



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

RESUMEN

Las espumas producidas por microorganismos filamentosos generan importantes problemas de operación en las depuradoras. La EDAR de Castellón de la Plana presenta este problema de forma cíclica debido principalmente a la proliferación de *Gordonia amarae*. En Febrero de 2006 se inició un ensayo a escala industrial de la aplicación de ozono en uno de los reactores biológicos con el fin de eliminar las espumas, obteniéndose excelentes resultados. Tras esta experiencia previa se decidió instalar en la planta dos generadores de ozono para aplicarlo en las 2 líneas de tratamiento existentes. La puesta en marcha de estos equipos tuvo lugar en Septiembre de 2008. El presente artículo muestra las principales conclusiones obtenidas con la aplicación de ozono en los reactores biológicos hasta Mayo de 2009.

Palabras clave: EDARs, fangos activados, espumas, Ozono, bacterias filamentosas, *Gordonia amarae*

José Juan Morenilla Martínez¹,
Ignacio Bernácer Bonora¹,
José Antonio Basiero Siche¹,
Francesc Belenguer Pla²,
David Tormo Ferrer²,
José Claramonte Santarrufina³,
David Castell³,
Mairena García³,
Enrique Dacal⁴,
Fabian Rossum⁴.

INTRODUCCIÓN

La proliferación de bacterias filamentosas formadoras de espumas en los reactores biológicos causa graves problemas, puntuales o recurrentes, que comprometen el funcionamiento de las plantas depuradoras. La EDAR de Castellón ha presentado históricamente episodios cíclicos de espumas que han provocado pérdidas de calidad del efluente, olores por acumulación en los clarificadores, impacto visual, etc.

Para intentar paliar este problema se han adoptado durante los últimos años una serie de medidas como la optimización de los parámetros de diseño (carga másica y edad del fango), la utilización de un selector anóxico, las paradas bruscas en el aporte de

mas en los reactores biológicos causa graves problemas, puntuales o recurrentes, que comprometen el funcionamiento de las plantas depuradoras. La EDAR de Castellón ha presentado históricamente episodios cíclicos de espumas que han provocado pérdidas de calidad del efluente, olores por acumulación en los clarificadores, impacto visual, etc.



Foto 5. Reactor biológico línea 1 con dosificación de ozono

¹Entidad Pública de Saneamiento de Aguas Residuales, Generalidad Valenciana.

²Intercontrol Levante S.A.

³Facsa.

⁴Air Liquide.



Foto 1. Generador de ozono



Foto 2. Analizador de ozono

oxígeno, la cloración en recirculación y en superficie, la puesta en marcha de un sistema de control de oxígeno, y la instalación de trampas de espumas. Con algunas de ellas se consiguieron resultados parciales, mientras que otras resultaron ineficaces. Concretamente la dosis necesaria para la cloración en recirculación comporta un riesgo elevado para toda la biomasa, incluyendo las bacterias formadoras de flóculo y

los protozoos, por lo que su utilización queda muy limitada.

La aplicación de ozono a los fangos activos es una técnica desarrollada recientemente para controlar la proliferación de bacterias filamentosas.

El presente estudio se llevó a cabo en la EDAR de Castellón entre los meses de septiembre 2008 y mayo de 2009. La planta trata un caudal medio de 41.268 m³/día y 186.993 habi-

tantes equivalentes. La línea de agua se divide en dos líneas paralelas que tratan aproximadamente la misma cantidad de carga. La línea 2 dispone a su vez de dos reactores biológicos iguales con dos clarificadores comunes. Cada reactor opera en una configuración tipo flujo pistón con un sistema convencional de fangos activos, con aporte de oxígeno mediante soplantes a través de difusores de burbuja fina.

En Febrero de 2006 se inició un ensayo a escala industrial de la aplicación de ozono en el reactor biológico de la línea 1, consiguiendo la eliminación prácticamente total de las espumas. Con esta experiencia previa se decidió instalar en la planta dos generadores de ozono para aplicarlo en las 2 líneas de tratamiento. En este artículo se resume la experiencia de esta aplicación desde la puesta en marcha en Septiembre de 2008, hasta Mayo de 2009.

