



# Eficacia biocida de la preozonización en potabilización avanzada

En este estudio se ha evaluado la reducción de la carga microbiológica en diferentes etapas durante la potabilización del agua del río Nervión en la planta piloto del CATABB que el Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia tiene en Etxebarri (Bizkaia). Para ello, se han empleado diferentes dosis de ozono (0,5, 1, 1,5 y 2 mg/L) en la etapa de preoxidación, evaluándose los rendimientos obtenidos para los distintos parámetros microbiológicos analizados. Se han realizado dos baterías de ensayos para cada dosis, alcanzándose un efecto desinfectante muy acusado en esta etapa, incluso con la menor dosis evaluada (0,5 mg/L), para todos los parámetros indicadores microbiológicos analizados, salvo para el caso de *Clostridium*. A la salida del decantador se ha conseguido un aumento significativo en la reducción de todos los indicadores microbiológicos (99-100%) y, en especial, en el caso del *Clostridium*, como consecuencia de la reducción de la turbidez y de la materia particulada alcanzada en dicha etapa.

### Palabras clave

Preoxidación, desinfección, potabilización, coagulación, carga microbiológica, ozono.

### BIOCIDAL EFFICACY OF PREOZONIZATION IN ADVANCED DRINKING WATER TREATMENT

*The reduction of the microbiological load in different stages during the potabilization of the Nervión river water in the CATABB pilot plant that the Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia has in Etxebarri (Bizkaia) has been evaluated. The performances obtained for different ozone doses (0,5, 1, 1,5 and 2 mg/L) in the preoxidation stage have been determined for different microbiological parameters. Two different trials were carried out for each ozone dose. A very marked disinfectant effect was obtained, even at the lowest dose evaluated (0,5 mg/L), for all the microbiological parameters except for Clostridium. A significant increase in the reduction (99-100%) of all microbiological indicators was obtained, especially in the case of Clostridium at the decanter outlet, as a result of the reduction in turbidity and particulate matter achieved at that stage.*

### Keywords

Preoxidation, disinfection, water purification, coagulation, microbiological load, ozone.

#### **Ana Urkiaga Guinea**

investigadora del Área de Biotecnología de Gaiker, Basque Research & Technology Alliance (BRTA)

#### **Javier Arrieta**

jefe del Departamento de I+D+i de Cadagua

#### **Santos Paunero**

responsable de la Unidad de Innovación del Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia

#### **José María Suescun**

técnico del Departamento de I+D+i de Cadagua

#### **Maite Cabañas**

responsable técnica del Laboratorio Abastecimiento del Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia

#### **Mikel Bartolomé**

responsable de Potabilización del Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia

#### **Patricia Maeso**

jefa de Planta del Centro Avanzado de Tratamiento de Agua Bilbao Bizkaia (CATABB), Aquambiente

#### **Vanesa Benito**

investigadora del Área de Biotecnología de Gaiker, Basque Research & Technology Alliance (BRTA)



## 1. INTRODUCCIÓN

El pasado 10 de enero de 2023 se publicó el Real Decreto (RD) 3/2023 por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro, que sustituye al RD 140/2003. En cuanto a los parámetros y valores de calidad microbiológica que debe cumplir el agua destinada a consumo establecidos en el RD 3/2023, estos se muestran en la **Tabla 1**, mientras que la **Tabla 2** muestra los parámetros establecidos como indicadores en ese RD.

Además, existen otros patógenos, como por ejemplo *Cryptosporidium* y *Giardia*, que son objeto de diferentes estudios [1, 2, 3]. La reciente pandemia causada por el coronavirus SARS-CoV-2 ha contribuido de igual forma a aumentar el interés y preocupación por disponer de sistemas que garanticen la adecuada eliminación de patógenos en las aguas.

En las estaciones de tratamiento de agua potable (ETAP) se lleva a cabo el proceso final de desinfección, generalmente con cloro en la dosis adecuada, para garantizar en todo momento la correcta calidad del agua hasta su consumo.

En las ETAP, además de este último proceso de desinfección, se llevan a cabo una serie de procesos que afectan igualmente a la carga microbiológica del agua. Sin embargo, la reducción en la carga microbiológica producida en estas diferentes etapas de preoxidación, coagulación, decantación y filtración por arena no han sido objeto de un análisis pormenorizado.

El presente artículo se centra en el estudio efectuado a este respecto en la plataforma de I+D+i del Consorcio de Aguas Bilbao Bizkaia (CABB), el Centro Avanzado de Tratamiento de Agua Bilbao Bizkaia (CATABB), que

PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS Y VALORES ESTABLECIDOS EN EL RD 3/2023.	
Parámetro	Valor paramétrico
<i>Escherichia coli</i>	0 UFC o NMP en 100 mL
Enterococos	0 UFC o NMP en 100 mL
<i>Clostridium perfringens</i> (incluidas las esporas)	0 UFC o NMP en 100 mL
<i>Legionella spp.</i>	100 UFC en 1 L

PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS ESTABLECIDOS COMO INDICADORES EN EL RD 3/2023.	
Parámetro	Valor paramétrico
Bacterias coliformes	0 UFC o NMP en 100 mL
Recuento de colonias a 22 °C	100 UFC en 1 mL
Colifagos somáticos	0 UFC en 100 mL

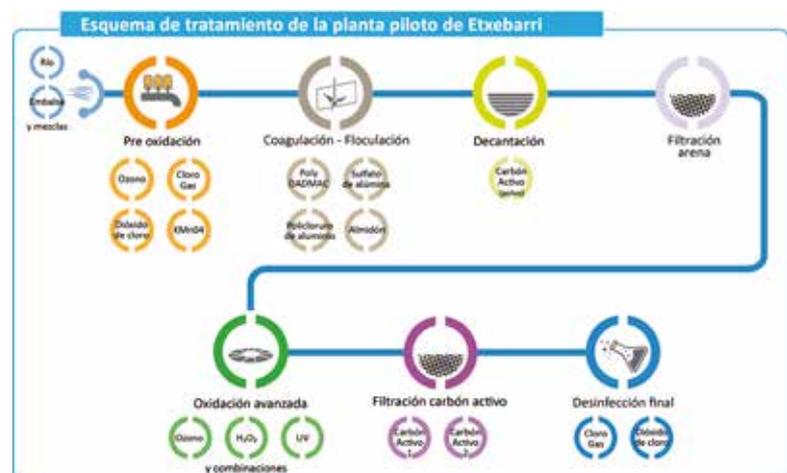
está gestionada por el Centro Tecnológico Gaiker y la empresa Aquambiente. Esta planta sita en Etxebarri (Bizkaia) trata 6,25 m<sup>3</sup>/h y dispone de los sistemas de tratamiento más avanzados, tal y como se muestra en la **Figura 1**. En esta planta versátil y modular se puede tratar agua de diferentes orígenes (agua del río Nervión, agua de los embalses de Zadorra y mezclas de ambos). El CATABB, impulsado por el CABB con el asesoramiento de Gaiker desde su concepción en 2015, es una pla-

taforma abierta a la innovación y la colaboración en el campo del agua [4]. Se puede encontrar más información acerca de esta iniciativa en la propia web del CATABB: <https://catabb.consorciodeaguas.eus>.

### 1.1. ¿CUÁL ES EL ORIGEN DE ESTA INICIATIVA?

El CABB dispone de una concesión para captar, en determinadas circunstancias, agua del río Nervión. Para ello, el CABB ha llevado a cabo la infraestructura necesaria pa-

**FIGURA 1.** Diagrama de proceso con todas las posibilidades de tratamiento posibles en la planta del CATABB.



**FIGURA 2.** Fotografía de la planta piloto del CATABB en Etxebarri (Bizkaia) de 6,25 m<sup>3</sup>/h de producción.



ra el bombeo que permitiría enviar este caudal a la ETAP de Venta Alta (Arrigorriaga, Bizkaia). Esta nueva infraestructura complementa las ya existentes y posibilitará que el CABB pueda afrontar eventuales episodios de escasez de los recursos habituales (embalses del Zadorra), paradas técnicas o cualquier otra circunstancia excepcional.

El agua del río Nervión a su paso por Etxebarri tiene una calidad inferior a la del agua procedente del sistema del Zadorra [5], que es la procedencia habitual del agua bruta en la ETAP de Venta Alta. La necesidad de prever el tratamiento de estas aguas del río Nervión, con las garantías de calidad requerida, llevó al CABB a plantear la necesidad de ensayar, en planta piloto, el comportamiento que tendría la ETAP de Venta Alta alimentada con este recurso. Para ello, se puso en marcha en el año 2018 esta planta piloto de tratamiento del agua (**Figura 2**), construida y explotada durante el

primer año por Cadagua [6], que ha derivado en la creación, en diciembre del 2021, del actual CATABB.

En el presente estudio se describe la investigación realizada en esta planta piloto sobre la evaluación de la carga microbológica en las diferentes etapas del tratamiento de potabilización del agua procedente del río Nervión, empleando diferentes dosis de ozono [7, 8].

## 2. MÉTODOS Y MATERIALES

### 2.1. MÉTODOS ANALÍTICOS

La determinación de los diferentes parámetros microbiológicos se llevó a cabo en los laboratorios del CABB según métodos estandarizados. De igual forma, periódicamente se llevó a cabo la caracterización completa del agua según los parámetros establecidos en el RD 140/2003, tanto de entrada como de salida de la planta piloto, en dichos laboratorios.

La planta piloto dispone de laboratorio propio, donde se realizó

la determinación de los diferentes parámetros analíticos (temperatura, pH, conductividad, turbidez, COT, aluminio, hierro, manganeso, fosfato, amonio...), en cada una de las etapas del tratamiento del agua varias veces al día, según los métodos estandarizados [9]. Los límites de cuantificación de los diferentes parámetros evaluados fueron los siguientes: 50 µg/L para bromuro, 2 µg/L para bromato, 1 mg/L para oxidabilidad y 0,5 mg/L para carbono orgánico total (COT).

