y hortalizas de la subcomarca del Bajo Andarax. El sistema está basado en un proceso de alta tecnología de depuración terciaria mediante ozono, producido a partir de aire ambiente. Esto significa la incorporación de un tratamiento de desinfección, necesario por el destino del agua, a la depuración convencional actualmente efectuado a las aguas residuales antes de su vertido al mar.

Esta desinfección garantizará, por una analítica periódica establecida por el SAS, la ausencia de virus y bacterias patógenas (menos de 100 coliformes totales/100 ml.).

Este proyecto será el primero de esta envergadura realizado en Europa atendiendo al volumen reutilizado, al método de tratamiento y al destino de las aguas reutilizadas.

Así mismo, cumple un doble objetivo: socioeconómico, al recuperar un recurso tan escaso en ésta zona, y ecológico al descargar al mar de este volumen de vertidos.

REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DE ALMERÍA

La existencia en el Bajo Andarax, la comarca de influencia de la ciudad de Almería, de un área agrícola con graves y crecientes problemas de disponibilidad de agua en cantidad y calidad suficientes para mantener un actividad económica rentable, unido a la disponibilidad de un importante volumen de aguas residuales de la ciudad de Almería (15 Hm³, actualmente) con

tratamiento secundario que son vertidas al mar, ha llevado a la Consejería de Agricultura y Pesca a desarrollar las actuaciones necesarias para reutilizar las aguas residuales de Almería en los regadíos del Bajo Andarax.

Estas actuaciones son la conclusión de un importante trabajo iniciado en 1977, con los correspondientes estudios de viabilidad y de alternativas posibles (Alonso C., 1988, 1992) para el aprovechamiento de este importante volumen de agua.

Los trabajos desarrollados han abarcado aspectos tan diversos como el estudio de otras opciones de tratamiento, como la recarga del sistema acuífero del Bajo Andarax (descartado por la baja eficiencia previsible) o el seguimiento exhaustivo de la calidad de las aguas residuales de Almería y el desarrollo de experiencias de desinfección con ozono en una planta piloto instalada en la EDAR de Costacabana. Todos estos trabajos, unidos al estudio de experiencias desarrolladas fuera de nuestra provincia, llevaron a adoptar como solución más idónea, teniendo en cuenta aspectos técnicos, sanitarios y económicos la reutilización directa de las aguas residuales de Almería, incorporando un tratamiento terciario de desinfección mediante ozono producido "in situ" a partir de aire ambiente, según se describirá más adelante.

El destino del agua reutilizada, riego de hortalizas de consumo crudo, impone una alta exigencia de calidad sanitaria al efluente a obtener, lo que hace preciso la incorporación de un tratamiento de desinfección ó terciario, al agua procedente de la depuradora municipal. Esta exigencia de calidad bacteriológica ha sido fijada, junto a otras de calidad química, por el Servicio Andaluz de Salud, siguiendo los criterios establecidos por la Organización Mundial de la Salud, y de acuerdo con las recomendaciones de la Unión Europea, ante la inexistencia de una normativa básica sobre estos aspectos en nuestra legislación. En cuadro anexo se recogen los principales aspectos establecidos por el S.A.S. en protocolo al efecto.

La oportunidad de realizar un tratamiento de desinfección sobre aguas residuales, se puede justificar en caso de reutilización del efluente para riego que puede entrañar riesgos sanitarios. (Paillard, H. 1986).

Las aguas residuales, según pudimos ver en apartados anteriores, presentan un elevado nivel de contaminación microbiológica, conteniendo gérmenes de origen humano y animal susceptibles de provocar infecciones de carácter transmisible.

Los microorganismos contenidos en un efluente urbano pueden ser clasificados del modo siguiente:

- Gérmenes no patógenos de origen telúrico: los mas numerosos.
- Gérmenes no patógenos de origen fecal: streptococos y coliformes fecales.
- Gérmenes patógenos:
 - Bacterias: salmonella, E. coli, staphylococos, etc.
 - Virus: enterovirus, adenovirus, etc.
 - Parásitos: hongos, levaduras, amebas, etc.

En el caso de Almería, es evidente la necesidad de proceder a desinfectar las aguas residuales dado su destino tal y como se indicaba anteriormente.

Las ventajas comparativas del ozono en relación a otros oxidantes han llevado a decidir su empleo previo el desarrollo de ensayos en una planta piloto instalada en la EDAR de Costacabana, que han servido para determinar parámetros fundamentales de diseño tales como

dosis de tratamiento y tiempo de contacto, a efectos de determinar la eficiencia y economía del tratamiento. Los resultados de estos ensayos se recogen en cuadros anexos.

Antes de decidir la elección del ozono como desinfectante a emplear se han considerado diversas posibilidades con el fin de determinar el agente desinfectante más adecuado desde el punto de vista técnico y económico.

Los desinfectantes más comúnmente usados son los siguientes:

- Cloro en forma gaseosa o líquida (hipoclorito).
- Dióxido de cloro.
- Radiación U.V.
- Ozono.
- Ácido peracético.
- Peróxido de hidrógeno (H₂O₂).

Sin entrar en forma detallada en las ventajas e inconvenientes de cada uno de éstos agentes, sí es posible fijar los criterios principales que determinan la elección del método adecuado de desinfección. (Perrot, J. 1990).

- El desinfectante debe ser capaz de eliminar rápidamente los microorganismos patógenos.
- Debe desaparecer rápidamente en el medio receptor.
- No debe formar productos intermedios de reacción con efectos tóxicos para el medio ambiente.
- Debe ser seguro de usar (producción, manejo, transporte, etc.).
- No debe ser corrosivo para los materiales con los que esté en contacto.
- Debe ser económico en la producción o adquisición y uso.

