



CosemarOzono



El ozono en la potabilización de agua

ÍNDICE

1- INTRODUCCIÓN	1
2- CONTAMINANTES HÍDRICOS	2
3- POTABILIZACIÓN: E.T.A.P.	4
3.1.- TRATAMIENTOS EN TOMA DE AGUA O BOMBEO	4
3.2.- PRE-OXIDACIÓN	5
3.3.- AIREACIÓN	5
3.4.- CLARIFICACIÓN	6
3.5.- DESINFECCIÓN	6
3.6.- TRATAMIENTO DE LOS FANGOS	7
4- APLICACIONES DEL OZONO	8
4.1.- NATURALEZA DEL OZONO	8
4.2.- DESINFECCIÓN	9
4.3.- OXIDACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA	10
4.4.- OXIDACIÓN DE MATERIA INORGÁNICA	11
5- TOXICOLOGÍA	12
6- NORMATIVA	13
7- INICIATIVAS EN I+D	14
8- PUBLICACIONES	16



1 INTRODUCCIÓN

El acceso al agua está reconocido por la ONU como un derecho económico, social y cultural, y conseguir la mejor calidad de agua posible para el suministro de poblaciones es una de las principales demandas de las sociedades más avanzadas.

La naturaleza, a través del ciclo del agua, actúa limpiándola como si fuera una gran potabilizadora. Sin embargo en la actualidad, los filtros naturales no tienen la capacidad suficiente para eliminar todos los contaminantes incluidos en los vertidos de origen antropogénico.

El papel patógeno del agua como vehículo de transmisión de enfermedades comenzó a perfilarse científicamente con John Snow, quien demostró el origen de la epidemia de cólera que padeció la población de Londres el pasado siglo, debida a aguas de bebida contaminadas por *Vibrio cholerae* procedente de excretas humanas. Desde entonces,



la medicina ha encontrado como causas de enfermedades numerosos compuestos inorgánicos (físicos, químicos o radiactivos), transportados por las aguas de los abastecimientos, además de las infecciones debidas a contaminantes orgánicos o bióticos que se consideran evidentes desde hace bastantes décadas.

Así pues, el agua que utilizamos para el consumo humano ha de pasar previamente por un proceso de potabilización que elimine los agentes perjudiciales para la salud.

Las técnicas de ozonización, por su gran eficacia desinfectante y escasa residualidad, son utilizadas en el tratamiento de aguas potables desde hace mucho tiempo y han sufrido un importante desarrollo durante los últimos 30 años, particularmente en Francia, Alemania y Suiza, aunque también están haciéndose presentes en nuestro país. De hecho, las ETAP de los embalses de Valmayor y Santillana, del Canal de Isabel II de Madrid, utilizan la ozonización en una de sus etapas de potabilización.



CONTAMINANTES HÍDRICOS

En su contacto con el hombre, el agua en su estado natural sufre una alteración en sus cualidades físicas, químicas y biológicas: se contamina.

La contaminación como modificación de la composición o estado de las aguas originada por la actividad humana, consiste en la incorporación de gérmenes patógenos, materia orgánica, materia en suspensión, grasas y petróleos, ácidos y bases, sales, elementos tóxicos y elevación de la temperatura como características más representativas.

La OMS define el agua contaminada como aquella cuya composición está modificada de tal modo que ha perdido las condiciones de ser aplicada a los usos a que se había destinado en su estado natural (puede decirse que el agua se contamina al ser usada).

En general, las aguas presentan cuatro orígenes, en lo que a tipos de contaminación se refiere, tres de ellos normales y uno accidental:

- + **Vertidos de aguas usadas:** ya sean de origen humano o animal. Estos vertidos aportan una contaminación constituida por materias en suspensión, detergentes, materias orgánicas, fosfatos, bacterias y, en algunos casos, virus.
- + **Vertidos de aguas o líquidos residuales industriales:** son tan diversos que se encuentran en ellos todos los tipos de contaminantes conocidos.
- + **Aguas de lluvia o de regadío:** que arrastran contaminantes de origen agrícola, abonos, plaguicidas, detergentes, etc.
- + **Contaminación accidental:** producida por un vertido concentrado en materia contaminante, capaz de afectar tanto al agua superficial como a la profunda.

NATURALEZA DE LOS CONTAMINANTES DEL AGUA:

Los numerosos contaminantes y micro-contaminantes que pueden encontrarse en un agua destinada al consumo humano se clasifican en tres categorías:

- + **Contaminantes minerales:** entre los que figuran:
 1. Elementos indeseables y tóxicos: metales pesados, flúor, arsénico, etc.
 2. Elementos que afectan especialmente a las propiedades organolépticas del agua: hierro, manganeso, cinc y cobre.
 3. Fósforo y sus compuestos, responsables del desarrollo de las algas y la eutrofización de los lagos y embalses.
 4. Elementos radiactivos.

