Eliminación de antimonio en la ETAP de Ceuta: pilotaje y optimización del proceso

La singularidad geográfica y política de la Ciudad Autónoma de Ceuta obliga a maximizar el aprovechamiento de sus recursos naturales. El agua, sin duda, es de los más estratégicos, y una de sus alternativas de captación la constituye el Arroyo de las Bombas, que presenta niveles elevados de antimonio. Con el fin de optimizar los recursos disponibles y eliminar de forma efectiva dicho elemento, la Empresa Municipal de Aguas de Ceuta (Acemsa) y Cadagua se plantearon la construcción y operación de una planta piloto con la que realizar los estudios necesarios para investigar las condiciones de partida, ensayar con las dosis de reactivos y analizar los resultados para determinar las condiciones operacionales óptimas relativas tanto a la cantidad de reactivo como a sus incidencia económica. Las conclusiones de este estudio ejecutado por Cadagua, a través de un contrato de servicio adjudicado por Acemsa, servirán para implementar las modificaciones necesarias en la estación de tratamiento de aguas potables (ETAP) de Ceuta con el fin de aumentar la capacidad de captación dando uso a aguas que, hasta ahora, no están disponibles.

Palabras clave
Antimonio, Sb, coagulación, precipitación, cloruro férrico, potabilización, planta piloto, ETAP, Ceuta.

REMOVING ANTIMONY IN CEUTA DWTP: PILOT PLANT AND PROCESS OPTIMIZATION

The geographical and political uniqueness of the city of Ceuta (Spain) forces it to maximize the use of its natural resources. Water is undoubtedly one of the most strategic resource and Arroyo de las Bombas represents a possible source of supply, but it contains high levels of antimony. In order to optimize the available resources and effectively remove antimony, Acemsa and Cadagua decided the construction and operation of a pilot plant to carry out the necessary studies to investigate the starting conditions, test with the doses of reagents and analyze the results to determine the optimal operational conditions related to both the amount of reagent and its economic impact. The conclusions of this study done by Cadagua, through a service contract awarded by Acemsa, will serve to implement the necessary upgrading in the Ceuta drinking water treatment plant (DWTP)in order to increase the catchment capacity using water that, until now, has not been available.

Keywords
Antimony, Sb, coagulation, precipitation, ferric chloride, water treatment, pilot plant, DWTP, Ceuta.

Juan Manuel Sánchez Valderrama
director técnico de Empresa Municipal de Aguas de Ceuta (Acemsa)

Francisco Javier Arrieta
jefe del Departamento de I+D+i de Cadagua - Grupo Ferrovial

Francisco del Molino
director del Departamento de I+D+i de Cadagua - Grupo Ferrovial

Ixone Sagastagoia
técnica del Departamento de I+D+i de Cadagua - Grupo Ferrovial

Alicia Gómez
técnica del Departamento de I+D+i de Cadagua - Grupo Ferrovial

Carlos Díaz
jefe de Producción de Cadagua en IDAM Ceuta (Acemsa, explota UTE Ferrovial-Cadagua)

Carlos Cordón
gerente de Operación y Mantenimiento en IDAM Ceuta (Acemsa, explota UTE Ferrovial-Cadagua)

María Guadalupe Daza
jefa de Laboratorio en IDAM Ceuta (Acemsa, explota UTE Ferrovial-Cadagua)

1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS Y SITUACIÓN ACTUAL

La presencia de antimonio en el agua del Arroyo de las Bombas se comienza a detectar a partir de los años 60 y su procedencia se encuentra en un antiguo yacimiento de antimonita (estibina) situado junto al citado arroyo en las proximidades del Fuerte Piniers. Conocido como Yacimiento San Pancracio, fue explotado por la sociedad Fundiciones de Antimonio de Barcelona desde 1960 hasta 1979, año en que fue abandonado por agotamiento.