Asimismo, la planta piloto está totalmente automatizada con un control en continuo de los principales parámetros en cada una de las etapas del proceso. Además de dichos parámetros, la planta dispone de un analizador en continuo del COT (modelo TOC-4200 de Shimadzu) y de trihalometanos (modelo THM-100 de Instrumentación Analítica).

### 2.2. PLANTA PILOTO DE TRATAMIENTO AVANZADO DE AGUA

La planta piloto en la que se llevó a cabo la experimentación puede emplear cuatro tipos de preoxidantes diferentes (cloro, dióxido de cloro, permanganato potásico y ozono). En este estudio se empleó únicamente ozono como preoxidante. El generador de ozono utilizado fue el modelo NLO-0-05K de Oxycom (actualmente Newland). Se analizó en cada caso la dosis de ozono producida, así como el ozono residual y el ozono disuelto. Como agua influente se tomó agua del río Nervión y el caudal de tratamiento fue de 6,25 m<sup>3</sup>/h. En la **Figura 3** se muestra el

**FIGURA 3.** Proceso de tratamiento para la potabilización de agua del Nervión evaluado.





TABLA 3

**DOSIS ESTIMADAS, ESTABLECIDAS A APLICAR Y REMANENTES DE LOS DIFERENTES OXIDANTES QUE PUEDEN EMPLEARSE EN LA PLANTA DEL CATABB PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA DEL RÍO NERVIÓN.**

Dosis	O <sub>3</sub> (mg/L)	KMnO <sub>3</sub> (mg/L)	Cl <sub>2</sub> (mg/L)	ClO <sub>2</sub> (mg/L)
Dosis Total para eliminación de Fe(II), Mn (II), NO <sub>2</sub> y CN	0,75	1,15	0,87	1,03
Dosis de oxidante aplicada	1,5	1,6	5	1,75
Dosis de oxidante remanente	0,75	0,46	4,13	0,72

proceso de tratamiento empleado en el estudio.

En la etapa de coagulación/decantación se empleó como coagulante sulfato de aluminio y como floculante Polydamac, ambos suministrados por Acideka. El decantador de la planta es del tipo Acentrifloc de Cadagua. La planta piloto dispone de dos filtros de arena en paralelo, que operan de forma alterna con las siguientes características: altura del lecho filtrante de 0,95 m y diámetro del filtro de 1,3 m.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La etapa de la preoxidación en una ETAP tiene como objetivos la eliminación de hierro, manganeso, nitritos, cianuros, arsénico y amonio y la oxidación de materia orgánica. Las dosis efectivas de los diferentes oxidantes pueden verse reducidas por

compuestos secuestradores como los carbonatos y la alcalinidad [10, 11].

En primer lugar, se llevó a cabo un estudio teórico, considerando las estequiometrías de las reacciones de los diferentes oxidantes con cada uno de los compuestos a eliminar, en función de la concentración de los mismos se calcularon las dosis necesarias de cada preoxidante. Dadas las dosis de preoxidación empleadas, se dispondría de una dosis remanente que podría reaccionar con otras sustancias y microorganismos. En la **Tabla 3** se muestran las dosis remanentes estimadas de los diferentes preoxidantes que se pueden emplear en la planta, para los valores máximos de estos considerados.

Esta dosis remanente de oxidante posibilitaría una desinfección parcial del agua. La disminución relativa logarítmica de microorganismos es

proporcional a la concentración del oxidante y el tiempo de oxidación de acuerdo con la ecuación de Chick-Watson [12]:

$$\ln(N/N_0) = -k * C^n * t$$

donde N<sub>0</sub> es el número de microorganismos vivos cuando t = 0; k es una constante de inactividad que depende del desinfectante, de la temperatura y del pH; y n es una constante que suele tomarse igual a 1. Para lograr la reducción logarítmica de bacterias y virus entre 2 y 3 órdenes de magnitud (99%-99,9%), los valores de C x t (concentración x tiempo de contacto) a aplicar para los diferentes desinfectantes se recogen en el apéndice C de la EPA Guidance Manual [13].

En el producto C x t, el tiempo de contacto considerado para el O<sub>3</sub> es el relativo a la cámara de generación del ozono (~5 minutos). Esta relación sufrirá modificaciones en función de otros parámetros como por ejemplo la temperatura, el pH o la turbidez del agua.

Según dichas estimaciones, como se puede observar en la **Tabla 4**, la dosis remanente en caso de emplear las dosis máximas consideradas sería suficiente para alcanzar el porcentaje de eliminación en el caso del ozono, no siendo suficientes en el caso del cloro y del dióxido de cloro, aunque sí se alcanzaría una reducción de un orden de magnitud.

