Joaquín Melgarejo Moreno
(Editor)

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante
Excmo. Ayuntamiento de Orihuela
INSTITUTO UNIVERSITARIO DEL AGUA
Y DE LAS CIENCIAS AMBIENTALES
Medio Ambiente
Concejalía
HIDRAQUA

JOAQUÍN MELGAREJO MORENO (EDITOR)

Congreso Nacional del Agua Orihuela

Innovación y Sostenibilidad

CONGRESO NACIONAL DEL AGUA ORIHUELA

Coordinado por:
Patricia Fernández Aracil

Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Excmo. Ayuntamiento de Orihuela

INSTITUTO UNIVERSITARIO DEL AGUA Y DE LAS CIENCIAS AMBIENTALES

Medio Ambiente
Ayuntamiento de Orihuela
Concejalía

HIDRAQUA

Cátedra del Agua
DIPUTACIÓN DE ALICANTE
UNIVERSIDAD DE ALICANTE

sedeagua
ICALI WATER LAWYERS

DIPUTACIÓN DE ALICANTE

AEDyR
ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE DESALACIÓN y REUTILIZACIÓN

CAMPUSHABITAT5U

ineca
Instituto Estudios Económicos
Provincia Alicante

© los autores, 2019
© de esta edición: Universitat d'Alacant

ISBN: 978-84-1302-034-1

Reservados todos los derechos. No se permite reproducir, almacenar en sistemas de recuperación de la información, ni transmitir alguna parte de esta publicación, cualquiera que sea el medio empleado -electrónico, mecánico, fotocopia, grabación, etcétera-, sin el permiso previo de los titulares de la propiedad intelectual.

ELECTROCOAGULACIÓN EN FANGOS SECUNDARIOS EN LA EDAR DE NOVELDA – MONFORTE DEL CID. EFECTOS SOBRE LA DIGESTIÓN ANAEROBIA

Alejandro Aldeguer[1]
Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales, Universidad de Alicante
Daniel Prats
Instituto Universitario del Agua y de las Ciencias Ambientales, Universidad de Alicante
Abel Seller
EDAR Novelda – Monforte del CID, Depuración de Aguas del Mediterráneo

RESUMEN

En el presente trabajo, surge de la necesidad de cambiar el sistema de flotación de la EDAR, por el proceso de electrocoagulación en los fangos secundarios. Para estudiar la electrocoagulación se realiza el estudio en un digestor anaerobio piloto en dichas instalaciones. El proyecto de investigación consta de dos fases. La primera fase es la puesta en marcha del digestor anaerobio piloto logrando la estabilidad del proceso de digestión anaerobia y comprobando si existe similitud con el digestor anaerobio de la EDAR siendo ambos alimentados con fangos mixtos. La segunda fase, es el estudio de las características de los fangos secundarios electrocoagulados y comprobar si existe similitud entre el digestor anaerobio de la EDAR y el digestor anaerobio piloto siendo este alimentado por los fangos secundarios electrocoagulados y fangos primarios. Se demostró que mediante este sistema se consiguen una similitud entre el digestor anaerobio de la EDAR y el digestor anaerobio piloto para los parámetros analizados: DQO, AGV, TAC, MS, MV, pH. Además, tras la electrocoagulación, se observa un espesamiento en el fango flotante y en el clarificado una baja concentración de sólidos en suspensión y a su vez una disminución del nitrógeno total comparando con fango secundario sin tratar.

1. INTRODUCCIÓN

La digestión anaerobia ha sido empleada durante muchos años en el tratamiento de aguas residuales urbanas e industriales con altos contenidos en materia orgánica. Con el paso del tiempo y con los avances tecnológicos se intenta perseguir mejoras en este tipo

[1] ORCID del autor Alejandro Aldeguer: 0000-0003-1052-2892.

de tratamiento para lograr el objetivo de reducir los tiempos de retención, la demanda química de oxígeno, los costes operacionales, los tratamientos físico – químicos… para conseguir que el fango que se obtiene tras los procesos posea un alto porcentaje de espesamiento y el agua resultante una baja concentración en sólidos en suspensión para facilitar su uso posterior.

Por esta razón de mejorar la funcionalidad y rendimiento en la depuración de aguas, ha surgido el proceso de electrocoagulación. La electrocoagulación se basa principalmente en un proceso electroquímico mediante el cual se degrada la materia orgánica contaminante de un agua residual. El proceso consiste en someter al vertido una corriente eléctrica, haciendo que se desestabilicen los contaminantes suspendidos o disueltos en el agua. Tras esta reacción, los contaminantes precipitan formando un fango, que se puede eliminar mediante decantación o flotación con sistemas convencionales.