✚ **Contaminantes orgánicos:** son muy numerosos y pueden clasificarse en:

1. Fenoles y derivados: constituyen un índice de contaminación industrial. El problema característico es el sabor a clorofenol que aparece en el agua al añadirle cloro. Los derivados fenólicos son biodegradables en distinto grado, según su composición.
2. Hidrocarburos: pueden contaminar las aguas superficiales o profundas; proceden principalmente de vertidos de productos petrolíferos de diversas industrias, o de fábricas de gas, gases de combustión, etc. En el agua podemos encontrar petróleo, queroseno, gasolina, fuel, aceites o lubricantes. Son lentamente biodegradables. En caso de contaminación accidental, su presencia es de corta duración cuando se trata de un agua superficial, pero puede ser muy larga en un agua subterránea, debido al poder de retención del suelo.
3. Detergentes: compuestos tensoactivos sintéticos cuya presencia en el agua se debe a vertidos urbanos e industriales. Pueden ser aniónicos o catiónicos.
4. Plaguicidas y productos fitosanitarios: se clasifican en organoclorados (prohibidos en muchos países); organofosforados, de menor estabilidad y sustitutos de los anteriores; organonitrogenados, organometálicos y sustancias minerales. La contaminación se debe a las aguas de infiltración que arrastran estos compuestos hacia el interior. Los factores que influyen en la contaminación del agua por los plaguicidas son su solubilidad, su resistencia a la degradación física y bioquímica, la naturaleza del suelo y el volumen del agua de infiltración.

✚ **Contaminantes biológicos:** entre los que destacan:

1. Microorganismos y virus: aportados por los distintos vertidos. Afectan tanto a las aguas superficiales como a las subterráneas.
2. Secreciones de la microfauna y microflora: los metabolitos de ciertos organismos que pueden desarrollarse en el agua (en especial algas y actinomicetos), emitidos en el medio natural durante su vida o después de su muerte, producen cierto número de inconvenientes:
 - ✓ Organolépticos (aspecto del agua, olores y sabores), siendo los más corrientes los sabores a cieno, tierra y moho.
 - ✓ Sustancias tóxicas, ya que ciertas cianofíceas elaboran productos tóxicos para los animales superiores.





POTABILIZACIÓN: E.T.A.P.

Se llama **potabilización** al proceso por el cual se convierte un agua más o menos contaminada en agua apta para el consumo humano. El agua al salir de la planta potabilizadora reúne unas características organolépticas, fisicoquímicas y microbiológicas, reguladas por ley, que permiten el consumo público y que garantizan un agua potable de calidad.

Esta necesidad de tratamiento de las aguas se conoce, como hemos indicado, desde hace mucho tiempo, al relacionarse la calidad del agua con la salud de la población. Se observó que la dotación de una localidad con un abastecimiento de agua en condiciones sanitarias aceptables coincidía con un brusco descenso de la tasa de mortalidad.

El agua potable, por lo tanto, debe cumplir una exigencia fundamental: ausencia de microorganismos patógenos y de sustancias tóxicas. Pero también debe cumplir otra exigencia: ausencia de sabores, olores, colores o turbiedades desagradables, (propiedades organolépticas) que provocarían el rechazo de los consumidores.

Se llaman potabilizadoras o **Estaciones de Tratamiento de Agua Potable (ETAP)**, las instalaciones donde se trata el agua para hacerla potable.

Las ETAP están localizadas entre las instalaciones de captación de agua (embalses y pozos) y los depósitos y canalizaciones que la distribuirán por los hogares. Tienen como misión la eliminación de los tres tipos ya indicados de sustancias indeseables en el agua destinada al consumo humano: materia mineral, materiales orgánicos y contaminantes biológicos. Este proceso comprende diversas fases: la captación, la mezcla con sustancias coagulantes y reactivas, la decantación y separación de arenas, la floculación, la sedimentación, la filtración y la desinfección.

3.1.- TRATAMIENTOS EN TOMA DE AGUA O BOMBEO:

El primer tratamiento de agua potable consiste en un desbaste, que tiene por objeto eliminar las materias gruesas y arenosas, cuya presencia en el efluente perturbaría el tratamiento total y el eficiente funcionamiento de las máquinas, equipos e instalaciones de la ETAP.

Dentro del desbaste podemos encontrar todos o alguno de los siguientes procesos:

- ✚ Desbaste (grueso o fino), para eliminación de las sustancias de tamaño excesivamente grueso.
- ✚ Tamizado, para eliminación de partículas en suspensión (si existen).
- ✚ Trituración de los elementos retenidos en el desbaste (sistema útil cuando se quiere evitar la problemática de las rejillas y extracción de subproductos).
- ✚ Desarenado, para eliminación de arenas y sustancias sólidas densas en suspensión y que puede realizarse antes o después del tamizado.
- ✚ Desaceitado, para eliminación de los distintos tipos de grasas y aceites presentes en el agua residual, así como de elementos flotantes.
- ✚ Pre-decantación.

