

Evaluación de recursos hídricos y tratamiento de aguas residuales en el Campus de la Universidad de A Coruña

Water resources assessment and treatment of wastewater in the Campus of the University of A Coruña.

Tania Carballeira, Juan Cagiao y Manuel Soto

El proyecto SOSTAUGA es un proyecto estratégico de la Universidad de A Coruña (UDC) que persigue poner en valor el elemento agua y los ecosistemas asociados en los campus universitarios y buscar la sostenibilidad en la gestión de un recurso esencial y escaso. Como parte de SOSTAUGA, se ha procedido a la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas naturales y residuales del Campus Central (Elviña-A Zapateira) de la UDC y al estudio detallado de la depuración del efluente de uno de los edificios mediante una planta piloto Digestor Anaerobio-Humedal Construido. La situación actual es la de un vertido unitario de unos 2100 hab.eq., muy diluido, que alcanza los 2647 m³/d, de los cuales solo el 11% son aguas residuales en origen. Por otra parte, diversos manantiales existentes en el ámbito del campus ofrecen un caudal de 370 m³/d de aguas limpias, muy superior a los 140 m³/d de agua potable actualmente consumidos. Estos estudios han permitido establecer diferentes propuestas de actuación, encaminadas a la optimización de las redes de evacuación y al aprovechamiento de aguas naturales generadas en el ámbito del campus para determinados usos. Finalmente, se ha procedido al diseño y desarrollo de sistemas integrados para la depuración con el objetivo de la reutilización de aguas regeneradas.

Water is an essential ecological resource which may be drastically affected by human activities. So, the University of A Coruña (UDC) elaborated the SOSTAUGA project, aiming to reach a higher sustainable level of its water management in the Central Campus of Elviña and A Zapateira. The physicochemical and microbiological characterization of natural waters and wastewater of this Campus and operation of a pilot plant that combine anaerobic digesters and constructed wetlands to treat and recovery the wastewater from a university faculty were part of the Sostauga project. The overall discharge reached 2647 m³/d of very low strength contaminated waters but only the 11% of this flow was wastewater at origin (about 2100 equivalent inhabitant). On the other hand, springs and fountains in the campus area reached about 370 m³/d of clean water, an amount higher than the 140 m³/d of tap water consumption. Obtained data were useful to analyse the potential of using on site water resources and to design natural integrated and reuse treatment systems.

Descriptor / Descriptores / Key Words

Agua residual, aguas naturales, Universidades, Humedales Construidos, reutilización / Water, Universities, Constructed Wetlands, Sustainability



© Torres

Evaluación de recursos hídricos y tratamiento de aguas residuales en el Campus de la Universidad de A Coruña.

Tania Carballeira¹, Juan Cagiao² y Manuel Soto¹

*1- Dpto. Química Física e Enxeñaría Química I, Facultade de Ciencias, Universidade da Coruña. Rúa da Fraga 1, 15008 A Coruña.
E-mail:m.soto@udc.es, taniacarba@hotmail.com*

*2- Laboratorio de Enxeñaría Sostible (LIS). Fundación da Enxeñaría Civil de Galicia. Escola Técnica Superior de Enxeñeiros de Camiños, Canais e Portos. Universidade da Coruña.
E-mail: juan.cagiao.villar@udc.es*

1. Introducción

Tras la cumbre de medio ambiente de Río de Janeiro en 1992, muchas universidades iniciaron procesos de ambientalización, es decir, comenzaron a prestar atención a las cuestiones ambientales tanto en el plano interno como externo. Cuestiones como la gestión de los residuos peligrosos, la reducción del consumo de energía o la formación ambiental, fueron objeto de las primeras actuaciones. Posteriormente, la atención a los problemas ambientales se fue generalizando y se llegó a la adopción de Planes globales de medio ambiente y Planes de sostenibilidad. A este proceso se le conoce habitualmente como “ambientalización de las universidades” (Benayas y Alba, 2007).

Es común la opinión de que la Universidad forma personas con titulación profesional que al salir a la sociedad trasladan las técnicas, conocimientos y actitudes aprendidos en la Universidad. La responsabilidad de la Universidad ante uno de los principales desafíos del siglo XXI, el de las soluciones a la crisis ambiental o de los objetivos de desarrollo sostenible, es de gran importancia. En este sentido, es necesaria una ética ambiental fundamentada en el compromiso y el comportamiento de la Universidad como colectivo y de las personas que lo conforman. Es también imprescindible una coherencia entre teoría en las aulas y el día a día en la vida universitaria, la praxis en la gestión ambiental en los centros y campus (Soto, 2010).

En este marco, al que la Universidad de A Coruña (UDC) no ha sido ajena, se ha iniciado en 2008 el proyecto SOSTAUGA, un proyecto estratégico de la UDC que persigue poner en valor el elemento agua y los ecosistemas asociados en el ámbito del Campus de Elviña y de A Zapateira. Se trata por tanto de preservar y potenciar un elemento clave del patrimonio socio-cultural y ambiental de este territorio mediante su estudio técnico y el desarrollo posterior de las acciones propuestas. Pero además, al nacer este proyecto desde la Universidad, se pretende que las actuaciones derivadas sean ejemplares, de modo que favorezcan la educación ambiental y la sensibilización de toda la comunidad académica y de su ámbito de influencia.

Los objetivos generales del proyecto Sostauga (Cagiao et al., 2008) son:

- a) Conseguir el adecuado estado ecológico de los flujos y masas de agua existentes en el Campus siguiendo las directrices de la Directiva Marco del Agua de la UE; este objetivo tiene claras implicaciones en el planeamiento urbanístico ya que el diseño de los futuros usos del suelo deberán hacerse desde una perspectiva ambiental de respeto al recurso agua y al medio natural en general.
- b) Avanzar hacia una gestión sostenible del agua en la que se alcance la máxima autosuficiencia posible en la demanda del recurso mediante la implementación de medidas de ahorro en el consumo, la redefinición sostenible de los actuales usos del agua en función de su calidad, la optimización del aprovechamiento de las aguas residuales urbanas tanto en tiempo seco como de lluvia, y finalmente la minimización de las pérdidas que se puedan producir en los sistemas infraestructurales de transporte.
- c) En el plano cultural, favorecer la potenciación de las oportunidades únicas que ofrece la existencia de cursos fluviales, zonas húmedas y manantiales en el ámbito de estudio, intentando re-naturalizar en lo posible estos elementos e intensificar la conectividad ecológica entre ellos para mejorar los índices de biodiversidad.
- d) Promover la divulgación de los resultados, con el objetivo de la concienciación sobre la necesidad de un desarrollo sostenible en relación con el ciclo del agua y su vinculación con el planeamiento urbanístico y territorial, y la extrapolación de la metodología del estudio junto con los resultados obtenidos a las prácticas de diseño de los servicios urbanos relacionados con el ciclo del agua en las ciudades.

