

**Resumen**

Las espumas (foaming) producidas por microorganismos filamentosos generan importantes problemas de operación en las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR). La EDAR de Castellón de la Plana presenta un problema cíclico de foaming debido a la proliferación de *Gordonia amarae*. Durante el pasado 2006, se ensayó a escala industrial la aplicación de ozono en el reactor biológico de la línea 1. Se obtuvieron excelentes resultados en el control de espumas y se observó también una notable reducción en la producción de fangos en exceso como efecto de esta aplicación.

**Palabras clave:**

EDAR, fangos activados, espumas, ozono, bacterias filamentosas, *Gordonia amarae*.

**Abstract**

*Use of ozone for foaming elimination in the municipal wastewater treatment plant of Castellón de la Plana (Spain)*

The phenomenon of foaming caused by filamentous microorganisms generates important difficulties in the operation of wastewater treatment plants. The municipal wastewater treatment plant of Castellón de la Plana presents a cyclic problem of foaming due to the proliferation of *Gordonia amarae*. During the year 2006 ozone has been applied on industrial scale in the biological reactor of treatment line number 1. Excellent results were obtained in the control of foaming, as well as a considerable reduction in the production of excess activated sludge.

**Keywords:**

Wastewater treatment plant, activated sludge, foaming, ozone, filamentous bacteria, *Gordonia amarae*.

# Aplicación de ozono para la eliminación de espumas en la EDAR de Castellón

Por: **Goar W. Ramírez** (\*); **Enrique Dacal** (\*\*); **Fabián Van Rossum** (\*\*); **Carlos Ferrer** (\*\*); **David Castell** (\*\*); **Francisco Martínez** (\*\*\*\*); **Ignacio Bernácer** (\*\*\*\*); **José J. Morenilla** (\*\*\*\*)

(\*) **NaturLife Medio Ambiente, S.L.**

C/ Guardia Civil, 20, Bajo 11 A - 46020 Valencia

Tel.: 963 391 793 - Fax: 963 391 794

E-mail: gwramirez@naturlife.es - Web: www.naturlife.es

(\*\*) **Air Liquide España, S.L.**

Paseo de la Castellana, 35 - 28046 Madrid

Tel.: 915 029 300 - Fax: 915 029 330

Web: www.airliquide.es

(\*\*\*\*) **Facsa**

C/ Mayor, 82-84 - 12001 Castellón

Tel.: 964 221 008 - Fax: 964 226 449

Web: www.facsa.com

(\*\*\*\*) **Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales (EPSAR)**

C/ Álvaro de Bazán, 10, Entlo. - 46010 Valencia

Tel.: 963 604 555 - Fax: 962 608 469

E-mail: epsar@gva.es - Web: www.epsar.cop.gva.es

**1. Introducción**

La proliferación de bacterias filamentosas formadoras de espumas en los reactores biológicos de fangos activados causa graves problemas a las plantas depuradoras de aguas residuales (EDAR), desde episodios puntuales hasta problemas típicos y cíclicos a lo largo de muchos años.

Para la eliminación de las bacterias filamentosas se pueden emplear diferentes métodos y compuestos biocidas más o menos eficaces. La mayoría de ellos son inespecíficos y su dosis de utilización comporta un riesgo elevado para toda la biomasa, incluyendo las bacterias formadoras de floculo y los protozoos.

La utilización de ozono es un método novedoso en el control de los problemas de espumas. Con la dosis y la forma de aplicación adecuadas, gracias a la experiencia en otras plantas, se ha visto que es posible el

tratamiento de este problema manteniendo unos buenos resultados de funcionamiento.

El presente estudio se llevó a cabo en la EDAR de Castellón de la Plana, que está situada en el municipio del mismo nombre, en la Comunidad Valenciana, tratando las aguas residuales que recibe a través de los siguientes colectores: colector de Hermanos Bou, que recoge el agua de la zona sur del municipio; colector de La Plana, que canaliza las aguas residuales de la zona norte; colector del Pinar, que porta las aguas del Distrito Marítimo; y colector de Rafalafena, que conduce las aguas del centro del núcleo urbano. En total se trata un caudal medio de 44.044 m<sup>3</sup>/día, alcanzando un máximo de 64.000 m<sup>3</sup>/día en invierno y de 54.000 m<sup>3</sup>/día en verano. La planta está diseñada para tratar una DBO<sub>5</sub> de entrada de 266 mg/l y unos sólidos en suspensión de 271 mg/l.

