



Caracterización del agua residual y análisis del funcionamiento de EDARs de pequeñas poblaciones de la provincia de Castellón

Se caracterizó el agua residual y el fango activo de 32 EDARs urbanas pertenecientes a pequeños y medianos municipios de la provincia de Castellón. El agua residual caracterizada mostró una elevada concentración de materia orgánica con unos valores medios de 394 mg/l y 771 mg/l de DBO₅ y DQO respectivamente. Se analizó la influencia sobre la carga del efluente de aspectos constructivos tales como cuatro sistemas distintos de aireación (mediante turbinas, rotores, soplares y difusores y bombas-Venturi), dos configuraciones de reactor biológico (convencional o de mezcla completa y canales de oxidación), dos tipos de decantadores (dinámicos y estáticos). Se encontraron diferencias estadísticamente significativas para estas variables resultando la configuración más eficiente aquella conformada por un reactor biológico del tipo canal de oxidación aireado y agitado mediante rotores y decantación dinámica.

Palabras clave: caracterización de agua residual, fangos activos, depuración en pequeñas poblaciones, provincia de Castellón.

1. INTRODUCCION

La distribución y movimientos de la población en la cuenca medite-

C. Ferrer¹,
E. Bécares²,
I. Sangüesa³,
S. Alonso¹,
A. Basiero⁴,
I. Bernacer⁴,
J.J. Morenilla⁴.

¹ Fomento Agrícola
Castellonense, S.A.

² Dep. Ecología, Facultad de Biología, Uni. León.

³ Excelentísima Diputación de Castellón. Ofi. Técnica.

⁴ Entitat Pública de Sanejament d'Aigües Residuals, Generalitat Valenciana.

rránea presenta un patrón singular. Caracterizada por la presencia de una gran cantidad de pequeños núcleos urbanos, principalmente situados en zonas costeras, y por movimientos estacionales de la población coincidiendo con la época estival, nos encontramos ante numerosas poblaciones de pequeño y mediano tamaño que, puntualmente, ven incrementado su número de habitantes de forma considerable-



Figura 1: Portada del libro "La depuración en pequeños municipios de Castellón" editado por la Excelentísima Diputación de Castellón

mente. Unido a estas características, otros factores como la orografía del terreno y la climatología propia de la zona hacen que los sistemas de depuración implantados o a implantar se adecuen a estas situaciones.

Conocer la naturaleza, composición y distribución temporal del caudal de agua residual es fundamental para un correcto diseño y explotación de una instalación de depuración. Por otro lado, la experiencia en instalaciones existentes debe ser aprovechada al máximo con este propósito.

Durante un año FACSA ha muestreado sistemáticamente 32 estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR) de fangos activos de oxidación completa de la



Provincia de Castellón. En concreto se muestrearon EDAR de pequeños municipios de la Provincia de Castellón, todos con una población inferior a los 5.000 y superior a los 500 habitantes. Si bien el principio de tratamiento es el mismo, existen una gran cantidad de factores diferenciadores entre unas instalaciones y otras. Desde las dimensiones de las mismas, hasta las diferentes configuraciones y tecnologías empleadas en elementos tales como la decantación secundaria o sistemas de aireación del reactor. El análisis de la influencia de ciertas características constructivas sobre el proceso de depuración nos proporciona valiosa información de cara a futuros proyectos.

Por otro lado, dada la cobertura geográfica que ha supuesto el muestreo, este estudio representa una gran ocasión para caracterizar de forma pormenorizada el agua residual de la provincia así como la calidad del vertido a dominio público hidráulico del agua depurada.

Simultáneamente al análisis físico-químico de ciertos parámetros en afluente y efluente del reactor biológico se procedió a caracterizar el licor mezcla (fango activo). Se analizaron parámetros físico-químico y también biológicos. Se caracterizó cuantitativa y cualitativamente la microfauna de cada reactor analizando la abundancia, biodiversidad y composición de la población implantada. El objetivo de este estudio es analizar las relaciones entre la composición del agua residual afluente y efluente y la composición biótica del reactor. Entre variables físico-químicas y microbiológicas se determinaron más de 250 parámetros por muestra dando esto lugar a más de 85.000

datos. Los análisis microscópicos fueron fuente de abundante material gráfico fruto de la filmación y fotografiado de la microfauna presente. En total se obtuvieron más de 5.000 vídeos y fotografías.