En relación con el objetivo b), se han planteado las siguientes acciones iniciales:

Caracterización y cuantificación de las aguas residuales y naturales que abandonan el campus, y que en la actualidad se incorporan a la red de saneamiento de A Coruña.

- Estudio de la calidad de las masas de agua superficiales y de manantiales existentes en el ámbito del campus.
- Estudio de “levantamiento de la red de saneamiento” buscando la identificación y definición gráfica de la red de drenaje y de saneamiento.
- Estudio de la adecuación de las especies plantadas en las zonas ajardinadas de ambos Campus y su distribución con respecto a sus necesidades hídricas.
- Definir el potencial para el aprovechamiento de recursos endógenos o la reutilización de aguas residuales regeneradas.

En este artículo presentamos los resultados de los estudios de cuantificación y caracterización de las aguas naturales y residuales del campus, mientras que los resultados relacionados con las necesidades hídricas de las plantas o el levantamiento de la red de saneamiento se ha presentado previamente (Cagiao et al., 2011).

Simultáneamente, el proyecto de restauración del Monte da Fraga en el Campus de A Zapateira (Soto et al.; 2007) tiene como uno de sus objetivos facilitar la realización de investigaciones y estudios que tengan al campus universitario como laboratorio. Uno de los proyectos tomados en consideración fue la propuesta del Grupo de Enxeñaría Química Ambiental de la UDC de creación de una instalación piloto para la depuración natural de aguas residuales generadas en los edificios del campus. La alternativa escogida fue la de humedales construidos (HC) de flujo subsuperficial con helófitos emergentes, por su idoneidad para el tratamiento secundario de efluentes de tipo doméstico y las posibilidades de integración paisajística en ámbitos urbanos y naturales. La instalación se ha construido con

CALIDADES EXIGIDAS PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES REGENERADAS EN DIFERENTES USOS				
Uso*	Nematodos intestinales	<i>Escherichia coli</i>	Sólidos en suspensión (SST)	Turbidez
Uso residencial, Calidad 1.1	1 huevo/10 L	0 UFC/100 mL	10 mg/L	2 UNT
Uso urbano, Calidad 1.2	1 huevo/10 L	200 UFC/100 mL	20 mg/L	10 UNT
Uso agrícola, Calidad 2.3	1 huevo/10 L	10.000 UFC/100 mL	35 mg/L	nf
Usos recreativos, Calidad 4.2	nf	10.000 UFC/100 mL	35 mg/L	nf
Usos ambientales, Calidad 5.1	nf	1.000 UFC/100 mL	35 mg/L	nf

*Una descripción de los usos según calidad se da en el texto. nf: límite no fijado

Tabla 1. Calidades Exigidas para la reutilización de aguas residuales

el objetivo de obtener una comparación entre humedales con diferente modelo de flujo en cuanto a la capacidad y eficiencia depuradora, así como entre diversas especies vegetales autóctonas. Los resultados de este estudio también se abordan en el presente artículo.

El proyecto Sostauga se propone substituir parte de los recursos exógenos por aguas residuales regeneradas, o por masas de agua de baja calidad presentes en el campus. En tal sentido, es necesario tener en cuenta los criterios fijados por el RD 1620/2007, del 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de aguas depuradas según usos. Entre los posibles usos previstos en esta normativa se considera de interés potencial para el Campus de la UDC los siguientes:

- Uso residencial, calidad 1.1: a) riego de jardines privados, b) descarga de aparatos sanitarios.

- Uso urbano, calidad 1.2 (servicios): a) riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares), b) limpieza de calles, c) sistemas contra-incendios, d) lavado industrial de vehículos.
- Uso agrícola, calidad 2.3: a) riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en alimentación humana, b) riego de cultivos de flores ornamentales, viveros e invernaderos sin contacto directo de las aguas regeneradas con las producciones, c) riego de cultivos industriales no alimentarios, viveros, forrajes ensilados, cereales y simientes oleaginosas.
- Usos recreativos, calidad 4.2: a) estanques, masas de agua y caudales circundantes ornamentales en los que está impedido el acceso del público al agua.
- Usos ambientales, calidad 5.1: a) recarga de acuíferos por percolación localizada a través del terreno.

Las calidades exigidas para los usos anteriores son las que se indican en la Tabla 1, y serán tomadas en consideración para la evaluación de usos.

2. Materiales y métodos

2.1. Descripción del ámbito de estudio

CENTROS DE DOCENCIA, INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS PRESENTES EN EL CAMPUS CENTRAL DE LA UDC
CAMPUS DE ELVIÑA
Facultade de Ciencias da Educación Facultade de Dereito Facultade de Socioloxía / Facultade de Ciencias da Comunicación Facultade de Informática Escola Técnica Superior de Enxeñeiros de Camiños, Canais e Portos Facultade de Economía e Empresa Edificio de Servizos Centrais de Investigación Centro de Innovación Tecnolóxica en Edificación e Enxeñaría civil (CITEEC) Edificio Xoana Capdevielle Pavillón de Estudantes* Pistas Polideportivas Pavillón de Deportes Casa da Galería* Escola Infantil Centro de Investigación de Tecnoloxías da Información e da Comunicación (CITIC)
CAMPUS DA ZAPATEIRA
Escola Técnica Superior de Arquitectura+Departamento ETS Arquitectura Escola Universitaria de Arquitectura Técnica Facultade de Ciencias Facultade de Filoloxía e Edificio de Departamentos F. Filoloxía

Tabla 2. Centros de docencia, investigación y servicios. Campus central de la UDC



Figura 1. Ámbito de estudio. A Coruña. España

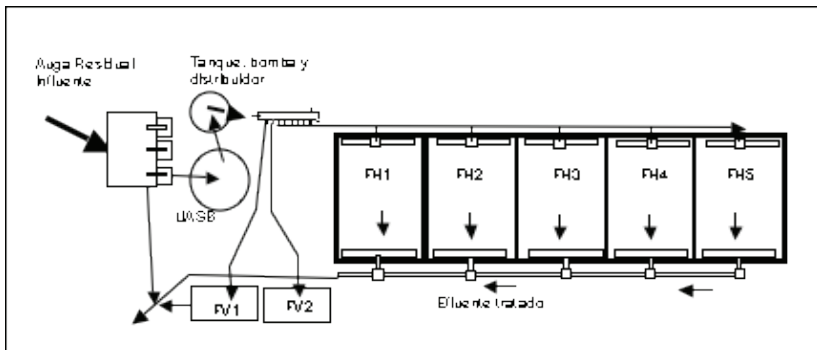


Figura 2. Instalación Piloto

La Figura 1 muestra el ámbito de estudio y su relación con la ciudad de A Coruña. El mapa de la Figura 1B muestra la red fluvial, diferenciando los tramos existentes hoy en día de aquellos desaparecidos o soterrados, la localización de los manantiales, aguas superficiales y aguas residuales objeto de análisis y el emplazamiento de la planta piloto de humedal construido.