TABLA 4

**DOSIS ESTIMADAS DE LOS DIFERENTES OXIDANTES EVALUADOS PARA LA ELIMINACIÓN DE BACTERIAS Y VIRUS.**

Microorganismo	C * t	O <sub>3</sub> (mg/L)	Eliminación (%)	Total O <sub>3</sub> (mg/L)
Bacterias	0,95	0,160	99,9	0,261
Virus	0,6	0,101	99,9	
Microorganismo	C * t	O <sub>3</sub> (mg/L)	Eliminación (%)	Total Cl <sub>2</sub> (mg/L)
Bacterias	68	4,785	99	4,926
Virus	2	0,141	99	
Microorganismo	C * t	O <sub>3</sub> (mg/L)	Eliminación (%)	Total ClO <sub>2</sub> (mg/L)
Bacterias	13	0,915	99	1,112
Virus	2,8	0,197	99,9	

TABLA 5

**RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN DIFERENTES PUNTOS DE LA LÍNEA DE TRATAMIENTO PARA DIFERENTES DOSIS DE OZONO EMPLEADAS EN PREOXIDACIÓN (0,5, 1, 1,5 Y 2 MG/L). PRIMERA BATERÍA DE ENSAYOS REALIZADA. NOTA: ND = NO DETERMINADO.**

Dosis ozono	Parámetro	Agua bruta	Preoxidada	Decantada	Filtrada	Tratada
0,5 mg/L	pH	8,18	ND	7,12	7,12	7,17
	Turbidez (NTU)	6,42	ND	1,5	0,1	0,07
	Bromuro (mg/L)	47,3	45,5	44,5	53,3	11,7
	Bromato (mg/L)	0	0	0	0	1,4
	Oxidabilidad (mg/L)	3,68	2,48	3,07	1,76	0,56
	COT (mg/L)	2,89	2,72	2,02	1,72	1,42
	<i>Clostridium sulfito reductores</i> (UFC/mL)	3.400	2.200	1.300	4	0
	<i>Clostridium perfringens</i> (UFC/mL)	2.800	2.200	740	1	0
	Coliformes totales (NMP/100 mL)	6.100	380	260	6	0
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	1.800	20	20	0	0
	Enterococos (NMP/100 mL)	240	21	20	0	0
1 mg/L	pH	8,15	ND	7,24	7,23	7,2
	Turbidez (NTU)	6,36	ND	1,35	0,09	0,06
	Bromuro (mg/L)	39,6	42,2	38,1	37,4	10
	Bromato (mg/L)	0	0	0	0	1,3
	Oxidabilidad (mg/L)	2,99	2,97	1,5	1,3	0,75
	COT (mg/L)	2,62	2,74	2,05	1,84	1,31
	<i>Clostridium sulfito reductores</i> (UFC/mL)	2.200	1.300	120	1	0
	<i>Clostridium perfringens</i> (UFC/mL)	1.760	1.300	120	0	0
	Coliformes totales (NMP/100 mL)	6.200	1.000	46	2	0
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	1.500	140	4	0	0
	Enterococos (NMP/100 mL)	240	23	1	0	0
1,5 mg/L	pH	8,20	ND	7,43	7,40	7,30
	Turbidez (NTU)	6,00	ND	0,84	0,13	0,09
	Bromuro (mg/L)	72,6	80,5	79,7	75,8	8,1
	Bromato (mg/L)	0	0	0	0	2
	Oxidabilidad (mg/L)	3,17	2,65	1,69	1,55	1,28
	COT (mg/L)	2,89	2,9	2,15	1,89	1,4
	<i>Clostridium sulfito reductores</i> (UFC/mL)	1.500	1.100	100	0	0
	<i>Clostridium perfringens</i> (UFC/mL)	900	660	100	0	0
	Coliformes totales (NMP/100 mL)	9.200	35	4	1	0
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	1.100	0	0	0	0
	Enterococos (NMP/100 mL)	100	2	0	0	0
2 mg/L	pH	8,10	ND	7,43	7,43	7,56
	Turbidez (NTU)	6,20	ND	0,81	0,09	0,08
	Bromuro (mg/L)	66,8	75,1	76,7	79,8	8
	Bromato (mg/L)	0	0	0	0	2
	Oxidabilidad (mg/L)	3,03	2,70	2,15	1,57	0,66
	COT (mg/L)	3,19	3,07	2,34	2,01	1,53
	<i>Clostridium sulfito reductores</i> (UFC/mL)	1.900	800	50	1	0
	<i>Clostridium perfringens</i> (UFC/mL)	1.900	800	30	1	0
	Coliformes totales (NMP/100 mL)	8.200	48	2	0	0
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	660	2	0	0	0
	Enterococos (NMP/100 mL)	150	6	0	0	0



» En el estudio realizado se ha comprobado cómo el ozono empleado en preoxidación, además de para la oxidación de materia orgánica natural y de compuestos inorgánicos, tiene un efecto desinfectante muy acusado

Aunque se realizaron los cálculos para los diferentes preoxidantes posibles a emplear en planta, en este artículo solo se muestra el estudio realizado empleando ozono como preoxidante. Los ensayos en planta estuvieron encaminados a definir la dosis óptima de ozono a emplear en la etapa de preoxidación, atendiendo a la evolución de los siguientes parámetros a lo largo de la línea de proceso: Fe, Mn, parámetros microbiológicos, COT y oxidabilidad, además de los posibles bromatos generados a partir de los bromuros presentes en el agua de entrada. Las dosis de ozono evaluadas fueron de 0,5, 1, 1,5 y 2 mg/L. El agua a tratar en la planta piloto fue agua del río Nervión. El proceso de tratamiento del agua en todos los casos fue el mismo. Así, a la filtración por arena le siguió una etapa de oxidación intermedia con ozono en una dosis de 1 mg/L [14], posterior filtración en carbón activo granular y desinfección final con cloro, en la dosis correspondiente para garantizar una dosis remanente de 1 mg/L al cabo de 12 h. Además de la dosis de ozono empleada en preoxidación, lo único que se modificó durante la experimentación fueron las dosis de coagulante y floculante, que se ajustaron en función de la turbidez del agua de entrada a la planta.

