

Informe divulgativo sobre experiencias y resultados en la aplicación de Sistemas de Depuración Natural (SDN) de aguas residuales

Departamento de Agua
División de Investigación,
Desarrollo e Innovación
Tecnológica (ITC)

MARZO 2017



© Instituto Tecnológico de Canarias (ITC)
Departamento de Agua
División de Investigación,
Desarrollo e Innovación Tecnológica

Primera edición: **febrero 2010**
Segunda edición: **marzo 2017**

Para más información:
Departamento de Agua - ITC
agua@itccanarias.org

Informe divulgativo sobre experiencias y resultados en la aplicación de Sistemas de Depuración Natural (SDN) de aguas residuales

Departamento de Agua
División de Investigación,
Desarrollo e Innovación
Tecnológica (ITC)

MARZO 2017



Índice

01	Objeto del informe	7
02	Introducción.....	9
03	Fundamentos y características de los SDN	15
04	Ratios previsibles en la aplicación de SDN en Canarias.....	23
	Necesidades de superficie	23
	Costes de inversión y operación	24
05	Resultados preliminares de experiencias piloto existentes en Canarias	31
06	Divulgación del conocimiento y promoción de la formación y nuevos nichos de empleo	35
07	Ejemplos de Sistemas de Depuración Natural	39
	Data del Coronado	39
	Aula de la Naturaleza La Laurisilva	41
	Campus de Tafira	43
	Santa Lucía	45
	Lomo Fregenal.....	47
	Presa de Las Niñas	49
	Temisas	50
	Aula de la Naturaleza de Inagua	51
	Cortijo de Huertas	52
	Calheta de Maio	53
08	Análisis de resultados	55
09	Tabla resumen de resultados generales de experiencias piloto existentes en Canarias monitorizadas por ITC	58
10	Experiencia y conocimiento acumulado por el ITC en este ámbito.....	60
11	Conclusiones generales	62
12	Bibliografía	63



01

Objeto del informe

Este informe se redacta al objeto de aportar información y resultados concretos, a los responsables de saneamiento y depuración, así como de la planificación hidrológica en Canarias sobre la aplicación de sistemas de depuración natural (SDN) para el tratamiento y regeneración de aguas residuales en pequeñas aglomeraciones de población y actividades equivalentes.

Consideramos que esta información puede ser válida y útil a la hora de tomar en consideración nuevas opciones tecnológicas de menor coste energético, que pueden ser integradas en los programas de medidas para el control de vertidos de forma sostenible, mejorar el estado de las aguas, tanto subterráneas, superficiales y costeras, así como fomentar el mejor aprovechamiento del recurso agua.



02

Introducción

La Directiva 91/271/CEE fijaba el 31 de diciembre de 2005 como fecha límite para que las aglomeraciones urbanas menores de 2000 habitantes equivalentes, que vertiesen a aguas continentales o estuarios y que tuvieran construidos sus colectores, sometiesen sus aguas residuales a un *tratamiento adecuado*. Entendiendo por tratamiento adecuado:

“el tratamiento de las aguas residuales mediante cualquier proceso o sistema de eliminación, en virtud del cual las aguas receptoras cumplan después del vertido los objetivos de calidad previstos en el ordenamiento jurídico aplicable”.

En la actualidad, son estas pequeñas aglomeraciones las que tienen más deficiencias en lo que al tratamiento de sus aguas residuales se refiere. Es en este tipo de población dispersa donde deberá hacerse, en un futuro próximo, un gran esfuerzo para corregir sus carencias en saneamiento y depuración y poder cumplir la normativa vigente y mejorar la calidad de vida de estas poblaciones.

Por otra parte, el RD 1620/2007 sobre reutilización de aguas regeneradas supone un nuevo reto y una oportunidad. Por un lado, la regeneración de efluentes supone una mejora de calidad en el vertido y, también, sobre el medio receptor, y por otro, la posibilidad de un incremento de los recursos hídricos existentes en las zonas de escasez, como suelen ser las áreas rurales de las islas. Otras oportunidades añadidas al nuevo marco legislativo es la posibilidad de aprovechar los nutrientes contenidos en el agua depurada con mayores garantías de calidad y servicio para el usuario.

