



Revista VIRTUALPRO

ISSN 1900-6241

Bogotá, Colombia.

revista@virtualpro.co

www.virtualpro.co

2020

Rafael Marín Galvín

Residuos generados en el tratamiento y depuración de aguas en España

Empresa Municipal de Aguas de Córdoba, S. A.

Córdoba, España

Residuos generados en el tratamiento y depuración de aguas en España

(Waste and by-products produced from drinking water and wastewater treatment in Spain)

Rafael Marín Galvín

Empresa Municipal de Aguas de Córdoba, S. A.

Córdoba, España

rmargal@emasca.es

Resumen

Cualquier proceso de tratamiento de aguas, bien sea de potabilización para producción de agua de consumo o de depuración de aguas residuales usadas, genera subproductos de proceso que han de ser caracterizados para evaluar el método más adecuado de gestión. Los subproductos de las estaciones potabilizadoras de aguas (ETAP) son mayoritariamente, las aguas de lavado de filtros y las purgas de decantación, mientras que los de las estaciones de depuración de aguas son los conocidos fangos de depuración o biosólidos. En el primer caso se trata de aguas de proceso cargadas de materias esencialmente inorgánicas, y en el segundo con un contenido orgánico considerable. Este trabajo presenta resultados de la caracterización de las aguas de proceso de las ETAP y de los biosólidos de las EDAR españolas. Las aguas de proceso de las ETAP se pueden reutilizar parcialmente para riego de jardines públicos pudiendo enviarse el resto a la red de saneamiento desde donde llegarían a las EDAR para aquí depurarse con el resto de las aguas residuales urbanas de la colectividad. En el caso de los residuos generados en las EDAR, los restos de tamizados y de desarenadores-desengrasadores pueden incorporarse a la gestión de los residuos sólidos urbanos de la ciudad. En el caso de los biosólidos, ricos en materia orgánica, pueden ser empleados para aprovechamiento agrícola de conformidad con la normativa española vigente, y también, en menor medida, ser destinados a valorización energética.

Palabras clave: Ciclo integral del agua; Potabilización de aguas; ETAP; Aguas de lavado de filtros; Purgas de decantación; Depuración de aguas; EDAR; Biosólidos.

Abstract

Any water treatment process, whether it is the treatment for drinking water production or treatment of wastewater, generates process by-products that must be characterized to evaluate the proper subsequent management. Most by-products generated from drinking water treatment plants (WDTPs) emerge from filter washing waters and settling purges, while those of the wastewater treatment plants (WWTPs) are the well-known bio-solids. In the first case, these process waters contain essentially inorganic materials, while the second one contains very considerable organic matters. This work presents the results of the characterization of the process waters from WDTPs and the bio-solids of the WWTPs in Spain. The WDTPs process waters can be partially reused for irrigation of public gardens and the rest can be sent to the sanitation network to reach the WWTPs, where can be treated with the urban wastewater from communities. In the case of waste generated in WWTPs, the remains of sieves and de-grit-degreasers can be incorporated into the management of urban solid waste in the city, while bio-solids, rich in organic matter, could be used for agricultural purposes because they comply with current Spanish regulations. Furthermore, lower quantities of bio-solids are also intended to produce biogas through anaerobic digestion.

Keywords: Urban water cycle; Drinking water production; WDTP; Filter washing waters, Settling purges, Wastewater treatment; WWTP; Bio-solids.

Introducción

El objetivo evidente de cualquier ETAP (estación de tratamiento de aguas potables) es la de conseguir de manera constante la producción de agua de consumo de la mejor calidad y a un coste técnico y económico razonable. Las características que deben modificarse en un agua bruta para su potabilización son color, turbidez, hierro y manganeso, en su caso microcontaminantes orgánicos biológicos o de síntesis; así mismo hay que conseguir la eliminación o reducción de la flora microbiana presente, especialmente aquella con potencial patogénico para el ser humano (AWWA 1998; Tchobonaglou and Schroeder 1985; Novotny 2003).