En la **Tabla 5** se muestran los resultados obtenidos para los parámetros anteriormente referidos con las diferentes dosis de ozono empleadas en preoxidación, en los distintos puntos de la línea de proceso en los que fueron analizados. Dichos puntos fueron los siguientes: agua

bruta, tras preoxidación, agua decantada, agua filtrada y agua tratada. Cada dosis de ozono se mantuvo durante un día. A fin de verificar los resultados obtenidos se repitió cada uno de los ensayos al cabo de una semana con unas características del agua influente muy similares a las que presentaba la primera batería de ensayos. Los resultados obtenidos en esta segunda batería de ensayos se muestran en la **Tabla 6**.

En las **Figuras 4-8** se muestran los rendimientos de eliminación de cada uno de los parámetros microbiológicos evaluados en cada una de las etapas del tratamiento analizadas para las 4 dosis de ozono empleadas en la etapa de preoxidación.

Tal y como puede observarse en dichas gráficas, los rendimientos de eliminación obtenidos de los distintos parámetros microbiológicos en la etapa de preoxidación en la segunda batería de ensayos han sido mayoritariamente inferiores a los obtenidos en el primer plan experimental. Para los diferentes parámetros microbiológicos no se observa una relación directa entre la dosis de ozono empleada en preoxidación y la eliminación obtenida en esta etapa en ninguna de las dos baterías de ensayos realizadas. Esto puede deberse a la carga microbiológica asociada a la materia particulada del agua y a otras características del agua influente (contenido en compuestos inorgánicos y orgánicos susceptibles de oxidación).

Sin embargo, sí se constata cómo la preoxidación tiene un primer efecto desinfectante muy acusado para todos los parámetros indicado-

res analizados, siendo dicho efecto más reducido en el caso de *Clostridium*, tanto *perfringens* como sulfito reductores. Para ambos tipos de *Clostridium* se observa un aumento significativo de su reducción a la salida de la decantación. Dicha reducción aumenta aún más en la etapa de filtración por arena obteniéndose rendimientos de eliminación para los diferentes parámetros entre un 99,9-100% en la primera batería de ensayos y entre un 99,5-100% en la segunda. Este hecho de aumentar la eliminación de la carga microbiológica del agua en la etapa de la coagulación/decantación ha sido verificada en diferentes estudios [2, 15, 16] y ha sido atribuida a la reducción de la turbidez y, por ende, a los microorganismos asociados a la materia particulada presente en el agua.

#### 4. CONCLUSIONES

En el estudio realizado se ha comprobado cómo el ozono empleado en preoxidación, además de para la oxidación de materia orgánica natural y de compuestos inorgánicos (hierro, manganeso, nitritos, cianuros, arsénico, amonio...), tiene un efecto desinfectante muy acusado. Incluso en la menor dosis evaluada (0,5 mg/L), para todos los parámetros indicadores microbiológicos analizados, salvo para *Clostridium*, tanto *perfringens* como sulfito reductores, el rendimiento de eliminación obtenido con dicha dosis ha sido superior al 78%. En dicha etapa de preoxidación, en el caso de *Clostridium*, la eliminación fue inferior al 60%, excepto en un caso.

