

Estudio piloto para la evaluación de la aplicabilidad en Galicia de sistemas de deshidratación de fangos a través de humedales subsuperficiales de flujo vertical.

Costoya, T.^{a1}; Poncet, J.^b y Verde, R.^{a2}

^aAdantia, S.L. Edif. Área Central, 1ª planta, L 32-K (Fontiñas), 15.707 Santiago de Compostela ^{a1}t.costoya@adantia.es, ^{a2}r.verde@adantia.es.

^bE.P.E. Augas de Galicia. Dr. Maceira 18 Bajo, 15706 Santiago de Compostela. ^bjudith.poncet@xunta.gal

Línea temática C | Agua y ciudad

RESUMEN

El presente trabajo pretende valorar la viabilidad de la implantación en Galicia de humedales subsuperficiales de flujo vertical para el tratamiento de los fangos generados en EDAR que sirven a pequeñas poblaciones. Para ello se realiza un experimento consistente en la instalación en la EDAR de Touro de dos ensayos piloto sobre los que se aplica el fango espesado generado en la misma. El control de los ensayos piloto se realiza a través del análisis del lixiviado generado durante la aplicación del fango y, con menor frecuencia, el análisis de la costra de fango superficial. A pesar de que aún deben valorarse los resultados a largo plazo, los resultados obtenidos hasta el momento permiten ser optimistas en relación con la calidad del fango deshidratado obtenida y la calidad del lixiviado por lo que ésta podría ser una opción muy competitiva para el tratamiento de fangos siempre y cuando la disposición de terrenos se tenga en cuenta en la concepción inicial de la depuradora.

Palabras clave | humedal subsuperficial de flujo vertical; era de secado; deshidratación; drenaje; lixiviado; Thypa; Iris

INTRODUCCIÓN

La depuración de las aguas residuales exige una buena caracterización del afluente a la EDAR, así como una cuidadosa selección de la tecnología ideal para el tratamiento tanto de las aguas residuales como de los fangos generados, teniendo en cuenta las necesidades de tratamiento, el coste de implantación, la disponibilidad de espacio para su implantación, la facilidad de explotación y los costes asociados, factores ambientales y sociales, etc.

El tratamiento de fangos a través de humedales subsuperficiales de flujo vertical es un sistema natural que deshidrata y al mismo tiempo estabiliza el fango de depuradoras biológicas mediante eras de secado plantadas con diferentes especies de ambientes húmedos tales como cañas y juncos.

El fango líquido producido en la purga de la EDAR se dosifica en los humedales donde la acción de las plantas y del aire lo van secando y estabilizando de manera totalmente natural y sin costes.

Una parte del agua contenida en el fango se evapora, otra se absorbe por las plantas y la mayor parte se infiltra obteniéndose un lixiviado de aceptable calidad que se retornaría a cabecera de planta para su tratamiento.

Los únicos costes de este sistema serían la corta de las cañas todos los inviernos para favorecer su rebrote y periódicamente, cada 5/10 años, renovar todo el sistema (retirada de plantas, fangos y capas de drenaje).

Este tratamiento presenta como ventajas un bajo coste de implantación, un bajo coste de mantenimiento, que la mano de obra no necesita una cualificación especial y que no se utilizan reactivos. Como inconvenientes estaría la alta superficie ocupada, la necesidad puntual de mano de obra y la posibilidad de que se generen afecciones ambientales (olores, vectores sanitarios).

Puede observarse que los inconvenientes relatados disminuyen notablemente cuando se tiene acceso a superficies de implantación amplias y apartadas de las zonas urbanizadas. La configuración del rural gallego, con un gran número de

poblaciones de pequeño tamaño podría ser muy adecuada para la implantación de este tipo de instalaciones, sin embargo, su presencia es muy escasa. La influencia del clima (precipitaciones, viento, temperatura, etc.) en el proceso es significativa y puede ser un motivo de peso para frenar su desarrollo en Galicia

El objetivo del estudio es valorar la idoneidad del método para su aplicación en Galicia, en pequeñas EDAR que no cuentan con equipos de deshidratación. Debido a la alta incidencia que tiene el clima en este método resulta muy interesante valorar su aplicabilidad de forma experimental.

La valoración de la idoneidad del método se realizará a través de los resultados obtenidos en dos ensayos piloto instalados en la EDAR de Touro.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño del experimento

El experimento queda configurado con la instalación de dos ensayos piloto, formados por sendos contenedores (dos GRG de aproximadamente 1 m³ cada uno) dotados con tubos de ventilación y drenaje en los que se ha aplicado una capa de grava de 18 cm de espesor, otra de gravilla de 20 cm y, finalmente, una capa de arena de 15 cm de espesor. La configuración de ambos es idéntica salvo que uno se ha dejado tal cual (Piloto 1) y en el otro se ha plantado vegetación del género *Typha* e *Iris* (Piloto 2).