3.2.- PRE-OXIDACIÓN

Un tratamiento de oxidación, hecho antes de la decantación, mejora la calidad del agua, haciéndola más filtrable y cristalina. Este tratamiento actúa por oxidación de los diferentes elementos contenidos en el agua:

- ✚ Iones ferrosos y manganosos
- ✚ Amoníaco
- ✚ Nitritos (son transformados en nitratos)
- ✚ Materia orgánica oxidable
- ✚ Microorganismos (bacterias, algas, plancton) que pueden desarrollarse y provocar, por ejemplo, fermentaciones anaerobias.

Se consigue así, por una parte, la destrucción total de gérmenes patógenos y, por otra, la eliminación máxima de las bacterias, los gérmenes comunes, el plancton y las cloraminas, obteniéndose, también, el menor sabor posible. Dichas ventajas son especialmente apreciables en determinados periodos del año.

3.3.- AIREACIÓN

Este proceso se hace necesario en los siguientes supuestos:

1. Si el agua contiene gases en exceso:
 - ✓ **Sulfuro de hidrógeno** (H_2S), que da un sabor muy desagradable y un olor muy característico a huevos podridos, si bien es fácilmente eliminable por este procedimiento.
 - ✓ **Oxígeno**, cuando el agua se encuentra sobresaturada y su desprendimiento puede crear problemas en el funcionamiento de los decantadores, debido a la tendencia de los flóculos a elevarse hacia la superficie.
 - ✓ **Dióxido de carbono** (CO_2), que hace agresiva el agua al acidularla.
2. Si el agua presenta un déficit de oxígeno, con la aireación se consigue:
 - ✓ La oxidación de los iones ferrosos y manganosos.
 - ✓ La nitrificación del amoníaco, en ciertas condiciones.
 - ✓ El aumento del contenido en oxígeno con el fin de que el agua sea agradable al gusto.

3.4.- CLARIFICACIÓN.

Puede ser más o menos completa según la turbiedad del agua, su color y su contenido en materias en suspensión o coloidales y en materias orgánicas. Pueden efectuarse, en función de estos distintos factores, dos tipos de tratamiento:

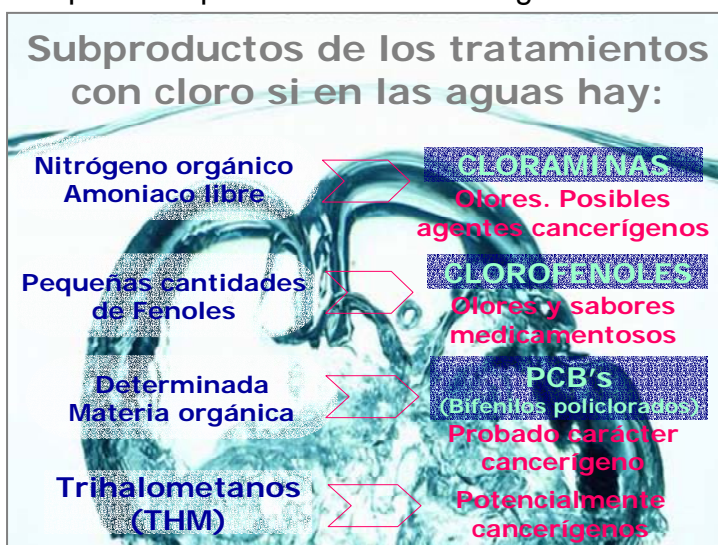
1. **Coagulación total, floculación, decantación y filtración:** la adición de un coagulante al agua disminuye el potencial electronegativo de las partículas que contiene, favoreciendo la decantación de los floculos producidos. Puede utilizarse una dosis que anule este potencial; se obtiene así la coagulación total de los coloides, lo que permite conseguir una clarificación óptima, después de su floculación, decantación y filtración
2. **Coagulación parcial, micro-floculación y filtración:** se inyecta una dosis pequeña de coagulante y se efectúa una coagulación parcial de los coloides formando floculos muy finos (micro-floculación) los cuales, con o sin ayuda, se retienen por filtración.

3.5.- DESINFECCIÓN

El objetivo de la desinfección es el de inyectar un desinfectante para obtener agua, de forma continua, exenta de bacterias pútridas y gérmenes patógenos, conforme a las normas y a los ensayos oficiales, basados en *Escherichia coli*, estreptococos fecales y Clostridium sulfito-reductores.

La elección del desinfectante está en función de criterios técnicos (desinfección simple o completa, problemas de sabores) y económicos, pudiéndonos encontrar:

- ✚ **Cloro y derivados:** Pueden utilizarse si el agua que se desea desinfectar no contiene materias orgánicas o contaminantes químicos capaces de formar compuestos que den mal sabor al agua:



Las cloraminas reducen o eliminan, generalmente, los sabores que podrían encontrarse en un tratamiento sólo con cloro.

