

Optimización de tratamientos físico-químicos

Ensayos de laboratorio

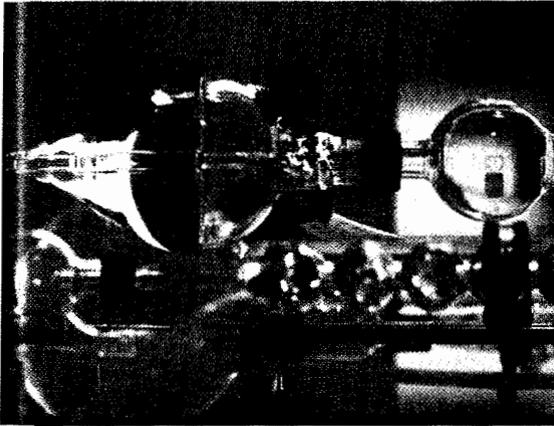
J.A. López-Ramírez, D. Sales y J.M. Quiroga

Dpto. de Ingeniería Química.

Tecnología de Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente
Facultad de Ciencias del Mar. Universidad de Cádiz

S. Sahuquillo

Proyectos, Acondicionamiento y Servicios del Agua, S.A.



La pérdida de calidad de las aguas naturales y el aumento del consumo de las mismas en las sociedades desarrolladas, hace que la reutilización de las aguas residuales sea un factor más a tener en cuenta en la gestión de las aguas. Son numerosas las técnicas empleadas para la regeneración de las aguas residuales. Entre las más utilizadas, destacan las tecnologías de membranas, y especialmente la ósmosis inversa.

En este trabajo se muestran los ensayos realizados para optimizar una planta experimental de tratamientos avanzados de 100 m³/día, ubicada en Chiclana de la Frontera, Cádiz.

1. Introducción

La pérdida de calidad de los cauces naturales ha provocado que aumente la necesidad de tratamiento de las aguas residuales. Normalmente, son suficientes los tratamientos convencionales, pero cuando esto no sucede es preciso recurrir a tratamientos avanzados que sean capaces de reducir los niveles de contaminantes hasta valores permitidos por la legislación [3]. Dada la calidad lograda con estos tratamientos, se podría reutilizar el agua en numerosos usos, aunque esta última posibilidad debe estar garantizada mediante la aplicación de normas sanitarias fiables y contrastadas (OMS, 1989; USEPA, 1992).

Entre los tratamientos avanzados destacan los tratamientos con membranas, entre los cuales la ósmosis inversa ocupa un lugar destacado. No obstante, la utilización de membranas de ósmosis inversa en los tratamientos terciarios requiere un pretratamiento del agua para evitar su deterioro y las sustituciones frecuentes que encarecen el proyecto de reutilización. Se hace necesario, por tanto, la realización de una serie de ensayos de laboratorio previos a la experimentación en planta que permitan seleccionar las concentraciones previas de reactivos para el arranque de la instalación experimental.

Los ensayos de *jar test* se usan en

un gran número de plantas depuradoras para la determinación, a pequeña escala, de las concentraciones de los reactivos más idóneas para su empleo a una escala mayor (Huang and Liu, 1996) [7, 6]. En el presente trabajo se han empleado los ensayos de *jar test* para la determinación de las concentraciones óptimas de los reactivos usados en los procesos de floculación, coagulación, descarbonatación y desinfección empleados en una planta experimental de 100 m³/día, para la reutilización de aguas residuales urbanas mediante tratamientos con ósmosis inversa. Dicha planta está dotada, además, de distintos tipos de tratamientos terciarios, entre los que destacan el ozono, los rayos ultravioletas, filtración, etc. Los objetivos concretos que se pretenden alcanzar en el presente trabajo son:

- Estudiar el tipo y concentración óptima del floculante en la reducción de la turbidez.
- Estudiar la concentración óptima de cloruro férrico para la reducción de turbidez.
- Estudiar la influencia del pH en la reducción de la turbidez y en la descarbonatación del agua de aporte.
- Buscar la dosis de hipoclorito sódico que genere una concentración adecuada de cloro libre residual para el control microbiológico de las membranas.