Figura 1 | Proceso de construcción de ensayos piloto.

Para la aplicación del fango espesado se utiliza una bomba sumergible, que envía éste desde el espesador hasta los dos ensayos piloto. Transcurridos unos minutos, tras atravesar todas las capas de áridos, comienza a brotar por la parte inferior un lixiviado (o efluente clarificado) que se lleva a cabecera de planta por gravedad mediante mangueras.



Figura 2 | Aplicación de fango y recogida lixiviado.

En cada aplicación se toma muestra del fango espesado y muestras del lixiviado de ambos ensayos. También se toma muestra de la costra de fango que se va formando, aunque con una periodicidad mucho menor.

Carga aplicada

Se ha establecido como carga de diseño para el primer año del humedal 20 kg M.S./m²/año, tomando como referencia los valores recomendados para países como Francia o Bélgica, más próximos a la climatología de Galicia que la referencia para España, que está referida a la zona seca de la península.

Tabla 1 | Carga superficial de fangos aplicables a los humedales artificiales

País	Carga de diseño (kg MS/m ² ·año)
Estados Unidos	30
Francia	25 (recomendado 18 kg MS/m ² ·año el primer año y posibilidad de aumentar hasta 60 kg MS/m ² ·año cuando el humedal está estabilizado)
Bélgica	20-30 para fangos estabilizados vía aerobia, con un contenido del 45-65% en materia orgánica
Dinamarca	60 para fangos procedentes de sistemas de fangos activos con una elevada edad del fango (> 20 días) 50 para el resto
España	50-60

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carga aplicada

Con carácter general, la aplicación se ha realizado de forma mensual tratando de dosificar en cada operación una carga de 2 kg M.S., para conseguir una carga total anual de 24 kg M.S., lo que se corresponde con la carga anteriormente indicada considerando que la superficie horizontal del humedal es de 1,2 m².

Tabla 2 | Registro de aplicaciones de fango espesado a los humedales.

Fecha	Vaplicado	Sólidos en Suspensión	Carga aplicada	Carga acumulada
	(l)	(mg/l)	(kg MS)	(kg MS)
16/02/2016	266	5720	1.52	1.52
11/03/2016	350	11840	4.14	5.66
04/05/2016	169	9430	1.59	7.25
09/06/2016	212	14080	2.99	10.24
08/07/2016	213	9293	1.98	12.22
09/08/2016	215	3600	0.77	13
09/09/2016	250	12520	3.13	16.13
06/10/2016	200	14590	2.92	19.04
04/11/2016	200	15960	3.19	22.24
13/01/2017	200	6570	1.31	23.55
22/02/2017	250	4670	1.17	24.72
07/04/2017	250	5380	1.35	26.06
26/05/2017	333	7320	2.44	28.5

En cada aplicación se intentó estimar el volumen necesario para realizar una aplicación de 2 kg MS, sin embargo, debido a las grandes fluctuaciones de la concentración de sólidos en el fango espesado, la carga aplicada varió entre 0,77 kg M.S. y 4,14 kg M.S. El valor medio resultante a lo largo de todo el período resultó de 1,9 kg M.S./mes, lo que equivale a 19 kg M.S./m²/año.

Análisis del lixiviado.

Para cada aplicación se tomó muestra del lixiviado generado, como una medida de control del funcionamiento. En la tabla 3 se recogen los resultados analíticos obtenidos:

Tabla 3 | Características del lixiviado generado tras la aplicación de fango espesado.

Fecha	Fango espesado		Sólidos en suspensión		Sólidos en suspensión volátiles	
	SS	SSV	Piloto 1 (S/P)	Piloto 2 (C/P)	Piloto 1 (S/P)	Piloto 2 (C/P)
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(%)	(%)
11/03/2016	11840	8300	5	18	0%	0%
04/05/2016	9430	5920	8		0%	
09/06/2016	14080	9700	35	40	86%	45%
08/07/2016	9293	6667	64	85	48%	45%
09/08/2016	3600	2620	376	252	34%	43%
09/09/2016	12520	8430	280	184	47%	59%
06/10/2016	14590	10100	148	36	68%	83%
04/11/2016	15960	11260	22	7	59%	71%
13/01/2017	6570	4810	20	201	75%	66%
22/02/2017	4670	3520	5160	74	72%	84%
07/04/2017	5380	3980	6940	99	61%	80%
26/05/2017	7320	4670	55	77	56%	56%