El dióxido de cloro (ClO_2) elimina sistemáticamente la formación de clorofenol, pero no tiene efecto sobre otros muchos sabores, como es el sabor a tierra o lodo, por lo que sólo es utilizado cuando el único sabor que se puede producir es el de clorofenoles.

- ✚ **Rayos ultravioleta:** se obtiene una buena desinfección y una eliminación completa de los virus, a condición de que se apliquen sobre una capa de agua de poco espesor, con una potencia suficiente y renovando las lámparas antes de que acusen una fuerte pérdida de su poder emisor. El agua debe ser clara, sin turbiedad ni color, desprovista de hierro, coloides orgánicos o de microorganismos planctónicos, ya que estas impurezas podrían formar sedimentos sobre los tubos, lo que reduciría considerablemente la penetración de los rayos.
- ✚ **Ozono:** es el mejor desinfectante, de un precio de costo inicial más elevado que el cloro o sus compuestos, pero mucho más eficaz, sobrepasando ampliamente la fase de desinfección. El ozono tiene el efecto oxidante por adición de un átomo de oxígeno; su acción de ozonólisis le permite actuar sobre los enlaces dobles, fijando la molécula completa de ozono sobre los átomos del doble enlace (acción sobre proteínas, enzimas, etc.). Estas propiedades hacen que actúe sobre los virus, los sabores, el color y sobre ciertos micro-contaminantes.

Después de la desinfección, es frecuente la inyección, en pequeñas dosis, de un desinfectante residual persistente que mantenga estas propiedades del agua hasta su llegada a las redes de distribución,

3.6.- TRATAMIENTO DE LOS FANGOS.

Los fangos producidos en el tratamiento de las aguas destinadas al abastecimiento público proceden de las extracciones o purgas efectuadas en la decantación y el lavado de los filtros, pudiendo realizarse varios tipos de tratamiento:

- ✚ Concentración y vertido sobre lechos de secado.
- ✚ Concentración y paso a través de filtros-prensa, filtros de vacío, filtros bandas o centrifugadoras.
- ✚ Recuperación del coagulante por acidificación y tratamiento de los fangos residuales neutralizados en filtros de vacío, filtros-prensa o centrifugadoras.

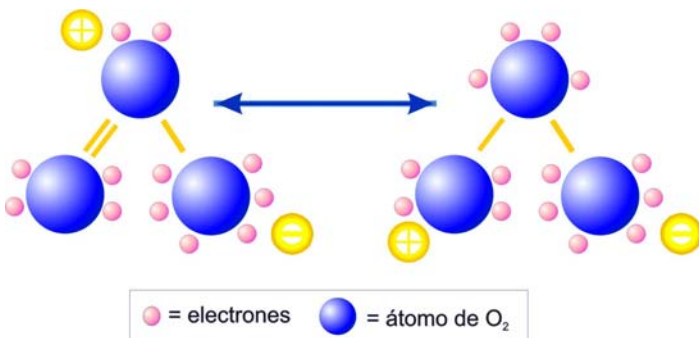


4 APLICACIONES DEL O₃

Las aplicaciones del ozono en la potabilización de agua no se limitan a la desinfección final, ya que puede resultar asimismo muy útil en los tratamientos de oxidación previos a la clarificación, eliminando tanto microorganismos como materia orgánica e inorgánica, mejorando incluso las propiedades organolépticas del agua.

4.1.- NATURALEZA DEL OZONO

Desde el punto de vista químico, el ozono es una forma alotrópica del oxígeno, formado por tres moléculas de este elemento, cuya función más conocida es la de protección frente a la peligrosa radiación ultravioleta del sol; pero también es un potente oxidante y desinfectante con gran variedad de utilidades. La más destacada es la desinfección de aguas.

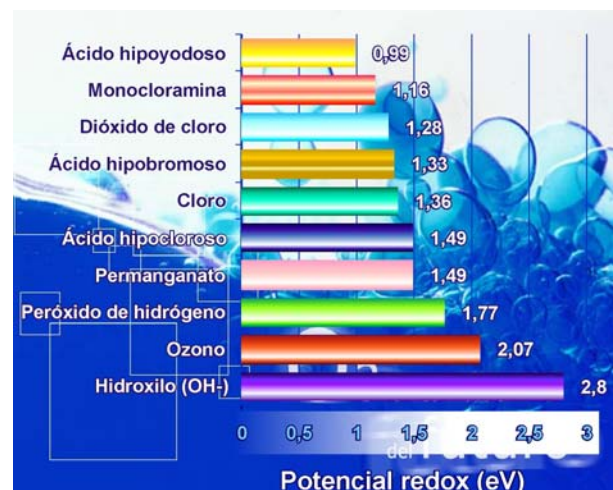


En condiciones normales de presión y temperatura, el ozono es trece veces más soluble en agua que el oxígeno. Es, después del flúor, el compuesto más oxidante, debido a su facilidad de captar electrones. De fácil descomposición y, a igualdad de condiciones, más estable en agua que en aire.

cualquier agente suele ser la oxidación de componentes fundamentales para la supervivencia de los microorganismos. La capacidad de oxidar con mayor o menor facilidad dichas estructuras marca la diferencia, en cuanto a eficacia, de los distintos compuestos utilizados normalmente en la desinfección.