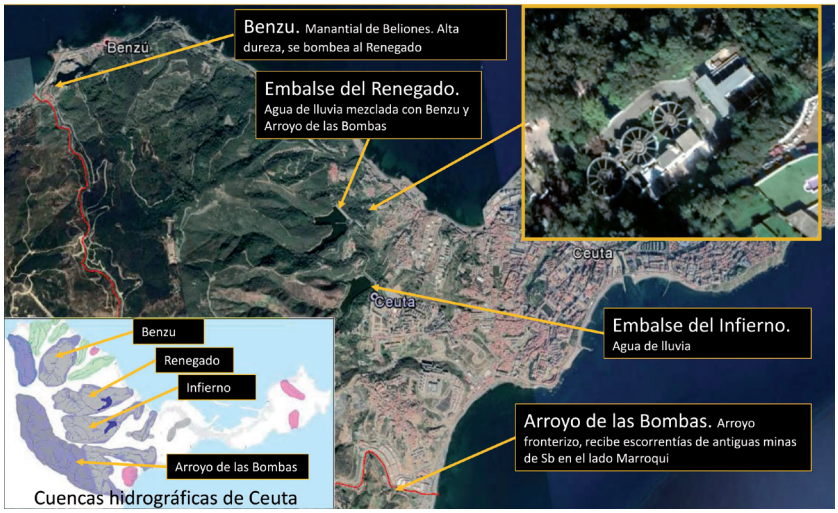
En la Ciudad Autónoma de Ceuta las zonas de captación de agua para el abastecimiento de la población (**Figura 1**) son:

- El mar. Aproximadamente el 75% del agua disponible en Ceuta proviene de la desalación.
- Manantiales. Procedentes de acuíferos carbonatados existentes en Benzú conocidos como fuentes de Belionex. Su aprovechamiento, en torno al 10% del global, es muy dependiente de las precipitaciones.
- Embalses de El Renegado y El Infierno:
  - Presa del Renegado, en el Arroyo del Renegado, con una capacidad de 1,65 hm^3 y una aportación natural muy variable cuya medida es del orden de los 0,240 hm^3/año.
  - Presa del Infierno, en el Barranco del Infierno, con una capacidad de 0,60 hm^3 y una aportación media de 0,45 hm^3/año.
- Captación de aguas en el Arroyo de las Bombas, próxima a la frontera con Marruecos.

Los diferentes aportes mencionados confluyen en las instalaciones de la ETAP de Ceuta de dos formas, como agua bruta y como agua tratada:

- En forma de agua bruta:
  - Del embalse del Infierno, que recoge de su propia cuenca.
  - Del embalse del Renegado, que recoge de su propia cuenca y del Arroyo de las Bombas.
  - Las aguas procedentes de los manantiales de Belionex pueden derivarse a cualquiera de los dos embalses.
- En forma de agua tratada:
  - Desaladora.

FIGURA 1. Fuentes de abastecimiento de aguas continentales de la ciudad de Ceuta.



En función de las reservas, los porcentajes de agua bruta, una vez tratada en la ETAP, se suman a los aportes procedentes de la desalación en la cámara de mezcla, desde donde se impulsan a depósitos para consumo.

Centrándose en el agua procedente del Arroyo de las Bombas, su explotación es actualmente muy restringida, puesto que su aporte hasta el embalse del Renegado hace que los niveles de antimonio se vean incrementados considerablemente haciendo inviable su utilización.

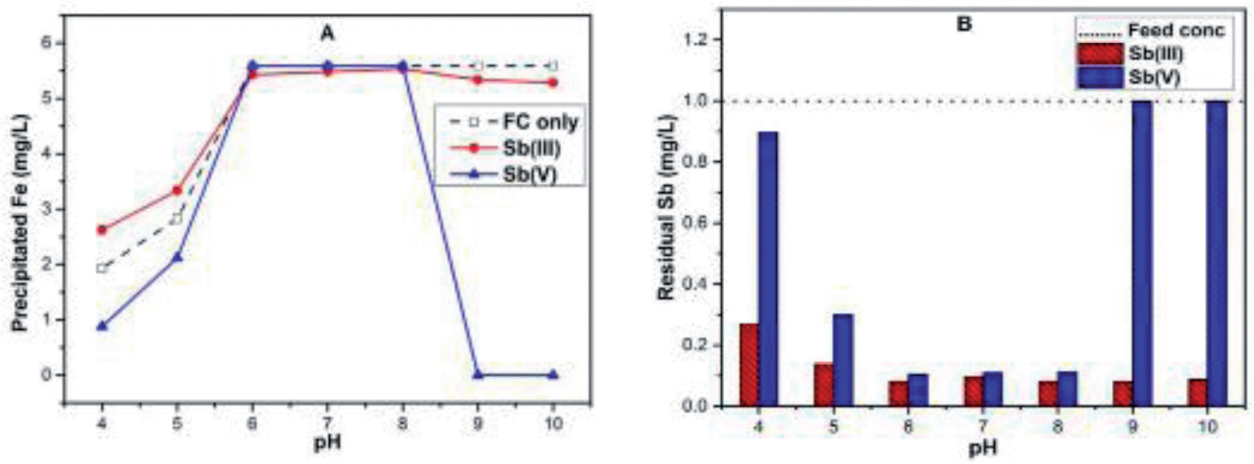
Sin embargo, la capacidad de aporte del Arroyo de las Bombas es tan importante que, en periodo de lluvias, bastaría para cubrir hasta un 60% de la capacidad del embalse.