Las pequeñas comunidades, sobre todo las rurales, por su propia localización geográfica, presentan una problemática específica que dificulta la provisión de los servicios de saneamiento y depuración. En esta problemática destacan:

- La difícil o nula accesibilidad a las grandes redes de saneamiento conectadas a sistemas de depuración convencional centralizados, por razones de lejanía u orografía compleja. Igualmente, esta situación puede llegar a condicionar incluso, el suministro de energía eléctrica desde una red general.
- Las altas concentraciones de entrada y las grandes oscilaciones de caudal, hacen más difícil cumplir los objetivos de concentración en los efluentes depurados o esto se consigue a costa de un mayor consumo energético.
- El hecho de no poder aprovechar las ventajas que supone la economía de escala como consecuencia de su pequeño tamaño, conduce a que los costes de implantación, mantenimiento y explotación por habitante sean elevados. Además, en poblaciones dispersas los costes de saneamiento se incrementan notablemente.
- La escasa capacidad técnica y económica para el mantenimiento y explotación de estaciones de tratamiento de aguas residuales convencionales por parte de las comunidades locales y en general, la falta de técnicos capacitados en estos entornos.

Con frecuencia, las plantas depuradoras para el tratamiento de los vertidos generados en las pequeñas aglomeraciones urbanas se han concebido y diseñado como meros modelos a escala reducida de las grandes instalaciones de depuración. Como consecuencia directa de esta forma de actuar, las estaciones de depuración de los pequeños núcleos de población presentan unos costes de explotación y mantenimiento difícilmente asumibles por estas entidades, en las que, en general, los recursos técnicos y económicos son muy limitados. En materia de tratamiento de aguas residuales, las pequeñas aglomeraciones precisan actuaciones que compatibilicen las condiciones exi-





Toma de muestras en Temisas

gidas a los efluentes depurados con técnicas de funcionamiento simple y con costes de explotación y mantenimiento que puedan ser realmente asumibles. En definitiva, son necesarias soluciones más sostenibles, y es en este espectro de soluciones donde se pueden encuadrar los Sistemas de Depuración Natural (SDN).

Por todo ello, a la hora de seleccionar soluciones para el tratamiento de las aguas residuales generadas en los pequeños núcleos de población, deberían tomarse en consideración aquellas tecnologías o procesos que:

- Presenten un mínimo o nulo gasto energético.
- Requieran un mantenimiento y explotación muy simples.
- Garanticen un funcionamiento eficaz y estable frente a las grandes oscilaciones de caudal y carga contaminante de los influentes a tratar.
- Simplifiquen y minimicen la gestión de los lodos generados en los procesos de depuración.
- Se puedan integrar bien ambientalmente.

Es por todo ello que el Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. (ITC), adelantándose a las exigencias que estaban por venir y conscientes de que este sector, el de la depuración a pequeña escala, constituía una oportunidad para el mejor aprovechamiento del agua, la biomasa y los nutrientes, a un bajo coste energético y que, además, podría suponer un elemento dinamizador del empleo local y de la búsqueda de la sostenibilidad, inició en 1998-99 una línea de trabajo para el desarrollo y fomento de los sistemas de depuración natural en Canarias.

Así en 1999 se puso en servicio una primera iniciativa, liderada por el ITC, en el *Aula de La Laurisilva* propiedad del Cabildo de Gran Canaria. En el año 2000 entraron en servicio otros proyectos demostrativos como el ubicado en el Campus de Tafira de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y en la Finca de La Data del Coronado, propiedad del Cabildo de Tenerife. Es de destacar que en aquella época ya existían otras iniciativas similares ya sea de índole privado como público, como las exis-