En el libro "La depuración en pequeños municipios de Castellón. Sistemas de fangos activos de aireación prolongada" Editado por la Excelentísima Diputación de Castellón y la Tesis Doctoral "La depuración mediante fangos activos de aireación prolongada" (C.Ferrer) se recoge todo el estudio realizado. En las próximas líneas extraemos de estos trabajos el análisis de la influencia de ciertos aspectos constructivos sobre el proceso de depuración.

2. MATERIALES Y METODO

El muestreo de las estaciones depuradoras se realizó con una frecuencia mensual durante un año.

Cada muestreo se efectuó en cuatro puntos de la EDAR tomán-

dose con tomamuestras automático las muestras de afluente y efluente a planta y de forma puntual las de licor mezcla y recirculación.

Especial atención se tubo en la selección del punto y momento de muestreo del reactor biológico con el fin de obtener una alícuota lo más representativa posible. El muestreo se realizó siempre en el mismo punto y a la misma profundidad mientras la agitación del licor mezcla era máxima, es decir, mientras los sistemas de aireación se encontraban en funcionamiento.

En la EDAR se tomaron valores tales como pH, conductividad o temperatura mediante equipos portátiles.

Las muestras de afluente y efluente al tratamiento secundario fueron tomadas mediante tomamuestras automático.

Las determinaciones analíticas se realizaron tanto en el laboratorio central de Facsa, sito en el CIAR (Centro de Ingeniería de Aguas Re-