De los oxidantes más utilizados en el tratamiento de aguas, los radicales libres de hidroxilo y el ozono tienen el potencial más alto (son los más oxidantes). Ello explica la gran eficacia del ozono como desinfectante.

Así pues, gracias a su poder oxidante, el ozono puede ser útil en distintas etapas de los tratamientos de potabilización de agua:



4.2.- DESINFECCIÓN

Como ya hemos indicado, la eficacia del ozono como desinfectante está de sobra probada, habiéndose comprobado que es capaz de destruir esporas de *Bacillus subtilis*, la forma más resistente de los microorganismos.

Microorganismos estudiados frente a los cuales es efectivo el ozono		
<p>ALGAS</p> <p><i>Chlorella vulgaris</i></p> <p>BACTERIAS (I)</p> <p><i>Achromobacter</i> <i>Aeromonas hydrophilia</i> <i>Agrobacterium tumefaciens</i> <i>Bacillus anthracis</i> <i>Bacillus megaterium</i> (esporas y vegetativa) <i>Bacillus mesentericus</i> <i>Bacillus paratyphosus</i> <i>Bacillus spores</i> Bacillus subtilis (esporas y vegetativa) <i>Clostridium tetani</i> <i>Corynebacterium diphtheriae</i> <i>Eberthella typhosa</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Legionella bozemanii</i> <i>Legionella dumoffii</i> <i>Legionella gormanii</i> <i>Legionella longbeachae</i> <i>Legionella micdadel</i> <i>Legionella pneumophila</i> <i>Leptospira canicola</i> <i>Leptospira interrogans</i> <i>Micrococcus candidus</i> <i>Micrococcus sphaeroides</i> <i>Mycobacterium avium</i> complex <i>Mycobacterium leprae</i> <i>Mycobacterium tuberculosis</i> <i>Neisseria catarrhalis</i> <i>Nocardia corallina</i> <i>Phytomonas tumefaciens</i> <i>Proteus vulgaris</i> <i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Pseudomonas fluorescens</i> <i>Rhodospirillum rubrum</i> <i>Salmonella enteritidis</i> <i>Salmonella paratyphi</i></p>	<p>BACTERIAS (II)</p> <p><i>Salmonella typhimurium</i> <i>Salmonella typhosa</i> <i>Sarcina lutea</i> <i>Serratia marcescens</i> <i>Shigella dysenteriae</i> <i>Shigella flexneri</i> <i>Shigella paradysenteriae</i> <i>Shigella sonnei</i> <i>Spirillum rubrum</i> <i>Staphylococcus albus</i> <i>Staphylococcus aureus</i> <i>Staphylococcus epidermidis</i> <i>Staphylococcus faecalis</i> <i>Streptococcus hemolyticus</i> <i>Streptococcus lactis</i> <i>Streptococcus salivarius</i> <i>Streptococcus viridans</i> <i>Vibrio cholerae</i> <i>Vibrio comma</i></p> <p>HONGOS</p> <p><i>Microsporon autoaini</i> <i>Microsporon lenosum</i> <i>Monilia albicans</i> <i>Trichophyton</i> <i>Mentagrophytes</i> <i>Trichophyton purpureum</i></p> <p>ESPORAS DE HONGOS</p> <p><i>Aspergillus flavus</i> <i>Aspergillus glaucus</i> <i>Aspergillus niger</i> <i>Clostridium perfringens</i> <i>Mucor racemosus A</i> <i>Mucor racemosus B</i> <i>Oospora lactis</i> <i>Penicillium digitatum</i> <i>Penicillium expensum</i> <i>Penicillium roqueforti</i> <i>Rhizopus nigricans</i></p>	<p>NEMÁTODOS</p> <p>Huevos</p> <p>PARÁSITOS</p> <p><i>Cryptosporidium</i> <i>Giardia lamblia</i></p> <p>PROTOZOOS</p> <p><i>Paramecium</i> (Patógenas y no patógenas)</p> <p>VIRUS</p> <p><i>Adenovirus</i> <i>Bacteriophage</i> <i>Coliphage</i> <i>Corona</i> <i>Coxsackie</i> <i>Cytomegalovirus</i> <i>Echovirus</i> <i>Epstein Barr</i> <i>Flavivirus</i> <i>Herpes</i> (todos los tipos) <i>Hepatitis</i> <i>Influenza</i> <i>Orthomyxoviridae</i> <i>Paramyxoviridae</i> <i>Poliomielitis</i> <i>Retroviridae</i> (VIH) <i>Rhabdoviridae</i> (Rabia) <i>Rotavirus</i> <i>Syphilis</i> <i>Tobacco mosaic</i> <i>Toga</i></p> <p>LEVADURAS</p> <p>Levadura de panadería <i>Candida</i> (todas las formas) <i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Saccharomyces</i> var. <i>Ellipsoideus</i> <i>Saccharomyces</i> sp.</p>

De hecho, el ozono es efectivo frente a gran número de microorganismos sobre los que actúa con gran rapidez, a bajas concentraciones y en un amplio rango de pH, debido a su alto potencial de oxidación; además no presenta efecto inhibitor reversible en los enzimas intracelulares o, lo que es lo mismo, los microorganismos no desarrollan resistencia frente a él; el ozono, asimismo, elimina eficazmente la película biológica (*biofilm*)¹ que se presenta como un reservorio de patógenos.