1.2. ESTADO DE LA CUESTIÓN: EL ANTIMONIO EN AGUAS DE APORTACIÓN Y SUS EFECTOS SOBRE LA SALUD

El antimonio, con símbolo Sb y número atómico 51, es un metaloide perteneciente al grupo 15 de la tabla periódica. Se trata de un elemento que se encuentra a niveles bajos en el medio ambiente. Se encuentra principalmente como Sb_2S_3 (estibinita, antimonita) o $Sb2O_3$ (valentinita). Por lo general forma parte de los minerales de cobre, plata y plomo, y también se encuentran los antimoniuros metálicos NiSb (breithaupita), NiSbS (ulmanita) y Ag_2Sb (discrasita), entre otros [2].

El antimonio puede entrar al organismo a través de la ingesta de agua o alimentos contaminados. En menor medida también puede entrar al respirar aire o polvo que contenga este elemento. Una parte menor del antimonio ingerido o respirado podrá pasar a la sangre, pudiendo llegar a diferentes órganos como el hígado, los pulmones, los intestinos

FIGURA 2. Eliminación de Sb III y Sb V, según [6].



o el bazo. La ingesta oral de concentraciones altas puede provocar vómitos, pero no se conoce si puede causar defectos congénitos [3].

La exposición diaria por ingesta oral de antimonio es significativamente mayor que por inhalación, aunque la exposición total procedente de fuentes medioambientales, los alimentos y el agua de consumo es muy baja comparada con la exposición por motivos laborales [4].

Las normas internacionales para el agua potable de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 1958, 1963 y 1971 no hicieron referencia al antimonio. La primera edición de las *Guías para la calidad del agua potable*, publicada en 1984, concluyó que no era preciso adoptar medidas con respecto al antimonio. En las *Guías* de 1993 se fijó un valor de referencia provisional para el antimonio correspondiente a un límite práctico de cuantificación de 0,005 mg/L, basándose en los datos toxicológicos disponibles [6]. Hoy en día las autoridades sanitarias han establecido diversos niveles para el agua potable. En Europa, y por ende en España (Real Decreto -RD-140/2003), el límite está en 5 ppb; en los Estados Unidos y Canadá, en 6 ppb [8]; en Japón, en 2 ppb según indican diversas publicaciones; y según la OMS, hasta 20 ppb se considera niveles seguros [8].

La forma en la que puede aparecer el antimonio en el agua es dependiente del pH y del potencial redox del agua. Sus estados de oxidación más comunes son el 3 y el 5. Así mismo, el tipo de antimonio en el agua de consumo es un determinante clave de su toxicidad. El antimonio en forma de antimonio (V) es menos tóxico. Las sales solubles de antimonio (III) producen efectos genotóxicos *in vitro* e *in vivo*. El Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC) ha concluido que el trióxido de antimonio es posiblemente cancerígeno para el ser humano [5].

Bajo condiciones anóxicas del agua, el Sb (III) es la especie predominante y más estable y se puede encontrar en forma de $Sb(OH)_3$. Por el contrario, bajo condiciones aerobias se encuentra en forma de Sb (V), predominantemente como $Sb(OH)_6$ [6]. En resumen:

- El Sb (III) es más propio en aguas anóxicas.
- El Sb (V) es más porpio en aguas óxicas (caso de Ceuta).
- Según Inam, M. *et al.*, entre pH 6 y 8 ambos se eliminan bien y fuera de dicho rango el Sb (V) peor (pH de Ceuta entre 7,8 y 8,25).