Los centros de docencia, investigación y servicios presentes en estos dos campus en 2008 son los indicados en la Tabla 2. El campus de Elviña reúne el 50% de toda la comunidad universitaria, y le sigue el de A Zapateira con un 23% adicional. El conjunto de ambos se conoce como Campus Central de la UDC (Elviña-A Zapateira), ya que ambos se encuentran en un espacio próximo aunque no contiguo, en un radio inferior a 1 km. Con un 73% de la comunidad universitaria total de la UDC en 2008, el Campus Central reunía unos 15.750 estudiantes y 1.436 miembros del cuadro de personal. La superficie construida había alcanzado los 187.000 m². La información obtenida a partir de los registros de consumo de agua potable nos indica que el consumo en el campus se ha mantenido constante desde el año 2003 a 2010, con un consumo medio anual de 50.385±2.013 m³.

2.2. Instalación piloto de depuración en humedales

La instalación piloto (Figura 2) cuenta con 5 unidades en paralelo de humedales construidos de flujo horizontal (FH), de 12 m² cada una, y dos unidades de flujo vertical (FV), de 3 m² cada una. La instalación incluye además un digestor anaerobio de flujo ascendente como pretratamiento común a todos los humedales. En las cinco unidades FH se realizaron estudios comparativos sobre o efecto del tipo de macrófita (FH1: sin vegetación, FH2: *Juncus effusus*, FH3: *Iris pseudacorus*, FH4: *Thypha latifolia* y FH5: *Phragmites australis*). Las dos unidades de flujo vertical fueron plantadas con *Phragmites Australis*, mientras cuentan con dos materiales de relleno distintos (FV1: arena de 1-3 mm, FV2: grava fina de 3-6 mm). Las especies vegetales, todas ellas autóctonas, fueron obtenidas en áreas marginales silvestres de la comarca, contando para ello con la colaboración del área de Botánica de la Facultad de Ciencias.

2.3. Toma de muestra y análisis

La planta piloto se alimentó durante unas 12-14 horas al día y cinco días a la semana, de acuerdo con el régimen de generación de agua residual en la Facultad de Filología. Para cada campaña de seguimiento se obtuvieron semanalmente (de 4 a 6 semanas por campaña) muestras del influente y efluente de cada unidad, integradas durante un período de 24 horas a partir de muestras puntuales obtenidas cada 3 horas durante los períodos de alimentación. Las muestras fueron analizadas en laboratorio para la determinación de sólidos en suspensión totales y volátiles (SST, SSV), demanda química de oxígeno (DQO) y demanda biológica de oxígeno (DBO₅). La temperatura, el pH, el potencial de oxidación-reducción (ORP) y el oxígeno disuelto (OD) fueron medidos in situ. Se realizaron

cinco campañas de seguimiento a lo largo de los dos primeros años de operación, y en las dos últimas se determinaron además diversos parámetros relacionados con la reducción de contaminantes patógenos fecales y nutrientes, así como de hidrocarburos totales de petróleo coincidiendo con la penúltima campaña.

La mayoría de estos parámetros se han determinado también en las corrientes de aguas residuales y mezcladas que salen del campus, para las que se han realizado dos campañas de análisis. El número de parámetros analizados ha sido menor en el caso de las muestras de manantiales y aguas superficiales del campus, según se indica en el siguiente apartado de resultados, habiéndose realizado únicamente una campaña de muestreo. En los análisis se han empleado los métodos normalizados (APHA, 1995).

3. Resultados

3.1. Factores de referencia para la estimación del consumo de agua y la generación de residuales

El caudal y la carga orgánica del agua residual generada en el ámbito del campus se pueden estimar a partir de información genérica disponible para centros de este tipo. Para centros de la Universidad de Santiago de Compostela (USC) y de la Universidad de A Coruña (UDC) se midieron consumos de agua potable en el rango de 1-10 m³/usuario·año, con medias para grandes campus que se sitúan en los 3 m³/usuario·año (López et al., 2008; Soto et al., 2009). Para el caso concreto del Campus Central de la UDC, los datos de ocupación y consumo indicados en el apartado de metodología ofrecen un consumo de 2,9 m³/usuario·año. También los consumos unitarios por unidad de superficie construida se sitúan en los 0,27 m³/m², con un rango de variación de 0,08-0,56 m³/m² según edificio. Esto resulta en tasas de consumo de 3-30 L/persona·día, si bien hay referencias de consumos más elevados, de hasta 83 L/persona·día. Consumos per cápita elevados son alcanzados en centros dedicados a alguna actividad muy específica. Por otra parte, los consumos per cápita inferiores se registran en aquellos centros que cuentan con un número de alumnos elevado, pudiendo bajar de los 2 m³/usuario·año. En estas cifras se refieren al conjunto de la comunidad universitaria, incluyendo alumnado y personal, pero no tienen en cuenta el absentismo, de tal forma que los caudales por usuario realmente presente en el campus serán mayores.

A su vez, el caudal de las aguas residuales puede ser menor o mayor que el caudal del agua potable consumida. En principio, del volumen de agua consumida se debe descontar aquella que corresponde a usos conjuntivos (regadío, refrigeración...), resultando valores netos del 50-80% del caudal de agua potable. Sin embargo, es habitual que existan infiltraciones desde el terreno a la red de saneamiento, y que esta recoja al menos parte de las aguas pluviales.

Henze et al (1995) ofrece datos de generación de aguas residuales en instalaciones de diferente tipología, con valores unitarios para escuelas de 8-10 m³/año y estudiante, y valores de 15-20 m³/año y empleado para lugares de trabajo. Teniendo en cuenta las proporciones típicas entre estudiantado y profesorado en las universidades, estas cifras llevan a una generación de unos 10 m³/usuario y año, considerando usuarios reales.

En el proyecto Depuranat (VV.AA., 2008) consideran como criterio general para alumnos y empleados una carga de vertido expresada en habitantes equivalentes igual a la de 1/3 del número de usuarios. Además, en una aplicación de sistemas naturales de saneamiento para una pequeña área del Campus de Tafira de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, se emplean valores de generación de 50 L de agua residual y 15 g DBO₅ por usuario y día. Los valores medios medidos durante prolongados períodos de operación resultaron ligeramente inferiores: 36-43 L/usuario y día (a pesar de tratarse de una red no separativa), y 11-13 g DBO₅/usuario·día. En estas medias tienen influencia los períodos de baja actividad en los campus, así como los fines de semana.