Como decíamos, los daños producidos sobre los microorganismos no se limitan a la

oxidación de su pared: el ozono también causa daños a los constituyentes de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), provocando la ruptura de enlaces carbono-nitrógeno, lo que da lugar a una despolimerización. Destruye así el núcleo de la célula eliminándola definitivamente.

¹ Biofilm o película biológica: película compuesta por microorganismos, materia orgánica, residuos y materia inerte, que se fija a las paredes de conductos y depósitos de agua y actúa como reservorio de bacterias.

4.3.- OXIDACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Como hemos visto en la etapa de pre-oxidación, un tratamiento de oxidación, hecho antes de la decantación, mejora la calidad del agua, haciéndola más filtrable y cristalina. Normalmente esto se realiza mediante cloración, pero como se ha señalado, el ozono es un oxidante mucho más potente e inocuo, por lo que su utilización en este tratamiento mejoraría los resultados del mismo.

Especialmente cuando un agua rica en materias orgánicas y en plancton debe recorrer, hasta la estación principal, un acueducto de gran longitud, es indispensable prever en el punto de partida un tratamiento con un oxidante sin el cual existe el peligro de que se reduzca rápidamente el caudal de la tubería debido al desarrollo del plancton sobre las paredes de la misma.

Este desarrollo de plancton en las paredes de conductos y depósitos de agua es lo que se conoce como película biológica; está compuesta por microorganismos, materia orgánica, residuos y materia inerte, que constituyen un hábitat idóneo para los microorganismos, proporcionándoles alimento y protección frente a los desinfectantes, por lo que actúa como reservorio de bacterias y protozoos.

Otra consecuencia de la película biológica es que puede ser responsable de la corrosión del sistema. Esta corrosión se produce cuando los microorganismos integrantes del biofilm (bacterias ferruginosas o sulfato-reductoras) producen compuestos metabólicos como el SH_2 , que causan corrosiones importantes en el metal; se aprecia entonces una elevación del contenido en hierro del agua, especialmente durante los períodos en los que se suspende el tratamiento.

La película biológica, asimismo, constituye un lecho ideal para que se acumulen diversos minerales dando lugar a incrustaciones, que en casos extremos pueden llegar a obstruir los conductos del agua.

Una ozonización elimina todos estos inconvenientes, al ser capaz de destruir, tanto a las bacterias y demás microorganismos, como la materia orgánica que les sirve de sustento.

4.4.- OXIDACIÓN DE MATERIA INORGÁNICA

El ozono es eficaz, en esta misma etapa de pre-oxidación, en la eliminación de compuestos inorgánicos como amonio o nitritos, que oxida con rapidez.

La eliminación de **IONES FERROSOS Y MANGANOSOS** es de especial importancia en esta etapa por varias causas:

- ✚ De corrosión o de obstrucción de las tuberías (directamente, por precipitación y formación de depósitos, o indirectamente, favoreciendo el desarrollo de bacterias específicas)
- ✚ Aspecto del agua
- ✚ Sabor metálico
- ✚ Inconveniente en el lavado de la ropa.

En las aguas de superficie, el hierro y el manganeso se encuentran generalmente en estado oxidado y precipitado, por lo que se eliminan por tratamientos clásicos de clarificación.

En aguas profundas desprovistas de oxígeno, se presentan en forma reducida y disuelta, en cuyo caso deben someterse a tratamientos de oxidación específicos:

- ✚ En el caso del **hierro**, se facilita su oxidación para provocar la precipitación y posterior eliminación por filtración.
- ✚ En lo que respecta al **manganeso**, cuando un agua bruta contiene este elemento, suele ser en presencia de hierro. Pero los procesos de desferrización habituales (mediante cloración), generalmente son insuficientes para la eliminación eficaz del manganeso: la precipitación en forma de hidróxido o la oxidación con oxígeno sólo serían posibles en el caso de un pH demasiado alcalino (9 a 9,5 como mínimo); a veces es posible la oxidación con cloro, pero en presencia de un fuerte exceso de cloro, que debe neutralizarse seguidamente.



Por el contrario, se obtiene una oxidación suficientemente rápida con ozono, que lleva el manganeso bivalente al estado de oxidación +4 y lo precipita en forma de dióxido de manganeso.