El tratamiento con un biocida es eficaz cuando la dosis aplicada es suficiente para eliminar las bacterias filamentosas que se extienden entre flóculos formando puentes interfoculares, sin afectar significativamente a las bacte-



Foto 6. Reactor biológico línea 2 con dosificación de ozono

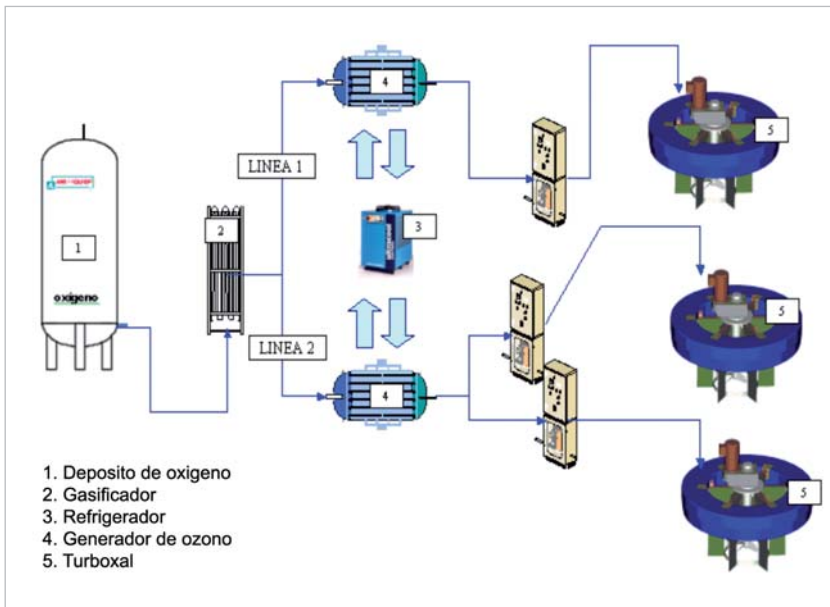


Figura 1. Esquema de la instalación

rias filamentosas intrafloculares (Kim et al 1994). Para controlar el efecto del ozono sobre la viabilidad de los microorganismos se utilizaron tinciones con fluorocromos específicos (Ramírez et al, 2001).

MATERIALES Y MÉTODOS

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. La principal característica del ozono es su carácter fuertemente oxidante, que reacciona con una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos y lo convierte en un potente desinfectante. La eficacia de la

reacción depende de la concentración de ozono, del tiempo de contacto y de la presencia de catalizadores e inhibidores.

El ozono se produce en generadores que funcionan haciendo pasar oxígeno a través de tubos revestidos de un material dieléctrico donde, tras sufrir una fuerte descarga eléctrica, se forma una cierta cantidad de ozono. La alimentación de los generadores con oxígeno puro disminuye el consumo energético, simplifica las instalaciones, reduce costes de mantenimiento y permite alcanzar las concentraciones de ozono necesarias en esta aplicación.

El oxígeno que se utiliza para la producción de ozono se transporta y almacena en fase líquida, a una temperatura de -183°C , en depósitos criogénicos especiales llamados evaporadores. La presión del

depósito impulsa el oxígeno líquido a través de un gasificador atmosférico, desde donde se canaliza hasta el generador de ozono.

La instalación de la EDAR de Castellón, dispone de un edificio donde se encuentran dos generadores OZONIA tipo OZAT CFV6®, con una producción de 2.500 gO₃/h cada uno, que disponen de todos los sistemas necesarios para medir y regular el caudal y la presión de oxígeno, la producción y la concentración de ozono y el consumo de energía (fotos 1 y 2).

En esta aplicación es muy importante alcanzar la máxima eficacia de transferencia gas/líquido. Para ello se utiliza el equipo TURBOXAL® de AIR LIQUIDE, una turbina flotante que aplica el ozono a través de un eje central y lo inyecta de forma radial en el licor mezcla formando una emulsión. El diseño de la turbina dirige las finas burbujas hacia el fondo y los lados, proporcionando una mezcla homogénea y la máxima eficacia. La EDAR de Castellón dispone de tres equipos TURBOXAL T300V2®, uno en el reactor biológico de la línea 1 y dos en línea 2 ya que el reactor biológico está formado por dos unidades en paralelo.