Tanto las cifras ofrecidas por Henze et al (1995) como por Depuranat (VV.AA., 2008), son mayores que las indicadas más arriba para edificios de la USC y de la UDC, coincidiendo prácticamente con los valores elevados del rango de consumo observado. El absentismo antes comentado puede ser una razón para estas

FACTORES DE REFERENCIA PARA ESTIMAR LA GENERACION DE AGUAS RESIDUALES (RED SEPARATIVA Y SIN INFILTRACIONES) EN CAMPUS UNIVERSITARIOS		
Parámetro	Valor	Unidades
Rango de caudales	1-10	m ³ /usuario·año
Caudal probable	3	m ³ /usuario·año
Caudal probable diario medio (días lectivos)	17	L/usuario·día
Caudal probable diario medio*	10	L/usuario·día
Rangos de carga orgánica máxima vertida	2-15	g DBO ₅ /usuario·día
Carga orgánica vertida a efectos de diseño	8	g DBO ₅ /usuario·día

Tabla 3. Factores de referencia para estimar la generación de aguas residuales

cifras. Las previsiones de Henze et al (1995) coinciden razonablemente con las mediciones de consumo para centros administrativos universitarios, en los que el absentismo puede considerarse mínimo.

Con estos datos, se puede estimar la generación de aguas residuales, suponiendo que la red sea separativa y que la infiltración de aguas limpias (drenajes de sótanos, etc.) o desde el terreno sea minimizada. Con esta finalidad se pueden utilizar los factores indicados en la Tabla 3, obtenidos a partir de la información analizada. Se trata de factores de referencia para la evaluación y programación de objetivos y actuaciones de mejora de la gestión de aguas residuales en el campus. Aunque estos factores no responden a la situación actual de redes unitarias en las que tiene lugar un fuerte aumento del caudal residual por dilución con aguas de lluvia e infiltraciones, se ha de tener en cuenta que dentro de las actuaciones

de mejora y racionalización del saneamiento y de gestión sostenible del agua se deben incorporar medidas para la separación de pluviales, e infiltración al terreno o reutilización de las diversas fuentes de agua limpia.

Para la obtención de los factores de la Tabla 3 se ha considerado que el número de días lectivos docentes de un curso académico, en la situación de los últimos años, es de 176. Actualmente, como consecuencia de la adopción del Espacio Europeo de Educación Superior, se está incrementando este valor, por lo que en el futuro se considerará válido el caudal medio diario de los días lectivos, y se incrementará el caudal anual. En cuanto a la carga orgánica estimada, el valor máximo corresponde a una situación de absentismo nulo y jornada de 8 horas. Combinando los datos de caudal con los datos de concentración de agua residual, junto con los días no lectivos, se estima a efectos de diseño, una carga media (por usuario potencial) de 8 g DBO5/usuario-día. Se propone adoptar esta carga como carga de diseño de futuras instalaciones de tratamiento in situ.

3.2. Estimación de caudal y carga orgánica para el Campus Universitario Elviña-A Zapateira.

3.2.1. Estimación a partir de factores de referencia

Para el caso concreto del campus central de la UDC (Elviña-A Zapateira), la comunidad universitaria alcanzó un total de 17.000 usuarios potenciales (curso 2008-2009). El caudal diario, la carga orgánica y la carga en nitrógeno (considerando para esta la misma proporción con la carga orgánica que se registra en los vertidos de origen doméstica), son por lo tanto los siguientes:

- Usuarios potenciales en el Campus: 17.000 usuarios/día
- Caudal diario medio: 289 m³/día
- Velocidad de carga orgánica vertida: 136.000 g DBO5/día
- Velocidad de carga orgánica vertida, en DQO: 272.000 g DQO/día

CARACTERÍSTICAS DE LOS TRES VERTIDOS DE AGUAS RESIDUALES DESDE EL CAMPUS CENTRAL DE LA UDC							
	S1		S2		S3		n°
Campaña	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	muestras
Caudal medio (m ³ /d)*	nd	259	121	98	458	2290	
pH	7,4 ± 0,1	8,0 ± 0,1	7,1 ± 0,2	7,1 ± 0,2	7,3 ± 0,1	7,0 ± 0,1	7
T (°C)	21,2 ± 1,3	15,1 ± 1,3	20,9 ± 1,3	14,6 ± 1,3	20,4 ± 1,3	14,8 ± 1,3	7
Conductividad (µS/cm)	411 ± 43	431 ± 43	488 ± 62	390 ± 62	282 ± 7	253 ± 7	7
OD (mg/L)	5,8 ± 0,9	6,6 ± 0,9	3,0 ± 0,3	5,4 ± 0,3	7,2 ± 0,4	6,3 ± 0,4	7
SST (mg/L)	121 ± 129	8 ± 2	72 ± 27	75 ± 17	14 ± 22	8 ± 5	4
SSV (mg/L)	20 ± 17	5 ± 2	67 ± 25	68 ± 16	3 ± 2	6 ± 3	4
DQO (mg/L)	34 ± 8	68 ± 12	135 ± 40	130 ± 33	1 ± 2	44 ± 16	4
DBO ₅ (mg/L)	3 ± 2	0 ± 0	48 ± 21	38 ± 9	2 ± 2	0 ± 0	4
Ortofosfatos (mg P/L)	0,2	<0,2	1,5	1,06	0,0	<0,2	MC**
NH ₃ (mg N/L)	1,86	3,13	13,21	17,27	<1	<1	MC
NTK (mg N/L)	5,3	9,2	31,6	33,8	4,1	3,2	MC
Alcalinidad(mg) CaCO ₃ /L)	68	75,2	122	116,9	29	29,1	MC

Tabla 4. Características de los tres vertidos de aguas residuales desde el campus central de la UDC

- Concentración orgánica estimada (sin dilución): 470 mg DBO₅/L
- Velocidad de carga en nitrógeno total Kjeldhal (NTK): 26.900 g NTK/día

Este vertido sería equivalente al de una población de 2.267 hab.eq.

3.2.2. Mediciones realizadas en los vertidos del Campus

Los vertidos de ambos campus de Elviña y A Zapateira se realizan de forma conjunta desde la zona más baja del campus de Elviña. En relación con este aspecto, fueron identificadas y caracterizadas tres corrientes de salida del campus, que reúnen al conjunto de vertidos residuales y de aguas pluviales, de escorrentía y naturales, incluyendo una parte o la totalidad de los vertidos residuales de las viviendas existentes en el ámbito del campus. Se han realizado dos campañas de caracterización, una en verano en periodo de baja actividad universitaria (agosto), y otra en invierno en una semana de actividad universitaria ordinaria (comienzos de marzo).

Los resultados de la caracterización se presentan en la Tabla 4. En dicha tabla se puede observar como la corriente S2 muestra las mayores concentraciones de materia orgánica y sólidos en suspensión, pudiendo calificarse como un agua residual urbana diluida. Tanto el caudal como la concentración de esta corriente varían poco de verano a invierno. Sin embargo, mientras el caudal equivale aproximadamente a un tercio del caudal estimado en el apartado anterior para el vertido residual de la universidad, solo contiene un 5% de la carga orgánica generada. Este vertido, aun recibiendo una fracción importante de aguas residuales, muestra una elevada dilución, probablemente por la infiltración de aguas limpias.