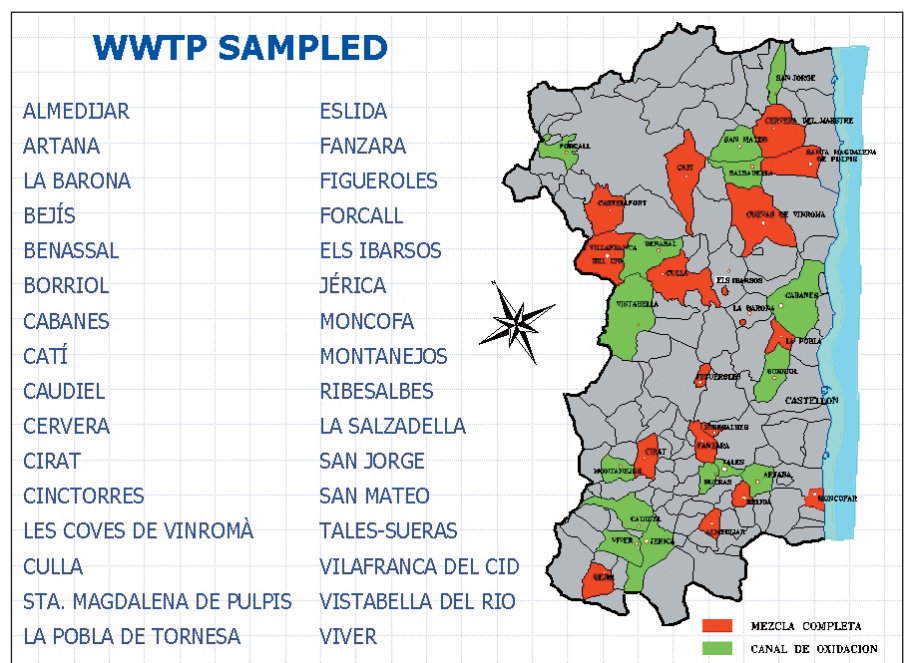


Figura 2: EDARs muestreadas



Tabla 1. Características de las EDARs muestreadas

EDAR	Q(m³/año)	He	Habitant.	Antigüedad	Reactor	Decantación	Aireación
Almedijar	27.363	684	276	2.000	Cuba	Dinámico	Soplante
Artana	199.567	2.553	1.803	1.997	Canal Oxidación	Dinámico	Rotores
La Barona	11.809	222	165	1.994	Cuba	Estático	Soplante
Bejis	586.84	807	413	2.000	Cuba	Dinámico	Soplante
Benassal	157.593	7.082	1.340	1.997	Canal Oxidación	Dinámico	Rotores
Borriol	121.383	1.781	4.288	1.994	Canal Oxidación	Estático	Rotores
Cabanes	183.973	3.184	2.659	2.001	Canal Oxidación	Dinámico	Rotores
Catí	177.275	4.454	857	1.995	Cuba	Dinámico	Turbina
Caudiel	249.369	1.863	701	2.000	Canal Oxidación	Dinámico	Rotores
Cervera	60.607	803	663	1.994	Cuba	Dinámico	Soplante/Turbina
Cirat	19.635	236	272	2.000	Cuba	Dinámico	Soplante
Cinctorres	38.907	1070	524	1.994	Cuba	Estático	Soplante
Les Coves de Vinromá	97.812	1.896	1.857	1.998	Cuba	Dinámico	Turbina
Culla	21.063	168	677	1.994	Cuba	Estático	Soplante
Eslida	74.512	1.030	861	1.999	Cuba	Dinámico	Turbinas
Fanzara	27.443	778	270	1.999	Cuba	Estático	Soplante
Figueroles	22.411	432	571	1.994	Cuba	Estático	Turbina
Forcall	55.731	1.359	539	1.997	Cuba	Estático	Soplante
Els Ibarsos	32.126	348	366	1.994	Cuba	Estático	Soplante
Jerica	163.343	2.186	1.577	2.002	Canal Oxidación	Dinámico	Rotores
Moncofa	1.042.597	6.171	4.977	1.994	Cuba	Dinámico	Turbina
Montanejos	343.770	2.418	488	1.999	Canal Oxidación	Dinámico	Rotores
La Pobla Tornesa	40.987	425	390	1.995	Cuba	Estático	Soplante
Ribesaldes	135.304	2.390	1.330	1.998	Cuba	Estático	Soplante
La Salzadella	33.058	381	806	1.997	Canal Oxidación	Dinámico	Rotores
San Jorge	75.198	1.162	744	1.998	Canal Oxidación	Dinámico	Soplante
Santa Magdalena de Pulpis	66.978	1.230	835	1.998	Cuba	Estático	Soplante
Sant Mateu	343.071	4.196	1.999	2.002	Canal Oxidación	Dinámico	Rotores
Tales-Sueras	197.447	995	796+640	2.000	Canal Oxidación	Dinámico	Soplante
Vilafranca del Cid	378.712	3.530	2.547	1.995	Cuba	Dinámico	Turbina
Vistavella del Rio	35.042	763	410	1.994	Cuba	Estático	Soplante
Viver	364.467	3.021	1.441	2.002	Canal Oxidación	Dinámico	Rotores

siduales de Facsa), como en el laboratorio IPROMA, S.L. con acreditación ENAC. Ambos laboratorios se encuentran en la ciudad de Castellón de la Plana. El transporte de las muestras hasta dichas instalaciones se realizó de forma que se garantizase una correcta conservación de las mismas, para ello se

emplearon neveras isotermas refrigeradas con placas de anticogelante y en cualquier caso, las muestras fueron procesadas en menos de cinco horas desde su toma.

Las muestras de licor mezcla se mantuvieron en todo momento con cámara de aire para evitar la alteración de la microfauna existente. El

análisis de la microfauna se realizó "in vivo" sobre muestras de fango activo observadas a distintos aumentos. El recuento de la microfauna se realizó siguiendo el protocolo establecido por Madoni(1988) para el cálculo del Índice Biótico del Fango.

La determinación de los sólidos suspendidos en afluente, efluente y



licor mezcla se realizaron en el laboratorio del CIAR y se hicieron siguiendo los protocolos establecidos en "Standard Methods" for the Examination of Water and Wastewater. 1991, (APHA, AWWA, WPCF) .

Las determinaciones de nitrógeno total, DQO y fósforo total (tanto de la fracción total como de la disuelta) se determinaron en el laboratorio del CIAR empleando un colorímetro Nova 60 de Merck y los test en viales comercializados para tal fin.

Periódicamente se realizaron ejercicios de contraste entre ambos laboratorios con el fin de verificar la fiabilidad de los resultados en ambos. Todos los ensayos resultaron satisfactorios obteniéndose desviaciones aceptables (menores del 4,7 %) entre ambos.

En la tabla 1, se hace referencia a una serie de características de las EDARs. Si bien el proceso en todas ellas es el mismo (fangos activos en aireación prolongada), con estas características obtenemos una mayor información sobre tamaño y características de la instalación.