Además, la potabilización ha de ser capaz de reducir, siguiendo las normativas vigentes, los subproductos de desinfección (por ejemplo, trihalometanos) que se puedan generar en la producción de agua potable a consecuencia de los procesos de oxidación y desinfección aplicados en la planta (Marín Galvín and Rodríguez; 2016; Marín Galvín, 2018).

Una estación potabilizadora convencional puede operar con procesos de oxidación y desinfección de cabecera, decantación (utilizando sulfato de alúmina u otras sales de Al o Fe como coagulantes), filtración a través de lecho filtrante de arena silíceo o mediante carbón activo granular o lechos mixtos, y recloración-desinfección como elementos más habituales. Por otro lado, una ETAP moderna puede constar de los siguientes procesos unitarios de tratamiento, cuya secuencia puede estar sujeta a modificación en función de tipología concreta de cada ETAP (Tchobonaglou and Schroeder, 1985; Marín Galvín 2018):

1. Captación de agua bruta.

2. *Tamizado y/o eliminación de gruesos.*
3. *Tratamiento de microcontaminantes orgánicos mediante adsorción.*
4. *Preoxidación.*
5. *Coagulación+Floculación y Decantación*
6. *Filtración-Adsorción.*
7. *Desinfección.*
8. *Acondicionamiento final: ajuste de pH, fluoración, adición de aditivos para preservación ante la corrosión de tuberías y elementos de la propia ETAP o de la red de distribución de aguas, etc.*

Por otro lado, al mismo tiempo que se produce de forma continua agua potable, denominada como *salubre y limpia* atendiendo a los criterios establecidos en la Unión Europea (Directiva 98/83/CE sobre aguas de consumo) en una potabilizadora también se generan subproductos que hay que conocer y caracterizar a fin de estudiar las estrategias más adecuadas para su posterior gestión sostenible.

En este sentido, los dos subproductos más comunes generados en una ETAP convencional son: *purgas de decantación y aguas de lavado de filtros* (Colin *et al.*, 1976; Marín Galvín, 1998; Ramírez 2008; Argudo 2018). Las purgas de decantación recogen todas las sustancias productoras de color y turbidez presentes en el agua bruta, así como materias orgánicas decantables de forma natural o de forma forzada vía adición de coagulante (coagulación-floculación), y finalmente, los oxihidróxidos metálicos de hierro y manganeso, que suelen ser los metales mayoritarios que se

deben eliminar de un agua bruta a potabilizar (Colin *et al.*, 1976; Marín Galvín, 1995; Ramírez 2008).

Por su parte, las aguas de lavado de filtros (Marín Galvín, 2016; Argudo 2018) recogen el producto del proceso de regeneración de las unidades de filtración, que por lo general están rellenas con arena silíceas y en menor medida con arena+carbón activo granular. Contienen restos de color y turbidez residual, así como trazas de metales pesados (Fe y Mn) y pequeñas concentraciones de materia orgánica.

Tanto en el caso de las purgas de decantación como en el caso de las aguas de lavado de filtros, se trata de residuos esencialmente líquidos. Así mismo, en una ETAP se generan otro tipo de residuos: los residuos sólidos procedentes de los tamizados del agua bruta que suelen gestionarse como residuos sólidos urbanos y que no van a ser objeto de este trabajo.

En el caso de la depuración de aguas, se trata de reducir hasta valores admisibles la carga contaminante de las aguas residuales, que se puede cuantificar como sólidos en suspensión, demanda bioquímica y demanda química de oxígeno, nitrógeno y fósforo si fuese el caso, metales pesados, grasas, detergentes y otros. Para conseguir valores admisibles, la línea convencional de depuración puede esquematizarse de la siguiente manera (Hernández Muñoz, 1992; Metcalf y Eddy, 2003):

- 1. Elevación del influente del agua residual que llega vía colectores a la EDAR a una cota superior que facilite el posterior tratamiento del agua en planta.*
- 2. Tamizado y/o eliminación de gruesos.*