A continuación, la corriente S1 y en menor medida la corriente S3, muestran niveles de DQO indicativos de cierta contaminación orgánica, aunque los niveles medidos de DBO₅ y SSV fueron en general muy bajos en estas dos corrientes. Los elevados caudales y la mayor concentración orgánica de S3 en invierno son

ESTIMACIÓN DE HABITANTES EQUIVALENTES Y VELOCIDAD DE CARGA ORGÁNICA (VCO) DEL VERTIDO TOTAL								
	S1		S2		S3		TOTAL	
	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Verano	Invierno
A partir de la DQO								
Hab. Eq.	<73	147	136	106	5	840	<214	1932
VCO (gDQO/d)	<8728	17612	16359	12740	595	100760	<25142	231872
A partir de la DBO ₅								
Hab. Eq.	<12	0	97	62	15	0	<124	62
VCO (gDBO ₅ /d)	<725	0	5796	3704	916	0	<7437	3704

Tabla 5. Estimación de habitantes equivalentes y velocidad de carga orgánica

indicativos de que esta corriente recibe una parte importante de la carga orgánica residual generada en la Universidad, aunque de todas formas aparece muy diluida, probablemente por infiltraciones y aguas pluviales.

La presencia de otros elementos como N y P en las diferentes corrientes aparece correlacionada con la concentración de materia orgánica (DQO).

El caudal para S1 en verano no se ha podido medir con precisión. A efecto de cálculo de la carga orgánica, se ha supuesto que el caudal de S1 en verano podría ser similar pero no superior al medido en invierno. Con esta consideración, a partir de los datos de la Tabla 4, se pueden calcular las velocidades de carga orgánica y los habitantes equivalentes a un vertido doméstico, tomando para esto último los factores de 60 gDBO5/hab.día y 120 g DQO/hab.día. Estos resultados son presentados en la Tabla 5, para DQO y DBO5.

Los valores de DBO5 para S1 y S3 son muy reducidos o nulos, aspecto que podría deberse en parte a la degradación del sustrato en el sistema de evacuación. Así, tanto las velocidades de carga orgánica ($Q \times DBO$, en verano: 7437 g DBO5/d, o especialmente en invierno: 3704 g DBO5/d) como los habitantes equivalentes resultantes a partir de los datos de DBO5 (62 hab. eq. en invierno, Tabla 5) son tan bajos que se pueden calificar de poco realistas.

Sin embargo, los valores de DQO se ven menos afectados por la degradación sufrida en el sistema de evacuación. Las velocidades de carga orgánica total (S1+S2+S3) obtenidas para el invierno (231872 gDQO/d, ó 1932 hab. Eq.) resultan similares a las que en el apartado anterior se han estimado para el vertido residual de la universidad en base a factores bibliográficos (2267 hab.eq.). En este sentido, se ha de tener en cuenta que los datos de verano (< 214 hab.eq.) corresponden con una situación en la que la ocupación de la universidad era muy reducida, y la carga orgánica en los vertidos residuales se corresponde mayoritariamente con la población que habita en el campus.

Se concluye por tanto que, a efectos de dimensionamiento de una depuradora de tipo natural para el conjunto del campus central de la UDC, se puede emplear el valor de vertido de 2.100 hab.eq. o 126.000 gDBO5/d, media de las dos cifras anteriores. Sin embargo, en la situación actual, el vertido aparece muy diluido y con un caudal elevado, de 2290 m³/d en período ordinario de invierno. Comparado con el caudal estimado de 289 m³/d sin dilución, nos indica que el sistema de evacuación recibe un 13% de agua residual y un 87% de aguas limpias. Estos datos son ilustrativos de la necesidad imperiosa de proceder a un levantamiento de la red (identificación y descripción de todo tipo de conexiones a la red de residuales) y un proyecto de separación de aguas residuales y aguas limpias.

El vertido residual aparece fuertemente diluido, ya que el caudal sumado de las tres corrientes residuales en invierno alcanza los 2.647 m³/d, mientras su concentración en DQO se sitúa en el rango de 44-130 mg/L. Según se ha indicado arriba, el caudal diario medio estimado de aguas residuales fue de 289 m³/día, que equivale a tan solo el 11% del caudal vertido. En la situación actual,

el vertido residual se dirige a la estación de tratamiento de A Coruña en Bens, que ha entrado en funcionamiento en el año 2011. La separación de corrientes limpias que entran al sistema de alcantarillado, o la instalación de un sistema de redes separativas se presenta como una necesidad urgente, ya que permitiría reducir el caudal residual en un 89% y al tiempo disponer de un recurso de calidad adecuada a determinados usos en el mismo Campus.

3.3. Caracterización de las aguas de manantiales de los Campus y definición de usos en función de la calidad de las mismas.

Los diversos manantiales que afloran en el campus de la Universidad de A Coruña fueron analizados de forma puntual en una campaña de muestreo realizada en invierno de 2010-2011, junto con algunas de las aguas superficiales. De acuerdo con el mapa de la Figura 1B, las muestras M1, M4, M6 y M7 corresponden a manantiales naturales o fuentes, algunas de ellas actualmente en uso por el vecindario del Campus. Las muestras M5, M8, M9 y M10 son aguas de drenaje de los bajos de determinados edificios de la Universidad, y las muestras M2 y M3 corresponden a las aguas superficiales de los arroyos del Lagar y de Elviña, respectivamente.

Excluyendo las aguas superficiales (M2 y M3) y las fuentes utilizadas por el vecindario (M4 y M7), para los restantes manantiales se ha medido durante la campaña de seguimiento un caudal de 258 L/min. De mantenerse en valores similares durante todo el año, estos manantiales acumularían un caudal anual de 136.000 m³, cantidad que supera con mucho los 50.000 m³ anuales consumidos actualmente por la UDC en este ámbito. Se ha considerado por tanto que la disponibilidad de recurso autóctono posibilita un cierto grado de autoabastecimiento, que merece ser explorado.

RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS DETERMINACIONES ANALÍTICAS PARA LAS AGUAS DE MANANTIALES									
Muestra	pH	Tª (°C)	Conductividad (µS/cm)	Oxígeno disuelto (mg/L)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	[NO ₃ ⁻] (mg/L)	[NH ₄ ⁺] (mg/L)	E.Coli/100mL
M1	7,7	12,9	305	10,6	2,0	1,8	39,3	1,28	Ausencia
M2	7,6	12,7	259,4	10,8	1,0	1,0	19,8	1,36	104
M3	6,9	12,9	263,3	10,5	1,5	1,5	19,6	1,26	34
M4	7,1	15,1	253,8	10,6	0,3	0,3	28,3	1,29	Ausencia
M5	7,1	14,1	396	9,7	0,0	0,0	47,2	5,04	Ausencia
M6	5,5	15,1	294,1	6,6	1,3	1,0	37,6	0,59	Ausencia
M7	6,8	14,4	254,9	10,4	7,3	3,5	50,4	0,96	Incontables
M8	6,6	16,8	221,2	8,7	6,0	5,5	26,8	0,63	Incontables
M9	7,0	15,9	226,1	10,0	2,5	2,5	25,1	0,63	Ausencia
M10	6,5	14,5	228,0	10,0	1,3	1,3	21	0,54	Ausencia

Tabla 6. Resultados obtenidos en las determinaciones analíticas para las aguas de manantiales

Los resultados de los parámetros analíticos determinados (Tabla 6) indican poca variabilidad de unas a otras muestras de manantiales poseyendo todas ellas valores muy bajos de SST y SSV. Cabe destacar el bajo valor de pH alcanzado en la muestra del manantial M6, que aparece acompañado también de un bajo valor de oxígeno disuelto. Por otra parte, el manantial M5 presenta la concentración de amoníaco más elevada, ya que supera en un factor de 5 a 10 las concentraciones de las restantes muestras. Esto podría ser indicativo de algún vertido de aguas residuales que afecta de manera especial a los manantiales M5 y M6, aunque la ausencia de contaminación fecal en los mismo es contraria a tal conclusión.