Atendiendo a estos criterios, se ha decidido en su momento el uso del ozono, que aún resultando ligeramente más costoso en las instalaciones necesarias, reúne las mejores características para garantizar la conservación de los objetivos de calidad sanitaria y química propuestos. Por resaltar algunas de las ventajas diferenciales del ozono, frente a otros métodos pueden destacarse:

- El potencial óxido-reductor del ozono es mayor que el de otros agentes.
- El uso del cloro puede producir compuestos perniciosos para la salud, como los trihalometanos y los clorofenoles y su presencia residual en el agua puede producir problemas de toxicidad específica en los cultivos. Asimismo tiene escaso poder para oxidar hierro y manganeso, lo cual puede provocar problemas en las conducciones de agua. Su poder virulicida es además menor que el del ozono.
- El uso de dióxido de cloro presenta el inconveniente de la formación en su aplicación de cloratos y cloritos de carácter tóxico.
- La oxidación fotoquímica por radiación ultravioleta, comentada en las jornadas celebradas el pasado año, si bien puede ser una técnica a considerar en el futuro, presenta actualmente problemas de control de proceso y de eficacia para tratar volúmenes grandes de agua.
- Otros agentes oxidantes como el ácido peracético y el peróxido de hidrógeno han mostrado su eficacia, pero su uso está muy limitado por sus costes y disponibilidad.

Frente a estos agentes, el ozono cuenta con ventajas indudables debido a su poder biocida, oxidante y mejorador de las características organolépticas del agua. No deja residuos y limita la formación de sustancias intermedias de reacción de alta toxicidad.

Dado el interés creciente que el uso del ozono tiene en el tratamiento de aguas potables y residuales vamos a hacer un breve repaso de su historia y características principales.

EL USO DEL OZONO EN EL TRATAMIENTO DE AGUA

Revisión histórica

La palabra ozono deriva del término griego «ozein» (lo que huele) y fue acuñada en 1840 por Schonbein (Cajigas, 1982).

La capacidad del ozono para desinfectar agua contaminada fué determinada en 1886 por el francés Meritens (Vosmaer, 1916).

La primera planta piloto fue fabricada en 1881 por la firma alemana Siemens-Halske, y los ensayos realizados con ella en MartiniKenfelde, (Alemania), mostraron la efectividad del ozono contra las bacterias. En 1897, el químico francés Marius Paul Otto fundó la primera empresa especializada en la fabricación e instalación de equipos de generación de ozono.

La primera planta, a escala real, para tratamiento de agua potable se realizó en 1893 en Ouashoorn (Holanda), a la que le siguieron en los años siguientes otras construidas en Francia, Alemania y Estados Unidos, incluyendo una en Madrid construida en 1910. Hasta la 1ª Guerra Mundial en 1914, existían en Europa 40 plantas de diversos fabricantes para tratamiento de agua potable. Las investigaciones sobre el cloro durante la guerra, mucho más barato, produjo una fuerte disminución en la aplicación del ozono. No obstante la construcción de nuevas plantas de ozono continuo muy lentamente sobre todo en Francia. En 1936 había unas 100 plantas en Francia y entre 30 y 40 en el resto del mundo, y fue después de la 2ª Guerra Mundial, cuando esta tecnología retornó a los niveles de desarrollo de principios de siglo.

Los usos del ozono

En todas estas plantas de primera generación, el ozono era usado como desinfectante y mejorador del sabor y el olor del agua. Hasta 1950 a estos usos se incorporaron las utilidades de mejora de color y de oxidación del hierro y manganeso.

Desde 1960, diversas investigaciones demostraron la capacidad del ozono como floculante (control de turbidez en preozonización) y oxidante de ciertos microcontaminantes como los fenoles y algunos tipos de pesticidas, así como para el control de crecimiento de algas.

Los más recientes usos del ozono están relacionados con el control de productos intermedios (DBP) de la desinfección por cloro y la estabilización biológica, o la minimización del potencial de crecimiento microbiológico del agua. Un ejemplo del control de DBP, son los trihalometanos (THM) producidos por la cloración (Rook, 1974), y muy peligrosos para la salud. En el 2º caso, el ozono sustituye ventajosamente al cloro como pretratamiento al filtrado con carbón activo granular (GAC) o lecho de carbón biológico activado (BAC) controlando de forma efectiva ciertos tipos de componentes orgánicos.

Situación actual del uso del ozono a nivel mundial

Actualmente el ozono, a nivel mundial es usado en plantas potabilizadoras de agua de suministro urbano.

Así existían en 1990, en Estados Unidos, 40 plantas en funcionamiento, y otras 20 plantas en construcción. En Canadá funcionan otras 40 plantas actualmente.

En Europa el número y tipo de plantas en funcionamiento es muy amplio, destacando Francia, con más de 700 plantas de tratamiento de agua equipadas con sistemas operativos de ozo-

no (la capacidad total instalada supera los 500 Kg O₃/n para tratar más de 3.000.000 m³/día), existiendo otras instalaciones en países como Suiza, Alemania, Austria, Bélgica, Holanda y Reino Unido, Italia y países nórdicos: Suecia, Noruega o Finlandia. Así mismo, existen plantas que incluyen ozonización en países del Este de Europa como Rusia (la planta más grande del mundo está en Moscú con 200 Kg O₃/n de producción), Polonia, Checoslovaquia y Hungría, etc.

En España, existen varias plantas potabilizadoras que incluyen el ozono en pretratamiento o procesos intermedios, ubicadas en Bilbao, Madrid, Valencia, o en Almería (presa de Cuevas del Almanzora).

Otros lugares donde existen importante plantas que usan ozono son Japón, Corea, o los Emiratos Arabes.

Las tendencias actuales, indican que en los próximos años el uso del ozono se desarrollará ampliamente, al amparo de las legislaciones sobre desinfección de agua y control de subproductos intermedios, de la desinfección por cloro, estando en curso numerosas investigaciones dirigidas a mejorar la eficiencia en la producción de ozono, y sus aplicaciones en combinación con otros oxidantes como H₂O₂ o luz UV.