A continuación podemos observar el esquema de la instalación de ozono existente en la EDAR de Castellón (figura 1).

BASE TEÓRICA DE LA APLICACIÓN

La aplicación de ozono tiene como finalidad producir un deterioro en la pared y la membrana celular de las bacterias más receptivas. Algunas llegan a desintegrarse liberando su contenido celular, que sirve de alimento fácil-

Dosis mgO ₃ /h/kgML VSS	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo
Línea 1	208,1	180,9	141,0	109,5	112,9	107,7	130,4	118,0
Línea 2	195,0	169,9	118,4	75,3	0,0	0,0	0,0	0,0



mente metabolizable a los microorganismos resistentes. La aplicación es selectiva en la medida que afecta más a las bacterias con menor capacidad de regeneración y a las que presentan una mayor relación superficie/volumen.

CARACTERÍSTICAS DE LA DOSIFICACIÓN

Los ensayos previos de Febrero de 2006 en la EDAR de Castellón se llevaron a cabo con una capacidad máxima de dosificación de 180 mgO₃/kgMLVSS/h, obteniéndose excelentes resultados. En septiembre de 2008 se inició la aplicación con una dosis de aproximadamente 200 mgO₃/kgSSVML/h en la dos líneas de tratamiento. A continuación se presentan las dosis aplicadas durante el periodo de estudio (octubre 2008 a mayo 2009).

ANÁLISIS DE VIABILIDAD CELULAR

Para observar la viabilidad tanto de las bacterias filamentosas como de las bacterias del flóculo se empleó el kit Live/Dead® BacLight (BL) Viability (Molecular Probes Inc. 1998), con el que los filamentos teñidos de verde se consideran vivos y los filamentos teñidos de rojo, muertos. Los flóculos con células verdes y rojas se consideran dañados. Esta prueba permite un control estricto de la aplicación.

RESULTADOS

ELIMINACIÓN DE ESPUMAS

La dosificación de ozono se inició en septiembre de 2008, coincidiendo con el comienzo de


www.ifat.de

INSCRIPCIÓN ONLINE PARA VISITANTES:
www.ifat.de/tickets/en

NUEVAS PERSPECTIVAS MEDIOAMBIENTALES







**FERIA LÍDER INTERNACIONAL DE GESTIÓN DE AGUAS,
AGUAS RESIDUALES, RESIDUOS Y MATERIAS PRIMAS
SECUNDARIAS**

13 – 17 DE SEPTIEMBRE DE 2010 EN MÚNICH

**LA OFERTA INTERNACIONAL PARA TODOS LOS
CAMPOS DE LA TECNOLOGÍA MEDIOAMBIENTAL**

- Las innovaciones, tecnologías y tendencias del futuro
- Todos los ámbitos de aplicación, todos los productos, todos los servicios
- Líderes en tecnología, especialistas y nuevas empresas de todo el mundo
- Soluciones específicas para cada aplicación y cada uso
- Excelente programa de actos como plataforma de información y networking

Información detallada y programa de conferencias en www.ifat.de

Para más información: Firamunich, S.L.
Tel.: 93.488.17.20, Fax: 93.488.15.83
info@firamunich.com



A WORLD OF ENVIRONMENTAL SOLUTIONS



Foto 3. Reactor biológico línea 1 sin dosificación de ozono



Foto 4. Reactor biológico línea 2 sin dosificación de ozono

la aparición espumas. Al aplicar ozono en una dosis de 200 mgO₃/kgSSVML/h se pudo observar su rápida desaparición tanto de los reactores y como de los clarificadores. Los parámetros de funcionamiento confirmaron que se mantenía una buena calidad del efluente.

En las siguientes fotos se muestra el estado del reactor al inicio de la dosificación (fotos 3 y 4) y una semana después de su puesta en funcionamiento (fotos 5 y 6).