3. *Desarenado-desengrasado.*
4. *Decantación primaria (con o sin adición de reactivos).*
5. *Tratamiento biológico (aireación).*
6. *Decantación secundaria.*
7. *Vertido de agua depurada a cauce natural (con o sin desinfección).*

Existen diferentes tipos de subproductos cuyo resultado final se engloba bajo el nombre de fangos de depuración. Estos están compuestos de los fangos generados en la decantación primaria (generalmente sin adición de reactivos, aunque también podrían adicionarse coagulantes, como en el caso de la potabilización de aguas) que denominados *fangos primarios*, y los procedentes de la decantación secundaria, denominados *fangos secundarios* y que contienen una alta cantidad de materia orgánica (procedente del tratamiento biológico de las EDAR).

Una vez generados tanto fangos primarios como fangos secundarios, con alrededor de un 2%-3% de materia seca, se envían a un depósito tampón, en donde con la ayuda de un polímero orgánico catiónico, y tras pasar por un proceso de deshidratación mediante filtros prensa o por centrifugación, dan lugar a los biosólidos que con un 20-25% son el residuo mayoritario valorizable generado en las estaciones de depuración de aguas residuales (EDAR) (Spinosa, 1985; Samhan *et al.*, 1990; Hernández Muñoz, 1992; Marín Galvín 2020, a y b).

Por otra parte, los biosólidos pueden ser destinados a valorización energética mediante digestión anaerobia para producción de biogás, que es especialmente rico en metano (Metcalf y Eddy, 2003; Chiva Vicent *et al.*, 2018).

Este trabajo se enfocará en presentar la caracterización los diferentes tipos de residuos que se producen en el ciclo integral del agua, evaluando posteriormente opciones válidas para su gestión.

Materiales y métodos

Los métodos de análisis de aguas se basan en la metodología convencional para control de calidad de aguas (Marín Galvín, 1995; AWWA, 2005; Rodier 2011): pH (electrodo selectivo), sólidos sedimentables (decantabilidad en cono de Imhoff); sólidos en suspensión tras filtrado del agua (filtro de 45 μm); demanda bioquímica de oxígeno (método del OXITOPTM); y demanda química de oxígeno tras valoración con dicromato potásico en medio ácido. Además, el nitrógeno total siguió la técnica de Kjeldahl y la determinación de fósforo total se llevó a cabo mediante Espectrometría de Masas por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS) tras digestión con persulfato amónico en medio sulfúrico (AWWA 2005).

Con relación a los metales pesados en aguas de lavado de filtros, en purgas de depuración y en biosólidos, se utilizó el método ICP-MS, tras digestión de porciones de 20 mL de aguas de proceso (lavado de filtros o purgas de decantación) o de 1 g de biosólidos, a los que se añadieron 3 mL de HCl y 1 mL de HNO₃, aforando a un total de 20 mL de disolución con agua destilada (Primo Yúfera y Carrasco Dorrién, 1981; Marr *et al.*, 1983).

Finalmente, la materia seca se obtuvo tras secar el biosólido hasta peso constante a 105-108°C, y la materia orgánica calcinando el biosólido a 550°C hasta peso constante (Marín Galvín, 1995; AWWA 2005; Rodier 2011).

Resultados y Discusión

Subproductos de potabilización

Como se comentó anteriormente, las principales fuentes de residuos de las ETAP son las purgas de decantación y las aguas de lavado de filtros. En este sentido, las purgas de decantación contienen los denominados *lodos hidróxidos*, con una alta tasa de dilución, los cuales corresponden a la propia composición fisicoquímica del agua bruta a potabilizar, a los productos generados por el tratamiento hasta esta fase, y finalmente a los reactivos que en concentración residual pueda contener el agua en decantación.