Fecha	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)		Demanda Química de Oxígeno (DQO)		Fósforo total	
	Piloto 1 (S/P)	Piloto 2 (C/P)	Piloto 1 (S/P)	Piloto 2 (C/P)	Piloto 1 (S/P)	Piloto 2 (C/P)
	(mg O ₂ /L)	(mg O ₂ /L)	(mg O ₂ /L)	(mg O ₂ /L)	(mg P/L)	(mg P/L)
11/03/2016	0	0	0	0	0.00	0.00
04/05/2016	0		27		0.14	
09/06/2016	18	6	82	26	0.40	0.23
08/07/2016	26	24	113	76		1.40
09/08/2016	100	75	251	229	6.00	5.30
09/09/2016	180	130	416	309	3.40	2.10
06/10/2016	130	16	245	119	4.30	0.60
04/11/2016	6	0	81	21	0.26	0.00
13/01/2017	17	44	116	222	0.50	0.23
22/02/2017	1800	9	6320	59	184.00	0.63
07/04/2017	3600	100	8320	236	32.40	4.53
26/05/2017	75	16	165	86	0.72	1.41

Fecha	Nitrógeno amoniacal		Nitrógeno Nitrico		Nitrógeno total	
	Piloto 1 (S/P)	Piloto 2 (C/P)	Piloto 1 (S/P)	Piloto 2 (C/P)	Piloto 1 (S/P)	Piloto 2 (C/P)
	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)
11/03/2016	0.0	0.0	2.3	1.3	3.7	2.4
04/05/2016	0.0		26.9		34.8	
09/06/2016	13.1	6.4	104.9	75.5	141.2	92.2
08/07/2016	18.7	17.9	85.4	20.3	128.0	49.1
09/08/2016	38.1	45.9	0.0	0.1	141.7	103.6
09/09/2016	124.0	95.6	146.4	150.1	414.9	397.5
06/10/2016	28.2	16.8	178.5	205.7	275.0	246.0
04/11/2016	1.9	0.0	112.5	71.4	119.0	9.8
13/01/2017	5.9	10.8	47.9	13.8	58.0	34.0
22/02/2017	18.2	0.8	10.8	10.8	25.5	12.5
07/04/2017	11.0	2.7	7.5	10.8	115.0	86.0
26/05/2017	44.6	9.4	124.3	64.9	190.0	100.0

Fecha	pH		Escherichia coli	
	Piloto 1 (S/P)	Piloto 2 (C/P)	Piloto 1 (S/P)	Piloto 2 (C/P)
	Ud. pH	Ud. pH	(u.f.c./100 ml)	(u.f.c./100 ml)
11/03/2016	6.7	7.1	88	75
04/05/2016	6.7		7×10^3	
09/06/2016	7.1	7.4	5.2×10^2	23×10^2
08/07/2016	6.4	6.4	2.8×10^3	12×10^3
09/08/2016	6.6	6.4	21×10^3	31×10^3
09/09/2016	5.2	4.9	57×10^2	16×10^2
06/10/2016	4.5	4.8	14×10^2	6×10^2
04/11/2016	4.8	6.6	5×10^2	14
13/01/2017	5.9	6.4	14	34×10^3
22/02/2017	6.5	6.7	16×10^4	2.4×10^2
07/04/2017	6.4	6.4	45×10^3	16×10^3
26/05/2017	4.8	4.5	7×10^2	26×10^2

Los resultados obtenidos presentan variaciones importantes. A la hora de interpretar estos resultados los principales factores a tener en cuenta son la concentración y volumen de lodo aplicado y las condiciones climáticas previas al día en el que se aplica el fango en los humedales.