En los análisis de viabilidad celular se observó una disminución de la cantidad de bacterias en los

espacios interfloculares, incluyendo las filamentosas, sin que las bacterias intrafloculares se vieran afectadas. La explicación de este efecto es la mayor exposición de los microorganismos al ozono fuera del flóculo. También se pudo constatar el buen estado agregación del flóculo.

Paradas temporales de la aplicación

En varias ocasiones se detuvo total y parcialmente (en algunos equipos) la aplicación de ozono, observándose en todos los casos

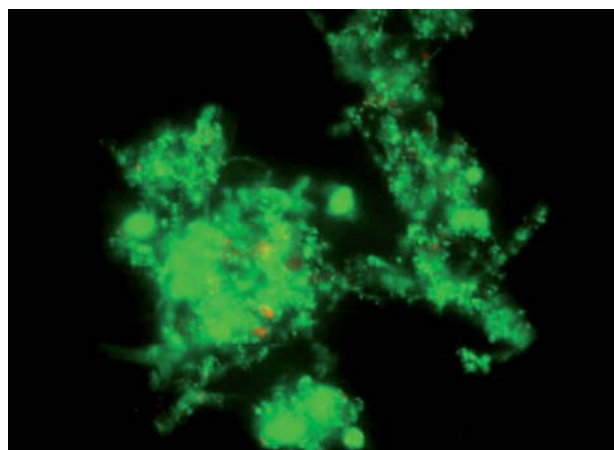
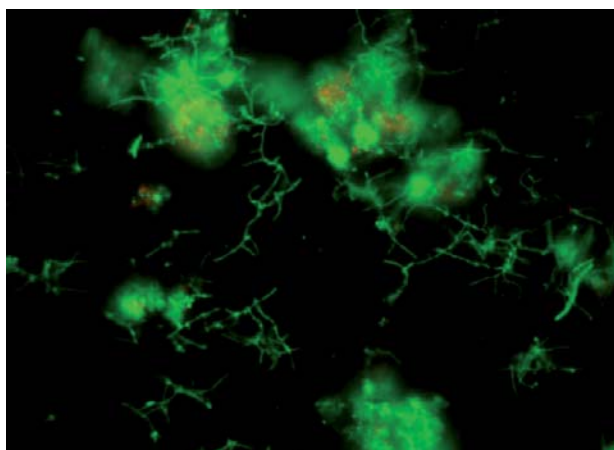
la aparición de espumas en unas 8 horas, probando de forma concluyente una relación causa - efecto.

Se intentó también realizar un ensayo con paradas intermitentes de la aplicación, pero la prueba fue interrumpida ante la rápida aparición de espumas en unas horas.

Paradas parcial del sistema de aplicación de la línea 2

El tratamiento secundario de la línea 2 esta formado por dos reactores biológicos en paralelo, esta configuración condicionó la instalación de un turboxal en cada uno de los reactores. En el mes de noviembre de 2008 (entre los días 5 y 12 de noviembre) se decide parar el turboxal del reactor 1 de la línea 2 manteniendo la dosis de ozono (208 mgO₃/kgSSVML/h); tras esta actuación se observa un incremento de las espumas y un empeoramiento de la decantabilidad del fango prácticamente inmediato en el reactor en el que no se está adicionando ozono, pero puesto que la recirculación es común, el empeoramiento de la decantabilidad terminó afectando al reactor en el que se había continuado dosificando ozono. En las foto 9 se aprecia el aspecto del reactor 1 de la línea dos antes de parar uno de los dos turboxal, mientras que en la foto 10 ya habían transcurrido 5 días desde la parada del turboxal). A continuación se muestran las pruebas de sedimentabilidad realizadas, así como las fotos antes y después de la prueba.

Otro hecho que corrobora la importancia de una correcta distribución del ozono dosificado se obtiene a partir de las observaciones microscópicas llevadas a cabo en cada uno de los procesos de las dos líneas con diferen-



Fotos 7 y 8. Microfotografía de análisis de viabilidad celular del flóculos. Izquierda: concentración de filamentos elevada (sin la aplicación de ozono). Derecha: concentración de filamentos tras la aplicación de O_3

tes dosis de ozono. En base a este seguimiento se pudo concluir que la línea 2 es más sensible a la dosificación de ozono que la línea 1. Como se puede observar en las fotos 13 y 14, en la línea 1 una reducción de la dosificación de ozono a 1.8 gr O_3 /Kg MLSSV/h supone la aparición de filamentos intrafloculares. No obstante la aparición de filamentos en la línea 2 (fotos 15 y 16) es tan sólo apreciable por debajo de 1.3 gr O_3 /Kg MLSSV/h.