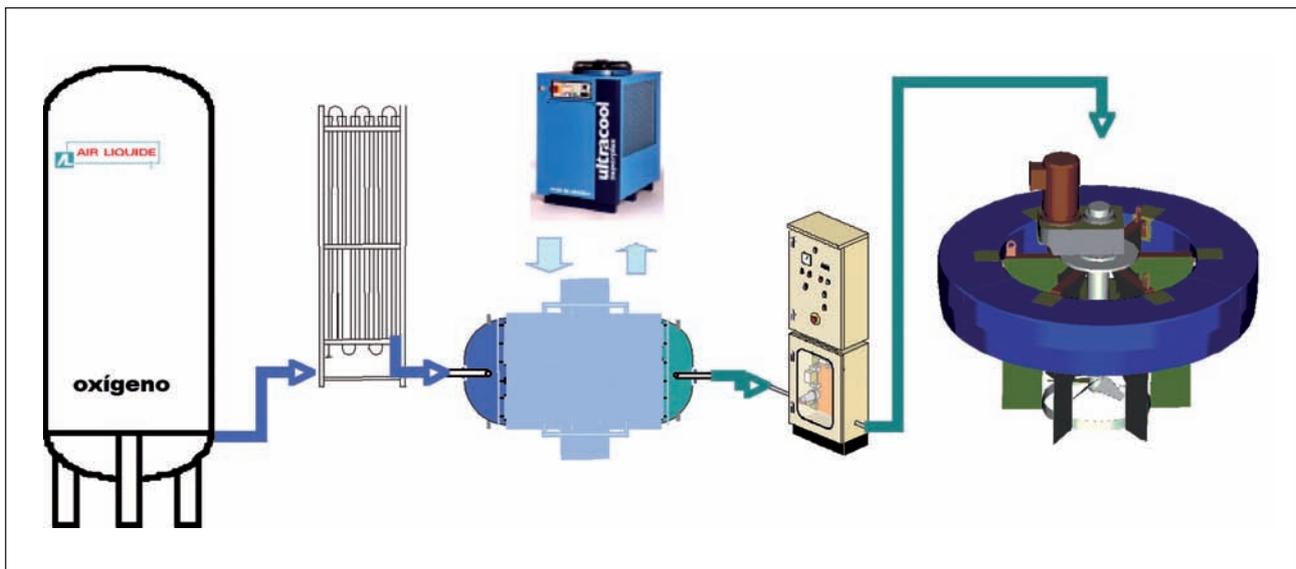


Figura 1. Esquema de la instalación.

La línea de agua se divide en dos líneas paralelas que tratan aproximadamente la misma cantidad de carga. Se decidió realizar la aplicación de ozono en la línea 1, quedando la línea 2 como control durante la prueba.

Los riesgos de sobredosis disminuyen al utilizar técnicas de tintaciones con fluorocromos específicos y, de esta manera, se controla la viabilidad tanto de las bacterias filamentosas como de las bacterias formadoras del flóculo (Ramírez *et al.*, 2001). La adición del biocida es efectiva cuando la dosis aplicada es suficiente para eliminar las bacterias filamentosas que se extienden desde el flóculo, pero sin afectar significativamente a los microorganismos intrafloculares (Kim *et al.*, 1994).

## 2. Materiales y métodos

### 2.1. Instalación de generación y aplicación de ozono

El ozono es un gas formado por moléculas triatómicas de oxígeno, de olor característico, incoloro e inestable en condiciones normales.

Se produce a escala industrial en generadores, haciendo pasar oxígeno a través de tubos revestidos de un material dieléctrico donde, tras

sufrir una fuerte descarga eléctrica, reacciona formando una cierta cantidad de ozono. La alimentación de los generadores con oxígeno puro, además de simplificar las instalaciones reduciendo costes de mantenimiento, resulta imprescindible para alcanzar las concentraciones de ozono necesarias en esta aplicación.

El oxígeno se transporta y suministra en fase líquida, a una temperatura de  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ , y se almacena en un depósito criogénico llamado evaporador. La propia presión del depósito impulsa el oxígeno a través de un gasificador atmosférico, desde donde se canaliza hasta el generador de ozono. La instalación, que incorpora todos los sistemas de seguridad necesarios, permite un control y regulación del caudal y la presión de oxígeno, así como de la producción de ozono, su concentración y el consumo de energía.

Para disolver el ozono en el reactor biológico se utiliza el equipo Turboxal. Se trata de una turbina flotante que aspira el gas ozonizado a través de un eje central y lo inyecta de forma radial en el licor mezcla, produciendo una emulsión gas/líquido. El diseño de la turbina dirige las burbujas de gas hacia el fondo del reactor proporcionando

una mezcla homogénea y la máxima eficacia (Figura 1).