En la electrocoagulación, los agentes desestabilizantes se producen in situ, disminuyendo o neutralizando las cargas en una suspensión coloidal, formando agregados que pueden ser retirados por medios mecánicos más fácilmente. Y el agua que se obtiene es hidrolizada, es decir, se producen burbujas de oxígeno en el ánodo y de hidrógeno en el cátodo. Estas burbujas ayudan a que los flóculos, con el contaminante, vayan a la superficie para una fácil separación.

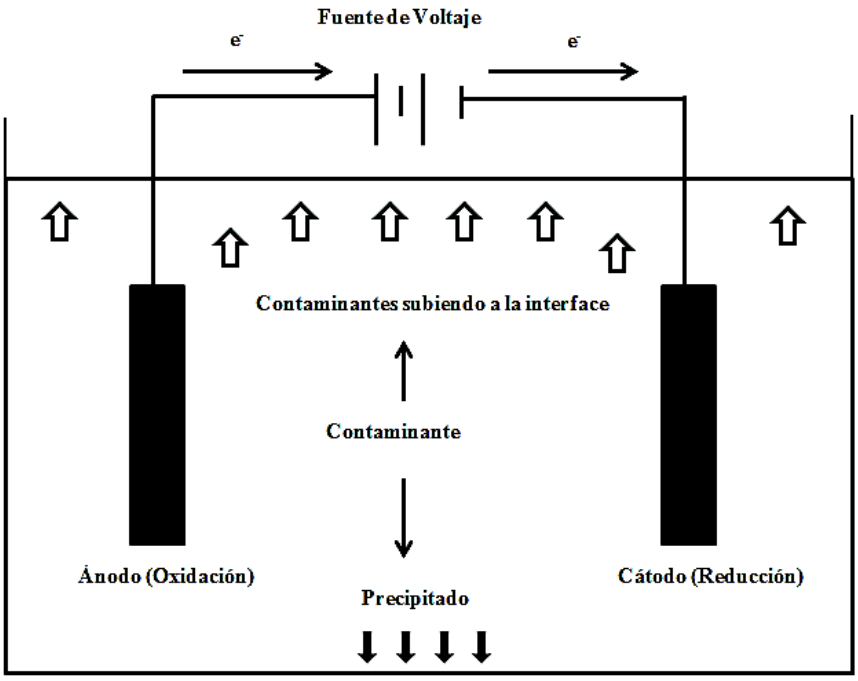

Figura 1. Proceso de electrocoagulación.

Por esa razón, el presente estudio ha surgido de la necesidad de cambiar una de las tecnologías de la planta, el sistema de flotación de los fangos secundarios, para ser sustituido por el sistema de electrocoagulación para poder ahorrar en el consumo

energético, compuestos químicos, agua y obtener un espesado igual o mayor al que se obtenía antes a través del sistema de flotación.

Cabe comentar que el estudio se ha organizado en dos fases, por lo que se podrán diferenciar dos objetivos, son:

La primera fase, es la puesta en marcha del digestor anaerobio piloto. Para ello se persigue, que dicho digestor sea capaz de trabajar con los mismos parámetros de funcionamiento que el digestor anaerobio de la EDAR, logrando la estabilidad del proceso de digestión anaerobia. Por lo que para ello, este digestor ha sido alimentado con los mismos fangos mixtos con los que se ha alimentado el digestor anaerobio de la EDAR. Asimismo, se han llevado a cabo, distintos análisis, como: DQO, TAC, AGV, AGV/TAC, pH, temperatura del fango digerido del digestor anaerobio piloto y control de la producción de biogás.