Este hecho puede deberse principalmente a que la aplicación de ozono en la línea 2 se realiza en 2 puntos mientras que en la línea 1 se realiza en un solo punto. Otro de los factores que mejoraría la mezcla y por tanto la dosificación sería la profundidad de los reactores ya que la línea 2 es sensiblemente más profunda que la línea 1, en concreto la línea 1 tiene una profundidad de 3,5 metros mientras que la línea 2 es de 5 metros. De todos estos datos se puede afirmar que una correcta mezcla del ozono en el reactor biológico es esencial para una correcta aplicación, siendo un factor muy importante a la hora de abaratar costes.

VARIACIONES EN LAS DOSIS DE OZONO.

En Noviembre de 2008 se inició un nuevo ensayo modificando las dosis de ozono manteniendo una concentración de SSVLM en torno a 3.200 mg/l (SSLML 4.000 mg/l). Durante las pruebas se observó que el descenso de dosificación por debajo de 70 – 100 mg O_3 /kgSSVML/h (1,3 – 1,8 Kg O_3 /Kg SSLML) aumentaba la cantidad de filamentos interfloculares y la generación de espumas, al tiempo que empeora la decantabilidad del fango.

Los ensayos realizados con dosis superiores a 200 mg O_3 /kgSSVML/h mostraron una disminución de la viabilidad bacteriana y de la cantidad y variedad de protozoos.

VARIACIONES EN LOS PUNTOS DE APLICACIÓN DE OZONO.

En diversas pruebas realizadas se ha observado una mayor sensibilidad al ozono en la línea 2 de la EDAR, que mostraba resultados parecidos a los de la línea 1 con una dosificación un 30% menor. Una posible explicación se

Fecha	t (min)	V _{sedimentación reactor 2 A} (ml/l)	V _{sedimentación reactor 2 B} (ml/l)
05/11/08	5	940	960
	10	900	930
	15	870	900
	20	820	860
	25	790	840
	30	760	810
11/11/08	5	990	990
	10	980	980
	15	970	960
	20	960	950
	25	960	940
	30	950	920

puede encontrar en el hecho de la aplicación de ozono se realiza en dos puntos en la línea 2, frente a un solo punto de aplicación en la línea 1. Otro factor que ha podido influir es la mayor profundidad de la línea 2 que favorece una mejor difusión del ozono.

ESTUDIO DE COSTES.

Del estudio del funcionamiento de las instalaciones de dosificación de ozono implementadas en la EDAR de Castellón, se ha obtenido un coste económico en cuanto a reactivos (obtenido a partir



Foto 11. Línea 2 reactor 1 con dosificación de ozono en los 2 reactores (05/11/2008)



Foto 12. Línea 2 reactor 1 con dosificación de ozono en un solo reactor (12/11/2008)

del coste y consumo del oxígeno líquido y nitrógeno) de 1,23 €/Kg O₃ dosificado en el reactor y un coste energético (estimado a partir de las horas de funcionamiento y consumos de los diferentes equipos) de 2,9 €/Kg O₃ dosificado en el reactor, por lo que el coste de la dosificación de ozono se sitúa en torno a 4,13 €/Kg O₃.

La inyección de ozono supuso dejar fuera de servicio el sistema

de extracción de espumas mediante turbinas extractoras (consumo de 44 Kw/h), así como disminuir el aporte de oxígeno por parte de las soplantes (para la generación del ozono se utilizaba como materia prima el oxígeno, por lo que el oxígeno que no se transforma en ozono, es inyectado en los reactores). El ahorro energético que supone la parada de las turbinas extractoras se

cuantifica en 103 €/día, mientras que el ahorro por descenso del funcionamiento de las soplantes se estima en 27 €/día.