Caracterización física del ozono

El ozono es una forma alotrópica del oxígeno, que físicamente se caracteriza por ser un gas de color azulado y olor característico, cuya masa molar es de 48 gr/mol, y su densidad en relación al aire es 1,657, teniendo una masa volumínica a 0° C y 760 mm. de Hg de 2,143 Kg/m³. Se encuentra habitualmente en forma gaseosa mezclado con aire a muy bajas concentraciones siendo muy inestable y muy sensible a descomposición por calor.

Las propiedades como oxidante se deben a su elevado potencial de oxidoreducción (2.07 voltios), que supera a otros elementos oxidantes como el cloro y el bromo. A estas propiedades se une un elevado poder desinfectante, habiéndose demostrado su capacidad biocida contra bacterias y virus, sobre los que produce una inactivación superior al 99%.

La práctica en el uso del ozono

Como se ha indicado anteriormente, en la actualidad, el ozono se usa fundamentalmente en los procesos de agua potable, (pretratamiento, tratamiento prefiltración, ó post-tratamientos) con los fines siguientes:

- Desinfección (eliminación o inactivación de virus y bacterias).
- Eliminación y control de algas.
- Oxidación de micro y macrocontaminantes orgánicos (mejora de color, olor y sabor, eliminación de fenoles, pesticidas o detergentes).
- Incremento de la biodegradabilidad de otras sustancias orgánicas disueltas, y disminución de la formación potencial de trihalometanos (órgano clorados formados por combinación del cloro con sustancias húmicas y fúlvicas de difícil eliminación y muy perniciosos para la salud).

Pero el ozono puede ser usado en otros campos tales como:

- Agua de refrigeración en industria con problemas de contaminación biológica.
- Agua de proceso industrial en industria química (fibras sintéticas, pesticidas, peróxidos), industria textil, celulosa, o industria alimentaria (esterilización y desinfección).

- Tratamiento de olores en depuradoras convencionales.
- Medicina (terapéutica de enfermedades infecciosas, esterilización de heridas, etc.).
- Tratamiento en piscinas depuradoras de moluscos de consumo crudo (ostras, almejas, etc.).
- Tratamiento de aguas residuales.

Es éste último campo de aplicación el que nos interesa y en el que se incluye la actuación llevada a cabo por la Consejería de Agricultura y Pesca en Almería.

En virtud del interés de la reutilización de aguas residuales, justificado anteriormente, el empleo del ozono como desinfectante y mejorador de otras propiedades químicas del agua tiene un gran interés, sobre todo, cuando el destino del agua a reutilizar exige una alta calidad como es el caso de Almería.

Producción de ozono

Como se indicaba anteriormente, el ozono es un gas inestable, obtenido por la ionización del oxígeno. Debe ser generado "in situ", precisándose energías del orden de 493kJ/mol para disociar el oxígeno molecular, pudiendo usar como fuente de energía electrones de fuentes de alto voltaje en coronas de descargas, luz U.V. de longitud de onda inferior a 200 n.m. (generación fotoquímica) o rayos γ .

En la práctica, el ozono se obtiene haciendo pasar una corriente de aire o de oxígeno, entre dos electrodos sometidos a una diferencia de potencial alterna, comprendida entre los 9.000 y los 20.000 voltios. De lo anterior se desprende la posibilidad de usar como gas «combustible», bien aire ambiente o bien oxígeno puro.

En el primer caso, se pueden alcanzar concentraciones de ozono de hasta el 3,5% en peso (42 gr./Nm³). La producción a partir de aire ambiente requiere mayor inversión inicial, dado que es preciso instalar una línea de preparación de aire, pero anula el coste de suministro de gas fuente, mientras que la producción a partir de oxígeno, más eficiente y menos exigente en inversión, crea una dependencia en el suministro del oxígeno, que eleva los costes de explotación. En el caso de Almería la instalación se ha realizado para producir ozono a partir de aire ambiente, previamente acondicionado, obteniendo concentraciones de 18 grO₃/Nm³ (2% en peso).

Atendiendo al tipo de generador diseñado y a la corriente eléctrica empleada, la instalación realizada en Almería, puede definirse como un generador de alto voltaje (9000-13000 V) media frecuencia (400-600 Hz) de tipo tubular horizontal. Más adelante se describen las instalaciones realizadas en Almería para el tratamiento de aguas residuales.

Otros parámetros de diseño importantes que definen esta instalación, son la dosificación del ozono y el tiempo de contacto ozono-agua determinados a partir de los ensayos previos realizados.

En nuestro caso, se ha fijado una dosis de tratamiento de 8-12 gr O₃/m³ de agua y un tiempo de contacto de 20 minutos. No obstante, estos parámetros necesitan un ajuste continuo en su funcionamiento, en virtud de la variabilidad de las características del agua a tratar.

DESCRIPCIÓN DE LA OBRA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE ALMERÍA EN LOS REGADÍOS DEL BAJO ANDARAX

DESCRIPCIÓN SUCINTA DE LAS OBRAS DE REUTILIZACIÓN

Las aguas residuales, una vez que han recibido tratamiento secundario en el EDAR de Almería, son captadas en un depósito (A) de hormigón cubierto, ubicado junto a la actual depuradora de Costacabana, en el que se dispone de un centro de elevación formado por 5 bombas de 100 l/sg cada una, y una estación de filtrado compuesta por 32 unidades de filtros de arena. Las aguas filtradas, se elevan hasta la cota 116, donde reciben un tratamiento terciario de desinfección mediante ozono, con el fin de eliminar totalmente los virus y bacterias presentes en el agua y hacerla apta para su uso en riego tanto de frutales como de hortalizas para consumo en fresco.