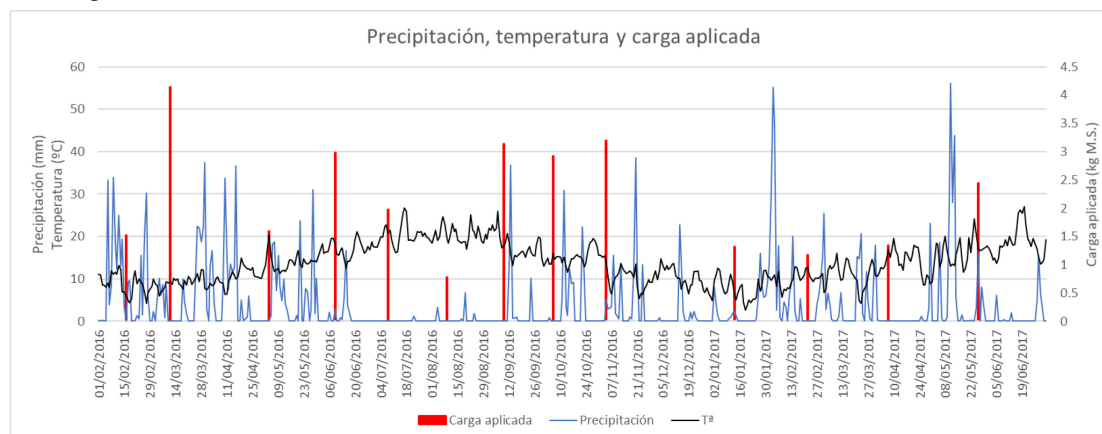


Figura 3 | Precipitación, temperatura y carga aplicada.

Puede observarse que en el período de junio a octubre de 2016 las precipitaciones fueron prácticamente nulas y continuaron siendo muy escasas hasta el mes de enero de 2017.



Figura 4 | Aspecto de la capa de lodo en superficie previo a la aplicación de fango en Piloto 1. Fechas: 11/3/16, 4/5/16, 9/6/16, 8/7/16, 9/8/16, 9/9/16, 6/10/16, 4/11/16, 13/1/17, 22/2/17, 7/4/17 y 26/5/17.

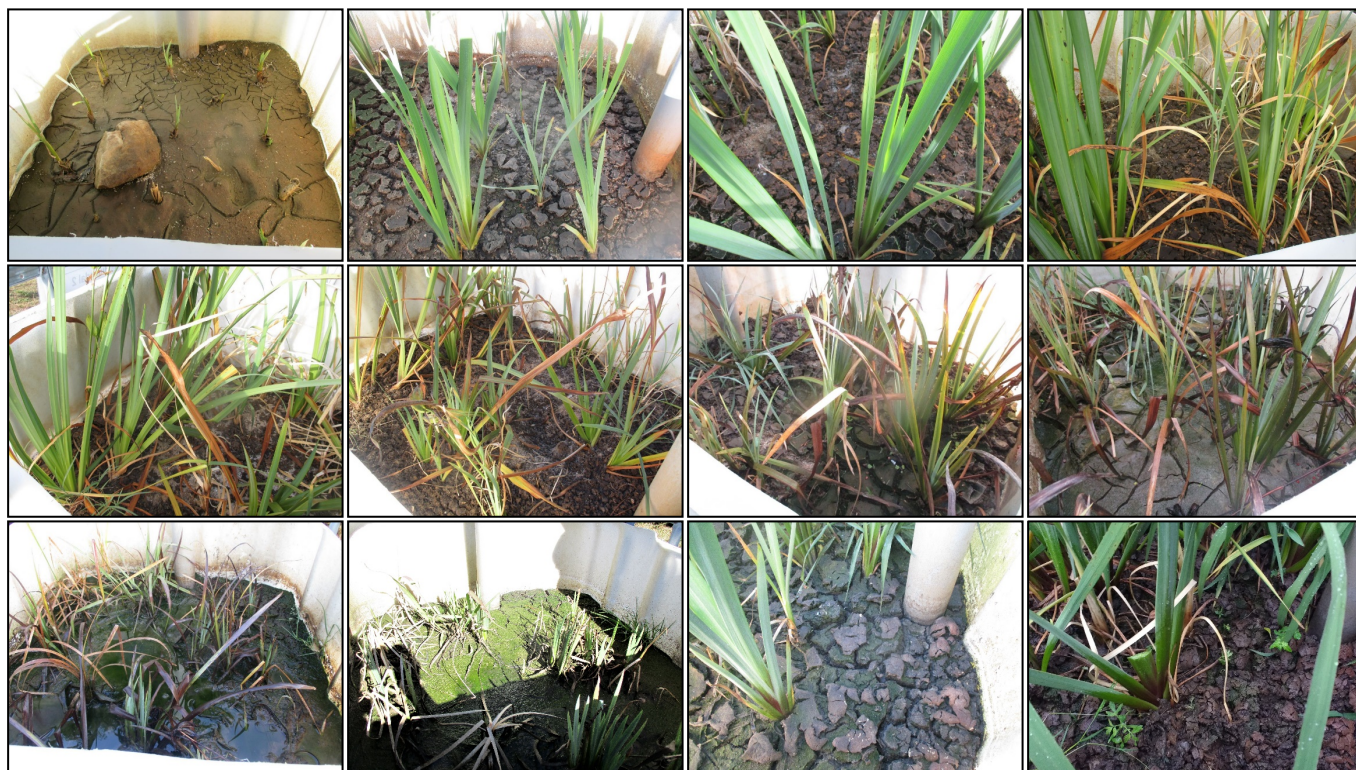


Figura 5 | Aspecto de la capa de lodo en superficie previo a la aplicación de fango en Piloto 2. Fechas: 11/3/16, 4/5/16, 9/6/16, 8/7/16, 9/8/16, 9/9/16, 6/10/16, 4/11/16, 13/1/17, 22/2/17, 7/4/17 y 26/5/17.