Otros efectos de la adición de ozono: disminución en la producción de fangos.

Con la información recopilada de las pruebas realizadas hasta el momento en la EDAR de Castellón, no se ha podido constatar que la adición de ozono suponga una reducción de la producción de fangos. En la línea 1, la producción de fangos en el periodo de dosificación se situó en torno a 160 grMS/m³, mientras que en el mismo periodo del año anterior se había situado en torno a 143 gr MS/m³. En la línea 2 se obtuvo una producción de 93 grMS/m³ sin adición de ozono, frente a una producción de 89 grMS/m³ con adición de ozono.

En la siguiente gráfica se muestra la evolución de la producción de fangos en exceso entre los meses de septiembre de 2008 y mayo de 2009 (periodo de la adición de ozono) con relación al mismo periodo (septiembre de 2007 y mayo de 2008) en que no se estaba adicionando ozono.

Es necesario destacar que las

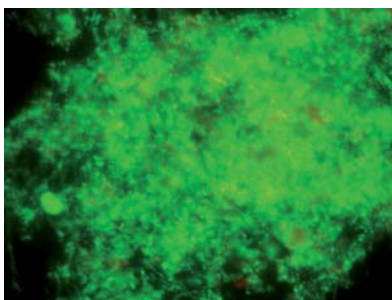


Foto 13. Aspecto flóculo día 2/12/2008 Línea 1 (2.7 gr O₃/kg SSLM)

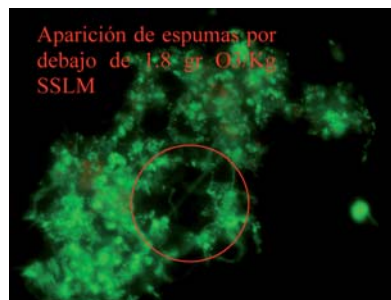


Foto 14. Aspecto flóculo día 14/01/2009 Línea 1 (1.8 gr O₃/kg SSLM)

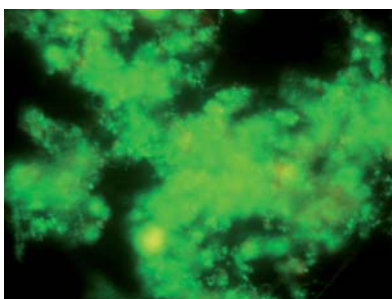


Foto 15. Aspecto flóculo día 2/12/2008 Línea 2 (2.8 gr O₃/kg SSLM)

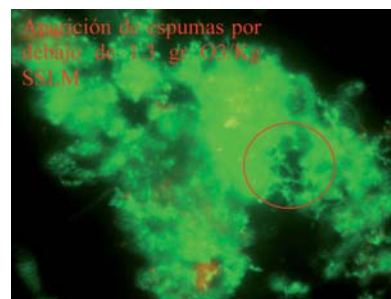


Foto 16. Aspecto flóculo día 14/01/2009 Línea 2 (1.7 gr O₃/kg SSLM)



dosis de ozono empleadas han tenido como objeto la obtención de una dosis óptima de dosificación para la eliminación de espumas y no la reducción de fangos.

CONCLUSIONES

- La dosificación de Ozono tiene un efecto inmediato sobre el control del “foaming” en el reactor biológico. La causa-efecto de la eliminación de la dosificación de Ozono es inmediata, a las 6 horas de no dosificar Ozono, se observa la aparición de espumas en la superficie del reactor.
- El Ozono no deja de ser un