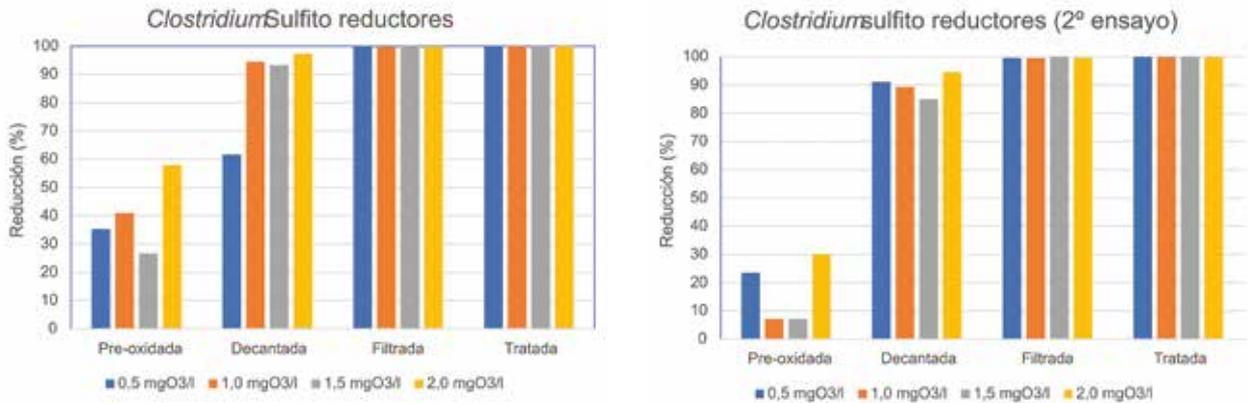
TABLA 6

**RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DEL AGUA EN DIFERENTES PUNTOS DE LA LÍNEA DE TRATAMIENTO PARA DIFERENTES DOSIS DE OZONO EMPLEADAS EN PREOXIDACIÓN (0,5, 1, 1,5 Y 2 MG/L). SEGUNDA BATERÍA DE ENSAYOS REALIZADA). NOTA: ND = NO DETERMINADO.**

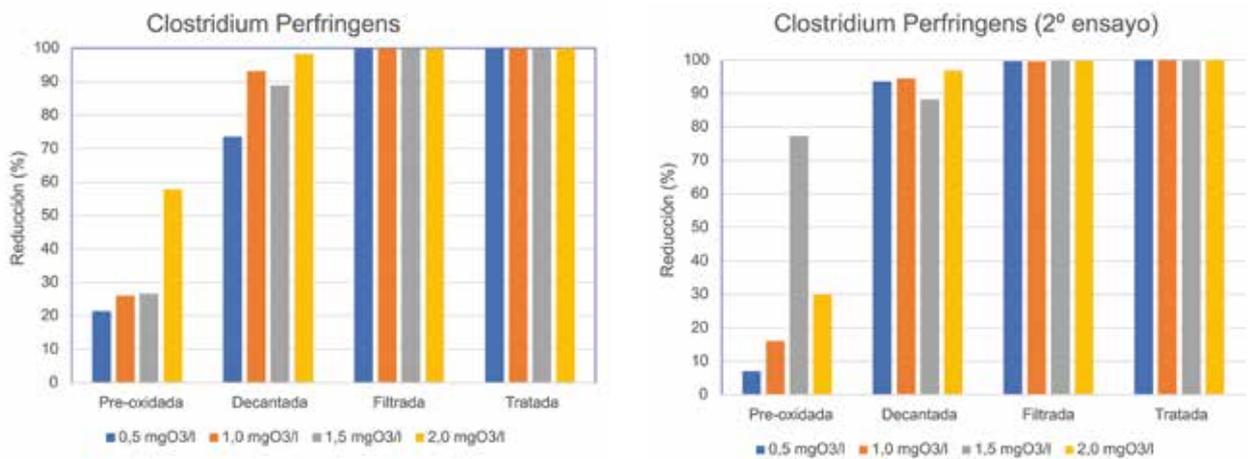
Dosis ozono	Parámetro	Agua bruta	Preoxidada	Decantada	Filtrada	Tratada
0,5 mg/L	pH	8,19	ND	7,30	7,30	7,10
	Turbidez (NTU)	5,00	ND	1,60	0,15	0,09
	Bromuro (mg/L)	72	76,2	74,4	72,5	14,2
	Bromato (mg/L)	0	0	0	0	4,9
	Oxidabilidad (mg/L)	3,15	3,41	1,83	1,38	0,31
	COT (mg/L)	2,91	3,01	2,1	1,86	1,41
	<i>Clostridium sulfito reductores</i> (UFC/mL)	1.700	1.300	150	8	0
	<i>Clostridium perfringens</i> (UFC/mL)	1.400	1.300	90	5	0
	Coliformes totales (NMP/100 mL)	4.800	980	91	5	0
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	1.600	290	13	0	0
	Enterococos (NMP/100 mL)	50	11	1	0	0
1 mg/L	pH	8,20	ND	7,46	7,45	7,33
	Turbidez (NTU)	5,41	ND	0,58	0,11	0,09
	Bromuro (mg/L)	83,3	87,8	83,3	79,8	14,3
	Bromato (mg/L)	0	0	0	0	0
	Oxidabilidad (mg/L)	2,66	3,08	1,47	1,14	0,32
	COT (mg/L)	3,13	3,03	2,27	2	1,51
	<i>Clostridium sulfito reductores</i> (UFC/mL)	1.400	1.300	140	5	0
	<i>Clostridium perfringens</i> (UFC/mL)	1.000	840	56	5	0
	Coliformes totales (NMP/100 mL)	4.800	2.400	75	10	0
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	920	440	13	3	0
	Enterococos (NMP/100 mL)	120	30	0	0	0
1,5 mg/L	pH	8,15	ND	7,34	7,33	7,32
	Turbidez (NTU)	4,94	ND	0,96	0,15	0,08
	Bromuro (mg/L)	95	99,3	98,7	97,7	22,4
	Bromato (mg/L)	0	0	0	0	1,41
	Oxidabilidad (mg/L)	3,45	3,35	2,61	2,02	1,09
	COT (mg/L)	2,83	3,12	2,15	2,00	1,52
	<i>Clostridium sulfito reductores</i> (UFC/mL)	1.400	1.300	210	1	0
	<i>Clostridium perfringens</i> (UFC/mL)	1.100	250	130	1	0
	Coliformes totales (NMP/100 mL)	2.800	330	47	6	0
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	1.200	7	3	0	0
	Enterococos (NMP/100 mL)	490	8	0	1	0
2 mg/L	pH	8,15	ND	7,43	7,41	7,26
	Turbidez (NTU)	6,13	ND	0,89	0,08	0,05
	Bromuro (mg/L)	91	97,4	95,9	94,9	17,8
	Bromato (mg/L)	0	0	0	0	2,5
	Oxidabilidad (mg/L)	3,96	3,65	2,23	1,77	1,65
	COT (mg/L)	2,93	3	2,29	1,93	1,51
	<i>Clostridium sulfito reductores</i> (UFC/mL)	1.200	840	64	4	0
	<i>Clostridium perfringens</i> (UFC/mL)	1.200	840	38	2	0
	Coliformes totales (NMP/100 mL)	2.700	43	5	1	0
	<i>E. coli</i> (NMP/100 mL)	2.700	1	0	0	0
	Enterococos (NMP/100 mL)	1.200	6	0	0	0