Q(m³/año): El caudal tratado sirve como primera aproximación del tamaño de la instalación

Habitantes equivalentes (He): con el valor de habitantes equivalentes podemos conocer la carga media contaminante que tratan. Un habitante equivalente son 60 g DBO₅/día.

Antigüedad: año de construcción de la instalación.

Tipo de reactor: Este término hace referencia a la geometría del mismo. Podemos distinguir EDARs que presentan cubas cuadradas o circulares en las que tiene lugar (idealmente) la mezcla completa del licor con el agua resi-



Figura 3: Tipos de reactores biológicos



Figura 4: Tipos de decantación secundaria

dual y EDARs con reactores en forma de canal (generalmente toroidales) en los que se establece un gradiente a lo largo del reactor desde el punto de alimentación del agua residual al punto de salida del licor mezcla del reactor hacia la decantación secundaria.

Tipo de decantador: Dentro de los sistemas de decantación, diferenciamos entre decantadores secundarios estáticos y dinámicos. En ambos, el proceso físico de decantación tiene lugar por sedimentación del licor mezcla en el fondo del mismo, pero mientras que en los decantadores estáticos la extracción de los mismos tiene lugar mediante succión, en el caso de los decanta-

dores dinámicos, los lodos sedimentados son conducidos mediante un sistema de rascado del fondo del decantador a una poceta donde serán aspirados y bombeados.

Tipo de aeración, diferenciamos cuatro sistemas:

- Sistemas aireados mediante soplantes, es decir, mediante sistemas que inyectan aire atmosférico en el seno del licor mezcla ya sea mediante sistemas que transforman este caudal de aire en pequeñas burbujas a sistemas más rudimentarios en los que no se maximiza la superficie de contacto aire-líquido practicándose un simple borboteo del mismo en el licor mezcla.



- Sistemas de aireación mediante aireadores centrífugos y eyectores: son bombas sumergidas que mediante un sistema Venturi inyectan aire atmosférico en el reactor al impulsar el licor mezcla. La inyección se hace de forma monodireccional en los eyectores o a 360° mediante aireadores sumergidos.

- Sistemas de aireación mediante agitadores/aireadores superficiales: la agitación mecánica y aireación del reactor corre a cargo de sistemas mecánicos que "baten" el licor mezcla facilitando mediante este el intercambio gaseoso licor mezcla-aire y homogeneizando simultáneamente el contenido del reactor. Dentro de este grupo encontramos EDARs con turbinas y EDARs con rotores.

3. RESULTADOS Y DISCUSION

3.1. CARACTERIZACION DEL AGUA RESIDUAL DE PEQUEÑOS MUNICIPIOS DE LA PROVINCIA DE CASTELLON.

En el presente estudio se ha caracterizado el afluente y efluente atendiendo al estado de la materia en el agua residual. Se han cuantificado las fracciones disueltas, suspendidas y totales de los componentes del agua residual (compuestos orgánicos y nutrientes inorgánicos) y se ha analizado como varían las proporciones de estas entre el afluente y efluente. En la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos:

3.2. INFLUENCIA DE LOS ASPECTOS CONSTRUCTIVOS SOBRE EL FUNCIONAMIENTO DEL PROCESO

Analizando las medias de ciertas variables tras agrupar las

muestras en base a ciertos aspectos constructivos de las EDARs, podemos estudiar la representatividad de las diferencias observadas entre estas realizando análisis de la varianza de una vía (ANOVA) para cada categoría.

También analizamos la interacción entre variables categóricas, para ello efectuamos análisis ANOVA multifactoriales.

3.2.1. Influencia del sistema de aireación:

El análisis de las varianzas revela que sí existen diferencias entre EDARs para ciertos parámetros, especialmente los concernientes al efluente y rendimientos de depuración. Las EDARs con sistemas de aireación mediante aireadores centrífugos presentan peores calidades de efluente y rendimientos de

depuración. Los peores rendimientos en la eliminación de nitrógeno son para las EDARs con turbinas y aireadores centrífugos mientras que las instalaciones con rotores presentan los rendimientos más altos para este parámetro. Para los rendimientos en la eliminación de fósforo no se observan diferencias significativas.

También observamos como existen diferencias representativas para parámetros como el IVF (índice volumétrico del fango). Las EDARs con soplantes presentan los valores más bajos para este parámetro y por tanto presentan fangos con una mejor decantabilidad con respecto al de otros sistemas de aireación. Por otro lado, las EDARs con soplantes operan como termino medio con valores de SSLM superiores al resto de EDARs. También se aprecian di-



Figura 5: Tipos de sistemas de aireación.