La concentración de oxígeno disuelto es en general elevada. La concentración residual de amoníaco (rango de 0,5 a 1,4 mg NH₄⁺/L, sin considerar el manantial M5 más contaminado) supera el valor guía para la calidad A1 en cuanto a potabilización, y es indicativa de la existencia de un proceso de contaminación de fondo en el área. Al tratarse de aguas naturales oxigenadas, la mayor parte del nitrógeno presente ha sufrido proceso de oxidación, y esto explica las elevadas concentraciones de nitratos (en el rango de 20 a 50 mg/L), que también supera en la mayoría de los casos el valor guía establecido para la producción de agua potable.

La presencia de contaminación en la zona de estudio aparece claramente indicada por el contenido de E.Coli en el agua de cuatro de los diez manantiales analizados. Esta contaminación tiene un probable origen en vertidos fecales de la actividad doméstica y universitaria, ya que en la zona no tienen lugar otro tipo de actividades que puedan generarla.

DISTINTOS USOS DEL AGUA EN FUNCIÓN DE SU CALIDAD ACTUAL					
 Recomendado Sin impedimentos Prohibido					
Muestras	Uso Residencial	Uso Urbano	Uso agrícola	Usos recreativos	Usos ambientales
M1					
M2					
M3					
M4					
M5					
M6					
M7					
M8					
M9					
M10					

Tabla 7. Distintos usos del agua en función de su calidad actual

El nivel de contaminación registrado hace necesario la adopción de medidas correctoras, aunque se considera necesario un estudio en mayor profundidad para determinar el alcance y origen cierto de la misma. De todas formas, el agua de estos manantiales se puede destinar a muchos usos en sustitución de agua potable de la traída municipal. Teniendo en cuenta los distintos valores para los parámetros exigidos para una determinada calidad del agua indicados más arriba (Tabla 1) podemos establecer los distintos usos que se le podrían asignar (Tabla 7), desde la aplicación de las aguas de alta calidad para uso residencial, y que son la mayoría de las analizadas, hasta otros usos como el agrícola para aguas de menor calidad.

Así pues, los resultados de este estudio permiten concluir que la mayor parte de las aguas de los manantiales existentes en el ámbito del campus pueden ser empleadas para usos de tipo residencial asociado esto a su elevada calidad. Sin embargo, las aguas de los manantiales M2 y M3 no podrán ser empleadas para uso residencial, debido a la presencia, aunque en baja concentración, de E. coli, pero si como aguas de uso urbano. Las aguas pertenecientes a los manantiales codificados como M7 y M8 solo se podrán emplear en algunos usos agrícolas y recreativos, debido esto al elevado número de bacterias de E. coli presentes.

CARACTERÍSTICAS DEL AGUA PRETRATADA ALIMENTADA A LOS HUMEDALES							
Campaña (Días de operación)	pH	T (°C)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	DQO (mg O₂/L)	DBO₅ (mg/L)	Conductividad (µs/cm)
I (0-42)	7.2	15.8	55	44	100	57	516
II (126-146)	7.2	12.7	45	41	164	99	344
III (223-245)	7.3	19.2	62	58	279	121	702
IV (371-406)	7.3	15.5	63	57	225	66	701
V (580-601)	7.7	18.1	112	103	224	145	988

Tabla 8. Características del agua pretratada alimentada a los humedales

3.4. Planta piloto digestor anaerobio-humedales construidos

La Tabla 8 indica las características del agua residual que entra a los humedales, procedente del alcantarillado que recoge aguas negras y pluviales de la facultad de Filología, situada en la parte alta del campus. Previamente, en el digestor anaerobio, el agua residual sufre una reducción en concentración de un 52-64% en SST, 32-50% en DQO y 23-44% en DBO₅, según se determinó para las campañas II, IV y V. Se trata en general de aguas diluidas o muy diluidas, debido a la entrada en la red de fecales de aguas pluviales.

La Tabla 9 muestra valores promedios de las velocidades de carga aplicadas y la eficiencia obtenida durante las cinco campañas realizadas. Cada unidad HC recibió un caudal en el rango de 0,24-0,36 m³/d, aspecto que se traduce en velocidades de carga hidráulica (VCH) en el rango de 20-30 mm/d (unidades FH) y 80-120 mm/d (unidades FV). A su vez, las velocidades superficiales de

VELOCIDAD DE CARGA Y EFICIENCIA DE CADA UNA DE LAS UNIDADES DE HUMEDAL CONSTRUIDO (VALORES MEDIOS PARA LAS CAMPAÑAS I, II, III, IV Y V)							
	FH1	FH2	FH3	FH4	FH5	FV1	FV2
Planta	Sin plantar	<i>Juncus effusus</i>	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Thypha latifolia</i>	<i>Phragmites australis</i>	<i>Phragmites australis</i>	<i>Phragmites australis</i>
VCH (mm/d)	24.8	26.1	26.0	25.5	26.3	101.3	105.0
VSCO, g/m ² .d)							
SST	1.6±0.5	1.7±0.4	1.7±0.5	1.7±0.5	1.7±0.4	6.5±1.3	6.8±1.9
DQO	4.7±1.1	5.1±1.6	5.0±1.5	4.9±1.4	5.1±1.5	19.5±6.3	20.4±6.2
DBO ₅	2.3±0.7	2.5±0.8	2.5±0.8	2.4±0.7	2.5±0.8	9.7±3.2	10.1±3.3
Eficiencia de depuración (% eliminación)							
SST	89.5±6.7	88.7±3.3	89.9±3.1	91.5±4.3	92.7±1.6	79.9±5.4	74.4±6.2
DQO	86.6±7.1	84.0±4.3	82.5±7.6	83.5±9.3	87.5±5.1	72.0±5.2	67.2±7.3
DBO ₅	92.8±6.4	95.2±3.1	87.1±11.5	90.0±8.0	87.9±15.8	78.6±8.8	71.1±6.3

Tabla 9. Velocidad de carga y eficiencia de cada una de las unidades de humedal construido

carga orgánica (VSCO) variaron de una a otra campaña debido a la variación en la concentración influente. Debido a la dilución del influente, los valores medios de VSCO (Tabla 9) se situaron en aproximadamente un 50% de los valores de diseño para humedales de flujo horizontal (5 g DBO₅/m².d según Puigagut et al., 2007). La eficiencia de depuración fue, en general, elevada, en cualquiera de los parámetros considerados, de tal forma que el efluente cumple con los criterios fijados en la Directiva 271/91/CE para un tratamiento secundario, exceptuando ocasiones en el porcentaje de depuración en V2.