Después de conseguir la estabilización del proceso, el siguiente objetivo, segunda fase, es el estudio de la electrocoagulación de los fangos secundarios sobre el proceso de digestión anaerobia en el digestor anaerobio piloto y posterior comprobación de si existe similitud con el digestor anaerobio de la EDAR. Para ello se ha diseñado un depósito anexo, celda de electrocoagulación, donde se realizará previamente el proceso de electrocoagulación, variando los tiempos de aplicación para la intensidad y tensión y para el tiempo de reposo del fango electrocoagulado. Entre los parámetros analizados, se investigará la disminución de la concentración de sólidos en suspensión en el clarificado y el aumento de la concentración de sólidos en suspensión del fango flotante. Además, se estudiará la disminución del nitrógeno total tras la electrocoagulación, el control de la producción de biogás y la calidad del biogás generado por el digestor anaerobio piloto.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Celda de electrocoagulación

Se empleó un depósito de PVC cuyo volumen de capacidad es de 1 m^3. En uno de los extremos está marcado un sistema de medición del volumen para poder determinar cuánto volumen de fango posee el depósito en ese momento. Posee una apertura en la parte de arriba para poder colocar las planchas de hierro, de 1 m^2 de área, las cuales ejercerán de función de los dos electrodos (ánodo y cátodo) y para poder recoger las muestras del fango que está flotando después de la electrocoagulación. Además, posee dos aperturas más para poder retirar el fango decantado o el clarificado, tras el proceso de electrocoagulación.

2.2. Sistemas electrónicos y mecánicos para el procedimiento de electrocoagulación

Se dispone de un panel de corriente eléctrica, mediante el cual se regula la tensión e intensidad que se desea aplicar al fango para electrocoagular. Además, a través del sistema informático de la depuradora, SCADA, se regula también los tiempos de aplicación y de reposo de suministrar la corriente eléctrica. Por último, se dispone también de una bomba de aire a presión, debido a que antes de iniciar un nuevo procedimiento se aplica durante unos segundos un chorro de aire a presión para favorecer que el fango depositado de abajo y el de arribe logren una mezcla homogénea perfecta.

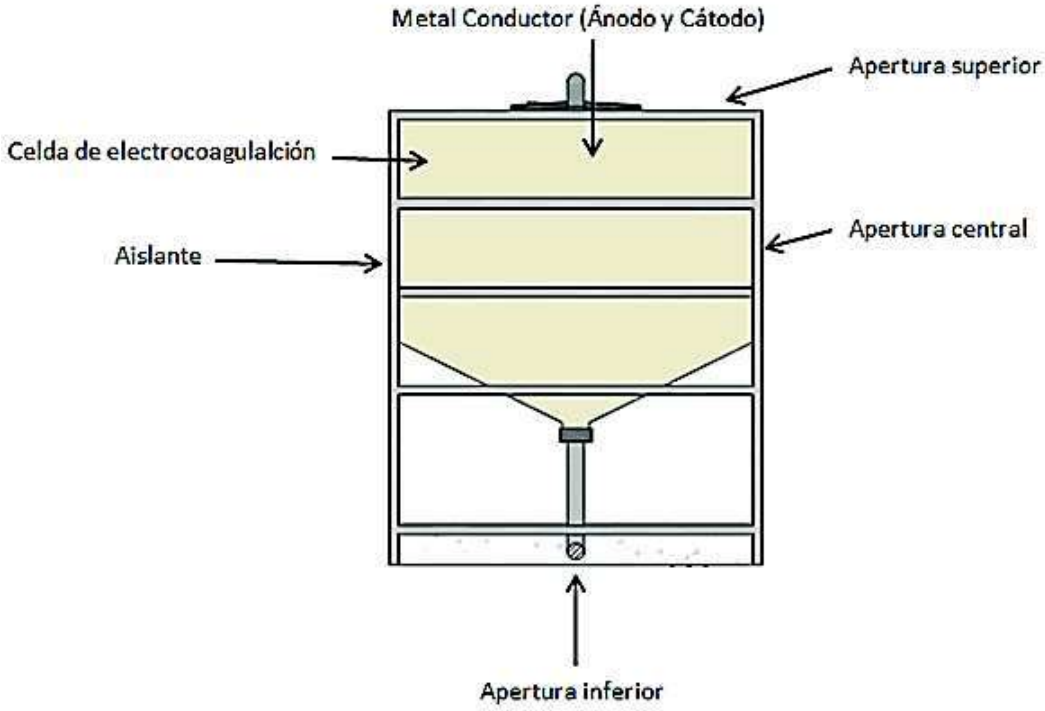

Figura 2. Esquema de la celda de electrocoagulación.

2.3. Métodos analíticos

Se menciona cada uno de los ensayos que se realizaron en ambas fases del proyecto y han sido realizados según el método del libro: Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 1989.