Tabla 2: Caracterización físico-química del afluente y efluente de las EDARs

Parámetro	Afluente			Efluente		
	N	Media	Rango	N	Media	Rango
pH	355	7,50	6,1-9,5	353	7,29	5,96-8,31
Conductividad (μS/cm)	355	1.524	209-6.170	353	1.241	511-6.260
Turbidez (NTU)	354	475,4	6,0-1.000	353	17,7	0,0-899,0
Sólidos sedimentables (mg/l)	321	6,5	0,0-74,0	353	0,0	0,0-0,3
Sólidos suspendidos (mg/l)	353	287,43	5-4.060	353	13,2	4,0-140,0
DBO5 (mg/l)	354	393,83	16-2.380	354	10,5	5,0-156,0
DQO _{total} (mg/l)	353	771,30	32-3.856	354	41,8	5,0-305,0
DQO _{soluble} (mg/l)	352	305,29	9-2.770	354	26,9	2,0-168,0
NT (mg/l)	342	62,7	3,0-175,0	339	14,5	0,5-120,0
NT _{soluble} (mg/l)	343	45,7	2,9-150,0	339	12,1	0,2-48,7
NH ₄ (mg/l)	342	21,3	1,6-121,0	339	3,40	0,03-38,4
P _T (mg/l)	353	18,2	2,6-79,9	353	7,1	0,2-29,7
Ortofosfato (mg/l)	349	9,6	1,0-64,2	352	3,9	0,2-24,4

ferencias estadísticamente significativas en la temperatura del licor mezcla.

3.2.2. Influencia de la localización del sistema de aireación:

Ante las importantes diferencias halladas entre EDARs al agrupar estas según su sistema de aireación nos planteamos si el punto de inyección de aire en el reactor y la aplicación de energía para la agitación del licor mezcla sería el factor determinante de estas diferencias. Para ello agrupamos las EDARs según su sistema de aireación-agitación actuase en superficie o en profundidad. Así, los sistemas de aireación anteriormente comentados se agrupan en sistemas superficiales (rotores y turbinas) y sistemas de actuación en profundidad (aireadores centrífugos y sistemas soplantes).

Al comparar las medias de estas nuevas agrupaciones observamos que la remoción de materia orgánica cuantificada como DQO, DBO₅ o

SS es mayor (y estadísticamente significativa en todos los casos) para los sistemas con aireación superficial si bien no se aprecian diferencias significativas en cuanto a rendimiento de depuración se refiere. De esto podemos concluir que las EDARs con aireación superficial consiguen efluentes con menor carga contaminante pero a su vez reciben afluentes con menor carga.

Respecto a la sedimentabilidad del fango (IVF), esta es mejor para sistemas que actúan en profundidad tales como soplantes, aireadores tipo Venturi.

3.2.3. Influencia del tipo de decantación secundaria:

Tal y como cabía esperar se observa diferencia significativa entre el grupo de EDARs con decantadores estáticos respecto a las que tienen instalados decantadores dinámicos. Los efluentes de las EDARs con decantadores dinámi-