En promedio, la producción de purgas de decantación se encuentra entre el 1,5%-2,5% sobre caudal tratado en decantadores y lógicamente está fuertemente influenciado por el tipo de coagulante utilizado en cada ETAP. No obstante, la fórmula de Slater (Ramírez Quirós, 2008) calcula de forma empírica la cantidad de materias secas producidas en decantación, respondiendo a la expresión:

$$\text{Fango} = \text{MS} + (\text{Color} \cdot 0,07) + (k \cdot D_c) + D_v$$

Donde MS corresponde al contenido en materias en suspensión del agua bruta en mg/L, D_c la dosis de coagulante usado, D_v las dosis de otros productos químicos empleados (floculantes, acondicionadores de pH) expresados en g/m³. K es la constante que toma el valor de 0,15 para el uso de policloruros de aluminio y de 0,25 para cloruro férrico y sulfato de alúmina. Esta fórmula se aproxima razonablemente a la cantidad de fango formado, sin embargo, esto dependerá de lo que se genere en la decantación industrial en cada caso en particular.

La Tabla 1 presenta las características medias de las purgas de decantación en el caso de empleo de policloruros de aluminio, con dosis entre 50 y 80 g/m³ (datos obtenidos de bibliografía y suministrados por diferentes ETAP españolas).

Tabla 1: Características medias de las purgas de decantación empleando policloruros de aluminio.

Parámetro	Intervalo de Concentración/contenido
pH	6,9 – 8,1
Sólidos sedimentables (mL/L)	240 – 600
Sólidos en suspensión (mg/L)	410 – 760
DBO ₅ (mg/L)	<10 – 90
DQO (mg/L)	50 – 150
N-Keldahl (mg/L)	5 – 40
P-total (mg/L)	<0,1 - 0,4
Nitratos (mg/L)	<0,1 – 5,0
Hierro (mg/L)	10 – 40
Manganeso (mg/L)	0,5 – 2,0
Aluminio (mg/L)	100 – 200
(Pb+Cu+Ni+Cr+Zn)	<0,1 – 1,5

Fuente: Elaboración propia empleando comunicaciones personales al autor de ETAP de Andalucía, País Vasco, Comunidad Valenciana y Murcia (España).

Se observa que las purgas contienen una notable cantidad de sólidos, y una cantidad moderada de carga orgánica expresada como DQO y nitrógeno Kjeldahl. En cuanto al contenido en metales pesados, los mayoritarios son hierro y manganeso, que también lo son en las aguas brutas

sometidas a potabilización, y especialmente el aluminio procedente del coagulante. De cualquier forma, la dispersión de datos es importante en función de las variables que afectan a la composición de estas aguas de proceso: calidad de agua bruta, dosis y tipología de reactivos usados, tipo de decantador y régimen de purgas de decantación aplicado.

Con relación a las aguas de lavado de filtros, la producción suele ser en promedio del 2%-3% con respecto al agua tratada en filtración, algo más alta que el caudal evacuado vía purgas de decantación. Esto varía en función de la calidad del agua bruta y del rendimiento obtenido previamente en decantación además del régimen de lavado práctico de filtros.

La Tabla 2 recoge a su vez las características medias de las aguas de lavado de una serie de ETAP españolas, considerando el empleo en decantación de policloruros de aluminio con las condiciones de operación indicadas anteriormente.

Tabla 2: Características medias de las aguas de lavado de filtros.

Parámetro	Intervalo de Concentración/contenido
pH, unidades de pH	7,3 - 8,3
Sólidos sedimentables, en mL/L	1 – 10
Sólidos en suspensión, en mg/L	14 – 45
DBO ₅ , en mg/L	<10 – 20
DQO, en mg/L	15 – 30
N-Keldahl, en mg/L	15 – 25
P-total, en mg/L	<0,1 – 0,2
Nitratos, en mg/L	<0,5 – 3,0

Total de metales pesados, mg/L	<0,1 – 0,4
--------------------------------	------------

Fuente: Elaboración propia empleando comunicaciones personales al autor de ETAP de Andalucía, País Vasco, Comunidad Valenciana y Murcia (España).