Los análisis que se realizaron fueron: Determinación de la DQO, TAC, AGV, pH, temperatura del fango digerido del digestor anaerobio piloto, control de la producción de biogás, calidad del biogás y N_{Total}. Todos los análisis, mediciones y/o controles realizados, se hicieron en las instalaciones de la EDAR de Novelda – Monforte del Cid.

3. RESULTADOS

3.1. Fase 1

Conseguir la estabilización del digestor anaerobio piloto utilizando como alimento fangos mixtos de la propia EDAR y comparar si existe similitud con los parámetros del digestor anaerobio de la EDAR.

La tabla 1, nos muestra los resultados obtenidos de los diferentes análisis realizados desde el día 16/04/2014 hasta el día 06/05/2014. Podemos observar que existe cierta similitud a través de los parámetros analizados, entre el digestor anaerobio piloto y el digestor anaerobio de la EDAR.

Tabla 1. Resultados finales de la fase 1 de ambos digestores anaerobios y de su variación.

Fase		TAC	AGV	AGV/TAC	DQO	pH	MS	MV
		(mg $CaCO_3$/l)	(mg $CaCO_3$/l)		(mg O_2/l)		(%)	(%)
1º	Digestor anaerobio de la EDAR	3164	198	0,063	22580	7,27	1,71	68,53
	Digestor anaerobio piloto	3314	185	0,056	20180	7,27	1,56	66,97
	Variación (%)	5	-6	-11	-11	0	-9	-2

También, se realizó un control de la producción de biogás generado en el digestor anaerobio piloto mientras era alimentado diariamente con 75 litros de fangos mixtos procedentes de la EDAR. Se puede ver en la figura 1.

Podemos observar que para el día 23/04/2014 hay una disminución significativa de la producción de biogás, pero del día siguiente vuelve a aumentar dicha producción a niveles normales. Pero también ocurre lo mismo el día 09/05/2014 que cae hasta niveles mínimos, pero siendo en este caso porque el digestor anaerobio piloto estuvo dos días sin ser alimentado con ningún tipo de fango.

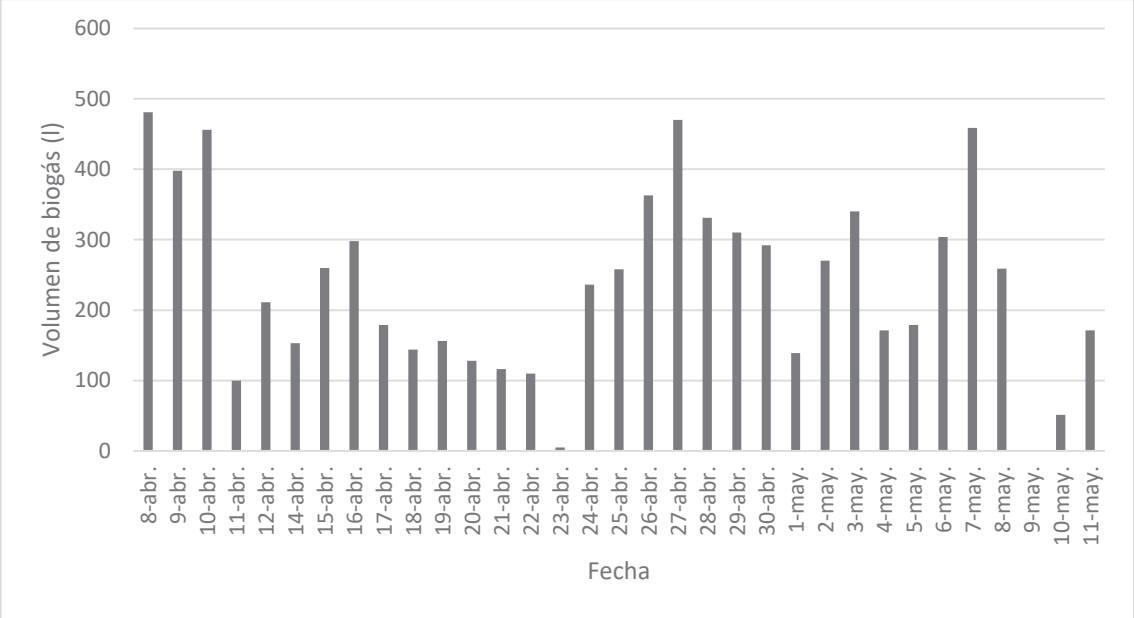

Figura 3. Producción de biogás del digestor anaerobio piloto.