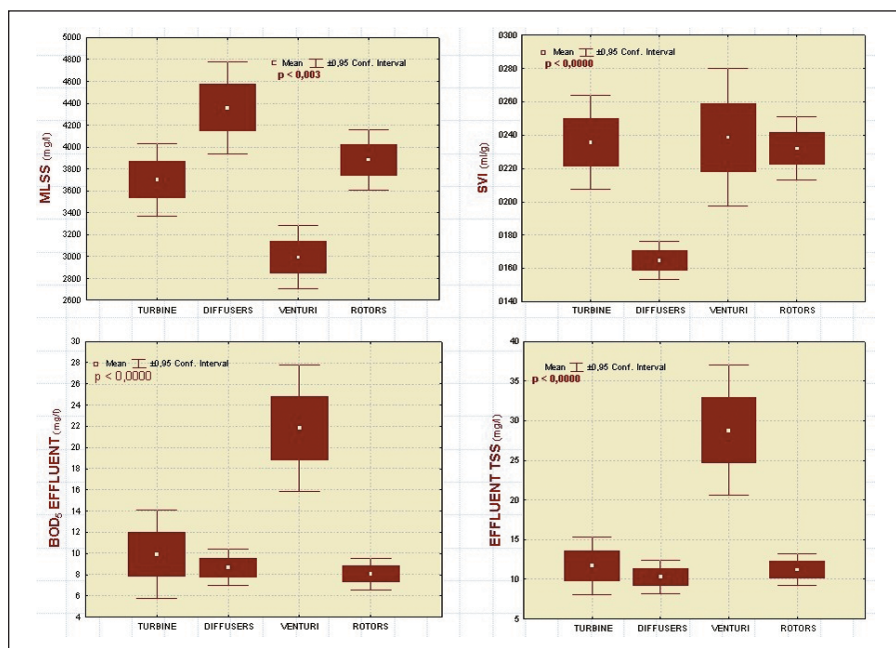


Figura 6: Parámetros destacados cuya diferencia a resultado estadísticamente significativa para el tipo de sistema de aireación



Tabla 3: Valores medios de parámetros cuyas diferencias son estadísticamente representativas (ANOVA para $p < 0,05$).

	Sistema de aireación				Posición Sistema Mezcla - Aireación	
	Turbina superficial	Soplante y difusores	Aireador Venturi	Rotores	En superficie	En profundidad
DQO total efluente (mg/l)	43,6	35,7	79,4	31,48	36,5	47,3
SS efluente (mg/l)	11,7	10,3	28,8	11,2	11,4	15,1
DBO ₅ efluente (mg/l)	9,9	8,7	21,8	8,1	8,8	12,2
Rendimiento DQO (%)	91,2	93,3	84,9	92,2	NS	NS
Rendimiento DBO ₅ (%)	95,5	96,2	92,0	94,8	NS	NS
Rendimiento SS (%)	90,4	92,9	78,4	92,1	NS	NS
Rendimiento N _T (%)	68,9	74,1	57,0	77,3	NS	NS
SSLM (mg/l)	3.702	4.360	2.995	3.883	NS	NS
Temperatura Licor mezcla (°C)	16,98	17,81	15,20	16,73	NS	NS
IVF (g/ml)	235	164	238	232	233	183

	Tipo de Decantación		Tipo de Reactor	
	Dinámico	Estático	Canal	Cuba
DQO total efluente (mg/l)	33,0	54,0	35,2	47,2
SS efluente (mg/l)	10,1	17,6	11,3	14,8
DBO ₅ efluente (mg/l)	8,2	13,6	NS	NS
SSLM (mg/l)	4.131	3.582	NS	NS
IVF (g/ml)	199	225	NS	NS
Rendimiento SS (%)	NS	NS	92,25	88,64

NS = diferencia no significativa

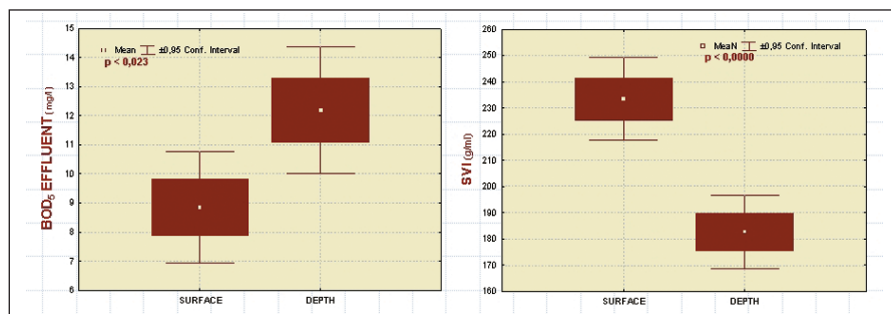


Figura 7: Parámetros destacados cuya diferencia a resultado estadísticamente significativa para el punto de aplicación de la aireación.

cos son de menor carga contaminante que las EDARs con decantadores estáticos si bien, al igual que sucedía con la localización del sistema de aireación-agitación, no se observan diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos.

El decantador, es un elemento activo en el proceso de selección del fango activo dado que el fango decantado en él se recircula al reactor. Este hecho cobra especial relevancia durante los arranques de los procesos biológicos ya que gracias al fenómeno físico de la decantación se seleccionan las poblaciones microbianas con capacidad de agregarse y dar lugar a flóculos. Al analizar el IVF de los grupos establecidos en función del tipo de decantador observamos que los fangos con mejor decantabilidad corresponden a las EDARs con decantadores dinámicos.