En la **Figura 2** se aprecia cómo el antimonio III se elimina bien a pH superiores a 6, mientras que el antimonio V tiene peor comportamiento tanto a pH bajos (< 6) como altos (> 9).

1.3. HIPÓTESIS DE PARTIDA

A la luz de lo expuesto precedentemente, el objetivo último que se ha perseguido con esta investigación ha sido lograr una adecuada explotación del recurso hídrico, tanto a nivel de seguridad alimentaria, cumpliendo con el RD 140/2003, como a nivel de costes, evaluando su optimización. Para lograrlo se parte de tres premisas básicas:

- Los coagulantes habituales en las plantas potabilizadoras son las sales de aluminio, que son efectivos para eliminar la turbidez y la mayoría de los metales pesados.
- Numerosos estudios evidencian bajos rendimientos en los coagulantes basados en el aluminio para precipitar el antimonio en el agua [6].
- La coagulación con sales de hierro parece ser el método más eficiente y económico para la eliminación del antimonio de una solución acuosa.

2. MÉTODO DE TRABAJO

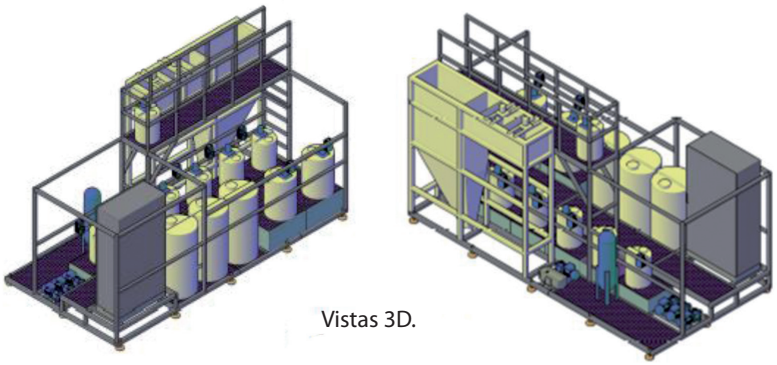
La forma más adecuada de acometer este tipo de estudios parte de la implantación de un pilotaje previo para evaluar las condiciones óptimas desde un punto de vista técnico económico: efecto del pH, el tipo y la dosis óptima del coagulante, las diferencias de comportamiento entre el Sb (III) y el Sb (V), la solubilidad final de Fe, etc. Estos parámetros son los que van a determinan el número de ensayos a realizar.

2.1. DISEÑO DE LA PLANTA DE PILOTAJE

Para acometer dichos estudios, se diseñó y construyó una planta piloto con una capacidad de 0,25 m^3/h (**Figura 3**). Esta planta incorpora los siguientes elementos:

- Bombeo de agua bruta de 0,25 m^3/h.
- Dosificación de antimonio dopaje (20-100 ppb).
- Dosificación de dióxido de cloro a partir de clorito sódico y ácido clorhídrico. Preoxidación y desinfección final.
- Cámara de mezcla (5 minutos).
- Dosificación de ácido clorhídrico.
- Dosificación de cloruro férrico.
- Dosificación de polielectrolito.
- Cámaras de floculación (15 minutos).
- Dosificación de carbón activo (5-10 ppm, cianobacterias, olor y sabor).
- Decantador lamelar.
- Bombeo de recirculación de fangos.
- Filtración de arena por gravedad (5 m/h).
- Dosificación de hidróxido cálcico (reducción pH y optimización floculación).
- Depósito de agua de lavado de filtro de arena.

FIGURA 3. Planta piloto.



Vistas 3D.

Vista frontal.

Vista trasera.

Detalle decantador.

Detalle filtro de arena.

- Bombeo de agua de lavado de filtro de arena.
- Soplante de aire de lavado de filtro de arena.
- Depósito de agua tratada.