La ausencia de precipitaciones, unido a las altas temperaturas del período estival tienen un efecto importante en el estado de la capa de fango, observándose una disgregación importante de la misma durante este período. Por otra parte, a medida que la capa de fango se va haciendo más gruesa este efecto es menos evidente y afecta únicamente a la zona más superficial, de forma que se mantiene una capa de lodo continua que se convierte en una capa más del filtro.

En las figuras 4 y 5 se observa el aspecto de la capa superior de fango en el momento previo a la aplicación del fango espesado. Puede observarse que el fango presenta un aspecto similar en ambos ensayos piloto aunque, en términos generales, el piloto 2 (con plantas) presenta un grado de meteorización de la capa superficial algo menor.

En relación con los resultados analíticos del lixiviado, las cargas aplicadas, la climatología y el estado de la capa superficial de fango se realizan las siguientes consideraciones:

- No se dispone de muestra del ensayo Piloto 2 del día 4/5/16 debido a un tiempo de percolación excesivo.
- La concentración de sólidos en suspensión del fango espesado del 9/8/16 resulta anormalmente baja. Todo parece indicar que la muestra tomada podría no ser representativa (probablemente debido a algún error en la toma de muestras) especialmente si se compara con la concentración de sólidos en suspensión en el reactor biológico (3700 mg/l en el espesador frente 2780 mg/l en el reactor biológico) y teniendo en cuenta que no se registran cambios de operación en la purga.
- Las muestras del ensayo Piloto 1 recogidas los días 22/2/17 y 7/4/17 presentan cargas de contaminación altísimas. En ambos casos la velocidad de percolación fue muy alta lo que parece responder a un filtrado ineficiente debido a la existencia de caminos o vías preferenciales, o bien a la existencia de otro tipo de problema, ya que en la aplicación de fango del 26/5/17 se obtienen buenos resultados.
- Las cargas aplicadas han sido muy variables. Durante los meses de septiembre, octubre y noviembre se han dispuesto cargas muy altas de forma continuada, observándose una mejora paulatina de la calidad del lixiviado sin que se acusen problemas durante el filtrado. En el mes de diciembre, sin embargo, no fue posible la aplicación de fango debido a que se encontraron los dos ensayos piloto inundados (con una capa de agua en torno a 15 cm de espesor). La formación de una biopelícula en la salida de los contenedores estaba impidiendo el correcto vaciado de los mismos. Si bien este problema se resuelve fácilmente incrementando la frecuencia de las limpiezas (contralavado con agua) y diseñando secciones de desagüe amplias, debe tenerse en consideración por si pudiera llegar a ser un problema de explotación importante y debe estudiarse si existe una relación significativa entre el crecimiento de la biopelícula y la cantidad de carga aplicada.
- En términos generales los parámetros MES, DBO₅, DQO, P_{TOTAL} y N_{TOTAL} presentan comportamientos homogéneos, es decir, cuando un parámetro presenta valores altos el resto también.
- Las variaciones del nitrógeno amoniacal y nitrógeno nítrico no están ligadas al resto de parámetros, si no que parecen estar relacionadas con la capacidad de eliminación de nitrógeno del reactor biológico. Esto también se refleja en los valores de pH, que presentan variaciones importantes, registrándose valores bastante bajos. Así se observa que los valores más bajos de pH se registran al mismo tiempo que los valores más altos de nitrógeno nítrico y nitrógeno total (de lo que se deduce que se produce una acidificación del reactor biológico como consecuencia de un déficit de desnitrificación).
- No se observa la existencia de una correlación clara entre la cantidad de *Escherichia coli* y el resto de parámetros analizados, si bien se observa que su presencia es más abundante cuando la carga del lixiviado es mayor y cuando las temperaturas son más altas.
- Salvo en los resultados obtenidos los días 22/2/17 y 7/4/17, no se observan diferencias significativas en la calidad de los lixiviados entre los dos ensayos piloto. Tanto en la era de secado (Piloto 1) como en el humedal (Piloto 2) la calidad del efluente que se retorna a cabecera de planta es suficientemente buena como para no comprometer el funcionamiento de la EDAR, obteniéndose incluso un retorno de mucha más calidad que el obtenido con un método de deshidratación convencional.