También se observan diferencias significativas en cuanto a la concentración de los fangos en los reactores. Las EDARs con decantadores dinámicos trabajan con mayores concentraciones de fango que las EDARs con decantadores estáticos.

3.2.4. Reactor biológico:

Existen diferencias significativas entre la calidad del efluente en cuanto a la DQO y SS entre los dos grupos en los que hemos clasificado las EDAR, esta diferencia no es estadísticamente significativa para la concentración de DBO₅ en el efluente. De igual forma, los rendimientos en cuanto a la eliminación de sólidos son mayores en las EDARs con canales de oxidación.

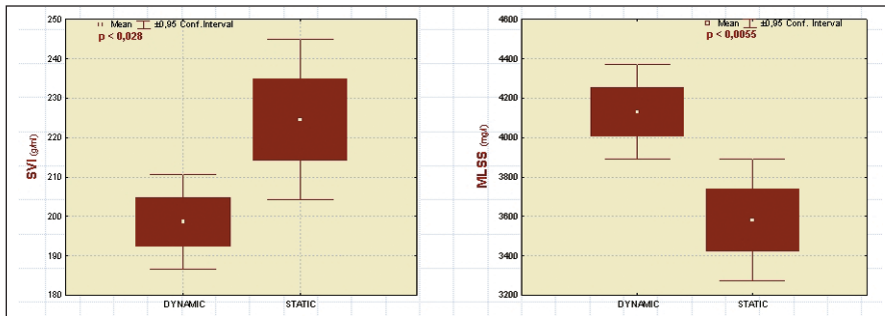


Figura 8: Parámetros destacados cuya diferencia a resultado estadísticamente significativa para el tipo de decantación secundaria

3.2.5. Interacción entre variables:

Con el fin de determinar si las diferencia estadísticamente significativas observadas son debidas únicamente al efecto de la una variable, se realizaron análisis

de la varianza multifactoriales.

Destacar que la influencia del tipo de decantación sobre el resto de variables fue estadísticamente significativa tal y como puede observarse en la gráfica 5 para la va-

riable DBO5 en el efluente. También se apreció interacción estadísticamente significativa de las variables categóricas "tipo de reactor" vs. "tipo decantador" para las variables SS en el efluente, índice volumétrico del fango y DQO del efluente, en todos los casos con valores de $p < 0,05$.

CONCLUSIONES

Comparando los rendimiento entre EDARs clasificadas según la configuración de su reactor, indicar que los canales de oxidación son más eficientes que las cubas de homogenización en la remoción de materia orgánica y nutrientes



teléfono 902 194 331
fax 902 194 791

info@celec.es



Reducción de emisiones de polvo vía húmeda (niebla seca)



Experiencia, Recursos Técnicos y Capacidad al servicio de los procesos industriales

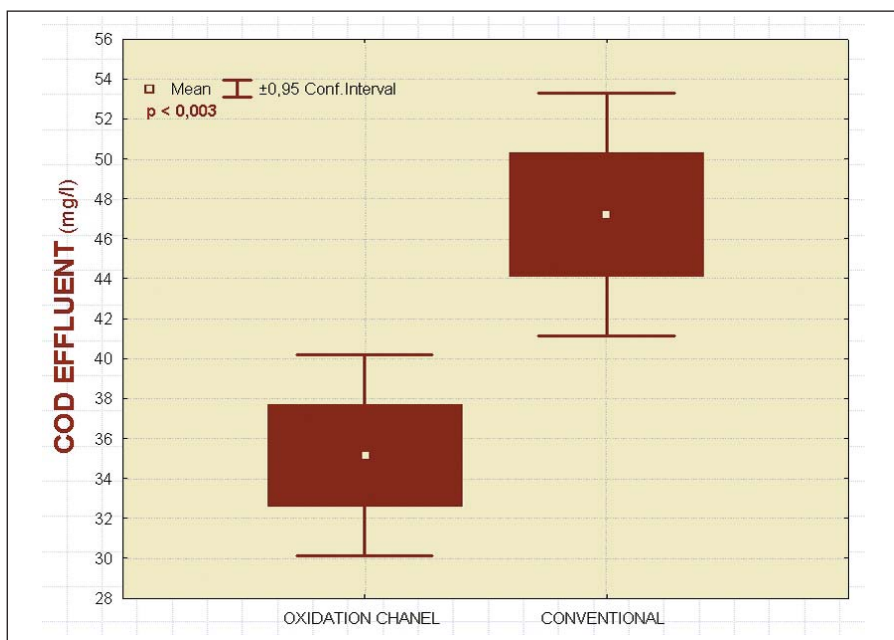


Figura 9: Parámetro destacado cuya diferencia a resultado estadísticamente significativa para el tipo reactor biológico