tentes en el Área Recreativa de La Presa de Las Niñas y Corral de Los Juncos en Gran Canaria, o las iniciadas por el Cabildo de Tenerife en Parque Rural de Teno que todavía hoy están en operación, como es el caso de las instalaciones del Albergue de Bólico, Los Carrizales, Mirador de Hilda y, la más recientemente construida, en el Caserío de Masca. A partir de 2004 se desarrolló el proyecto DEPURANAT, cofinanciado por el Programa europeo INTERREG – Espacio Atlántico, que, liderado por el ITC, consiguió que un consorcio de entidades de Andalucía, Norte de Portugal, Sur de Francia y Canarias, trabajasen juntas para intercambiar conocimientos, estudiar en profundidad, demostrar y desarrollar herramientas que generasen confianza y difundiesen estas tecnologías o modos de abordar el tratamiento de las aguas residuales del mundo rural y espacios naturales. Los resultados de este proyecto se reflejaron de forma sintética en la publicación *Gestión Sostenible del Agua Residual en Entornos Rurales* (ISBN: 978-84-9745-383-7), actualmente descatalogado¹. También, fruto del proyecto desarrollado se diseñaron y pusieron en marcha nuevos proyectos demostrativos. Entre estos destacan, tres sistemas piloto de, Filtros Verdes y combinaciones de Humedales artificiales ubicados en la Planta Experimental de Carrión de Los Céspedes en Andalucía, gestionados por la Fundación Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA), un sistema de Filtro Verde en el Norte de Portugal y tres proyectos de Humedales Artificiales de diferente tipo localizados en Canarias. Concretamente en Santa Lucía (combinación de humedales de flujo vertical y horizontal), Temisas (humedal horizontal en serie con una depuradora convencional) y Lomo Fregenal (humedales horizontales en paralelo), desarrollados y gestionados en colaboración con las Mancomunidades de municipios del Sureste y Medianías de Gran Canaria. En este proyecto también se realizó el seguimiento de otros proyectos desarrollados por el Cabildo de Tenerife como el del Albergue de Bólico y el del caserío de Los Carrizales, todos ellos en el Parque Rural de Teno.

Una vez finalizado el periodo de financiación del proyecto DEPURANAT, dentro del programa europeo, se continuó con las actividades de seguimiento e investigación que se suceden



¹ Las instituciones interesadas en conseguir un ejemplar de libro pueden solicitarlo al ITC a través del correo electrónico: agua@itccanarias.org. Cada solicitud será estudiada según disponibilidad y aplicación de la publicación.



Humedad del flujo horizontal en construcción.
Mancomunidad del Sureste de Gran Canaria.

hasta la actualidad. Inspirados en esta experiencia se han desarrollado nuevos proyectos de carácter público y privado, destacándose la red de SDN del Cabildo de Gran Canaria con el que se ha colaborado para instalar nuevos sistemas en los albergues de la naturaleza de Inagua o de Cortijo de Huertas en las cumbres de la isla, o la apuesta del Consejo Insular de Aguas de esta isla que ya ha promovido el diseño y estudio de varios sistemas en colaboración con algunos ayuntamientos. A partir de aquí y en el marco del I Programa europeo de cooperación transnacional PCT-MAC se inicia un proceso de transferencia de conocimiento, especialmente hacia Cabo Verde. Así en 2013 se diseña el proyecto de depuración sin coste energético para la localidad *Penha de França* en *Ribeira Grande de Santo Antão*, en el marco del proyecto ISLHÁGUA². Esta iniciativa dio lugar a dos nuevos diseños para el municipio de Paul en la misma isla de Santo Antão, los SDN de *Vila das Pombas* y de *Eito*. En el mismo programa, dentro del proyecto APRENMAC³ y con la colaboración de la *Câmara Municipal de Praia*, se aborda el proyecto de saneamiento con SDN del barrio de *São Francisco*. Por último, como hito más relevante se encuentra el diseño y ejecución del proyecto de depuración natural para la localidad de *Calheta de Maio*, financiados por la Agencia de Cooperación Española en Cabo Verde y la municipalidad de esta isla.

Aunque consideramos que aún es necesario seguir evaluando, investigando e introduciendo mejoras en los sistemas de depuración natural de aguas residuales, tras los años de seguimiento llevados a cabo, se puede concluir que se ha generado suficiente información como para que sea compartida con la sociedad para que sea utilizada y puesta en valor, así como para detectar nuevas oportunidades de experimentación, innovación e investigación en el sector.