Después de recibir este tratamiento el agua se conduce a un depósito regulador (B) u opcionalmente a los depósitos situados en los Términos Municipales de Pechina y Benhadux (C) en los márgenes del río Andarax, para su distribución a riego. En el Depósito C, situado en Pechina se ubica una 2ª estación elevadora que lleva el agua hasta un depósito E situado en el Término Municipal de Gádor, a su vez conectado con el depósito E situado en Santa Fe de Mondújar, que recibirá el agua de los sondeos ejecutados en la rambla de Huéchar.

La obra así descrita incluye: líneas eléctricas de alta y baja tensión centros de transformación eléctrica, almacén y centro de control general.

DEPÓSITO (A), 1ª BOMBEO, CENTRO DE TRANSFORMACIÓN, ESTACIÓN DE FILTRADO PUNTO B. DEPÓSITO B, SIFÓN, DEPÓSITOS C, 2ª IMPULSIÓN. DEPÓSITO D Y AUTOMATISMOS.

Como hemos dicho en el capítulo anterior el agua es recogida en el Depósito (A) (cota + 5) de 10.000 m³ de capacidad, construido de hormigón armado y mediante 5 bombas verticales de 270 CV de potencia, que elevan un caudal de 100 L/S cada una de ellas, proyectado para que funcionen cuatro, y quede una en reserva.

En la edificación contigua, están instaladas 3 transformadores en baño de aceite 630 de KVA cada uno, equipos de medida, seccionadores, condensadores, etc.

Para la protección de las bombas, así como de la tubería, a la salida de cada una de ellos y antes de entrar en el colector general, esta instalada una válvula hidráulica de control de bombas, que su misión es arrancar y parar la misma en un período de tiempo de unos 3 minutos aproximadamente, con lo cual evitamos los golpes de ariete en la tubería. Si por cualquier accidente, se produjera un corte de energía, ocasionándose una parada brusca, están instaladas dos válvulas hidráulicas de alivio o también llamadas por algunos suministradores antiariete, que mediante un taraje de sus pilotos, produce su apertura, aliviando agua el depósito (A) y así evitando el golpe de ariete.

Entre el colector general y la estación de filtrado, se encuentra un caudalímetro tipo Woltman de Ø 400 mm, estabilizador de flujo y emisor de pulsos. A continuación la estación de filtrado,

compuesta por 32 ud de filtros de arena de 48" autolimpiables automáticamente, produciéndose dicha limpieza por unidad de tiempo y a su vez por pérdida de carga entre entrada y salida de 5 m.c.a., asegurando de esta forma que el filtro no trabaje en grandes colmataciones.

Una tubería de fibrocemento de Ø 600 mm con una longitud de 6,2 Km de diferentes timbrajes y equipada con sus correspondientes ventosas trifuncionales, conduce el agua, hasta el punto (B) cota 116 donde se encuentra el centro de ozonización y el depósito (B) de 130.000 m³ de capacidad, construido en tierra aprovechando una depresión del terreno, impermeabilizado con una lámina de geotextil y de polietileno de alta densidad, de un milímetro de espesor cubierto con una estructura de invernadero y una malla de sombreado, para así evitar evaporación y la proliferación de algas, esta balsa o depósito regulador suministrará riego a los sectores IV y V del bajo Andarax, con presión suficiente para poder regar a la demanda y por goteo.

Dicho depósito almacena agua una vez desinfectada por el ozono, un sifón de fibrocemento de Ø 700 milímetros y de diferentes timbrajes, con una longitud de 6,5 Km y discurriendo por el lecho del río Andarax en gran parte, conduce el agua ozonizada hasta los términos de Pechina y Benahadux donde se encuentran los depósitos C, de una capacidad de 10.000 m³ cada uno de ellos y construidos con los mismos materiales que el B.

En el depósito C de la margen izquierda del río, se encuentra una segunda impulsión, construida por 3 ud. de bombas verticales dos activas y una en reserva de iguales características que las situadas en el punto A, con su correspondiente centro de transformación y transformador de 630 KVA, enlazadas con una tubería de fibrocemento de Ø 400 mm y de diferentes timbrajes y 8,2 Km conducen el agua hasta el depósito D de 10.000 m³ de capacidad situada en el término municipal de Gádor, construido de la misma forma que los anteriores.

Todo el sistema de llenado, apertura de válvulas, arranque de Bombas, control de volúmenes, así como horas de funcionamiento etc, será controlado en el centro de operaciones situado en el punto B, por un autómatas que recibirá y mandará los oportunas órdenes vía radio a los diferentes puntos, este sistema aunque aparentemente es independiente, está conectado con el autómatas de la planta de producción de ozono, para que algunas operaciones se hagan en común.

PLANTA DE PRODUCCIÓN DE OZONO.

Como se ha dicho anteriormente, el ozono, se puede producir de dos formas, mediante oxígeno líquido o mediante aire atmosférico preparado a tal efecto, el rendimiento es mayor cuando se produce a través de oxígeno, y el coste inicial de instalaciones es menor, pero luego existe una dependencia del suministro, que en el caso de Almería, el sitio más próximo era Málaga, siendo más caro a largo plazo, con lo cual el proyectista eligió el producido a través de aire.

Dicho esto, pasamos a describir cada uno de los elementos que vemos en el cuadro sinóptico.

Alimentadores de aire : formado por tres compresores de tornillo, dos activos y uno de reserva capaces de producir un caudal de aire necesario para la producción de ozono (600 Nm³/h) a una presión de 0,9 bases. Este aire entra en el grupo frigorífico dónde mediante un intercambiador primario y un secundario lo enfrían mediante freón (básicamente intercambiadores de calor) agua de enfriamiento y agua helada, para que entre siempre aire con la temperatura constante al desecador.