La realización de estos ensayos es necesaria por los siguientes motivos:

- El empleo de floculantes mejora ostensiblemente la decantación.
- El cloruro férrico es el coagulante que mejor se adapta a los tratamientos que emplean cal.
- La cal mejora la sedimentación de los fangos produciendo, además, la descarbonatación del agua de aporte, lo que evita que puedan precipitar sales insolubles sobre las membranas de ósmosis inversa.
- El control microbiológico evita que las membranas de acetato de celulosa sean dañadas irreversiblemente por los microorganismos.

2. Material y métodos

Los ensayos de *jar tests* de laboratorio pretenden obtener las concentraciones más indicadas para iniciar el trabajo en la planta, y que posteriormente serán optimizados en la misma. Dichos ensayos fueron realizados en un floculador de laboratorio de la marca SBS con cinco agitadores y con regulación de la velocidad de agitación.

La metodología seguida para los estudios de *jar test* consistió en la toma de un volumen suficiente de efluente de la EDAR. Una vez homogeneizada el agua se procedía a tomar un volumen de un litro por cada ensayo y se añadían las correspondientes concentraciones de reactivos. Se agitaba vigorosamente (120 r.p.m.) durante diez minutos, y tras una agitación suave de cinco minutos (30 r.p.m.), se le dejaba sedimentar durante dos horas, tiempo que se corresponde con el tiempo de residencia hidráulico del decantador en las condiciones normales de funcionamiento. En los ensayos de floculación, la agitación vigorosa no se realizó.

2.1. Reactivos comerciales empleados

Para la realización de los ensayos se emplearon los mismos reactivos que los utilizados en la planta en los procesos de regeneración:

- *Cloruro férrico*: disolución líquida al 40% en peso, en garrafas de 25 litros. Marca: PQS.

- *Hidróxido cálcico*: cal apagada al 98% de pureza, en sacos de 20 kg. Marca: Cal de Morón S. A.

- *Hipoclorito sódico*: disolución líquida al 15% en peso, en garrafas de 25 litros. Marca: PQS.

- *Polielectrolito*: se emplearon distintos floculantes comerciales, el que se obtuvo como óptimo fue la solución comercial Pasafloc IL 35.

2.2. Métodos analíticos

Los métodos analíticos empleados para la realización de los análisis que se presentan en el trabajo fueron los siguientes:

- *pH*: se empleó un pH-metro portátil Crison modelo 507 de alta resolución.

- *Conductividad*: se utilizó un conductímetro portátil Crison modelo 524.

- *Turbidez*: se empleó un turbidímetro de nefelometría con patrones de polímero de estireno-divinilbenceno aceptados por la USEPA.

- *Cloro libre*: se empleó un kit de Merck, basado en la aparición de color cuando el reactivo N,N-dietil-1,4-fenilendiamina (DPD) reacciona con el cloro libre.

- *Alcalinidad permanente*: el método empleado es el de la fenolftaleína. Para ello, si la solución se encuentra a un pH superior a pH=8,3, se valora mediante la adición de ácido sulfúrico (H_2SO_4), 0,01N; el viraje del indicador señala la neutralización de las bases.

- *Alcalinidad temporal*: se empleó el método del naranja de metilo. En este método se determina la aparición de ácido carbónico (H_2CO_3) libre, tras ser agotada la capacidad neutralizante de las bases presentes en la muestra. Se añade, de igual forma que en el método anterior, ácido sulfúrico (H_2SO_4) 0,01N, el punto final de viraje se encuentra a pH = 4,5.

- *Dureza cálcica*: se realizó utili-

zando el método de la murexida. Este método consiste en la adición de AEDT a la solución a valorar; cuando el pH es lo suficientemente alto ($pH >> 10$), todo el AEDT se combina únicamente con el calcio. El cambio de color de la murexida indica éste fenómeno.