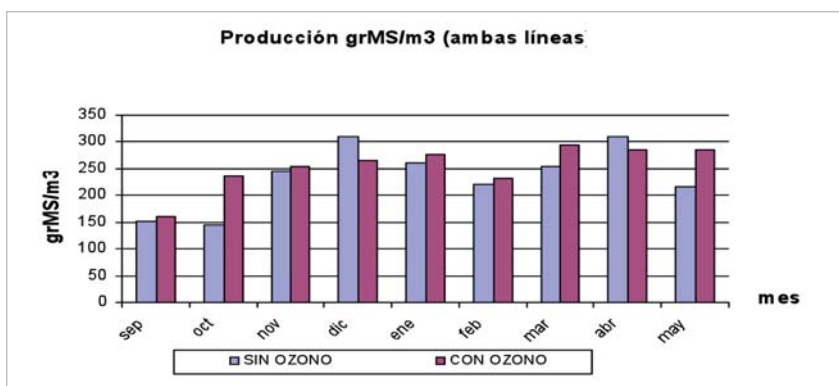
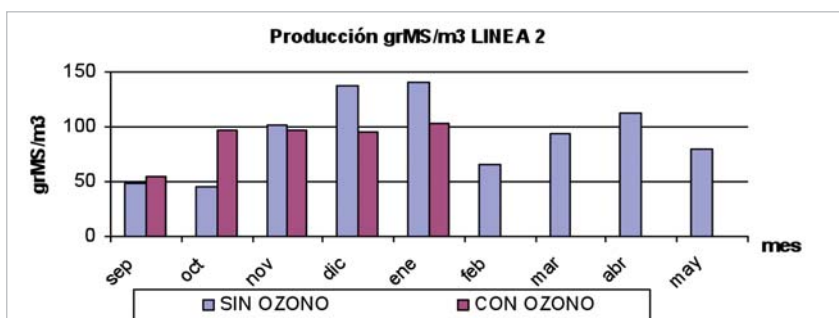
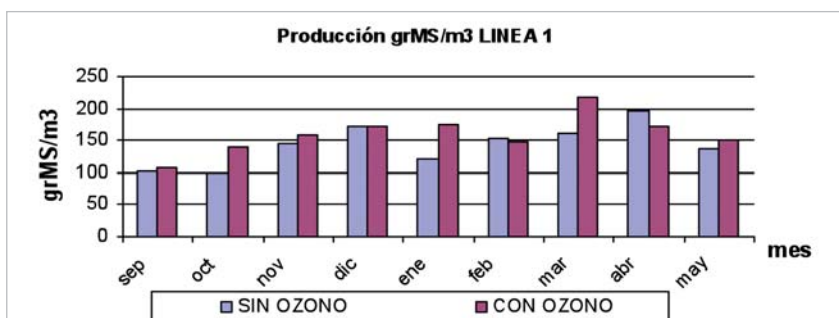
desinfectante y por tanto, una sobredosis de ozono puede producir una disminución de la población microbiana reduciendo sensiblemente el proceso de depuración. Durante los ensayos y controles realizados se ha detectado una población microbiana muy sensible a la dosificación de Ozono y cuya presencia en el proceso es imprescindible. Durante los ensayos se ha llegado a la conclusión de que es necesario detectar la dosis óptima de compromiso que permite al Ozono afectar a las bacterias filamentosas, pero sin llegar a afectar a las bacterias y protozoos.

Una disminución drástica de la población de bacterias y protozoos se traduce en un esponjamiento del fango, es decir en el mismo efecto que produce la presencia de bacterias filamentosas.

- La dosis eficaz de ozono para la eliminación de espumas en la EDAR de Castellón se encuentra entre 100 – 150 mgO₃/kgSSVML/h, si bien se observa un rango de dosificación relativamente amplio en las diferentes condiciones estudiadas (±30%).

- Con la información recopilada de las pruebas realizadas hasta el momento en la EDAR de Castellón, no se ha podido constatar que la adición de ozono suponga una reducción de la producción de fangos, no obstante, quedaría pendiente la realización de más ensayos a mayores dosis de ozono.

- Los resultados evidenciaron que la dosis de Ozono está directamente relacionada con la efectividad de su mezcla en el reactor. Cuanto mejor es la mezcla en un reactor, menor es la dosis de Ozono necesaria para conseguir el mismo efecto.



BIBLIOGRAFÍA

De los Reyes M.F., De los Reyes III F.L., Hernandez M. y 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.

Kim C., Koopman B. y 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.

Ramírez G.W., Alonso J. L., Villanueva A., Guardino R., Basiero J.A., Bernacer I. y Morenilla J. J. (2000) A rapid, direct method for assessing chlorine effect on filamentous bacteria in activated sludge. Wat. Res. 34, 3894-3898.