Y, por último, la relación de la producción del biogás generado por el digestor anaerobio piloto y los kg de MV/día. Se puede ver en la figura 4.

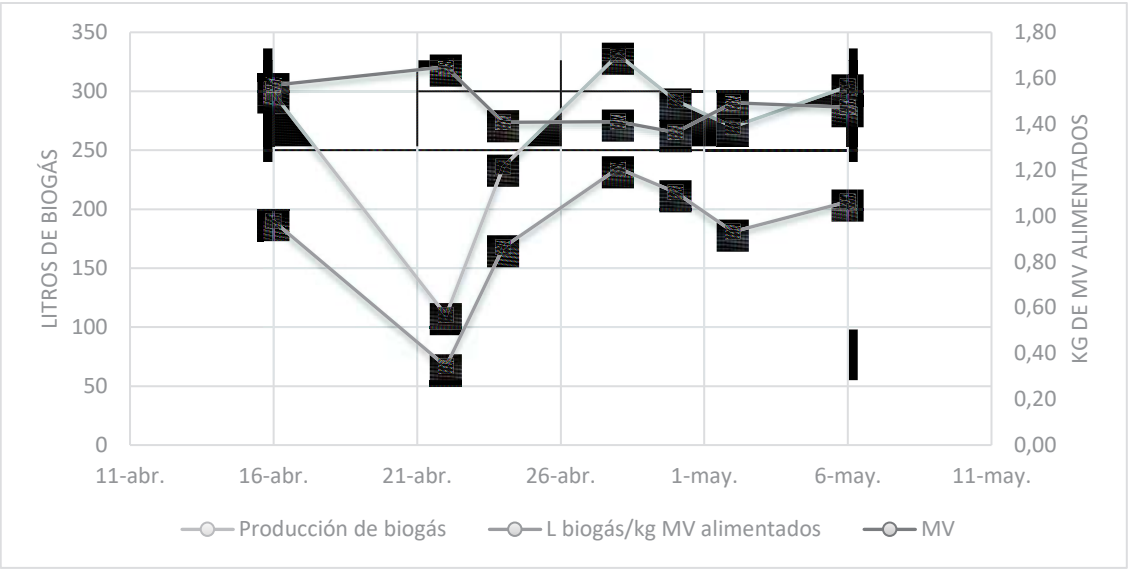

Figura 4. Representación de litros de biogás y kg MV/día.

En la que se observa que aunque disminuya la producción de biogás en el digestor anaerobio piloto no quiere significar que exista un fallo en el proceso de digestión anaerobia, sino que no existe una proporción idónea de kg de MV que usamos para alimentar el digestor anaerobio piloto.

3.2. Fase 2

Estudio de los efectos de la electrocoagulación de fangos secundarios en el digestor anaerobio piloto y posterior comprobación de si existe similitud con el digestor anaerobio de la EDAR.

Durante las dos primeras semanas de esta fase, cada día, se realizarán diversos experimentos con diferentes variables en los tiempos de aplicación, tiempos de reposo, intensidad y tensión para poder comprobar cuál es el parámetro más idóneo para escoger y realizar nuestro estudio sobre electrocoagulación en fangos secundarios. Al final, nos decantamos por el experimento que estaba basado en:

1. Primera Etapa. Aplicamos una tensión de 15 voltios y una intensidad de 11 amperios, durante 30 minutos de tiempo de aplicación y 45 minutos de tiempo de reposo.

2. Segunda Etapa. Aplicamos una tensión de 15 voltios y una intensidad de 11 amperios, durante 60 minutos de tiempo de aplicación y 45 minutos de tiempo de reposo.

Esto es debido porque a través de este parámetro, conseguimos que el clarificado tenga menos concentración de sólidos en suspensión y que el fango que está flotando posea una mayor concentración de sólidos en suspensión en relación a los otros experimentos realizados.
La tabla 2., nos muestra los resultados obtenidos de los diferentes análisis realizados desde el día 26/05/2014 hasta el día 05/06/2014. Podemos observar que existe cierta similitud a través de los parámetros analizados, entre el digestor anaerobio piloto y el digestor anaerobio de la EDAR.

Tabla 2. Resultados finales de la fase 2 de ambos digestores anaerobios y de su variación.