- *Dureza total*: (la magnésica se obtiene como diferencia de la total con la cálcica): se realiza mediante la valoración con negro de eriocromo. Al añadir AEDT a la solución valorante, a un pH de $10 \pm 0,01$, el AEDT comienza a unirse a los iones calcio y magnesio, cuando han sido completamente complejados, el viraje del indicador señala el fin de la valoración.

- *Ensayos microbiológicos*, para los organismos aerobios se realizó el recuento en placa en agar nutritivo a 22 y 37°C. Los otros parámetros microbiológicos se emplearon las técnicas de filtración en membranas (APHA, 1992).

- *Otros ensayos*: El resto de parámetros se realizaron mediante los métodos normalizados APHA, 1992: DQO, nitratos, nitritos, fosfatos, sólidos en suspensión, cloruros y DBO. Los metales sodio, potasio, calcio y magnesio, para la caracterización del efluente de la EDAR, se llevaron a cabo mediante: AES (sodio y potasio) y AAS (calcio y magnesio).

3. Experimental

3.1. Caracterización del agua de aporte

Para la elección del sistema de tratamiento más adecuado resulta imprescindible la caracterización del agua de aporte. En la Tabla I se recogen los diferentes análisis realizados al efluente de la EDAR. De los datos obtenidos caben destacar los bajos valores de DBO_5 determinados (5-12 mgO_2/l), lo que demuestra una elevada eliminación de la materia biodegradable que ingresa en el sistema de lodos activos. Asimismo, también son muy bajos los

valores de los sólidos en suspensión (2-12 mg/l), y los de DQO (35-86 O₂mg/l). No obstante, es de resaltar que la contaminación microbiológica se puede considerar elevada, lo que se debe a que el sistema de depuración empleado en la EDAR es de fangos activos, y a que no se realizan procesos de desinfección en la misma.

3.2. Ensayos de laboratorio

A continuación, se describen los distintos ensayos de laboratorio realizados: ensayos de floculación, coagulación, coagulación con cal, decarbonatación y cloración.

3.2.1. ENSAYOS DE FLOCULACION

El método empleado para la selección del polielectrolito consistió en la adición a muestras de agua de aporte de la EDAR, dosificadas previamente con distintas dosis de

cloruro férrico, diferentes polielectrolitos con distinta carga y pesos moleculares.

Los floculantes empleados en los distintos ensayos fueron los siguientes:

- Floculante orgánico de carga negativa y peso molecular medio.
- Floculante orgánico de carga negativa y peso molecular alto.
- Floculante orgánico de carga positiva y peso molecular alto.

La selección del floculante se realizó mediante ensayos visuales de clarificación. De los distintos ensayos efectuados, se escogió el floculante orgánico con carga negativa y alto peso molecular denominado comercialmente PASA-FLOC IL-35, por ser el que con una menor dosis conseguía la mejor clarificación. La dosis considerada como óptima para el inicio de los trabajos en la planta se fijó en 1 mg/l.

Tabla II. Reducción de la turbidez frente a la concentración de cloruro férrico

Muestra	pH	FeCl ₃ (mg/l)	Turbidez (UNT)
Blanco	8,02	0	1,17
2	7,85	5	0,72
3	7,78	10	0,61
4	7,71	25	0,51
5	7,52	50	0,48
6	7,34	75	0,49

3.2.2. ENSAYOS DE COAGULACION

Los ensayos de coagulación se realizaron con cloruro férrico y consistieron en la adición al agua de aporte a la planta de 1 mg/l del floculante elegido como óptimo, 5 mg/l de hipoclorito sódico y dosis crecientes de cloruro férrico. El hipoclorito se añadió para simular en lo posible las condiciones de trabajo de la planta.