El desecador: está diseñado para obtener continuamente un aire seco, con un punto de rocío adaptado al funcionamiento de los generadores de OZONO, mediante alúmina activa en dos columnas , una en funcionamiento y otra en regeneración mediante una resistencia eléctrica en un ciclo cada 8 horas.

El aire así preparado y con un punto de rocío de 50°C, entra en el tanque de producción de ozono de alto voltaje y media frecuencia que mediante unos tubos dieléctricos constantes, transforman parte del oxígeno del aire en ozono.

Una vez producido el ozono, es conducido a la cámara de contacto y mediante unos difusores cerámicos porosos, se insufla a través del agua, produciéndose en 1^{er} lugar un ataque químico y en 2^o lugar un ataque bacteriológico. La construcción de la cámara es compartimentada, para obligar al agua que este el máximo de tiempo en contacto con el ozono, en el último compartimento, el ozono no consumido pasa al equipo de dilución que mediante unos ventiladores y haciendo el ozono un efecto venturi se diluye a la atmósfera en la proporción de 1/100 veces menor que la concentración que tenía el ozono residual (En función de los conocimientos se entiende un residual 0,4 gr/m³ O₃ garantiza la total desinfección del agua).

El ozono es poco estable y se destruye por calor. Para evitar ésto, todo el sistema lleva un equipo enfriador, que utilizando agua tratada y unos intercambiadores, refrigeran los ozonizadores, armarios donde están los convertidores de frecuencia y los grupos frigoríficos.

En celdas de alto voltaje, están instalados los transformadores.

Todo el sistema puede funcionar o bien manualmente o totalmente automático, autoregulándose la producción de ozono, según las necesidades, del agua a tratar en cada momento.

La planta de producción, está formada por dos líneas totalmente interconectadas, pero a la vez independientes, que según las necesidades pueden funcionar individualmente o las dos a la vez.

Todas las instalaciones están protegidas según la instrucción MIBT-021 por el sistema de neutro impedante.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE OZONO

ALIMENTADORES DE AIRE

Tipo de Compresor	Tornillo
Entrada de Aire	Natural
Temperatura de Aire	Ambiente
Presión de Aire	0,9- Bares
Caudal Nominal	600 Nm ³ /h
Velocidad	3000 R.P.M.
Potencia	30 KW
Tensión	380 V.
Frecuencia	50 H2

GRUPO FRIGORÍFICO

1º Intercambiador de aire/agua de enfriamiento.	
2º Intercambiador de aire/agua fría o helada.	
Tipo de gas Freón	22
Temperatura de entrada	115°C
Temperatura de salida	5°C
Potencia Calorífica absorbida en el primario	36.900 Kcal/h
Potencia Calorífica absorbida en el Secundario	14.400 Kcal/h
Nº compresores por grupo	2
Potencia Consumida	5,2 KW
Agua de enfriamiento a 4- bar.	2,5 m ³ /h
Agua Helada	5,2 m ³ /h
Potencia instalada total	9 KW
Frecuencia	50 HZ
Tensión	380 V

DESECADOR DE AIRE

Punto de Rocío de Salida	60°C
Volumen de Aluminio en cada célula	600 litros
Tasa de absorción	6%
Duración del ciclo de regeneración	8 horas
Potencia calorífica	19.800 Kcal
Nº de resistencia	5 Ud
Potencia consumida	24,9 KW
Potencia instalada	30 KW
Filtro de Aire en Salida	submicrónico.

OZONIZADOR

Tipo	TONOZONE T.E.F.
Construcción	Acero Inoxidable Z2 CND-17-13
Número de tubos Metálicos	144
Núm. de tubos Eléctricos	288
Potencia aplicada	200 KW
Producción de ozono	10.800 gO ₃ /hora concentración de ozono 18 gr.O ₃ /m ³
Voltaje Máximo	14.000 V
Frecuencia aplicada	400 HZ
Voltaje mínimo	9.000 V

DIFUSOR POROSO

Tipo D.P.P.	350
Superficie	0,096 m ²
Porosidad	60 a 70 micras
Caudal Nominal	5 Nm ³ /h

EQUIPO DE DILUCIÓN

Caudal de Aire Ozonizado	600 Nm ³ /h
Caudal del Ventilador	7.500 Nm ³ /h
Velocidad Aire de Salida del Inyector	10 m/s
Potencia del Motor	7,5 KW

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS OBRAS DEL BAJO ANDARAX

- Longitud total conducciones impulsión y distribución primaria: 22.300 m.l.
- Capacidad de embalse total: 180.000 m³.
- Sistema de filtrado de aguas residuales: batería de filtros de arena autolimpiables.
- Potencia eléctrica instalada: 3.780 KVA.
- Sistema de generación de Ozono: A partir de aire ambiente seco, por descarga eléctrica de alto voltaje y media frecuencia.
- Producción máxima de Ozono: 21,6 KG/hora.
- Dosis de tratamiento prevista: 8-12 Kg. 03/m³ agua.
- Sistema aplicación Ozono: Difusión mediante placa cerámica porosa en cámara de contacto compartimentada.
- Sistema de comunicación de datos: Radio.
- Caudal de agua a tratar: 500 l/sg.
- Sistema eliminación Ozono residual: Dilución 1: 100 a la atmósfera.
- Superficie regada con agua reutilizada: 3.000 Has.
- Longitud red de distribución de riego: 89.500 ml. (Sectores IV y V).
- Nº hidrantes: 469 (Sectores IV y V).
- Presión mínima en hidrantes: 2,5 atm.

CONCLUSIONES

Por todo lo anteriormente expuesto, hay que concluir afirmando que el aprovechamiento o reutilización de las aguas residuales urbanas es factible tanto desde el punto de vista técnico como del económico, y que éstas aguas constituyen un recurso especialmente valioso en las regiones áridas y semiáridas donde el agua de calidad es tan escasa.

Hay que insistir en el interés que dentro del abanico de posibles reutilizaciones de las aguas residuales tiene el aprovechamiento para el riego en agricultura.