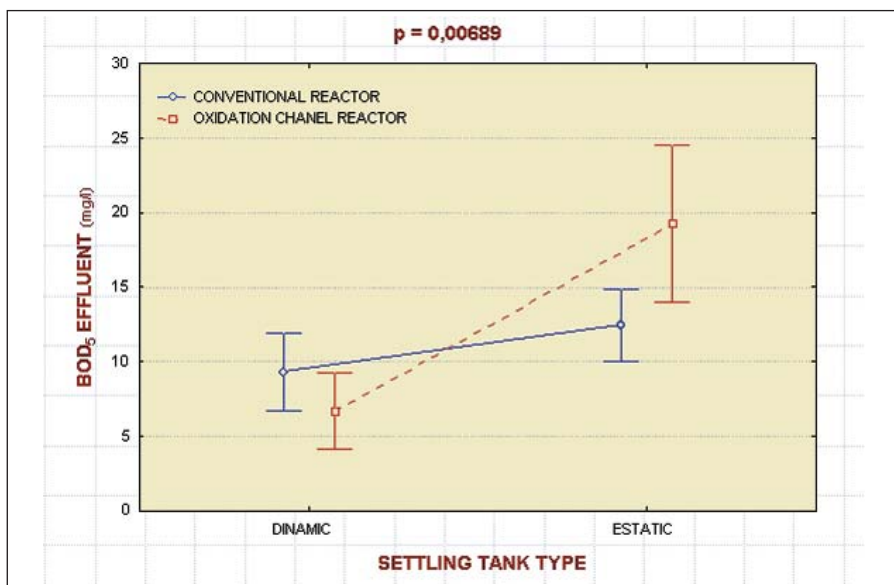


Figura 10: Análisis de la interacción entre el tipo de decantación secundaria y el tipo de reactor biológico.

inorgánicos. Atendiendo al decantador secundario (estáticos o dinámicos), los decantadores dinámicos se presentan como los más eficaces. En cuanto al sistema de aireación las EDARs con aireación superficial mediante rotores se muestran más eficientes.

Para el tratamiento de pequeñas poblaciones en la Provincia de Castellón, la configuración que se ha comprobado como más adecuada como tratamiento biológico desde el punto de vista de la eficiencia en la eliminación de materia orgánica carbonosa y nu-

triente inorgánicas, es la constituida por un reactor tipo "canal de oxidación" (canal toroidal) con aireación mediante rotores (aireadores superficiales) y decantación dinámica. La significatividad estadística de las diferencias queda acotada a la muestra analizada y por tanto la generalización de estos resultados a otras instalaciones no es aplicable.

Respecto a la caracterización del agua residual, las aguas residuales de la provincia de Castellón deben clasificarse como aguas de alta carga en cuanto a la concentración de sus contaminantes (Henze *et al.* 1997). Por último, a nivel físico-químico, destacar que del conjunto de instalaciones muestreadas (32 EDARs) todas cumplen con la legislación aplicable a sus vertidos en el 100% de las muestras. Esto pone de manifiesto el óptimo funcionamiento de las instalaciones de la provincia de Castellón.

REFERENCIAS

Katsiris N., Kouzeli-Katsiri A. (1989) Performance and operation of small scale activated sludge plants in tourist areas. *Wat. Sci. Tech.* 21: 67-75

Ferrer C., Sanguesa I., Bécars E., Llopis J.A. (2007) La depuración en pequeños municipios de Castellón. FACSA y Diputación de Castellón. Castellón.

García, J., Mujeriego, R., Obis, J.M., Bou, J. (2001). Wastewater treatment for small communities in Catalonia (Mediterranean Region). *Water Policy: Official journal of the World Water* 3(4): 341-350

Henze, M., Harremoës, P., La Cour Jansen, J., Arvin, E. (1997) Wastewater treatment. Springer, Berlin.