### 2.2. Eliminación de espumas en el reactor biológico

La principal característica del ozono es su carácter fuertemente oxidante, que lo hace reaccionar con una amplia gama de compuestos orgánicos e inorgánicos, y lo convierte en un potente desinfectante. Al contrario que otros desinfectantes como los compuestos clorados, el ozono se descompone en oxígeno cuando reacciona, sin producir subproductos. La eficacia de la reacción depende de la concentración, el tiempo de contacto y la presencia de catalizadores o inhibidores.

Para la eliminación de las espumas de los reactores biológicos, se aprovecha precisamente la capacidad desinfectante del ozono. Su dosificación está controlada para producir un deterioro en la membrana celular de las bacterias más receptivas, que posteriormente se desintegran liberando su contenido celular. Éste sirve de alimento, equilibrado en nutrientes y fácilmente metabolizable, a los microorganismos resistentes. La aplicación es selectiva, en la medida que afecta más a las bacterias con menor capacidad de



Figura 2. Situación inicial, superficie del reactor biológico de la línea 1.



Figura 3. Situación inicial, detalle del Turboxal colocado en la superficie del reactor biológico de la línea 1.



Figura 4. Resultados obtenidos en la superficie del reactor biológico de la línea 1.



Figura 5. Resultados obtenidos. Detalle del Turboxal colocado en la superficie del reactor biológico de la línea 1.

regeneración y a las que presentan una mayor relación superficie/volumen.

### 2.3. Identificación de la bacteria filamentosa dominante

Se emplearon técnicas moleculares para la identificación de la población de bacterias filamentosas.

Mediante la técnica FISH se identificó la bacteria filamentosa dominante como perteneciente al *Phylum Actinobacteria*, especie *Gordonia amarae*. Para ello se utilizó la sonda específica (G. am. 0205).

### 2.4. Análisis de viabilidad celular

Para realizar el control de la viabilidad, tanto de las bacterias filamentosas como de las bacterias del floculo, se empleó el kit Live/Dead BacLight (BL) Viability (Molecular Probes Inc. 1998). Se tomó una muestra de fango de 1 ml y se le añadió 3 µl de la mezcla de Syto 9 y yoduro de propidio con una proporción 1:1. La muestra con los fluorocromos se incubó 15 minutos en oscuridad y agitación. Los filamentos con todas las células verdes se consideran vivos y los filamentos

con todas las células rojas muertos. Existe un estado intermedio en el que los filamentos tienen células vivas y muertas, considerándose filamentos dañados.

## 3. Resultados

### 3.1. Eliminación de espumas

Como se describe en la introducción, la planta presentaba episodios cíclicos de espumas, por lo que se decide realizar la actuación para minimizar el problema. En la **Figura 2** se puede observar que la tota-

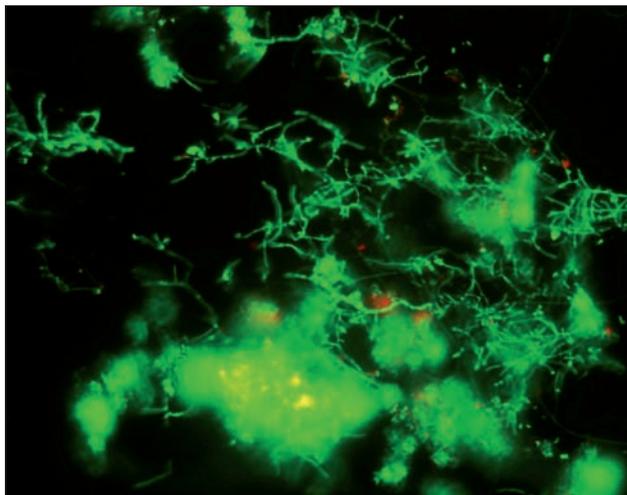


Figura 6. Viabilidad celular del floculo y concentración de filamentos antes de la aplicación de ozono.