Fase		TAC (mg $CaCO_3$/l)	AGV (mg $CaCO_3$/l)	AGV/TAC	DQO (mg O_2/l)	pH	MS (%)	MV (%)
2º	Digestor anaerobio de la EDAR	3039	183	0,060	23553	7,20	1,77	70,24
	Digestor anaerobio piloto	3185	182	0,058	19683	7,23	1,54	68,10
	Variación (%)	5	0	-4	-16	0	-13	-3

También, se realizó un control de la producción de biogás generado en el digestor anaerobio piloto mientras era alimentado diariamente con 50 litros de fangos espesados de la etapa A y 50 litros de fangos procedentes del proceso de electrocoagulación (25 litros de fango decantado y 25 litros de fango flotante). Se puede ver en la figura 5.

Podemos observar que para el día 29/05/2014 hay una disminución significativa de la producción de biogás, pero a partir del día 31/05/2014 llega hasta su punto más alto y a partir de ahí va bajando lentamente hasta el día 04/06/2014 donde vuelve a aumentar la producción de biogás y parece mantenerse estable hasta el último día. Podemos pensar, que esos picos de descenso en la producción de biogás son debido a que el día anterior fue alimentado con fangos mixtos, en vez de fangos espesado de la etapa A y los fangos producidos en el proceso de electrocoagulación y a su vez con un menor volumen de alimentación.

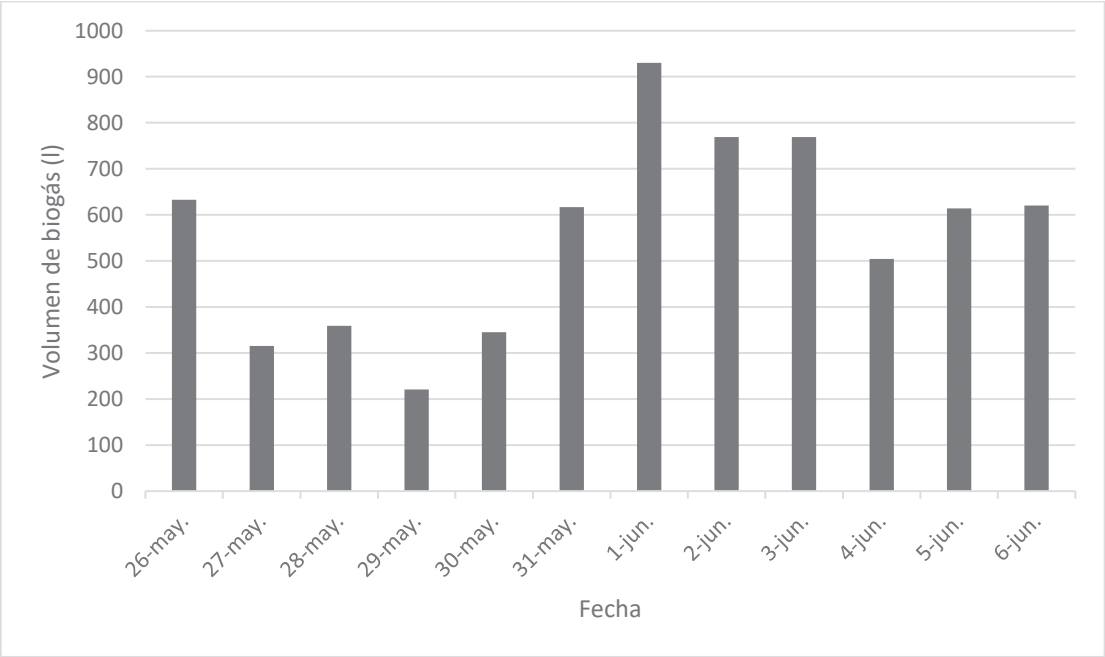

Figura 5. Producción de biogás del digestor anaerobio piloto.

Además, en la relación de la producción del biogás generado por el digestor anaerobio piloto y los kg de MV/día. Se puede ver en la figura 6.