Como en el caso de las purgas de decantación, aquí se observa también una importante variabilidad en el intervalo de contenidos de sustancias detectadas; al comparar los datos de las tablas 1 y 2 se infiere que las aguas de filtros están menos cargadas que las primeras como podría esperarse, ya que reciben aguas decantadas con una muy baja concentración de color, turbidez, materias en suspensión y muy pocas trazas de metales y otros compuestos.

Con respecto a la gestión mayoritaria de este tipo de residuos o subproductos de las ETAP (Ramírez Quirós, 2008; Gutiérrez *et al.*, 2014), en el caso de las purgas de decantación podría aplicarse la recuperación del aluminio como sulfato mediante redisolución ácida del fango aluminoso a pH=2,5 y posterior precipitación a pH=6,0. No obstante, el proceso requiere de controles minuciosos de temperatura, tiempo de contacto, régimen de mezcla, ensayos previos con diferentes dosis de ácido, etc., con lo que puede resultar poco eficaz en muchas ocasiones (Chojnacki, 1964; Fulton, 1973; Manuel Soler, 1979; Mata *et al.*, 1983; Núñez Zarur, J.R. y Peña Castro, M. (2018); Gamarra Román, L.G y Romero Lanasque, J.C. (2019)). Otra opción contemplada es la recuperación de aluminio en medio básico (Masschelein *et al.*, 1985).

Otra posibilidad sería la de deshidratar el fango con polímero y el empleo de filtros prensa o decantadores centrífugos de forma similar al proceso aplicado para los fangos de depuración o biosólidos. Sin embargo, éste no es un proceso frecuente, ya que el lodo hidróxido obtenido sería un residuo peligroso y tendría que gestionarse como tal.

Así mismo, existen estudios que justifican el empleo de los lodos de potabilización para fabricación de elementos cerámicos y ladrillos (Merino *et al.*, 2007; Torres *et al.*, 2012; Argudo 2018).

Sin embargo, la opción más común para las ETAP españolas suele ser la de vertido directo a la red de saneamiento para que, junto a las aguas residuales urbanas de la colectividad, sean sometidas a depuración en la EDAR municipal.

Además, en el caso del agua de lavado de filtros se puede dar la opción de la reutilización, tras su decantación previa, para uso en el riego de parques y jardines. La tabla 3 presenta un ejemplo de este uso con las características del agua de lavado de filtros usada (tras sedimentación sin adición de reactivos), cuya calidad se compara con la de la normativa española vigente para riego de cultivos leñosos y flores ornamentales con aguas reutilizadas (RD 1620/2007).

Sin embargo, el agua de lavado de filtros tras sedimentación no tendría la consideración de *agua regenerada* según la normativa española. En este sentido, en España la calificación de agua regenerada corresponde al agua residual depurada procedente de estaciones depuradoras tras su regeneración posterior (tratamiento terciario). Adicionalmente, el reciente Reglamento Europeo 2020/741 de 25 de mayo de 2020 establece los requisitos mínimos para la reutilización de aguas.

Tabla 3: Características de aguas de lavado de filtros procedentes de una ETAP empleadas para riego de parques y jardines.

Parámetro	Concentración	RD 1620/2007
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 mL)	0	10.000

Sólidos en suspensión (mg/L)	6	35
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	224	3.000
Turbidez (UNF)	1,7	-
Boro (mg/L)	<0,1	0,5
Cobre, manganeso, níquel (mg/L)	<0,05	0,2
Arsénico, berilio, cromo, vanadio (mg/L)	<0,01	0,1
Cobalto (mg/L)	<0,005	0,05
Selenio (mg/L0,02)	<0,005	0,02
Cadmio, molibdeno (mg/L)	<0,001	0,01
Relación absorción sodio	0,54	6
Sodio (mg/L)	11,0	-
Calcio (mg/L)	18,3	-
Magnesio (mg/L)	7,7	-

UFC: Unidades formadores de colonias. Fuente: Datos de la ETAP de Villa Azul (EMACSA, Córdoba).