2.2. DISEÑO DE LOS ENSAYOS

El pilotaje del proceso de eliminación de antimonio, para un caudal de proceso fijado, consta de varias variables que afectan directamente al rendimiento de este:

- Concentración y tipo de antimonio en el agua bruta.
- pH.
- Concentración de dosis de cloruro férrico.

La concentración de antimonio en el agua del Arroyo de las Bombas en la actualidad es aproximadamente de 50 µg/L, con valores punta superiores a 100 µg/L, aunque al mezclarse con el agua del embalse del Renegado se diluye habitualmente hasta una concentración de alrededor de 15 µg/L dependiendo de la estación de lluvias.

Con estas consideraciones, se seleccionan tres concentraciones de antimonio para acometer los ensayos de tratamiento, concentraciones que cubren un rango razonable de lo que se puede encontrar en la fuente de abastecimiento. Se proponen estos puntos:

[Sb] = 10,20,40 µg/L

Para alcanzar estas concentraciones se utilizan estos reactivos utilizados en estudios anteriores [6]:

- Sb_2O_3 (óxido de antimonio), para el antimonio (III).
- $KSb(OH)_6$ (hexahidroxoantimoniato (V) de potasio), para el antimonio (V).

» La desinfección con dióxido de cloro o el tratamiento previo de agua con membranas de ultrafiltración reducen claramente los THM, siendo ambas alternativas muy eficientes y seguras para el tratamiento de agua potable

La efectividad del cloruro férrico como precipitador del antimonio depende del pH del medio. Por un lado, se esperan rendimientos mayores a pH bajo y, por el otro, el agua bruta posee un pH de entre 7,8 y 8,25. Con estas consideraciones se seleccionan los siguientes pH de trabajo:

pH = 4,5; 5,5; 6,5; 7,5; 8,5

Como paso previo a los ensayos en la planta de pilotaje, se realizan baterías de Jar Test (ensayo de jarras) en laboratorio para determinar las dosis máximas de cloruro férrico que se pueden utilizar sin que se supere el máximo permitido de 0,2 mg/L de Fe en el agua tratada, según el RD 140/2003. Tras estos estudios previos se establecen las siguientes dosis de $FeCl_3$:

[$FeCl_3$] = 50, 70, 120 µg/L

Teniendo en cuenta las diferentes concentraciones de antimonio, dosis de Fe y pH de trabajo, se tenían que realizar 45 ensayos en planta con una duración de 5 horas cada uno en los que se registraron las variables de estudio ([Sb]V, pH, [$FeCl_3$]).

Se han realizado 9 analíticas de antimonio para determinar el tiempo de residencia mínimo para garantizar las condiciones estacionarias al arrancar la planta de pilotaje, 16 analíticas de muestras en la cámara de mezcla (CM) para comprobar que el dopaje de antimonio es el correcto, y 64 (51 aprobadas y 14 descartadas) analíticas de salida de filtros de arena (SFA) de resultados de las pruebas. En total han sido 89 analíticas de antimonio disuelto.

Así mismo, se han realizado 10 analíticas de hierro residual que dieron valores inferiores al límite de detección de 0,1 mg/L de Fe para el máximo de cloruro férrico aplicable (120 mg/lL, por lo que se desestimó seguir realizando estas pruebas para dosificaciones inferiores de coagulante, ya que el hierro residual que se esperaría es inferior.

Los ensayos tuvieron una duración de 180 días debido a que para medir un metal como el antimonio se ha requerido de la colaboración de un laboratorio especializado de la Península, que retrasaba el comienzo de cada tanda de ensayos (5 valores de pH para una concentración de Sb y $FeCl_3$) una semana a la espera de corroborar que el dopaje se había realizado correctamente.

3. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos para las diferentes concentraciones de Sb ensayadas. Cabe destacar que la diferencia entre los pH de diseño de los ensayos y los de estos resultados se deben a la menor fiabilidad de medida de la sonda en continuo en la planta respecto a la del laboratorio y que, además, este es el valor de medida en la salida de filtros de arena (SFA) y no donde se ajustaba el pH, que era en la cámara de mezcla (CM).