En la Tabla II se presenta la reducción de la turbidez con la adición del cloruro férrico. Se observa cómo a partir de una concentración de cloruro férrico de 25 mg/l no se produce mejoría en la eliminación de turbidez, aunque siga aumentando la concentración del reactivo, por lo que se puede tomar este valor como el óptimo para este ensayo.

3.2.3. ENSAYOS DE COAGULACION CON CAL

La adición de cal a un agua residual supone una serie de ventajas en los tratamientos del agua. Las más importantes son:

1º. La elevada alcalinidad de una disolución puede provocar problemas de obstrucciones en las conducciones, debido a la naturaleza incrustante de los iones bicarbonatos y calcio, principalmente. Esta tendencia se magnifica en un sistema de ósmosis inversa por el efecto de concentración de sales que se produce en el mismo, y que puede alterar el funcionamiento del equipo y los costes del proceso. Es por ello, por lo que

Tabla I. Análisis del efluente filtrado de la EDAR

Parámetros analizados	Muestras analizadas				
	1	2	3	4	5
pH	8,15	8,26	8,12	8,74	8,62
Conductividad	1.900	2.010	1.780	1.850	2.050
D.Q.O. (mg O ₂ /l)	81	68	35	72	86
D.B.O ₅ (mg O ₂ /l)	6	5	6	12	10
S.S. (mg/l)	2	6	8	10	12
Turbidez (U.N.T.)	6	8	2	10	12
Alcalinidad (mg/l)	359	305	366	488	372
Sodio (mg/l)	260	296	280	291	302
Potasio (mg/l)	14	18	15	17	15
Calcio (mg/l)	140	144	152	140	148
Magnesio (mg/l)	18	26	34	26	28
Cloruros (mg/l)	462	440	420	458	446
Fosfatos (PO ₄ ³⁻ mg/l)	11,4	14,8	10,6	11,6	12,8
Nitratos (mg/l)	98	118	102	102	110
Nitritos (mg/l)	0,2	0,4	0,4	0,2	0,6
Coli. Totales UFC/100 ml.	Incontables	incontables	incontables	incontables	incontables
Coli.Fecales UFC/100 ml.	Incontables	incontables	incontables	incontables	incontables
Aerobios (22°C) UFC/ml.	incontables	incontables	incontables	incontables	incontables
Aerobios (37°C) UFC/ml.	incontables	incontables	incontables	incontables	incontables
Estreptoc. fecales UFC/ml	incontables	incontables	incontables	incontables	incontables

conviene realizar la descarbonatación y el acondicionamiento químico antes de la llegada de las aguas a la unidad de ósmosis inversa, siendo el empleo de la cal apagada, hidróxido cálcico ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), el proceso de acondicionamiento químico más empleado [2].

2º. El pH del agua que entra en la unidad de ósmosis inversa debe ser 5 para evitar la hidrólisis de las membranas; si se realiza un buen proceso de descarbonatación se puede reducir el consumo de ácido clorhídrico por parte de los bicarbonatos presentes en el agua, lo que conlleva un menor uso de ácido (el ácido clorhídrico es mucho más caro que la cal).

3º. Cuando se emplea el hidróxido cálcico en concentraciones suficientemente altas como para ocasionar la precipitación rápida de un hidróxido metálico (ejemplo $\text{Fe}(\text{OH})_2$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$) o de un carbonato metálico, las partículas coloidales pueden quedar inmersas dentro de estos precipitados, reduciéndose de forma global la concentración de éstas (Packham, 1965).

Los ensayos con cal se efectuaron a tres valores de pH: 10,5, 11,0 y 11,5, ya que según diversos autores este intervalo es el que logra una mejor estabilización de los precipitados formados, lo que conduce a una mejor sedimentación de los fangos [4], además de llevarse a cabo procesos de descarbonatación [2].