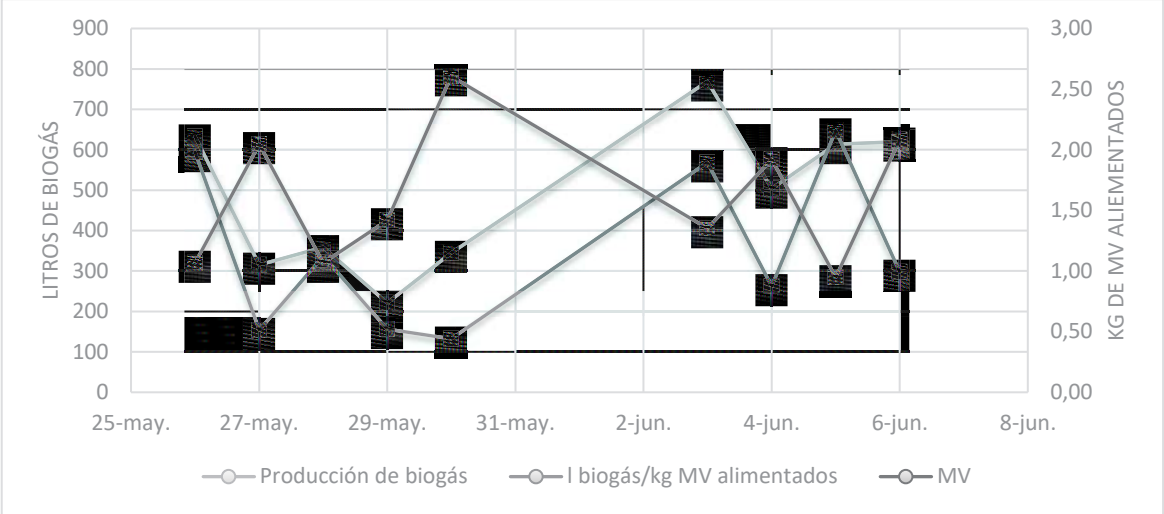

Figura 6. Representación de litros de biogás y kg MV/día.

En la que se observa que, aunque disminuya la producción de biogás en el digestor anaerobio piloto no quiere significar que exista un fallo en el proceso de digestión anaerobia, sino que no existe una proporción idónea de kg de MV que usamos para alimentar el digestor anaerobio piloto.

En lo referido al N_{Total}, los resultados obtenidos en el fango secundario antes de ser electrocoagulado y el clarificado que obtenemos después de la electrocoagulación, se puede ver que a través del proceso de electrocoagulación existe un porcentaje de eliminación de N_{Total} considerable. Se puede ver en la tabla 3.

Tabla 3. Resultados del N_{Total} del fango secundario y del clarificado.

Nitrógeno Total			
Fecha	Fango secundario	Clarificado	Reducción de N_{Total}
	(mg/l)	(mg/l)	(%)
16/05/2014	16,60	9,48	42,89
22/05/2014	12,50	9,46	24,32
29/05/2014	24,80	16,30	34,27
03/06/2014	38,40	12,80	66,67
05/06/2014	14,80	12,40	16,22
Promedio	21,42	12,09	36,87

Por último, en las cualidades del fango flotante y del clarificado, tras el proceso de electrocoagulación, podemos observar en los datos de la tabla 4., que existe un espesamiento en el fango flotante y que la concentración de sólidos en suspensión del clarificado es baja.

Tabla 4. Resultados finales de los experimentos de electrocoagulación.

Fecha	Fango secundario		Fango flotando		Clarificado	Fango decantado	
	SS	SSV	MS	MV	SS	SS	SSV
	(mg/l)	(%)	(%)	(%)	(mg/l)	(mg/l)	(%)
26/05/2014	11533	85,84	2,88	85,21	2760	10467	85,99
27/05/2014	7400	84,21	3,60	86,19	315	9833	87,21
29/05/2014	6000	83,33	3,53	84,97	150	8733	91,98
30/05/2014	6467	78,87	3,13	84,43	200	9333	84,64
03/06/2014	5900	76,84	3,33	84,45	117	9475	84,96
04/06/2014	6000	96,67	3,11	84,50	390	9600	84,72
05/06/2014	3900	80,34	3,50	84,90	44	10233	85,99
06/06/2014	3567	94,39	3,47	84,66	320	9867	88,18
Promedio	6346	85,06	3,32	84,91	537	9693	86,71

4. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados presentados, podemos observar que el digestor anaerobio piloto ha logrado alcanzar la estabilidad y trabajar dentro del rango de parámetros que definen el funcionamiento del digestor anaerobio de la EDAR, tanto si es alimentado en la primera fase con fangos mixtos, como si es alimentado en la segunda fase con fangos de la etapa A y fangos secundarios electrocoagulados.

Sobre el N_{Total}, mediante los analisis realizados al fango secundario antes de ser electrocoagulado y al clarificado obtenido despues de la electrocoagulación se consigue un promedio de reducción del N_{Total} alrededor del 36,87 %. A través de la bibliografía, (Emamjomeh, M.M., Sivakumar, M., 2005), se afirma que la eficacia de la eliminación depende sobretodo del tiempo de electrólisis y de las características de la corriente.