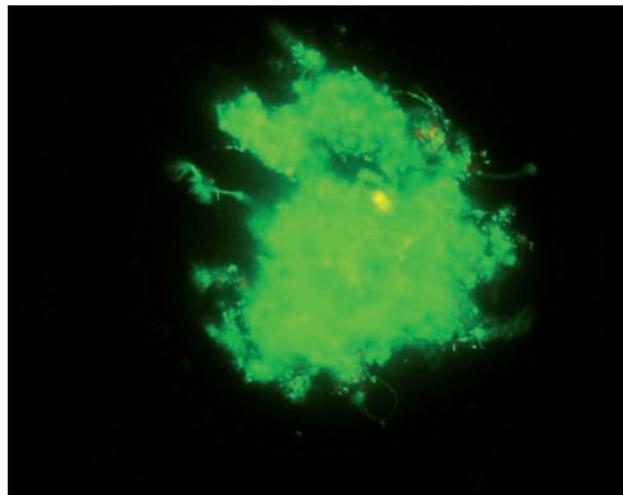


Figura 7. Viabilidad celular y concentración de filamentos después de la aplicación de ozono.

lidad del reactor biológico estaba cubierto por una capa de espumas de aproximadamente 30 cm de espesor, alcanzando en ocasiones los 60 cm (Figura 3).

A partir de la aplicación de ozono en el reactor de la línea 1 se observó una notable mejoría en el proceso, ya que desaparecieron prácticamente las espumas de la superficie del reactor (Figuras 4 y 5). Así mismo, en la línea 2 de la depuradora, sin aplicación de ozono, la formación de espumas ha continuado sin cambios.

En varias ocasiones se ha realizado la prueba de parar la aplicación de ozono en la línea 1. El resultado ha sido la proliferación de espumas de forma casi inmediata, en unos 2 o 3 días.

En el seguimiento que se le realizó de la viabilidad celular, se observó una disminución en la concentración de bacterias filamentosas y de las bacterias libres en los espacios interfloculares, sin que se haya detectado afectación a las bacterias floculantes (Figuras 6 y 7).

### 3.2. Disminución en la producción de fangos

Los fangos en exceso son un producto residual generado por el tratamiento biológico que origina importantes costes operativos tanto en la propia EDAR como en su posterior

transporte y gestión. Se calcula que la eliminación de fangos representa el 16% de los costes operativos de una EDAR. Además, las restricciones para su reutilización y eliminación son cada vez mayores, al tiempo que su producción aumenta.

En este caso se observó una disminución en la producción de fangos en exceso. La aplicación de ozono comenzó en el mes de marzo y, a partir de esa fecha, se observó un descenso significativo en la cantidad de materia seca extraída de la línea 1. En la Figura 8 se muestra la evolución en el año 2005 y la comparación con el 2006.

En la Tabla 1 se muestra el porcentaje de eliminación de fangos en exceso de la línea 1 mes a mes, comparado con la media del año 2005. Como se puede apreciar los porcentajes de disminución son elevados. En resumen, la media de producción de fangos en exceso en la línea 1 durante la aplicación de ozono, disminuyó un 31,27% respecto a la media del año 2005.

### 3.3. Funcionamiento de la planta

No se han observado diferencias significativas en los parámetros de control habituales de funcionamiento de la planta: eliminación de carga, nitrificación, etc. Se ha apreciado una mejora en la sedimentabilidad

Mes	Reducción respecto a la media de 2005(%)
Marzo	4,23
Abril	8,54
Mayo	13,04
Junio	31,93
Julio	55,06
Agosto	43,75
Septiembre	39,68
Octubre	47,85
Noviembre	34,58
Diciembre	34,04

Tabla 1. Evolución del porcentaje de eliminación de fangos en exceso de la línea 1.

de los clarificadores. Esta mejora ha podido ser cuantificada gracias a una notable disminución del IVF (Figura 9) como consecuencia del descenso de bacterias filamentosas. Además, la mejora en la sedimentabilidad del fango ha permitido trabajar con concentraciones de sólidos suspendidos totales superiores a las de diseño con la consecuente mejora en los rendimientos de la depuración.

La posibilidad de trabajar con una concentración de biomasa mayor a la de diseño, convierte esta aplicación en una importante solu-