Los ensayos consistieron en la adición de cal, hasta el pH elegido, y de dosis crecientes de cloruro férrico a muestras de efluente de la EDAR, midiéndose la eliminación de turbidez después de un tiempo de sedimentación de 120 minutos. Para acercarse en lo posible los ensayos de laboratorio a las condiciones que posteriormente tendrían lugar en la planta se añadió, además, hipoclorito sódico y floculante en una concentración de 5 y 1 mg/l, respectivamente. Los resultados obtenidos aparecen representados en la figura 1.

Ensayos a pH = 10,5

Los resultados obtenidos indican

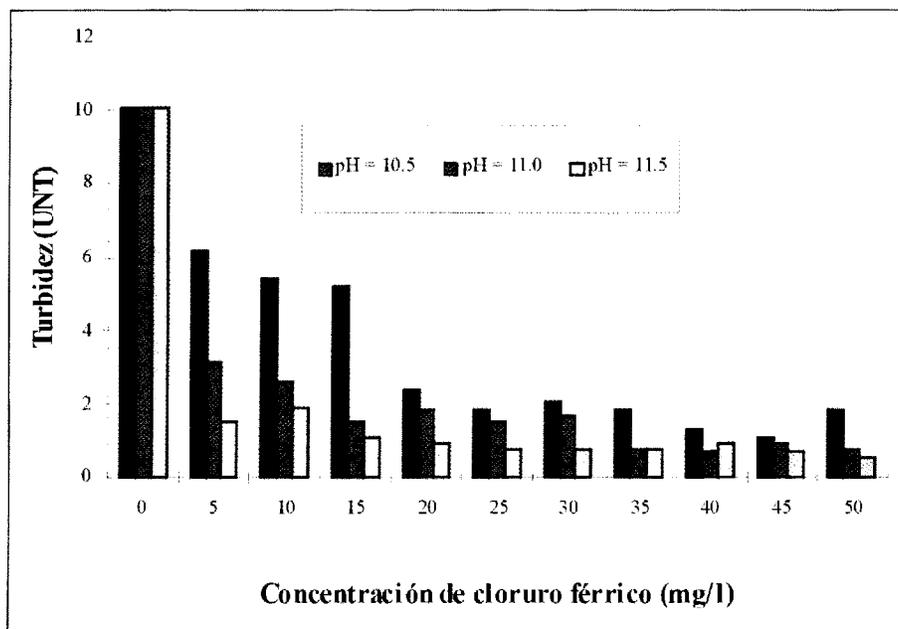


Figura 1. Reducción de la turbidez frente a la concentración de cloruro férrico, a diferentes valores de pH

que la adición de cal hasta un pH = 10,5 ayuda a la clarificación para cualquier dosis de cloruro férrico añadida; sin embargo, a partir de 25 mg/l la eliminación de turbidez no mejora de forma apreciable.

Ensayos a pH = 11,0

Los resultados obtenidos a pH = 11,0 son mejores que los obtenidos en el ensayo anterior, ya que con valores inferiores de coagulante se obtiene una mayor eliminación de turbidez. A partir de 15 mg/l de cloruro férrico los valores de turbidez permanecen prácticamente constantes. Ello se debe a que la adición de la cal hasta pH = 11,0 hace que la densidad de los fangos generados aumente, los cuales al sedimentar van atrapando las partículas coaguladas, reduciéndose los sólidos en suspensión y mejorando por ello la clarificación.

Ensayos a pH = 11,5

Este valor de pH es el que consigue los mejores valores de reducción de la turbidez, incluso con las concentraciones más bajas de coagulante empleadas. Esto implica, sin embargo, que el consumo de cal sea muy elevado, lo que encarece el coste del proceso, aunque este efecto puede ser compensado por el empleo de una dosis inferior de coagulante.

En la figura 1 se representan los datos de todos los experimentos realizados. Se puede apreciar la diferencia de eliminación de turbidez existente entre los distintos valores de pH y las concentraciones de cloruro férrico empleadas.