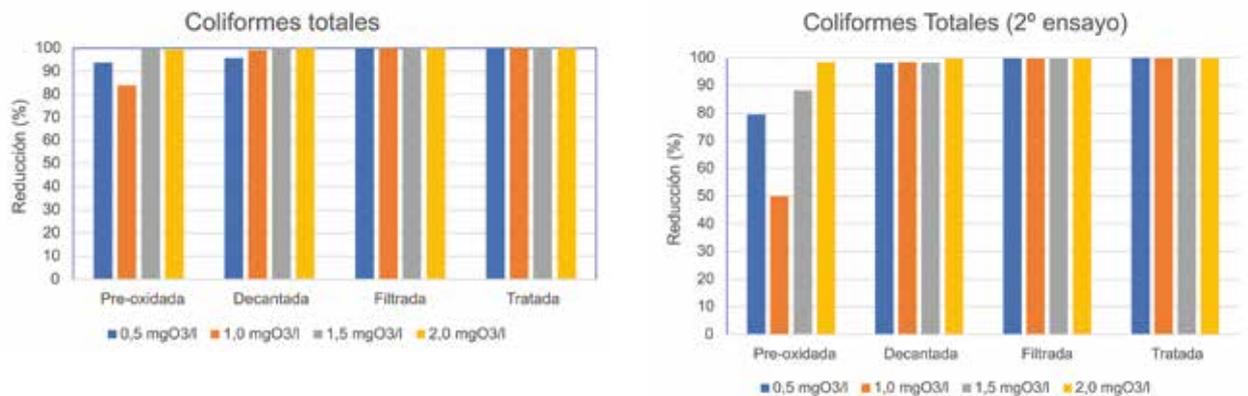
**FIGURA 4.** Rendimiento de eliminación de *Clostridium* sulfito reductores en las diferentes etapas del proceso de potabilización para diferentes dosis de ozono en preoxidación en las dos baterías de ensayos realizadas.



**FIGURA 5.** Rendimiento de eliminación de *Clostridium perfringens* en las diferentes etapas del proceso de potabilización para diferentes dosis de ozono en preoxidación en las dos baterías de ensayos realizadas.

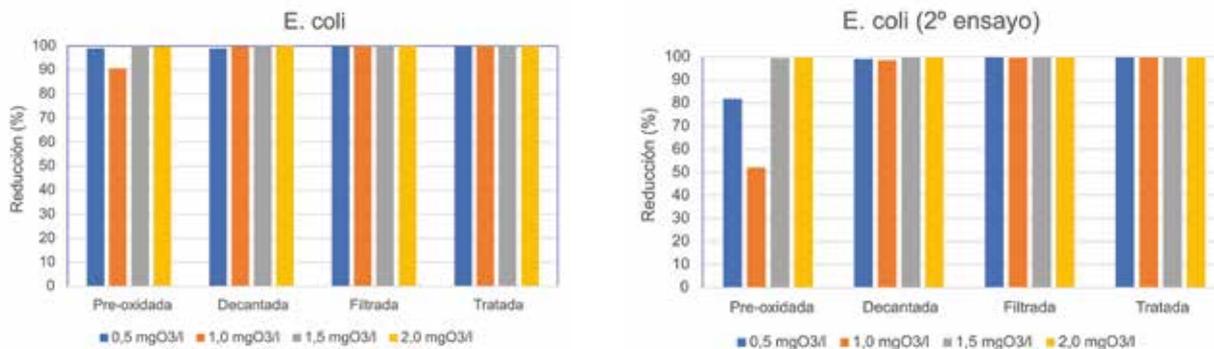


**FIGURA 6.** Rendimiento de eliminación de coliformes totales en las diferentes etapas del proceso de potabilización para diferentes dosis de ozono en preoxidación en las dos baterías de ensayos realizadas.