La creciente acumulación de población en el área mediterránea, hace que la demanda urbana de agua se incremente restándole a la actividad agraria un recurso tan esencial para su desarrollo como es el agua. Baste para ilustrar el interés de la reutilización en riego de las aguas residuales urbanas, pensar que sólo con el agua residual producida por una población de 10.000 habitantes con un consumo diario de 200 litros/hab/día, podrían mantenerse unas 120 Has de cultivo en regadío.

Naturalmente, no hay que olvidar que una eficaz gestión de reutilización del agua residual urbana, necesita una cuidadosa planificación que partiendo de la viabilidad del proceso, contemple un adecuado análisis técnico-económico donde se recojan todos los aspectos que lo condicionan: usuarios, calidades, funcionamiento, etc.

Por último, señalar que al reutilizar un agua residual siempre se resuelven dos problemas: se recupera un recurso valioso y se libera al medio ambiente de una posible carga contaminante

En relación al Proyecto desarrollado en Almería, podemos concluir que tiene un gran interés porque:

1) Es el primer proyecto de esta envergadura realizado en Europa, atendiendo volumen reutilizado, método de tratamiento terciario y destino de las aguas reutilizadas.

2) Supone, garantizar el suministro de agua para riego en la comarca y, por tanto, la supervivencia de la agricultura que aquí se practica.

3) Cumple un doble objetivo: el socioeconómico descrito anteriormente, en una zona donde el agua es tan valiosa y el ecológico, al eliminar la posible contaminación que supone el vertido de aguas residuales al mar.

4) Para que este Proyecto cumpla correctamente los objetivos propuestos, será imprescindible el concurso de los agricultores-usuarios organizados en Comunidades de Regantes ya que son estas Comunidades de Regantes, las receptoras de las obras ejecutadas quienes gestionarán, en definitiva, todas las instalaciones. En este sentido sería deseable que todos los regantes se integraran en la Comunidad de Regantes para una gestión común del recursos agua, con la vista puesta en una futura Junta Central de Usuarios capaz de gestionar los actuales recursos, los incorporados por reutilización y los previsibles procedente de obras de regulación aguas arriba del río Andarax, de acuerdo con la vigente Ley de Aguas.

5) Este Proyecto, abre unas valiosas perspectivas para la optimización de un recurso escaso como es el agua, especialmente en las costas mediterráneas, donde la acumulación de población, limita actualmente las posibilidades de desarrollo agrícola restándole el recurso fundamental: el agua.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Alonso Cobos, Carlos. Reutilización de aguas residuales urbanas, aplicación al regadío. Ozonificación. Riegos y drenajes XXI; 1993; (70).
- 2.- Anon, Decoloración mediante ozono del efluente de una planta textil. Ingeniería química; 1991; diciembre: 130-134.
- 3.- Anon. (INRS). Fiche Toxicologique 43:Ozone; 1987.

- 4.- Anon. (BBC Ozone Technologi.). Ozone for water reclamation.
- 5.- Araujo, R.P.A.; Gasi, T.M.T.; Gherardi-Goldsteine, E.; Amaral, L.A.V. ; Francisco, R. Ozone application for the improvement of U:A:S:B: Reactor Effluent. II Toxicity Evaluation. OZone Science and Engineering; 1991; 13 («): 195-203.
- 6.- Asano,T; Pettygrove,G.S. Using reclaimed municipal wastewater for irrigation. californi agriculture; 1987; 41(3-4): 15-18.
- 7.- Beltran, B.J.; González, M.; García-Araya, J.F.(Dpto de ingeniería Química y energética. Universidad de Extremadura). Formación de THMs en la cloración de sustancias húmicas. Efecto del ozono y del dióxido de cloro. Ingeniería Química; 1991; Enero: 217-223.
- 8.- Beltran Novillo, F.J.; Beltran de Heredia, J. (Departamento de Q. Técnica. Facultad de Ciencias. Universidad de Extremadura. Tratamientos de aguas con ozono. Parte d. Ingeniería Química; 1986; Enero.
- 9.- Benet, J.M. La reutilización agrícola de las aguas residuales en la comunidad de Valencia.; R-2.
- 10.- Bouwer,H.; Ideolovich,E. (miembros de ASCE). Quality Requirements for irrigation of sewage water, J.Irrig.Drain.Div. Asce; 1987; 113: 516-535.
- 11.- Brunet,R.; Bourbigot,M.M.; Dore,M. Oxidation of organic compounds thorough the combination ozone-hydrogenperoxide. Ozone Science and engineering; 1984; 6: 163-183.
- 12.- Burau,R.G.; Sheikh,b; Cort,R.P.; Cooper,R.C.; Ririe,D. Reclaimed water for irrigation of vegetables eaten raw. California agriculture; 1987; july-august: 4-7.
- 13.- Cajigas Delgado,A (Centro de estudios Hidrográficos). El ozono y sus aplicaciones.Ingeniería química; 1982; Agosto: 51-56.
- 14.- Come, P.; Lesavre,J.; Bariou,G.; Legeron,J.P. Desinfection des eaux usées urbaines par l'ozone.Essais pilotes sur la Plate-Forme d'Essais de Colombes. L'eau,l'industrie, Les nuisances; 1983; (77): 34-38.
- 15.- Corominas Roig,E; Pérez Díaz, M^a Luz; Socorro Monzon, A.R.; Et al. Utilización de lodos y aguas residuales de estaciones depuradoras en agricultura . Proyecto INIA n° 8181; Enero 1988-Diciembre 1991.
- 16.- Cowan J.P.; Johson P.R. Reuse of effluent for agriculture in the Middle East In: REuse of sewage effluent. Telford,London; 1984: 107-127.
- 17.- Dapena Baqueiro, J.L. Instalaciones sanitarias, tratamientos de cloro y zono.; 1984.
- 18.- David,D; Charpentier, J; Langlais,B. La desinfection des eaux residuaires par l'ozone: L'usine de Saint Michel en greve-France; 0-23.
- 19.- Dyer-Smith, P.; Jaisli, E.; Jimenez Perono,M. Tecnología del ozono. Ingeniería Química; 1985; Noviembre.
- 20.- Eastman, G.M.; Harker, R.J.; Ibbetson,C.C. Advanced oxygen treatment of coastal municipal sewage. Wat. Sci. Tech.; 1993;
- 21.- FAO (Food and Agricultural Organization). Report on the proceedings of the FAO regional seminar on the treatment and use of sewage effluent for irrigation. Reg Commis Land and Water use in the Neart East Cyprus; 10-12 oct.1985; FAO Rome: 10 pp.
- 22.- Fayas, J.A.; Oliver, R. Reutilización de aguas residuales depuradas en regadíos: Pla de Sant Jordi (Mallorca). Reutilizacio aigues urbanes; 25-27 Septiembre de 1985 Catele Platja d'Aro.Costa Brava.