En general, los humedales FH fueron alimentados con velocidades de carga hidráulica y orgánica similares. Los resultados indican que para estos humedales, en las condiciones de operación aplicadas, solo existen pequeñas diferencias no significativas en función del tipo de planta, o incluso de si el humedal se encuentra plantado o no.

Los humedales FV recibieron velocidades de carga también similares entre si, pero unas 4 veces superiores a las aplicadas en los humedales FH. Las eficacias de eliminación en los humedales FV resultaron inferiores a las obtenidas en los humedales FH, aspecto que indica que la capacidad de los sistemas FV, aunque mayor que la de los FH, no alcanza a superar a estos en un factor de 4 como el aplicado en el presente caso. La unidad de flujo vertical con el medio más grueso (FV2) muestra en general una menor eficacia de depuración, si bien las diferencias con FV1 no son elevadas. Finalmente, las unidades FV muestran un efluente mucho más oxigenado y menos anaerobio (valores medios de 3,3±0,1 mgO₂/L y -45±14 mV) que las unidades FH (valores medios de 0,55±0,06 mgO₂/L y -207±14 mV).

A partir de las condiciones de operación aplicadas e las eficacias obtenidas, se estima que ambos tipos de humedales obtienen resultados de depuración suficientemente elevados a velocidades de carga orgánica de 3,1 gDBO₅/m².d (FH) y 12,4 gDBO₅/m².d (FV), aplicadas durante las campañas III y V, siempre y cuando en los sistemas FV se utilice un medio granular fino (arena de 1-3 mm) como el utilizado en FV1.

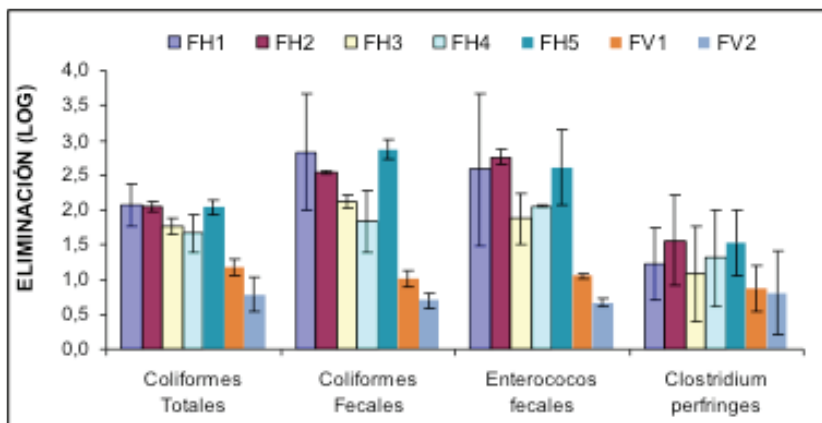


Figura 3. Indicadores de contaminación fecal

El seguimiento de los indicadores de contaminación fecal se realizó durante las campañas IV y V. Los resultados medios (Figura 3), muestran que la capacidad de eliminación es mayor en los humedales de flujo horizontal (aproximadamente 2 unidades logarítmicas) que en los de flujo vertical (1 unidad logarítmica). Los resultados están en la misma línea que los obtenidos para los parámetros de carga orgánica.

En cuanto a los nutrientes los porcentajes de eliminación de fósforo están entre 0-35% de eliminación para los humedales de flujo horizontal y 10-29% para los de flujo vertical, sin poder obtenerse, por tanto, conclusiones al respecto. Los porcentajes de eliminación de nitrógeno se encuentran entre el 25-49% para los humedales de flujo horizontal y 38-58% para los de flujo vertical. Los humedales de flujo vertical presentaron cantidades de nitratos y nitritos comprendidas entre 4 y 11 mg NO₃-N/L y aproximadamente 1 mg NO₂-L. Mientras, los humedales de flujo horizontal presentaron tan solo cantidades traza no cuantificables de estos compuestos. Esto está de acuerdo con la mayor capacidad de oxigenación de los humedales FV.

Durante la IV campaña son realizados también estudios de depuración de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HCTP). Se ha decidido acometer este estudio tras percibir desde comienzos de 2010 olor a hidrocarburos en el agua influente, resultado de un vertido cuyo origen no se identificaría hasta un año más tarde. Se trataba de una fuga de gasóleo de una tubería enterrada que transportaba combustible a la caldera del edificio. Durante el periodo de medición de noviembre de 2010, justo antes de erradicar la fuga, se registró una concentración media

de HCTP de 22,3 (rango de 4-33) mg/L. Los resultados obtenidos muestran porcentajes de eliminación de HCTP superiores al 90% en los humedales, adicionales al 40% obtenido en el pretratamiento anaerobio aplicado. Los humedales FH con planta y el humedal FV con la arena más fina alcanzaron las mayores eficiencias de eliminación.

3.5. Área necesaria de un humedal construido para los vertidos del Campus

Una vez estimada la carga orgánica generada y determinada la capacidad de tratamiento de diferentes tipos de humedales, procederemos al dimensionamiento de un sistema de humedales para su depuración natural in situ. Una instalación de depuración por humedales debe contar en cabeza con una fosa séptica, tanque imhoff o digestor anaerobio como pretratamiento (Álvarez et al., 2008). Elegimos un pretratamiento en digestores UASB (“upflow anaerobic sludge bed”) en los que el agua residual sufrirá una reducción mínima en DBO5 del 40%. De esta forma, la carga en DBO5 a tratar en el sistema de humedales construidos resultará de:

- Velocidad de carga orgánica a la entrada de los humedales: $126.000 \times 0,60 = 75.600 \text{ gDBO5/d}$.
- Las superficies de humedal resultantes para alcanzar una depuración avanzada serán, de acuerdo con los factores de capacidad obtenidos en la planta piloto:
- Área FV (humedal de flujo vertical, para $12 \text{ gDBO5/m}^2\text{-d}$): 6.300 m^2
- Área FH (humedal de flujo horizontal, para $4 \text{ gDBO5/m}^2\text{-d}$): 18.900 m^2

Sin embargo, debemos recordar que estos factores de capacidad fueron obtenidos para la situación actual, en la que el agua residual llega a la planta piloto muy diluida. Si tenemos en cuenta las velocidades de carga superficial aplicables para sistemas de humedales optimizados, para tratamiento secundario como único objetivo obtenidos por nuestro grupo de investigación (Ruiz et al., 2010), estas superficies podrían reducirse a la mitad (velocidades superficiales de carga orgánica de 8 y $24 \text{ gDBO5/m}^2\text{-d}$ para los sistemas FH e FV, respectivamente).