3.1. CONCENTRACIÓN DE SB DE 40 µG/L

De los ensayos que marcan la **Tabla 1** y la **Figura 4** se concluye que para cumplir con los límites de concentración máxima de antimonio que marca el RD 140/2003 (5 ppb) cuando el agua de entrada a la ETAP contenga 40 ppb de Sb, no se puede trabajar a pH superiores a 6,53 adicionando una [$FeCl_3$] = 120 mg/L. Así mismo, para [$FeCl_3$] = 70 mg/L y 50 mg/L no se puede trabajar a pH mayores de 6,15 y 4,87 respectivamente. Estos valores se corresponden con el punto de intersección entre las curvas de dosis de $FeCl_3$ y el límite legal de 5 µg/L.

También se ha observado que la evolución de las tasas de eliminación para 70 mg/L de cloruro férrico es dispar respecto a la de otras tablas debido a que se toma como referencia un valor de antimonio inicial en el agua procedente de una analítica con un error en el muestreo, pero por rigor técnico se ha mantenido este valor.

3.2. CONCENTRACIÓN DE SB DE 20 µG/L

Según la **Tabla 2** y la **Figura 5**, la principal conclusión de esta batería de ensayos es que para cumplir con los límites de concentración máxima de antimonio que marca el RD (5 ppb) cuando el agua de entrada a la ETAP contenga 20 ppb de Sb, no se puede trabajar a pH superiores a 7,11 adicionando una [$FeCl_3$] = 120 mg/L. Así mismo, para [$FeCl_3$] = 70 mg/L y 50 mg/L no se puede trabajar a pH mayores de 6,5 y 5,9 respectivamente.

3.3. CONCENTRACIÓN DE SB DE 10 µG/L

Según la **Tabla 3** y la **Figura 6**, de esta última tanda de ensayos se

TABLA 1

RENDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE SB, CON $[SB]_V$ INICIAL DE 40 µG/L.

$[Sb]_V$ = 40 µg/L					
[$FeCl_3$] = 120 mg/L		[$FeCl_3$] = 70 mg/L		[$FeCl_3$] = 50 mg/L	
pH	Rendimiento de desinfección	pH	Rendimiento de desinfección	pH	Rendimiento de desinfección
4,70	96%	4,68	92%	4,76	91%
5,94	94%	5,80	92%	5,66	80%
6,83	89%	6,66	73%	6,94	70%
7,35	59%	7,50	35%	7,87	54%
8,34	41%	8,50	4%	8,35	50%

FIGURA 4. Concentración de Sb a la salida del filtro de arena en función del pH en la cámara de mezcla para $[Sb]_V$ = 40 µg/L.

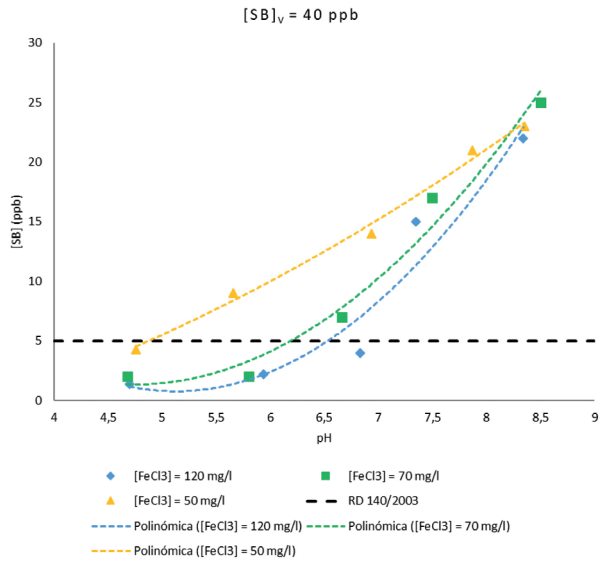


TABLA 2

RENDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE SB, CON $[SB]_V$ INICIAL DE 20 µG/L.

$[Sb]_V$ = 20 µg/L					
[$FeCl_3$] = 120 mg/L		[$FeCl_3$] = 70 mg/L		[$FeCl_3$] = 50 mg/L	
pH	Rendimiento de desinfección	pH	Rendimiento de desinfección	pH	Rendimiento de desinfección
4,13	91%	4,69	95%	4,46	90%
5,78	95%	5,73	91%	5,69	83%
6,24	85%	6,75	70%	6,93	55%
6,65	79%	7,18	65%	7,73	35%
7,36	70%	7,55	55%	8,37	25%
7,84	64%	7,95	40%	-	-
8,29	50%	8,47	35%	-	-

FIGURA 5. Concentración de Sb a la salida del filtro de arena en función del pH en la cámara de mezcla para $[Sb]_V$ = 20 µg/L.