Subproductos de depuración

El primer residuo generado en la EDAR es el procedente de la suma de rechazos de tamizados y evacuación de desarenadores-desengrasadores que se gestionan como residuos sólidos urbanos, lo cual es la gestión habitual para este tipo de residuos en la gran mayoría de las depuradoras municipales de España.

Con relación a los biosólidos, la tabla 4 presenta la caracterización media de los generados globalmente a escala nacional en España (CEDEX 2009; Marín 2020 (a,b)). Se incluyen los valores paramétricos vigentes en la normativa española para aprovechamiento de fangos de

depuración en prácticas agrícolas (RD 1301/1990 y OM AAA 1072/2013).

Tabla 4: Caracterización de biosólidos de EDAR españolas y contenidos medios de parámetros (CEDEX 2009; Marín, 2020, a y b).

Parámetro	Intervalo de Concentración	RD 1310/1990	OM AAA 1071/2013
Sequedad (%)	20 – 25	-	-
Materia orgánica (%)	70 – 75	-	-
pH	6,4 – 6,8	-	-
Nitrógeno total (mg/L)	4,0 - 6,6	-	-
Fósforo total P ₂ O ₅ (mg/L)	0,6 – 5,0	-	-
Porcentaje de K ₂ O, sobre materia seca	0,2 – 1,0	-	-
Porcentaje de CaO, sobre materia seca	3,5 – 14,0	-	-
Porcentaje de MgO, sobre materia seca	0,6 – 0,8	-	-
Porcentaje de Na, sobre materia seca	<0,01 – 0,1	-	-
Hierro (mg/kg) sobre materia seca	10.000 – 17.000	-	-
Manganeso (mg/kg) sobre materia seca	150 – 250	-	-
Cobre (mg/kg) sobre materia seca	200 – 400	1.000 – 1.750	-
Plomo (mg/kg) sobre materia seca	30 – 80	750 – 1.250	-
Cadmio (mg/kg) sobre materia seca	<0,1 – 17,0	20 – 40,0	-
Níquel (mg/kg) sobre materia seca	20 – 45	300 – 400	-
Cromo (mg/kg) sobre materia seca	40 – 140	1.000 – 1.500	-

Zinc (mg/kg) sobre materia seca	400 – 750	2.500 – 4.000	-
Mercurio (mg/kg) sobre materia seca	<1,0 – 3,0	16 – 25	-

En el RD 1310/1990, los valores más bajos consignados corresponden a suelos con $pH > 7$, y los más altos a suelos con $pH < 7$.

Los resultados aportados en la tabla 4 demuestran que los biosólidos generados en las EDAR españolas pueden utilizarse en agricultura al cumplir los límites establecidos para metales pesados, lo que de hecho se lleva a cabo puesto que del orden del 80% de los producidos se emplean en estas prácticas. El 20% restante de biosólidos se distribuye entre incineración y disposición en vertederos controlados (AEAS 2018).

En este sentido, cabe indicar que el 10% de los biosólidos generados por las EDAR en España se destinan a aprovechamiento energético, y que de este porcentaje un 60% va destinado a cogeneración de biogás vía anaerobia (Chiva Vicent *et al.*, 2018) lo que genera la producción de 140.000.000 Nm³ de biogás/año en el país (AEAS 2018).

Conclusiones

El ciclo integral del agua está compuesto por dos grandes apartados: producción y distribución de agua de consumo, y recogida y depuración de aguas residuales. Ambas contribuciones generan residuos, o subproductos que han de ser caracterizados y gestionados con eficiencia. En este sentido, en la producción de aguas potables en las estaciones potabilizadoras de aguas o ETAP se

producen dos grandes tipos de residuos líquidos, o aguas de proceso: *purgas de decantación* y *aguas de lavado de filtros*.