3.2.4. ENSAYOS DE DESCARBONATAACION

Los ensayos de descarbonatación tuvieron como objetivo optimizar las mejores condiciones de eliminación de los bicarbonatos y de la dureza cálcica del agua de aporte. Para ello se realizaron una serie de ensayos en los que, a una dosis fija de cloruro férrico de 25 mg/l, se añadieron dosis crecientes de cal. Para simular en lo posible las condiciones de laboratorio a las de la planta se añadió floculante en la concentración óptima obtenida, al igual que hipoclorito sódico (6 mg/l). En la Tabla III se presentan los valores medios de los dos ensayos realizados.

En dicha Tabla queda reflejada la influencia que ejerce la adición de cal en la eliminación de alcalinidad temporal (TAC) y dureza cálcica (TH_{Ca}) de la disolución. Para el caso de la alcalinidad temporal se observa un mínimo como consecuencia del proceso de descarbonatación que ejerce la cal. Este mínimo se desarrolla entre los valores de pH de 9,65 y 11,30, y se debe a la

transformación de los bicarbonatos en carbonatos y a su posterior precipitación como sal insoluble de carbonato cálcico.

En aguas donde el TH - TAC es positivo, como es el caso de estas aguas, el mejor valor de descarbonatación viene dado por la relación entre alcalinidad temporal y permanente siguiente: $TA = TAC / 2 \pm 0,5^\circ$ [2]. El valor de pH que mejor cumple esta relación es el de 11,30; sin embargo, el mínimo en la eliminación de la dureza cálcica (TH_{Ca}) se realiza a $pH = 10,87$, que equivale a unas 300 mg/l de cal comercial. A pH superiores, la concentración de calcio en exceso que aporta la cal debe ser tenida en cuenta pues contribuye a que el valor de dureza cálcica aumente rápidamente.

De la Tabla III, cabe destacar también que la máxima reducción de conductividad se produce a un pH comprendido entre los valores señalados anteriormente (9,65-11,30), como consecuencia de la precipitación de los iones bicarbonatos y calcio principalmente. En este intervalo de pH se produce, por tanto, un descenso de las sales que entran en el sistema de ósmosis inversa, lo que reduce el peligro de precipitación sobre las membranas.

Como consecuencia de lo expresado anteriormente, se obtiene un rango de pH (9,67-11,3) que es necesario optimizar en planta.

Tabla III. Datos de los ensayos de descarbonatación. Ensayo 1

Muestra	FeCl ₃ (mg/l)	pH	Ca(OH) ₂ (mg/l)	TA (°F)	TAC (°F)	TH _{Ca} (°F)	TA=TAC/2 ±0,5°	Conductividad (µS/cm)
Blanco	0	8,05	0	0,8	24,4	32,4	12,7-11,7	1.940
1	25	9,11	100	4,4	16,4	26,8	8,7-7,7	1.865
2	25	9,65	200	2,8	8,0	22,0	4,5-3,5	1.730
3	25	10,87	300	6,8	10,8	20,4	5,9-4,9	1.723
4	25	11,30	400	5,2	9,2	26,8	5,1-4,1	1.803
5	25	11,70	500	7,6	11,5	32,2	6,2-5,2	2.040

3.2.5. ENSAYOS DE CLORACION

Dado que el sistema de depuración biológica empleado en la EDAR es de lodos activos, el contenido microbiológico en el agua de aporte a la planta piloto es elevado como así queda recogido en los análisis mostrados en la Tabla I. Por este motivo, y dado que el tipo de membranas empleado en la planta es acetato de celulosa, es necesario proceder a la desinfección del agua de aporte. La desinfección se realizó con hipoclorito sódico.