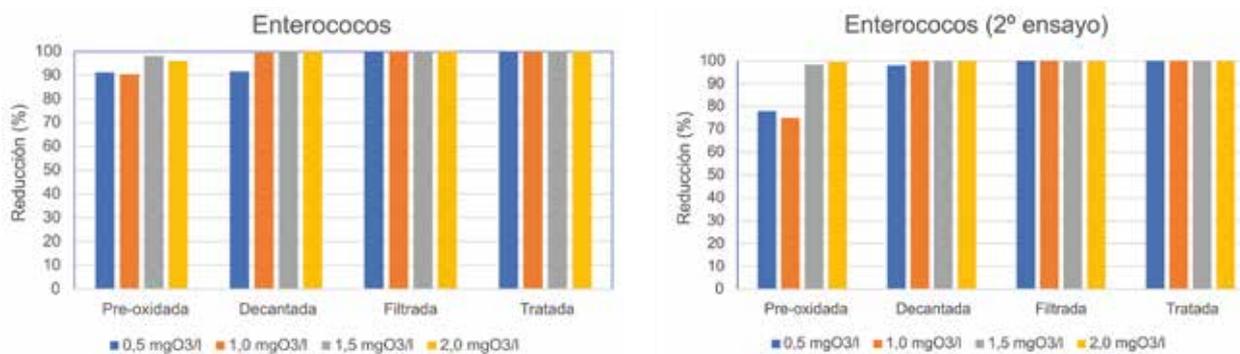


» En la experimentación realizada a escala real en la planta piloto del CATABB, tomando como influente agua del río Nervión, no se observó una relación directa entre la dosis de ozono empleada y el rendimiento de eliminación obtenido en los diferentes indicadores microbiológicos evaluados

**FIGURA 7.** Rendimiento de eliminación de *E. coli* en las diferentes etapas del proceso de potabilización para diferentes dosis de ozono en preoxidación en las dos baterías de ensayos realizadas.



**FIGURA 8.** Rendimiento de eliminación de enterococos en las diferentes etapas del proceso de potabilización para diferentes dosis de ozono en preoxidación en las dos baterías de ensayos realizadas.



En la experimentación realizada a escala real en la planta piloto del CA-TABB, tomando como influente agua del río Nervión, no se observó una relación directa entre la dosis de ozono empleada y el rendimiento de eliminación obtenido en los diferentes indicadores microbiológicos evaluados.

Se obtuvo un aumento significativo en la reducción de los diferentes indicadores, y en especial en el caso de *Clostridium*, a la salida del decantador, lo cual coincide con lo descrito en otros estudios en los que se registró una significativa reducción de la carga microbiológica asociada a la reducción de la turbidez y de la materia particulada en las etapas de clarificación. La reducción aumentó a la salida del filtro de arena, siendo superior al 99,5% y alcanzando en muchos casos el 100%, para todos los parámetros microbiológicos analizados.

Respecto a los resultados obteni-

dos en la segunda batería de ensayos de repetición, se observaron algunas ligeras diferencias. En este segundo ensayo, el rendimiento de eliminación tras preoxidación fue inferior para todos los microorganismos analizados, con rendimientos inferiores al 90% en coliformes totales, *E. coli* y enterococos. Por el contrario, en esta segunda tanda de ensayos, al igual que en la primera, los menores porcentajes de eliminación se obtuvieron para *Clostridium*. Al igual que en el primer ensayo, en el agua decantada solo se obtuvo en algún caso puntual un rendimiento inferior al 90% para *Clostridium*, aunque sí se observó igualmente un aumento significativo de eliminación de este microorganismo en esta etapa.

### 5. AGRADECIMIENTOS

Se agradece al personal del Laboratorio de Abastecimiento del Consor-

cio de Aguas Bilbao Bizkaia por el apoyo analítico prestado durante la realización del estudio.

### Bibliografía

- [1] ASM Journals, Applied and Environmental Microbiology, vol. 55, núm. 6 (1989).
- [2] Veterinary Parasitology, núm. 126, págs. 219-234 (2004).
- [3] Int. J. Environ. Res. Public Health, núm. 7(10), págs. 3.657-3.703 (2010).
- [4] XXXVI Jornadas Técnicas de AEAS, septiembre 2022, Córdoba.
- [5] Chemosphere, núm 288, Part 1 (2022).
- [6] XXXV Jornadas Técnicas de AEAS, págs. 110-120, marzo 2019, Valencia.
- [7] Environ. Sci. Technol., núm. 21, págs. 224-230 (1987).
- [8] Water Research, núm.160, págs. 339-349 (2019).
- [9] Standard Methods for drinking water and wastewater analysis. Madrid (1992).
- [10] Water Research, núm.36, págs. 1.143-1.154 (2002).
- [11] Catalysis Today, núm.53, págs. 51-59 (1999).
- [12] Water Research, núm. 37, págs. 1.469-1487 (2003).
- [13] Disinfection Profiling and Benchmarking Guidance Manual, US EPA (1999).
- [14] Ingeniería Química, núm. 35, págs. 85-92 (2003).
- [15] Water Research, vol. 46, núm. 12, págs. 3.934-3.942 (2012).
- [16] Water Resources and Industry, vol. 26, (2021).