Si tomamos en consideración únicamente la alternativa de humedales de flujo vertical (más intensivos), el área de terreno necesario resulta de unos 3.000 m^2 aproximadamente, para obtener un tratamiento de tipo secundario. Dependiendo de la calidad deseada para el efluente tratado, se podrían aplicar sistemas híbridos FV-FH, y aumentar ligeramente esta superficie. Si además se toman en consideración funciones paisajísticas adicionales de los humedales, aspecto de gran interés por tratarse del campus universitario y por su localización urbana, ello requeriría adoptar áreas mayores, dedicando parte de las superficies adicionales a sistemas con agua superficial á la vista (flujo superficial o lagunas aerobias

4. Conclusiones

Para el Campus de Elviña-A Zapateira de la UDC se dispone de mediciones de consumo de agua y también de generación de aguas residuales y su concentración en materia orgánica y nutrientes. A partir de estos datos, junto con factores bibliográficos de generación, se estima un vertido del campus en unos 2.100 hab.eq. o 126.000 gDBO5/d. El vertido residual aparece fuertemente diluido, alcanzando los 2.647 m³/d, de los que tan solo unos 289 m³/día (el 11%) son aguas residuales en origen. Se deduce de ello un elevado potencial para la optimización ambiental a través de la mejora de las redes de evacuación que permitan la separación e aguas residuales que requieren tratamiento y otros caudales que podrían utilizarse directamente en diferentes usos en el Campus. En esta misma línea se dispone de al menos 6 manantiales y surgencias con calidad variable cuyo destino inicial podría ser el riego de zonas verdes y el uso en cisternas.

El tratamiento in situ de las aguas residuales generadas en uno de los edificios del Campus fue investigado en una instalación piloto de humedales construidos. Se obtuvo información en relación con el tipo de planta utilizado (*Juncus effusus*, *Iris pseudacorus*, *Thypha latifolia* y *Phragmites australis*), el medio granular y la dirección de flujo. Las velocidades de carga hidráulica medias fueron de 26-28 mm/d para los humedales de flujo horizontal (FH) y de 114 mm/d para los de flujo vertical (FV), mientras que las velocidades superficiales de carga orgánica resultaron en una media de 5 y 20 g DQO/m²·d para los sistemas FH y FV, respectivamente. Las eficiencias de eliminación se situaron próximas al 90% para las unidades FH, sin diferencias significativas en relación con la especie de planta. En las unidades FV se obtuvieron eficiencias de depuración algo menores, indicando que la capacidad relativa de estas unidades es ligeramente inferior a 4 veces la capacidad de las unidades FH. Mediante extrapolación a todo el Campus, se estima que el área de un humedal construido de flujo vertical necesario para la depuración completa del vertido del Campus puede variar entre los 3.000 y los 6.000 m², mientras la opción de humedales de flujo horizontal requeriría entre 9.000 y 18.000 m².

Agradecimientos

A Elvira Sahuquillo, por su ayuda en la identificación y selección de las especies vegetales utilizadas en la instalación Piloto. A Enrique Torres por su aporte en la realización de ensayos microbiológicos. A Estefanía Cordeiro, becaria de la Oficina de Medio Ambiente de la UDC, por su colaboración en el estudio de los manantiales.

5. Referencias bibliográficas

Álvarez J.A., Ruíz I. y Soto M. (2008). Anaerobic digesters as a pretreatment for constructed wetlands. *Ecological Engineering*, 33: 54-67.

APHA (1995). Standard methods for the examination of water and wastewater. APHA-AWWA-WEF, Washington.

Benayas J. y Alba D. (2007). La Universidad como Referente Social del Cambio hacia un Futuro Sostenible. Memorias del IV Seminario Internacional Universidad y Ambiente: Gestión Ambiental Institucional y Ordenamiento de los Campus Universitarios. UDCA. Bogotá, D.C., 25 y 26 de Octubre de 2007. Pax. 59-75. (disponible en: <http://www.ariusa.org/memoriaseminarioIvudca.pdf>, consulta 10-03-09).

Cagiao J., Soto M., Martínez X.L., Giz J., Servia M.J., Sahuquillo E. y Piñeiro F. (2008). O uso sustentable da auga e a súa relación co territorio nos campus universitarios de Elviña e A Zapateira da Universidade da Coruña. En http://www.udc.es/sociedade/medio_ambiente/auga_e_rios/ (último acceso: 30/10/2011).

Cagiao J., Martínez X.L., Soto M., Giz J., Sahuquillo E. (2011). Proyecto SOSTUAGA: el uso sostenible del agua y su relación con el territorio en el Campus de Elviña y de la Zapateira de la Universidad de A Coruña-UDC (España). En Congreso de Urbanismo y Ordenación del Territorio: Un nuevo modelo para una nueva época [Recurso electrónico], Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Madrid, pág. 64.

Henze H., Harremoës P., Jansens J. y Arvin E. 1995. Wastewater treatment. Springer-Verlag, New York.

López R., Taboada J.L. y López N. (2008). Impacto ambiental en centros da USC. Vicerreitoría de calidade e Planificación. Universidade de Santiago de Compostela.

Martínez X.L., Soto M., Giz J., Martín F., Vega P., Orro A. y Pardo R. (2009). Informe sobre o impacto ambiental en centros da Universidade da Coruña. Vicerreitoría de Infraestruturas e Xestión Ambiental. A Coruña. En http://www.udc.es/sociedade/medio_ambiente/pegada_ecologica/ (último acceso: 30/10/2011).

Puigagut J., Villaseñor J., Salas J.J., Bécares E., y García J. (2007). Subsurface-flow constructed wetlands in Spain for the sanitation of small communities: A comparative study. *Ecol. Eng.*, 30, 312-319.

Ruiz I., Díaz M.A., Crujeiras B., García J. y Soto M. (2010). Solids hydrolysis and accumulation in a hybrid anaerobic digester-constructed wetlands system. *Ecological Engineering*, 36, 1007-1016.

Soto, M., Sauquillo E., Vázquez J.M. y Martínez X.L. (2007). Uso sustentábel do territorio no campus de Elviña. I Congreso Internacional de Educación Ambiental dos Países Lusófonos e Galicia, 24-27 de Setembro, Santiago de Compostela. En http://www.udc.es/sociedade/medio_ambiente/biodiversidade_e_conservacion_do_solo/ (último acceso: 30/10/2011).

Soto, M. (2009). A ambientalización das universidades: o caso da UDC. Actualidad Jurídica Ambiental, 20 de abril de 2009, 1-19. En http://www.observatoriodellitoral.es/actualidad_juridica_ambiental/?p=1259 (último acceso: 22/12/2009).

VV.AA. (2008). Gestión Sostenible del Agua Residual en Entornos Rurales. Proyecto Depuranat. Netbiblo, A Coruña.