Las primeras, con una producción del 1,5% al 2,5% sobre caudal tratado, son ricas en aluminio, hierro y manganeso, el primero procedente del uso generalizado de sales de aluminio para coagulación-floculación en las ETAP, y los segundos como metales mayoritarios presentes en las aguas brutas destinadas a potabilización. Además, el contenido en sólidos es alto, mientras que la carga biodegradable es baja. En cuanto a las aguas de lavado de filtros, presentan una tasa de generación del 2%-3%, cuya carga es menor: esto hace que puedan ser reutilizadas como aguas de riego para parques y jardines, tras un proceso previo de decantación sin adición de coagulantes.

En cuanto a la depuración de aguas residuales domésticas, su principal residuo o subproducto son los conocidos fangos de depuración o *biosólidos*, que en España cumplen con la normativa vigente para aprovechamiento agrícola; presentando un moderado contenido orgánico y niveles aceptables de metales pesados, por lo que el 80% de los biosólidos generados en las EDAR del país son usados para tal fin. Además, un 10% de los biosólidos son destinados para aprovechamiento energético, donde el 60% se utiliza en la producción de biogás por digestión anaerobia.

Bibliografía

Argudo, J. J. (2018). *Valorización de lodos procedentes de PTAP como nutriente tecnológico*.

Recuperado el 17 de julio de 2020 de <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-argudo-garcia/>

Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento (AEAS) (2018). *XV Estudio*

Nacional. Madrid, España.

AWWA (1998). *Water Treatment Plant Design*, 3ª ed. Ed. MacGraw-Hill. Washington.

AWWA (2005). *Standard Methods for the examination of water and wastewater*, 21st ed. Washington.

CEDEX. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino de España (2009). *Caracterización de los lodos de depuradoras generados en España*. Ed. Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, Madrid.

Colin, F., Cornier, J.C., Daniel, J.L., Jacquart, J.C., Lefort, D., Mathian, R., and Braunstein, J.P. (1976). Characterization des boues résiduaires. *Techniques et Sciences Municipales*, 1, 1-26.

Consejo de la Unión Europea. Directiva 98/83/CE del Consejo, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. DO L 330 de 5-12-1998.

Chiva Vicent, S., Berlanga Clavijo, G.J., Martínez Cuenca, R. y Climent Agustina, J. (2018). *Depuración de Aguas Residuales: Digestión Anaerobia*. Cátedra FACSA de la Innovación en el Ciclo Integral del Agua. Ed. Publications de la Universitat Jaume I. Castellón de la Plana (España).

Chojnacki, A. (1964). Recuperation des coagulants dans les boues des traitements d'eau pour alimentation. Bull. *La Tribune du Cebedeau*, 248, 351-359.

Fulton, G.P. (1973). Recover alum to reduce waste-Disposal costs. *J. Am. Water Works Assoc.*, enero, 312-318.

Gamarra Román, L.G y Romero Lanasque, J.C. (2019). Evaluación de la recuperación de aluminio en medio ácido de los lodos generados en una planta de tratamiento de agua potable. Tesis.

Universidad Nacional del Centro del Perú. Recuperado de
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/5409>

- Gutiérrez-Rosero, J.A., Ramírez-Fajardo, Á.I., Rivas, R., Linares, B. y Paredes, D. (2014). Tratamiento de lodos generados en el proceso convencional de potabilización de agua. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(25), 13-27.
- Hernández Muñoz, A. (1992). *Depuración de aguas residuales*, 2ª ed. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Madrid.
- Manuel Soler, M. (1979). Tratamiento de fangos de plantas potabilizadoras. *Quaderns d'enginyeria*, 1, 269-286.
- Marín Galvín, R. (1995). *Análisis de Aguas y Ensayos de Tratamiento: Principios y Aplicaciones*. Ed. GPESA, Barcelona.
- Marín Galvín, R. (1998). Gestión de lodos hidróxidos. *Ingeniería Química*, junio, 173- 178.
- Marín Galvín, R. (2016). Flujos de materias (aguas y sólidos) y huella de carbono asociados al ciclo integral del agua en Córdoba. *Ingeniería Municipal*, 303, 40-44.
- Marín Galvín, R. (2018). *Físicoquímica y microbiología de los medios acuáticos*, 2ª ed. Ed. Díaz de Santos, Madrid (España).
- Marín Galvín, R. (2020, a). Quality of bio-solids produced in a Spanish Wastewater Treatment Plant (Córdoba-Spain) and its use in agronomy along 2000-2019. *Brilliant Engineering*, 4, 9-15.
- Marín Galvín, R. (2020, b). Wastewater Treatment Plants as producer of alternative fertilizers for agriculture in Spain: a case study (WWTP of La Golondrina -Córdoba, Spain). *Archives of Agriculture Research and Technology*, 1 (2), 1009-1011.