Durante el tiempo de contacto, entre el hipoclorito sódico y el agua residual, se produce un consumo del reactivo desinfectante por los distintos compuestos presentes en el agua residual. Teniendo en cuenta esto, la concentración determinada como óptima en la planta debe cumplir dos objetivos básicos:

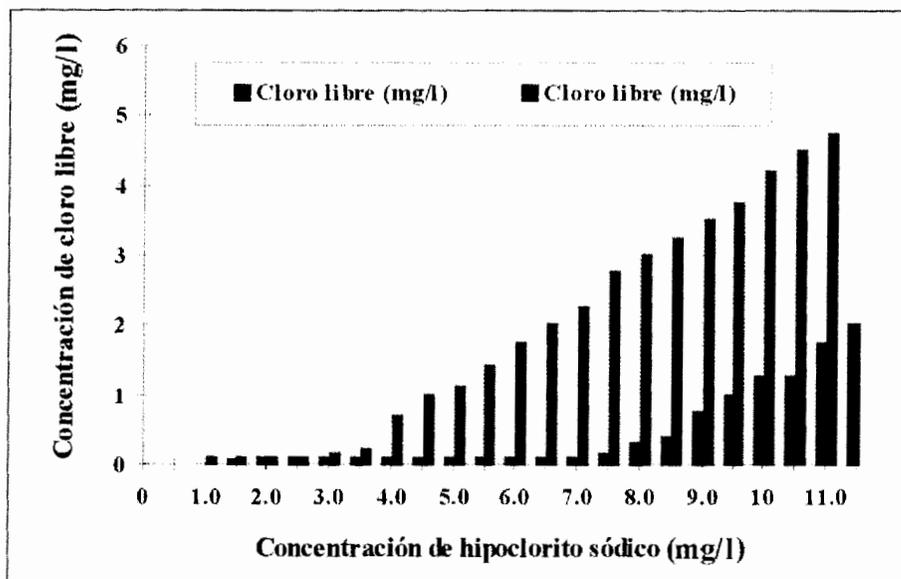
uno, debe asegurar la desinfección de las aguas desde que ingresan en la instalación, y dos, debe ser aceptable desde un punto de vista económico.

El agua que llega a las membranas de la unidad de ósmosis inversa debe poseer una concentración de cloro libre de 0,5 mg/l, según las recomendaciones del fabricante. Concentraciones superiores a 1 mg/l oxidan las membranas irreversiblemente y las inferiores puede que no garanticen la desinfección, por lo que resulta necesario obtener experimentalmente la concentración de hipoclorito sódico que genera la concentración de cloro libre indicada.

Los ensayos de *jar tests* para la determinación de la dosis óptima de hipoclorito sódico consistieron en la adición de cantidades crecientes y conocidas de hipoclorito sódico comercial al 15% a muestras de agua de aporte, midiéndose su contenido en cloro residual al cabo de dos horas de contacto con el reactivo DPD (N,N dietil, 1,4- fenilendiamina). Se realizaron en cinco ocasiones y en días diferentes. En la figura 2 se presentan dos de los cinco experimentos realizados, en cuyos resultados se consiguió la menor y mayor concentración de hipoclorito sódico necesaria para conseguir la concentración de 0,5 mg/l de cloro libre.

En la figura se refleja la dependencia lineal existente entre la concentración de hipoclorito en exceso y la de cloro libre resultante, de tal forma que el exceso de éste añadido no reacciona con la materia or-

Figura 2. Evolución de los ensayos de cloración (tests de ruptura)



Nomenclatura

- AES= Spectroscopy of atomic emission.
 AAS= Spectroscopy of atomic absorption.
 DQO= Demanda química de oxígeno.
 DBO= Demanda biológica de oxígeno.
 SS= Sólidos en suspensión.
 TA= Grado alcalimétrico, medido en presencia de fenolftaleína (en grados franceses).
 TAC= Grado alcalimétrico completo del agua medido en presencia de naranja de metilo (en grados franceses).
 TH_{Ca}= Grado hidrotimétrico cálcico correspondiente al contenido global de sales de calcio (en grados franceses).
 TH= Grado hidrotimétrico total del agua (en grados franceses).

gánica, sino que permanece como cloro libre disponible para mantener el poder desinfectante residual. Según los datos que aparecen en la bibliografía, la dosis recomendada para la desinfección de los efluentes procedentes de tratamientos biológicos oscila entre 2 y 10 miligramos por litro, según la depuración lograda en el efluente. Si además, el efluente pasa a través de algún sistema de filtración, como ocurre en la EDAR "La Barrosa", la dosis necesaria se puede reducir a 2-5 miligramos por litro [2].