5 TOXICOLOGÍA

En cuanto a su ficha toxicológica, el ozono está clasificado únicamente como AGENTE IRRITANTE X_i en aire, no estando clasificado como carcinogénico.

- ✚ Esta clasificación como agente irritante se refiere **exclusivamente a sus concentraciones en aire**, es decir, a los problemas derivados de su inhalación, que dependen de la concentración a la cual las personas están expuestas, así como del tiempo de dicha exposición.
La normativa emitida por la OMS recomienda una concentración máxima de ozono en aire, para el público en general, de 0,05 ppm (0,1 mg/m³) para exposiciones de 8 horas.

Por otra parte, salvo que se almacene líquido a altas presiones, el ozono es generado *in situ*, no pudiendo existir escapes superiores a la producción programada en los generadores, ya que estos únicamente producen el gas, no lo acumulan. Los valores para producir efectos agudos letales son muy altos, de 15 ppm, concentraciones prácticamente inalcanzables en tratamientos convencionales.

- ✚ Disuelto **en agua, el ozono resulta completamente inocuo**, dado que su acción sobre la materia orgánica provoca su rápida descomposición. Únicamente en el caso de tratamientos a altas presiones podría producirse la liberación de ozono al aire, apareciendo entonces en la superficie de intercambio agua-aire concentraciones que podrían considerarse peligrosas; **pero los tratamientos convencionales no se realizan en estas condiciones**. De hecho, **el ozono se encuentra autorizado como coadyuvante en el tratamiento de aguas potables** según la resolución de 23 de Abril de 1984 del Ministerio de Sanidad y Consumo (BOE Núm. 111 de 9 de Mayo del mismo año), estando asimismo reconocido como desinfectante en la potabilización de aguas por la norma UNE-EN 1278:1999. En palabras textuales de la norma española:

“El ozono se auto-descompone en el agua. Por tanto, a las dosis habitualmente aplicadas, no se requiere generalmente ningún proceso de eliminación. [...]”

Asimismo, el real decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano, incluye el ozono como *sustancia para el tratamiento del agua*, ya que cumple con la norma UNE-EN correspondiente y en vigencia (incluida en el Anexo II del RD, *normas UNE-EN de sustancias utilizadas en el tratamiento del agua de consumo humano*: UNE-EN 1278:1999- Ozono).

Por otra parte, en el *Codex Alimentarius*, el ozono viene definido por tener un uso funcional en alimentos como agente antimicrobiano y desinfectante, tanto del agua destinada a consumo directo, del hielo, o de sustancias de consumo indirecto, como es el caso del agua utilizada en el tratamiento o presentación del pescado, productos agrícolas y otros alimentos perecederos.

A pesar de esta definición y de que desde varios años antes este compuesto se consideraba como **seguro para alimentos** (GRAS: Generally Recognized as Safe), no fue hasta el año 2001 cuando la FDA (Administración Americana de Alimentos y Drogas), lo **incluyó como agente antimicrobiano de uso alimentario**. Esta autorización permite que el ozono pueda ser utilizado en forma gaseosa o líquida en el tratamiento, almacenaje y procesado de alimentos, incluyendo carne y pollo.

6 **NORMATIVA**

- ✚ **Real Decreto 865/2003**, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis.
- ✚ **NTP 538 del INSHT**, legionelosis: medidas de prevención y control en instalaciones de suministro de agua.
- ✚ **Resolución de 23 de abril de 1984**, de la Subsecretaría, por la que se aprueba la lista positiva de aditivos y coadyuvantes tecnológicos autorizados para el tratamiento de las aguas potables de consumo público.²
- ✚ **Norma española UNE 400-201-94**, recomendaciones de seguridad en generadores de ozono para tratamiento de aire.
- ✚ **Norma española UNE-EN 1278:1999** de productos químicos utilizados en el tratamiento del agua destinada a consumo humano: Ozono, transposición de la Norma Europea EN 1278 de Septiembre de 1998.
- ✚ **Real Decreto 140/2003**, de 7 de Febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.
- ✚ **Real Decreto 168/1985**, de 6 de febrero, por el que se aprueba la reglamentación técnico-sanitaria sobre condiciones generales de almacenamiento frigorífico de alimentos y productos alimentarios.

² Complemento de la Reglamentación Técnico-Sanitaria para el Abastecimiento y Control de Calidad de las Aguas Potables de Consumo Público aprobada por Real Decreto 1423/1982, de 18 de junio (Boletín Oficial del Estado.)



INICIATIVAS EN I+D

Cosemar ozono, en colaboración con diversas instituciones, lleva años realizando tareas de investigación y desarrollo al objeto de definir nuevas aplicaciones del ozono e introducir en el mercado tratamientos mejorados. Estas actividades de investigación científica y desarrollo tecnológico nos permiten innovar en nuestro campo, obteniendo resultados tangibles que se transforman en soluciones a problemas comunes.