- Marín Galvín, R. and Rodríguez Mellado, J.M. (2016). Behavior of several disinfection by-products (DBPs) and other organic compounds along the treatment and distribution of drinking water in Córdoba (Spain). *Asian J. of Current Research*, 1 (1), 1-11.
- Marr, I.L., Cresser, M.C. y Gómez Ariza, J.L. (1989) *Química Analítica del Medio Ambiente*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Sevilla (España).
- Maschelein, W.J., Devleminck, R., and Genot, J. (1985). The feasibility of coagulant recycling by alkaline reaction of aluminium hydroxide sludges. *Water Research*, 19 (11), 1363-1368.
- Mata, J, Masides, J. y Soley, J. (1983). La recuperación de sulfato de aluminio utilizado como coagulante en la depuración de aguas residuales. *Ingeniería Química*, junio, 69-72.
- Merino, I., Arévalo, L.F. et Romero, F. (2007). Preparation and characterization of ceramic products by thermal treatment of sewage sludge ashes mixed with different additives. *Waste Management*, 27, 1829-1844.
- Metcalf and Eddy Inco. (2003). *Wastewater Engineering. Treatment and reuse, 4th ed.* McGraw Hill ed. New York.
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (España) (1990). *RD 1310/1990, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario*. Madrid, BOE 262 de 1-11-1990.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (España) (2013). *Orden Ministerial AAA 1072/2013, sobre utilización de lodos de depuración en el sector agrario*. Madrid, BOE 142 de 14-6-2013.
- Ministerio de la Presidencia (España) (2007). RD 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de aguas depuradas.

Novotny, V. (2003). *Water Quality*, 2^a ed. Ed. Wiley and Sons.

Núñez Zarur, J.R. y Peña Castro, M. (2018). Recuperación de sulfato de aluminio a partir de lodos generados en la planta de potabilización de la empresa Aguas de Cartagena, S.A.E.S.P. Y estudio de la viabilidad económica de su reutilización como coagulante. Tesis. Universidad de Cartagena (Colombia). Recuperado de <http://hdl.handle.net/11227/125>

Primo Yúfera, E., Carrasco Dorrién, J.M. (1981). *Química Agrícola. I. Suelos y Fertilizantes*. Ed. Alhambra. Madrid.

Ramírez Quirós, F. (2008). Lodos producidos en el tratamiento del agua potable. *Técnica Industrial*, 275, 46-52.

Rodier, J. (2011). *Análisis de Aguas*. Ed. Omega, Madrid.

Samhan, O., Ghobrial, F, Al-Muzaini, S. and Hamoda, M.F. (1990). Wastewater sludge characteristics in relation to potential dewatering technologies-A case study. *J. of Environmental Sci. and Health. Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology* 25 (4), 367-379.

Spinosa, L. (1985). Technological characterization of sewage sludge. *Waste Management and research*, 3 (1), 389-398.

Tchobonaglou, G. and E. D. Schroeder (1985). *Water Quality*. Ed. Addison-Wesley Pub.

Torres, P., Hernández, D. y Paredes, D. (2012). Uso productivo de lodos de plantas de tratamiento de agua potable en la fabricación de ladrillos cerámicos. *Revista Ingeniería de Construcción*, 27, 145-154.

Unión Europea, Reglamento Europeo 2020/741 de 25 de mayo de 2020 sobre requisitos mínimos para la reutilización de aguas. Diario Oficial de la Unión Europea de 5-6-2020.