- 23.- Fisher, M Klein, H-P; Níechti, P-A; Dyer-Smith, P (and others). Technical and economic advantages of producing and applying ozone at high concentration. *Ozone science and engineering*; 1985; 9: 93-108.
- 24.- Glaze, W.; Peyton, G.R.; et al. Destruction of pollutants in water with ozone in combination with ultraviolet radiation. 2 Natural trihalomethane precursors. *Environ.Sci. Technol.*; 1982; 16: 454-461.
- 25.- Gomella, Cyril (Societe d'Estudes pour le Traitement e l'Utilisation des eaux). El tratamiento de aguas mediante el ozono.
- 26.- Harakeh, M.S.; Butler, M. Factors influencing the ozone inactivation of enteric viruses in effluent. *Ozone Science and Engineering*; 1985; 6: 235-243.
- 27.- Hernández Muñoz, Aurelio (Escuela Técnica Superior de Madrid). Una aportación a la depuración de las aguas residuales y su posibilidad de reutilización. *Medio Ambiente-RETEMA*: 9-22.
- 28.- Iseoliviich, E. Reuso de aguas servidas en Israel.
- 29.- Kaur, K.; Bott, T.R.; Leadbeater, B.S.C. Effects of ozone as a biocide in an experimental cooling water system. *Ozone Science and Engineering*; 1992; 14(6): 517-530.
- 30.- Koga, M Kadokami, K Shinohara, R. Laboratory-scale ozonation of water contaminated with trace pesticides. *Water Science and Technology*; 1992; 26(9-11): 2257-2260.
- 31.- Langlais, B.; Legube, B; Beuffe, H; Dore, M. Study of the nature of the by-products formed and the risks of toxicity when disinfecting a secondary effluent with ozone. *Water science and technology*; 1992; 24(12): 135-143.
- 32.- Legeron, J.P. Comparative study of ozonation conditions in wastewater tertiary treatment. *Ozone Science and Engineering*; 1980; 2(2): 123-137.
- 33.- Leist, G.R. Review of operating experience of ozone systems in Municipal Plants in the United States. *Ozone science and engineering*; 1992; 14(6): 50-516.
- 34.- Marin Galvin, R. Oxidación y desinfección de aguas para consumo público, algunas consideraciones sobre el uso de cloro, dióxido de cloro y ozono. *Química e industria*; 1988; 34(6): 577-588.
- 35.- Paillard, H; Sibony, J. (Centre de recherche de Maisons-La ffitte.). Desinfection des eaux residuales. *Océanis*; 1986; 12(6): 491-509.
- 36.- Palao Morrell, A. (Univerdiad Politécnica de Valencia). Estrategias para la depuración de las aguas residuales y su reutilización agrícola. El agua en la Comunidad Valenciana.
- 37.- Pettygrove G.S.; Asano, T. Irrigation with reclaimed municipal wastewater-a guidance manual. Lewis, Chelsea; 1985.
- 38.- Shulhof, Pierre (Compaignie Generale des eaux. Paris (France)). Survey of ozonation uses for water treatment en 1992.
- 39.- Seoanez Calvo, Mariano. Estudio SANITARIO. Aprovechamiento y tratamientos agrarios de las aguas residuales urbanas. Ministerio de agricultura. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias;
- 40.- Suarez Sánchez, C.L. Uso agrícola de aguas subterráneas y depuradas urbanas en Canarias. *Canarias Agraria*.
- 41.- Ulloa Santamaría, J:J:. El agua residual. Parámetros caracterizadores. Curso sobre tratamiento de aguas residuales, basura y escombros en el ámbito rural; 16-20 septiembre 1991.
- 42.- Wiart, Louis-Bernard. Empleo de ozono en la depuradora de aguas residuales. *Trailgaz*.

*Cuadro 1. COMPOSICIÓN TÍPICA DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES SIN TRATAR.
(PETTYGROVE Y ASANO, 1.984)*

Sólidos de suspensión (mg/l)	192
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/l)	181
Demanda química de Oxígeno (mg/l)	417
Carbono orgánico total (mg/l)	102
Nitrógeno orgánico (mg/l)	13
Nitrógeno amoniacal (mg/l)	20
Fósforo (mg/l)	9,4
Bacterias coliformes totales (NMP/100 cc)(1)	22*10 ⁶
Bacterias coliformes fecales (NMP/100 cc)(1)	8*10 ⁶
Virus (UFP/100 ml) (2)	3.6

(1)NMP:Número Más Probable (término empleado en microbiología)

(2)UFP:Unidades Formadoras de Placas

*Cuadro 2. INCREMENTO TÍPICO DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES MINERALES DE LAS
AGUAS COMO RESULTADO DE SU USO DOMESTICO (Pettygrove y Asano, 1.984) (1)*

	Rango de incremento (mg/l)
Aniones:	
Bicarbonato	50 - 100
Carbonato	0 - 10
Cloruro	20 - 50 (2)
Fosfato	5 - 15
Sulfato	15 - 30
Cationes:	
Amonio	15 - 40
Calcio	6 - 16
Magnesio	4 - 10
Potasio	7 - 15
Sodio	40 - 70
Otros:	
Boro	0.1 - 0.4
Manganeso	0.2 - 0.4
Alcalinidad	100 - 150
Sólidos disueltos	150 - 400

(1) Se excluyen las adiciones de tipo industrial y comercial.