Análisis de la capa de fango deshidratado

Desde el inicio del ensayo se han tomado dos muestras de la capa superficial de fango. La primera muestra se toma en diciembre de 2016, cuando el ensayo lleva en marcha 10 meses y una carga aplicada de 22,24 kg MS en cada ensayo piloto. En este momento la capa presentaba un espesor en torno a 3-4 cm. La segunda muestra se toma en mayo, cuando el ensayo lleva en marcha 15 meses, la carga aplicada es de 28,5 kg MS y la capa de fango alcanza un espesor en torno a 7-8 cm.



Figura 6 | Toma de muestras de fango deshidratado. Aspecto de los ensayos piloto y de las muestras tomadas.

Los resultados obtenidos se recogen en la tabla siguiente:

Tabla 4 | Análisis de fango deshidratado.

Parámetro medición	R.D. 1310/1990 - Orden AAA/1072/2013	26/12/2016		26/05/2016	
		Piloto 1 (S/P)	Piloto 2 (C/P)	Piloto 1 (S/P)	Piloto 2 (C/P)
Cadmio (mg/Kg m.s.)	20-40	< 20.0	< 20.0	< 2.0	< 2.0
Cobre (mg/Kg m.s.)	1000-1750	884	1317	662	821
Niquel (mg/Kg m.s.)	300-400	< 80	< 200	9	12
Plomo (mg/Kg m.s.)	750-1200	< 80	< 200	22	31
Zinc (mg/Kg m.s.)	2500-4000	< 80	< 200	70	81
Mercurio (mg/Kg m.s.)	16-25	0.42	0.71	0.88	0.72
Cromo (mg/Kg m.s.)	1000-1500	< 80	< 200	15	19
Materia seca (%)		14.3	14.6	42.5	39.8
Materia orgánica (%m.s.)		63.3	64.6	62.8	66.8
Sólidos totales volátiles (%m.s.)		65.0	65.5	62.8	65.9
pH		5.5	5.5	5.5	5.1
Relación Carbono/Nitrógeno (--)		7.8	7.6	7.6	7.5
Carbono orgánico (%m.s.)		36.8	37.6	36.5	38.8
Nitrógeno total (g/Kg m.s.)		47.5	49.7	48.3	51.8
Nitrogeno amoniacal (% NH ₄ + m.s.)		0.53	0.43	0.15	0.13
Nitrógeno Kjeldahl (g/Kg m.s.)		47.5	49.7	48.3	51.8
Fósforo total (mg P ₂ O ₅)		49441	70524	13631	15951
Potasio total (mg K ₂ O/Kg m.s.)		<9600	<24000	254	301

Parámetro medición	R.D. 1310/1990 - Orden AAA/1072/2013	26/12/2016		26/05/2016	
		Piloto 1 (S/P)	Piloto 2 (C/P)	Piloto 1 (S/P)	Piloto 2 (C/P)
Calcio total (mg CaO/Kg m.s.)		<11200	<28000	6439	5213
Magnesio total (mg MgO/Kg m.s.)		<13280	<33200	2942	2331
Hierro (mg/Kg m.s.)		33616	49768	10855	14273
Coliformes totales (NMP/g)		3.1×10^4	1.7×10^4	6.1×10^7	1.4×10^7
Escherichia coli (NMP/g)		7.3×10^2	4.4×10^2	5.5	0.2
Salmonella spp. (UNE-EN ISO 6579) (/25 g)		Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia

El primer análisis que se puede realizar es el del contenido de metales, para que el lodo deshidratado pueda ser utilizado para su aplicación agrícola deben respetarse los valores máximos establecidos en el Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario. En este RD se establecen dos límites en función del pH del suelo en el que se vaya a aplicar, el valor más bajo corresponde a suelos con $\text{pH} < 7$ y el valor más alto a suelos con $\text{pH} > 7$.

Se observa que todas las muestras presentan valores muy altos de cobre e, incluso, una de las muestras (26/12/16 Piloto 2) supera el límite establecido para suelos ácidos. El motivo podría estar en la proximidad de la antigua mina de Touro, un yacimiento de sulfuros metálicos de 600 hectáreas explotado entre los años 1974 y 1988 para la obtención de cobre.

Para el resto de metales se cumplen los límites holgadamente.