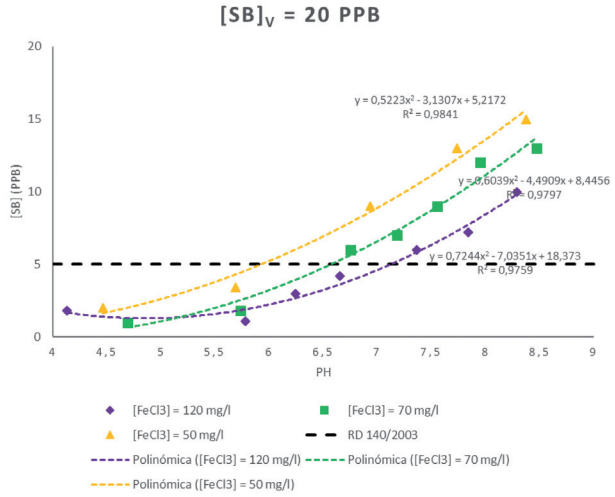
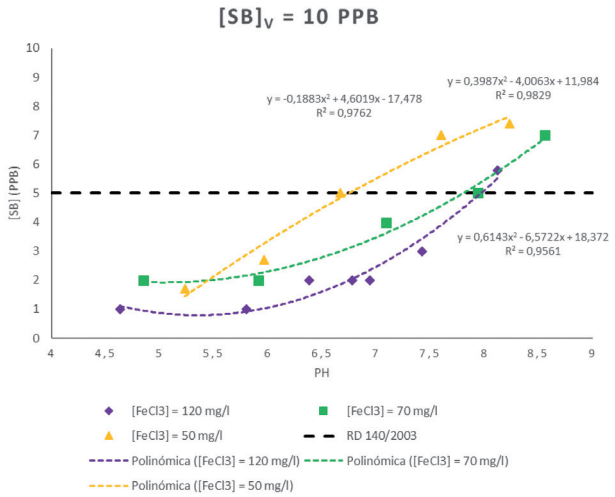


TABLA 3

RENDIMIENTOS DE ELIMINACIÓN DE SB, CON $[SB]_V$ INICIAL DE 10 µG/L.					
$[Sb]_V$ = 10 µg/L					
$[FeCl_3]$ = 120 mg/L		$[FeCl_3]$ = 70 mg/L		$[FeCl_3]$ = 50 mg/L	
pH	Rendimiento de desinfección	pH	Rendimiento de desinfección	pH	Rendimiento de desinfección
4,63	90%	4,85	80%	5,23	83%
5,80	90%	5,91	80%	5,96	73%
6,38	80%	7,09	60%	6,67	50%
6,78	80%	7,94	50%	7,60	30%
6,94	80%	8,56	30%	8,23	26%
7,42	70%	-	-	-	-
8,12	42%	-	-	-	-

FIGURA 6. Concentración de Sb a la salida del filtro de arena en función del pH en la cámara de mezcla para $[Sb]_V$ = 10 µg/L.



deduce que para cumplir con los límites de concentración máxima de antimonio que marca el RD (5 ppb) cuando el agua de entrada a la ETAP contenga 10 ppb de Sb, no se puede trabajar a pH superiores a 7,9 adicionando una $[FeCl_3]$ = 120 mg/L. Así mismo, para $[FeCl_3]$ = 70 mg/L y 50 mg/L no se puede trabajar a pH mayores de 7,80 y 6,7 respectivamente.

Para una correcta evaluación técnico-económica del ensayo, finalmente se ha procedido a calcular las dosis de reactivos necesarios para realizar los ajustes de pH requeridos. Para ello, se utilizó ácido clorhídrico (HCl) al 33% e hidróxido sódico (NaOH) al 50% para el primer ajuste tras las dosificaciones de cloruro férrico, correspondiente a la búsqueda del pH óptimo, y, posteriormente, hidróxido cálcico $Ca(HO)_2$ para la recuperación del pH final hasta 7,5.