A continuación se detallan los proyectos de I+D llevados a cabo hasta la fecha, todos ellos con resultados muy positivos:

a.- Estudios realizados en colaboración con diferentes universidades

✚ **Hospital Clínico San Carlos. Madrid.-** Eficacia desinfectante del agua ozonizada en el lavado de manos y en el enjuague de boca. (1990)

✚ **Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.-** Efecto del ozono sobre la conservación del fresón (*Fragaria ananassa*) (2002)

✚ **Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola. Universidad Politécnica de Madrid.-** Alargamiento del periodo de conservación del tomate mediante tratamiento con ozono. (2005)

✚ **Servicio de Medicina Preventiva del Hospital Clínico San Carlos. Madrid.-** Evaluación de la eficacia de una lavadora- desinfectadora acoplada a un generador de ozono. (2005)

✚ **Instituto de Investigaciones Marinas de Vigo. Universidad de Santiago de Compostela.-** Estudio de nuevas tecnologías en la conservación de pescado mediante hielo líquido ozonizado. (2005)



b.- Estudios realizados con laboratorios independientes

✚ **Estudio microbiológico en glaseadoras ozonizadas.-** Experiencia realizada en JEALSA RIANXEIRA, en colaboración con las empresas MECALSA (Mecánica alimentaria, S.A.) e INTALSA.

Objetivo: Estudio microbiológico comparativo en una glaseadora clásica para procesado de lomos y rodajas de atún con y sin sistema de ozonización en circuito cerrado.

- ✚ **Salas de oreo de industria cárnica.-** Experiencia realizada en CÁRNICAS LLORENTE. Almazán (Soria), en colaboración con las empresas EBA (Estudios Biológicos Ambientales).
Objetivo: Estudio microbiológico comparativo en una industria cárnica con y sin sistema de ozonización de cámaras frigoríficas y salas de despiece.
- ✚ **Desinfección de material de corte.-** Experiencia realizada en Laboratorios Sanz & Vidal (Galicia), en colaboración con INTALSA (Instituto de Tecnología Alimentaria).
Objetivo: Evaluar la eficacia desinfectante de un sistema a base de ozono. A partir de una concentración conocida de microorganismos (Cepa Escherichia coli 25922, Cepa Salmonella paratyphi y Cepa Listeria monocytogenes CECT 4032) se evalúa la reducción de ufc en cuchillos sometidos a una atmósfera saturada con ozono durante 10 minutos.

c.- Estudios en curso (2006)

- ✚ **Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.-** Carga microbiana existente en la solución nutritiva empleada para el cultivo del fresón (*Fragaria x ananassa*) en invernadero de



plástico rígido, ubicado en la provincia de Huelva en cultivo hidropónico sin sustrato con recirculación completa.

- ✚ **Centro Tecnológico de la Industria Cárnica de la Rioja.-** Estudio de la efectividad de la aplicación de ozono y agua electrolizada neutra en la reducción de *Listeria monocytogenes* en las instalaciones de la Industria cárnica de La Rioja.
- ✚ **Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid.-** Comportamiento del tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) durante el tratamiento post-cosecha en atmósferas ozonificadas.



PUBLICACIONES

Desde el Departamento de I+D, a cargo de nuestra Dirección Técnica, se han publicado los siguientes artículos en revistas científicas y técnicas especializadas:

- ✚ Pérez Calvo, M., “El ozono en la higiene alimentaria”, *Frío y Clima*, 44, 13-15. Julio, 2004.
- ✚ Pérez Calvo, M.M., “El ozono en el tratamiento de ambientes interiores”, *Montajes e instalaciones*, 395, 69-73. Junio, 2005.
- ✚ Pérez Calvo, M., “Estudio microbiológico de la calidad y mejora del aire ambiente en guarderías de la CAM”, *Revista de Salud Ambiental, SESA*, V-1, 37-38. Junio 2005.
- ✚ Pérez Calvo, M.M., “Desinfección en continuo de conductos de aire acondicionado con ozono”, *Instalaciones y técnicas del confort*, 170, 56-65. Julio, 2005.
- ✚ Pérez Calvo, M., “Ozono: la alternativa a los agentes químicos en la desinfección de cámaras frigoríficas”, *Revista de Toxicología (órgano oficial de la Asociación Española de Toxicología)*, 22 (2), 109. Septiembre, 2005.
- ✚ Pérez Calvo, M., “El ozono en la calidad del aire ambiente”, *Gestión de hoteles y restaurantes*, 68, 24-29. Abril, 2006.
- ✚ Pérez Calvo, M.; Palacios Valencia, A. y Amigo Martín, P., “Estudio de indicadores de la calidad de tomate conservado en atmósfera ozonizada”, *Alimentaria*, 373, 124-129. Mayo, 2006.

Asimismo nuestros colaboradores en las investigaciones anteriormente señaladas, por su parte, tienen publicados numerosos artículos con los resultados de los experimentos llevados a cabo con el ozono.