En nuestro caso, y a la vista de los resultados mostrados en la figura 2, la concentración de hipoclorito sódico que logra producir una concentración de cloro libre de 0,5 mg/l se encuentra entre 4 y 9 mg/l. Este intervalo debe ser optimizado en planta, ya que la demanda de cloro por parte del efluente de la EDAR varía notablemente, en función de sus características, por lo que se debe hacer un continuo seguimiento de ésta para llevar a cabo la dosificación adecuada del hipoclorito sódico.

4. Conclusiones

A partir de los resultados anteriormente presentados, se pueden extraer las siguientes conclusiones

- Los ensayos de *jar test* son una herramienta adecuada y extraordinariamente valiosa para realizar los trabajos de optimización. Así, mediante sencillos experimentos

de laboratorio, se ha facilitado el estudio que posteriormente se ha desarrollado en la planta a escala real.

- Los ensayos realizados en el laboratorio permitieron determinar las condiciones que se pueden considerar como adecuadas para iniciar el trabajo en la planta piloto. Estas condiciones fueron las siguientes:

- Cloruro férrico: 25 mg/l.
- Floculante: 1 mg/l.
- pH: 10,5 (300 mg/l de Ca(OH)₂ aproximadamente).
- Hipoclorito sódico: 4-9 mg/l.

5. Bibliografía

- [1] APHA, "Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales". 17ª Edición. APHA, AWWA, WPCF Washington, D.C. (1992).
 [2] Degremont. "Manual Técnico del Agua". 4ª Ed. Degremont. Bilbao, España. pág. 1216 (1979).
 [3] DOCE, Diario Oficial de la Comunidad Europea. Directiva del Consejo 91/271/CEE de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas (1991).
 [4] Ronzano y Dapena, J. L. "Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales". PRIDESA. Ed. Díaz de Santos, pág. 511 (1995).
 [5] United States Environmental Protection Agency and United States Agency for International Development. Manual on Guidelines for Water Reuse. EPA/625/R-92/004, september 1992. Center for Environmental Research Information, Cincinnati, Ohio (1992).
 [6] Praveen Kumar Goel y Malay Chaudhuri "Manganese-aided lime clarification of municipal wastewater". Wat. Res. 30, 1548-1550 (1996).
 [7] Elmaleh, S.; Yahi, H. y Coma, J. "Suspende solids abatement by pH increase-Upgrading of an oxidation pond effluent". Wat. Res. 30, 2357-2362 (1996).

[8] Chihpin Huang y Chi-Bing Liu. "Automatic control for chemical dosing in laboratory-scale coagulation process by using an optical monitor". Wat. Res. 30, 1924-1929 (1996).

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado mediante el acuerdo de colaboración entre la empresa Proyectos Acondicionamiento y Servicios del Agua, S.A. (PRIDESA) y el Departamento de Ingeniería Química, Tecnología de Alimentos y Tecnologías del Medio Ambiente de la Universidad de Cádiz, en la planta experimental que la Dirección General de Calidad de las Aguas (Ministerio de Medio Ambiente, antiguo Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente), ha construido en Chiclana de la Frontera (Cádiz).

Asimismo es necesario destacar la ayuda prestada por el Sr. Iglesias González-Nicolás de la citada Dirección General de Calidad de las Aguas.

INGENIERIA
QUIMICA

**PLANIFIQUE
SUS CAMPAÑAS
PUBLICITARIAS
SOLICITE NUESTRO
CALENDARIO EDITORIAL**

Madrid: Tel.: 91 440 29 29
Fax: 91 440 29 33

Barcelona: Tel.: 93 217 66 17
Fax: 93 217 66 94