Como hemos podido observar, también existe una relación entre litros de biogás y kg MV/día. Esto nos servira para poder comprobar, si en el caso que un digestor anaerobio produjera una baja cantidad de biogás, al conocer esta relación sabriamos cuanto kg de MV se deberia aportar para poder aumentar dicha producción de biogás.

Se estima que a traves de los experimentos con electrocoagulación realizados en el fango secundario proveniente de la EDAR de Novelda – Monforte del Cid, se consigue una baja concentración de los sólidos en suspensión en el clarificado y una alta concentración de los sólidos en suspensión en el fango flotante. Como hemos podidoobservar en la tabla 4.

Sabiendo que la concentración del fango mediante el sistema de flotación oscila entre los valores del 3 y 4 %, podemos decir que, con el sistema de electrocoagulación

conseguimos estar entre esos margenes con un 3,32 % de MS para el fango flotante. Por lo tanto, el sistema de electrocoagulación consigue estar entre los valoresdel sistema de flotación.

Por último, no hemos podido estudiar a fondo si existe un ahorro en los costes económicos, sin embargo, en la bibliografía de Martínez, F., 2007., se afirma que los costes operativos de los procesos de electrocoagulación en la línea de aguas son más bajos que los correspondientes a los tratamientos físico-químicos convencionales, aunque la inversión necesaria es algo superior.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación forma parte de un convenio colaborativo por parte de Depuración de Aguas del Mediterráneo (DAM) y el Instituto del Agua y las Ciencias Ambientales (IUACA) de la Universidad de Alicante.

REFERENCIAS

AGUILAR, M.I., SÁEZ, J., LLORÉNS, M., SOLER, A. y ORTUÑO, J.F. **(**2002**)**. *Tratamiento físico-químico de aguas residuales: coagulación-floculación.*

ARANGO, A. y GARCÉS, L.F., (2007). *Diseño de una celda de Electrocoagulación para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.*

CEDEX. (2007). *XXV Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras.* Ministerio de Medio Ambiente.

EMAMJOMEH, M.M. y SIVAKUMAR, M. (2005). *Review of pollutants removed by electrocoagulation and electrocoagulation/flotation processes.*

FERNÁNDEZ, J. y CURT, M.D. (2012). *Métodos Analíticos para aguas residuales.*

HERNÁNDEZ, P.S. (2011). *Investigación sobre procesos avanzados de tratamiento y depuración de las aguas mediante electrocoagulación.*

JOVER, M. (2014). *Tratamiento de fangos*. Apuntes del Máster en Gestión Sostenible y Tecnologías del agua, IUACA, Módulo 4 (Estaciones de tratamiento).

LÓPEZ, J. (1989). *Digestión anaerobia de lodos de depuradora. Etapas controlantes y cinética del proceso.* Universidad de Alicante.

MARTÍ, N. (2002). *Phosphorus Precipitation in Anaerobic Digestion Process*.

MARTÍN, A. (2014). *Digestión anaerobia.* Apuntes del Máster en Gestión Sostenible y Tecnologías del Agua, IUACA, Modulo 3 (Tecnologías para el Tratamiento).

MARTÍNEZ, F. (2007). *Tratamiento de aguas residuales industriales mediante electrocoagulación y coagulación convencional.*

METCALF y EDDY. (1995). *Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización*. 3ª edición, editorial McGraw Hill.

RODRIGUÉZ, J.A. (2001). *Estudio comparativo de diferentes tecnologías de higienización de lodos de depuradora con fines para su reutilización.*

TRAPOTE, A. (2014). *Tratamiento de aguas residuales urbanas*. Apuntes del Máster en Gestión Sostenible y Tecnologías del Agua, IUACA, Módulo 4 (Estaciones de tratamiento).

VALENZUELA, J.A. (2008). *Aplicación de electrocoagulación y electrofloculación para el tratamiento de aguas residuales industriales con fines de reutilización.*

VERA, J.I. (2013). *Diseño, construcción y puesta en funcionamiento de un banco de pruebas de digestión anaerobia.*

VVAA. (1989). *Standard Methods for the Examination of Water and Wasterwater*, 17º edición, editorials APHA, AWWA, WPCF.

SAV S.A. y DAM, (2002). Instrucciones de trabajo de laboratorio.