(2) Se excluye la adición debida al empleo de productos para ablandar el agua.

Cuadro 3.- CRITERIOS DE CALIDAD A SATISFACER EN ALMERÍA (S.A.S.)

- a) Caracteres bacteriológicos: No poseer más de 100 coliformes totales en 100 milímetros de agua.
- b) Caracteres físico - químicos: No superar los siguientes valores.

Aluminio	5 mg/l.
Arsénico	0,1 mg/l.
Berilio	0,1 mg/l.
Boro	0,75 mg/l.
Cadmio	0,01 mg/l.
Cromo	0,1 mg/l.
Cobalto	0,05 mg/l.
Cobre	0,2 mg/l.
Flúor	1 mg/l.
Plomo	5 mg/l.
Litio	0,075 mg/l.
Manganeso	0,2 mg/l.
Molibdeno	0,01 mg/l.
Níquel	0,2 mg/l.
Selenio	0,02 mg/l.
Vanadio	0,1 mg/l.
Zinc	2 mg/l.
Hierro	5 mg/l.

*Cuadro 4.- INCIDENCIAS DE LA OZONIZACIÓN SOBRE LA ELIMINACIÓN DE COLIFORMES
FECALES, STREPTOCOCOS Y COLIFORMES TOTALES*

CON FILTRADO PREVIO POR ARENA

AGUAS DE SALIDA DEL
TRATAMIENTO SECUNDARIO
DE LA E.D.A.R. DE COSTACABANA
CON FILTRO DE ARENA DE 0,7 A 1,5 mm.

	ANÁLISIS BACTERIOLÓGICOS			PARÁMETROS DE OZONIZACIÓN	
	COLIFORMES FECALES EN 1000 ml	STREPTOCOCOS FECALES EN 1000 ml	COLIFORMES TOTALES EN 1000 ml	TASA DE TRATAMIENTO mg 0,3/l	OZONO RESIDUAL DISUELTTO EN AGUA mg 0,3/l
ENTRADA	10 ⁴	10 ³	10 ⁵	4 a 8	0.29 a 1.20
SALIDA	0 - 10	0 - 10	10 ² - 10 ³		
ENTRADA					
SALIDA					
ENTRADA					
SALIDA					

Cuadro 5. Efectos del Ozono sobre las características físico-químicas del agua.

CON FILTRADO PREVIO DE ARENA	UNIDADES	ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICOS				NITRITOS METODO mg/l	PARÁMETROS DE OZONIZACION	
		COLOR Pt-Co. STANDAR UNIDADES HAZEN	TURBIDEZ TURBIDIMETRO A 5 DIAS mg/l N.T.U.	DBOS INCUBACION METODO	SOLIDOS TOTALES NITRIVER 3 MILLIPORE mg/l		TASA DE TREATAMIENTO mg 0.3/l	0.3 RESIDUAL DISUELTO EN AGUA mg 0.3/l
AGUAS DE SALIDA DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO DE LA E.D.A.R. DE COSTACABANA CON FILTRO DE ARENA DE 0.7 A 1.5 mm.	ENTRADA	86	13	16	12	0.037	4 a 8	0.29
	SALIDA	35	10	10	10	0.010		a 1.20
	ENTRADA							
	SALIDA							
	ENTRADA							
	SALIDA							

Cuadro 6.- Métodos de tratamiento recomendados para satisfacer los criterios sanitarios establecidos para el aprovechamiento de aguas residuales.

	Cultivos no destinados al consumo humano directo	Riego	Cultivo que se consumen crudos	Recreo	Con contacto humano	Aprovechamiento Municipal		
		Cultivo que se consumen cocinados; piscicultura		Sin contacto humano		Aprovecha- miento industrial	Agua no potable	Agua potable
Criterios sanitarios (véase más abajo la explicación de los símbolos)	A + F	B + F o D + F	D + F	B	D + G	C o D	C	E
Tratamiento primario	***	***	***	***	***	***	***	***
Tratamiento secundario		***	***	***	***	***	***	***
Filtración por arena o métodos equivalentes de producción		*	*		***	*	***	**
Nitrificación					*		***	
Desnitrificación								**
Clarificación química								**
Adsorción con carbón						*		
Intercambio iónico u otros medios de eliminación						*		**
Desinfección		*	***	*	***	*	***	***

Criterios sanitarios:

A Ausencia de partículas sólidas gruesas: eliminación apreciable de huevos de parásitos.

B Igual que A, más eliminación apreciable de bacterias.

C Igual que A, con eliminación más eficaz de las bacterias y cierta eliminación de virus.

D No más de 100 organismos coliformes por 100 ml en el 80% de las muestras.

E Ningún microorganismo coliforme en 100 ml, ninguna partícula vírica en 1.00 ml, ningún efecto tóxico en el hombre y observación de los demás criterios aplicables al agua potable.

F Ninguna sustancia química que provoque la aparición de residuos nocivos en plantas o peces.

G Ninguna sustancia química que cause irritación de las mucosas o de la piel.

Para satisfacer los criterios sanitarios son indispensables los procesos marcados con ***. Además, es también indispensable la aplicación de uno o más de los procesos marcados con **, y pueden necesitarse a veces los métodos señalados con *.