Para el conjunto de parámetros en general se observa una mejoría en las cualidades del fango deshidratado con el paso del tiempo, a medida que se produce la estabilización del fango. Así, se pasa de un porcentaje de materia seca del 14% en diciembre al 40% en mayo.

En cuanto a la microbiología cabe destacar que se produce una reducción enorme en el número de E-coli entre las muestras de diciembre y mayo, mientras que los coliformes totales sufren un incremento muy importante. En ningún caso se detecta la presencia de Salmonella.

El porcentaje de materia orgánica alcanza valores típicos para fangos deshidratados en el entorno del 55-65% MS, y presenta una buena estabilización (como parámetro indicativo de la estabilidad de un lodo se utiliza la relación C/N que en un lodo estabilizado estaría próxima a 10 y en los poco estabilizados oscilaría entre 15 y 20).

En relación con las diferencias entre la era de secado (Piloto 1) y el humedal (Piloto 2) apenas se observa variación en la mayoría de los parámetros. Tan solo se observa una variación significativa en el contenido de fósforo, de cobre y de hierro.

La variación en el contenido de fósforo puede estar relacionada con el ciclo de crecimiento de las plantas, ya que se produce una mayor asimilación de fósforo en las etapas de mayor crecimiento de la planta y se produce una liberación de fósforo cuando muere la parte aérea de la planta.

La variación en el contenido de cobre y hierro parece estar relacionada, ya que lo hace en porcentajes muy similares. Tal y como se comentaba el alto contenido de cobre podría deberse a la cercanía de la antigua mina, lo que también explicaría un alto contenido en hierro. En el resto de metales, a pesar de que se encuentran en menor cantidad, también se observa que la concentración es mayor en el humedal (Piloto 2) que en la era de secado (Piloto 1).

Tan solo se dispone de dos muestras de fango deshidratado por cada ensayo piloto, de modo que todas estas tendencias observadas deberán verificarse con la realización de nuevos muestreos. Asimismo, se ha tomado muestra de la parte aérea de las plantas para analizar el contenido de metales, al objeto de observar la variación en el mismo con el tiempo.

Análisis de las condiciones climáticas en las que se desarrolló el ensayo.

Una cuestión importante a la hora de valorar los resultados es enmarcar las condiciones climáticas en las que se ha desarrollado el experimento en un contexto histórico, que permita discernir si se han dado condiciones especialmente favorables o desfavorables. Para ello se comparan los valores de precipitación y temperatura registrados durante la duración del ensayo con los correspondientes a los valores mínimo, medio y máximo de los diez años anteriores.

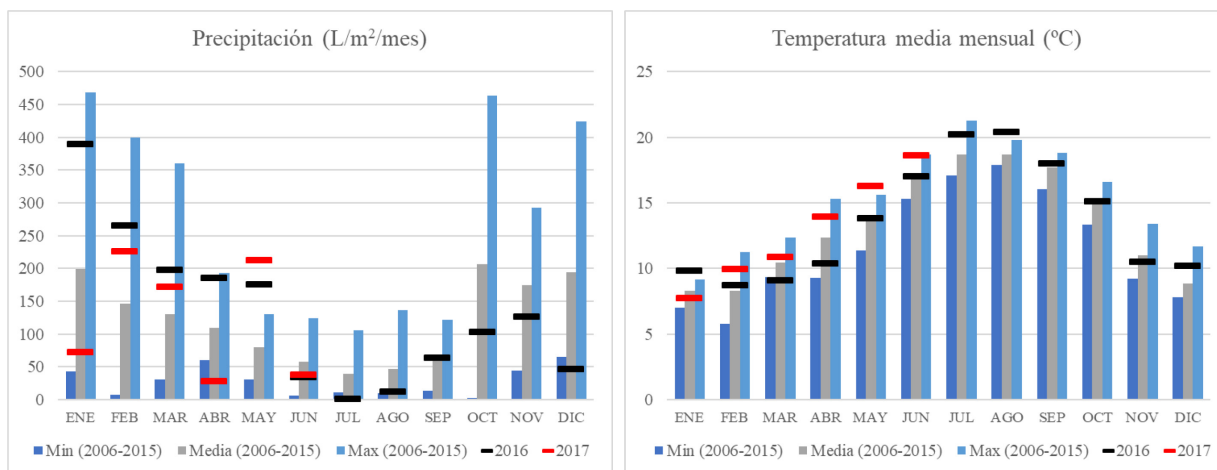


Figura 7 | Valores históricos de precipitación y temperatura. (Fuente: Meteogalicia. Estación Santiago de Compostela- EOAS)

Se observa que en el año 2016 las precipitaciones estuvieron por encima de la media en los meses de enero a mayo, mientras que se situó por debajo de la media en los meses de junio a diciembre. Para el conjunto del año la precipitación anual en el año 2016 superó el valor medio para el período 2006-2015.