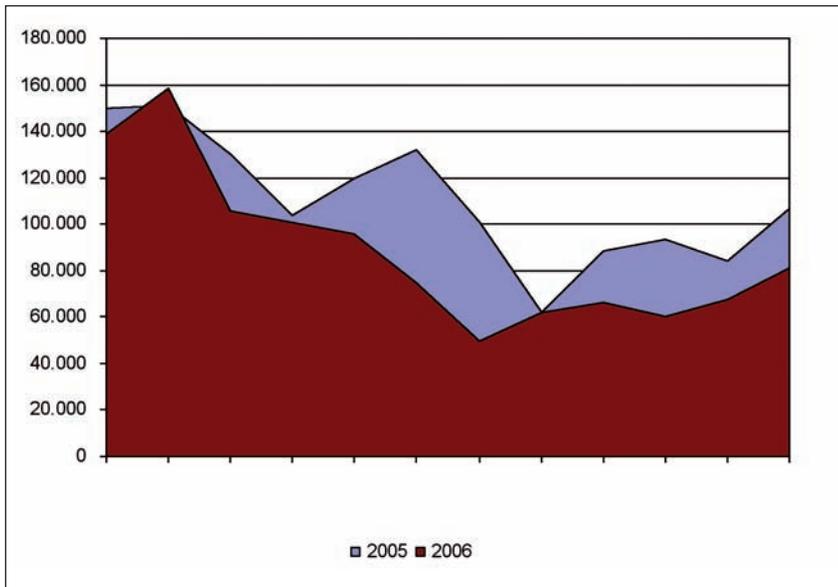


Figura 8. Evolución de los fangos en exceso. Comparativa de los años 2005 y 2006.

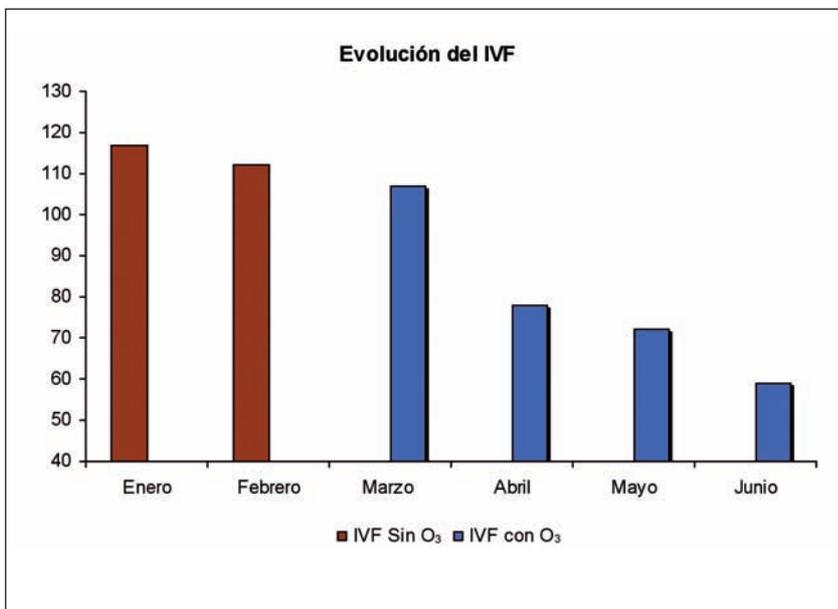


Figura 9. Evolución del IVF durante el primer semestre de 2006.

ción para EDAR infradimensionadas, alargando la vida útil de las instalaciones y evitando los elevados costes de obra civil que supondrían futuras ampliaciones.

#### 4. Conclusiones

La aplicación de ozono controlada en el reactor biológico se ha probado como un método eficaz para el control de la proliferación de bacterias filamentosas que ocasionan problemas de espumas (foaming).

La aplicación es específica, ya que, con las dosis utilizadas, se eliminan las bacterias filamentosas que forman puentes interfloculares, sin afectar a las bacterias formadoras del floculo ni a los protozoos.

También se ha observado una reducción significativa de la producción de fangos biológicos en exceso, que se puede cifrar en un 30% con respecto a la producción del año 2005. Y, por último, se ha observado una mejora significativa en la

*El ozono controla la proliferación de bacterias filamentosas que ocasionan problemas de espumas y reduce la producción de fangos biológicos en exceso*

decantabilidad del fango, que además ha permitido trabajar con una concentración de biomasa superior a la de diseño.

#### 5. Agradecimientos

Al Instituto de Hidrología y Medio Natural de la Universidad Politécnica de Valencia, por su colaboración en los análisis microbiológicos.

#### 6. Bibliografía

- [1] De los Reyes, M.F.; De los Reyes, F.L.; Hernández, M.; Raskin, L. (1998). Quantification of Gordonia amarae strains in foaming activated sludge and anaerobic digester systems with oligonucleotide hybridization probes. Appl. Environ. Microbiol. 64:2503-2512.
- [2] Kim, C.; Koopman, B.; Bitton, G. (1994). INT-dehydrogenase activity test for assessing chlorine and hydrogen peroxide inhibition of filamentous pure cultures and activated sludge. Wat. Res. 28, 1117-1121.
- [3] Ramírez, G.W.; Alonso, J.L.; Villanueva, A.; Guardino, R.; Basiero, J.A.; Bernacer, I.; Morenilla, J.J. (2000). A rapid, direct method for assessing chlorine effect on filamentous bacteria in activated sludge. Wat. Res. 34, 3894-3898.