4. CONCLUSIONES

El pH y la dosis de coagulante son los factores determinantes a la hora de establecer el mayor rendimiento de eliminación de antimonio.

Respecto al tipo de antimonio, el antimonio (III) es propio de aguas anóxicas, mientras que el antimonio (V) se da en aguas óxicas. En este caso, se trata de un agua óxica, por lo que se observa una mayor proporción de antimonio (V).

Las condiciones para cumplir con los límites de concentración máxima de antimonio que marca el RD 140/2003 (5 µg/L) cuando el agua de entrada a la ETAP contenga 40 ppb de Sb son no poder trabajar a pH superiores a 6,53 adicionando una $[FeCl_3]$ = 120 mg/L. Así mismo, para $[FeCl_3]$ = 70 mg/L y 50 mg/L no se podrá trabajar a pH mayores de 6,15 y 4,87 respectivamente.

En el caso de que el agua de alimentación a la entrada a la ETAP contenga 20 ppb de Sb, no se podrá trabajar a pH superiores a 7,11 adicionando una [$FeCl_3$] = 120 mg/L. Así mismo, para [$FeCl_3$] = 70 mg/L y 50 mg/L no se podrá superar las condiciones de trabajo de pH mayores de 6,5 y 5,9 respectivamente.

Finalmente, cuando el agua de entrada a la ETAP contenga 10 ppb de Sb, no será viable trabajar a pH superiores a 7,9 adicionando una [$FeCl_3$] = 120 mg/L. Así mismo, para [$FeCl_3$] = 70 mg/L y 50 mg/L no se podrá superar pH mayores de 7,80 y 6,75 respectivamente.

Como se puede ver en las figuras precedentes, los máximos rendimientos de eliminación de Sb se encuentran a 4,63 < pH < 5,91, consiguiendo rendimientos de eliminación del orden de 96%.

Desde el punto de vista económico siempre interesa trabajar con el pH más cercano al natural porque se reducen los costes de reactivos. En combinación del estudio técnico y económico, para precipitar antimonio (V) las dosis de coagulante y pH óptimos para cumplir con el RD 140/2003 de 5 µg/L son las marcadas en la **Tabla 4**.

TABLA 4

CONCENTRACIÓN DE $FECL_3$ Y PH ÓPTIMOS TÉCNICO-ECONÓMICOS PARA REDUCIR CADA CONCENTRACIÓN DE CONTAMINANTE [$SB_{(V)}$] HASTA 5 PPB.

[$Sb_{(V)}$] inicial	[$FECL_3$]	pH	Tasa de eliminación
40 µg/L	70 mg/L	6,15	87,5%
20 µg/L	70 mg/L	6,50	75%
10 µg/L	50 mg/L	6,70	50%

Bibliografía

[1] Mti-minas-ceutamelilla.blogspot.com (2019). Mina San Pancracio. *On line*, disponible en: https://mti-minas-ceutamelilla.blogspot.com/2007/07/mina-san-pancracio.html.

[2] Lenntech.es (2019). Antimonio (Sb). Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente. *On line*, disponible en: https://www.lenntech.es/periodica/elementos/sb.htm.

[3] Atsdr.cdc.gov (2019). Resumen de Salud Pública: Antimonio (Antimony), PHS, ATSDR. *On line*], disponible en: https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs23.html.

[4] Pradana Pérez, J.; García, J. (2019). Criterios de calidad y gestión del agua potable. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia, Madrid.

[5] WHO (2019). *On line*, disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/antimonysum.pdf.

[6] Inam, M.A.; Khan, R.; Park, D.R.; Lee, Y.W.; Yeom, I.T. (2018). Removal of Sb(III) and Sb(V) by ferric chloride coagulation: Implications of Fe solubility. Water, núm. 10, pág., 418.

[7] EPA (2020). *On line*, disponible en: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/ny_hh_334_w_03121998.pdf.

[8] WHO (2020). *On line*, disponible en: https://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/antimony.pdf.

CONSULTE TODA LA INFORMACIÓN DEL SECTOR DEL AGUA EN:

WWW.TECNOAQUA.ES