En el año 2017 no hay una tendencia constante, sino que se observan altibajos con respecto a los valores medios.

En cuanto a las temperaturas, se observa una clara tendencia al alza, ya que los valores medios mensuales registrados en los años 2016 y 2017 superan prácticamente siempre el valor medio para los 10 años anteriores. A pesar de que las temperaturas son mayores de forma generalizada a lo largo del año, los incrementos de temperatura registrados respecto del valor medio son pequeños, con una diferencia máxima de 2,2°C para el mes de mayo de 2017.

En definitiva, si bien las condiciones parecen favorables para el desarrollo del experimento, no resultan tan anormales como para invalidar los resultados de cara a valorar la aplicabilidad de este tipo de tratamientos en Galicia.

Cálculo de la superficie necesaria para su implantación

Por último, de cara a validar la viabilidad de la implantación de este tipo de tratamientos en plantas que dan servicio a pequeñas poblaciones resulta necesario valorar las necesidades espacio que generaría su instalación. Para ello, a modo de ejemplo se realiza este cálculo para la EDAR de Touro, en la que se estima una población permanente de 524 h-e y una población estacional de 714 h-e.

La producción de fangos en exceso (P_e) se calcula a partir de la formulación propuesta por Huiskens:

$$P_e = 1.2 \cdot C_m^{1.2} + 0.5 \cdot (B - 0.6) \quad (1)$$

$$C_m = (\text{kg DBO}_5/\text{día en influente}) / \text{kg SSLM en reactor} \quad (2)$$

Siendo B , la relación MES/DBO_5 en el influente (en base al histórico de analíticas disponible se toma $B=1.4$) y C_m la carga másica.

Los $\text{kg DBO}_5/\text{día en influente}$ se pueden estimar considerando una carga media de $60 \text{ g DBO}_5/\text{h-e/día}$, y los $\text{kg SSLM en el reactor}$ se pueden obtener multiplicando el volumen del mismo por la concentración de sólidos en el licor mezcla (en base a V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de Octubre. A Coruña

los valores históricos se puede considerar un valor medio de 2800 mg/L). Así se obtiene un valor de P_e de 0,83 kg ST/kg DBO₅ eliminada.

De este modo, la carga a eliminar (considerando la población estacional y despreciando la carga que sale con el efluente) resulta de 12986 kg MS/año.

Si se considera una carga de diseño del humedal de 25 kg MS/m²/año entonces la superficie necesaria para la aplicación del fango espesado resultaría de 649 m², mientras que con una carga de diseño de 30 kg MS/m²/año la superficie necesaria se reduciría a 433 m².

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos hasta ahora permiten ser optimistas en relación con la calidad del fango deshidratado obtenida y la calidad del lixiviado. En las siguientes fases del proyecto se debe incrementar la carga anual aportada y observar la evolución de ambos ensayos. Hasta el momento los resultados obtenidos no permiten decantarse por una opción en detrimento de la otra (era de secado frente a humedal) siendo preciso evaluar si existen diferencias a largo plazo, en especial en relación a cuándo se produce la saturación de cada sistema.

En relación con las necesidades de espacio para la implantación de este tipo de tratamientos, aun considerando cargas de diseño muy conservadoras, las superficies resultantes no son valores excesivamente altos para un ámbito rural, por lo que esta puede ser una opción muy competitiva para el tratamiento de fangos siempre y cuando la disposición de terrenos se tenga en cuenta en la concepción inicial de la depuradora.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se enmarca dentro de la Asistencia Técnica al Control y Asesoramiento a la Explotación de las Instalaciones de Depuración de Aguas Residuales en Galicia (OH.388.346.SV).

Los autores agradecen al Concello de Touro que haya facilitado la realización de este ensayo dentro de las instalaciones de la EDAR municipal.

REFERENCIAS

Aragón, C.; Martín, I.; Ávila, C; García, J; Salas, J.J. Evaluación de la calidad de lixiviados generados en un humedal para el secado de fangos durante su puesta en marcha. *Simposio Andaluz del Agua (SIAGA)*, 1-3 Octubre 2012, Cádiz, España.

Amorena, A. Aplicación de lodos en la agricultura. *XXXIV Curso sobre tratamiento de aguas residuales y explotación de estaciones depuradoras*, 14-25 Noviembre 2016, CEDEX, Madrid, España.

2009, Caracterización de los lodos de depuradoras generados en España. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. España.