² www.islhagua.org

³ <http://aprenmac.itccanarias.org>



03

Fundamentos y características de los SDN

Las tecnologías y procesos de depuración de aguas residuales urbanas que reúnen las características expuestas en el apartado anterior se pueden catalogar bajo el nombre genérico de “Sistemas de Depuración Natural (SDN)”. Aunque en ocasiones se les aplican otras nomenclaturas como tecnologías de bajo coste energético, tecnologías no convencionales, tecnologías sostenibles o *depuradoras ecológicas*, aquí hemos preferido hacer énfasis al definirlos, en los conceptos de **sistema** como integrador de diversos elementos (entorno medioambiental y socioeconómico, diferentes formas de diseño e integración que da pie a la creatividad, etc.) y **natural** como reproductores de procesos que se dan en la naturaleza.

Los SDN ofrecen interesantes prestaciones para una gestión descentralizada de las aguas residuales. Las aguas residuales de entornos rurales suelen presentar mayores cargas de materia orgánica y nutrientes que por medio de los SDN puede ser depurados de manera sencilla, económica, fiable y respetuosa con el medio, dejando de ser un vertido problemático son una solución más para tratar las aguas residuales. Y, además, si se corresponden el diseño y las condiciones de operación puede producirse agua regenerada viable para ser reutilizada, acorde a la ley. Esta alternativa resulta muy interesante también para las instalaciones agropecuarias o en el caso de instalaciones turísticas, educativas y de ocio en el medio rural y la naturaleza, dónde aparte de resolver la cuestión del tratamiento de las aguas residuales, pueden contribuir a la conservación y desarrollo de ecosistemas de gran valor paisajístico y

a reforzar programas educativos de integración y respeto al medioambiente.

En definitiva, los SDN son el resultado de un ejercicio de diseño tomando como fuente de partida e inspiración, la acción depurativa característica de la renovación permanente de materia y energía de cualquier ecosistema natural. Mediante el diseño y recreación de ecosistemas se consigue no sólo el tratamiento del agua, sino además convertir los residuos presentes en el agua en una serie de productos potencialmente aprovechables. Convencionalmente, se ha planteado el tratamiento de las aguas residuales como una acción de mejora ambiental lineal y desconectada de su entorno. Se depura para no dañar el río, el cauce, el acuífero o el suelo donde se vierte, se hacen importantes inversiones económicas en conseguir que los residuos no perjudiquen o alteren el entorno, pero, a veces, se olvida plantear el tratamiento de las aguas residuales como un mecanismo de recuperación, de ahorro y de integración ambiental y socioeconómica. El diseño de estos sistemas es un recurso en sí mismo, al poseer un importante valor paisajístico y fomentar la biodiversidad propia de los enclaves en que se ubican, así como activar sectores de empleo como la construcción.

Los procesos que intervienen en los SDN son análogos a los que se desarrollan en los tratamientos convencionales de depuración de aguas residuales (sedimentación, filtración, adsorción, precipitación química, reacciones de oxidación y reducción, intercambio iónico, degradación biológica aerobia y anaerobia, etc.), a los que se unen otros que se dan en la naturaleza (fotosíntesis, fotooxidación, asimilación de nutrientes por parte de las plantas, depredación, etc.). La diferencia fundamental estriba en que, en las tecnologías convencionales estos fenómenos transcurren de forma secuencial en tanques y reactores, y a velocidades aceleradas gracias al aporte de energía, mientras que en los SDN se opera a velocidad "natural", (sin aporte de energía de forma artificial). El ahorro en energía se compensa con una mayor necesidad de superficie para realizar el proceso.



Vista general de un Humedal de flujo horizontal





Vista general de un Humedal de flujo vertical



Si se analizan en detalle los aspectos que caracterizan los SDN respecto a otros sistemas basados en tecnologías más intensivas, estos pueden concretarse en:

Gasto energético mínimo

De forma esquemática, para la depuración biológica aerobia, la más eficiente y rápida, es preciso poner en contacto las aguas residuales con bacterias y con oxígeno (aire), y estos tres componentes deben encontrarse en las debidas proporciones. Como resultado final del tratamiento, la corriente entrante (aguas residuales), dará lugar a dos corrientes finales: *efluentes depurados* y *lodos*, y en estos últimos se concentrarán la mayoría de los contaminantes eliminados en el proceso depurador. Las aguas residuales, junto con las bacterias aportadas en las excretas humanas, llegan continuamente a las estaciones de tratamiento, siendo el tercer componente (oxígeno-aire), el más difícil y costoso de aportar. En las Tecnologías Convencionales, con sistemas aerobios intensivos, los costes energéticos vienen a suponer del orden de un tercio de los costes totales de explotación y mantenimiento, variando este porcentaje de forma inversamente proporcional al tamaño de la planta, pudiendo ser en plantas pequeñas seis o siete veces más importantes que en plantas grandes. De estos costes energéticos, el apartado destinado a la aireación de las aguas a tratar (turbinas, compresores), puede llegar a suponer hasta un 75% del total.

Los SDN se caracterizan por recurrir a energías renovables pasivas, con lo que los costes energéticos asociados son nulos o muy reducidos (ver Tabla 1). En el caso de querer favorecer procesos aerobios y eliminar olores, entre los métodos naturales de oxigenación destacan: la *fotosíntesis* (realizada por las microalgas en el caso del Lagunaje), la *difusión de oxígeno por las raíces de plantas emergentes* (tratamiento a base de Humedales Artificiales) y la *alternancia de ciclos encharcado-secado* (depuración mediante: Filtros Verdes, Zanjas Filtrantes y Humedales Artificiales de Flujo Vertical).

Dado que la velocidad de aporte de oxígeno por métodos naturales es muy baja en comparación a la que se obtiene cuando se recurre al empleo de medios electromecánicos, la ventaja que suponen los SDN en lo referente al consumo energético, se ve contrarrestada por la mayor superficie que precisan para su implantación: las soluciones intensivas con tecnologías convencionales *requieren superficies inferiores a 1 m²/habitante equivalente*, mientras que los SDN o soluciones extensivas *requieren varios m² por cada habitante-equivalente a tratar*. Es este carácter extensivo el que condiciona el campo de aplicación de los SDN a las pequeñas comunidades.

Tabla 1. Fuentes de Energía en SDN

Fuente de Energía	Proceso en el SDN	Efectos destacables
Sol	Estratificación por temperatura	Creación de hábitats aerobios y anaerobios
	Radiación Ultravioleta	Desinfección/Fotodegradación
	Fotosíntesis	Producción de oxígeno Asimilación de nutrientes
Viento	Aireación en superficie	Favorece circulación del agua Incremento O ₂ en superficie
Gravedad	Estratificación por densidad	Creación de habitats eufóticos y afóticos
	Sedimentación	Reducción de materia orgánica en suspensión Creación de hábitat bentónico
	Flujo del agua	Circulación del agua por los distintos entornos/elementos del sistema

Simplicidad de mantenimiento y explotación

Mientras que las labores de mantenimiento tienen por objeto asegurar y garantizar el normal funcionamiento de todos los equipos e instalaciones de una estación de tratamiento, las operaciones de explotación persiguen utilizar los medios humanos y materiales de forma adecuada, con el objeto de transformar las aguas residuales en efluentes depurados, que cumplan la normativa vigente, con un mínimo coste económico y ambiental. Dentro de los costes de mantenimiento y explotación, los costes de personal vienen a suponer un tercio de los costes totales, en el caso de los sistemas convencionales. Por su parte, los SDN, recurren a procesos de tratamiento muy fáciles de controlar y que evitan, en lo posible, la instalación de equipos electromecánicos, permitiendo que las operaciones de mantenimiento y explotación puedan ser correctamente ejecutadas por personal no especializado, con el correspondiente abaratamiento de los costes. La mayoría de las operaciones de mantenimiento y explotación de los SDN son asimilables a labores agrícolas clásicas (rastrillado, cavado, siega, poda, eliminación de hierbas, etc.), por lo que, tras recibir las correspondientes indicaciones y recomendaciones de manejo, pueden ser desempeñadas por los habitantes de las zonas rurales en las que se implanten. Por otro lado, la inexistencia, o mínima presencia, de equipos electromecánicos supone eliminar, o minimizar, las incidencias por averías, que en muchas ocasiones dejan fuera de servicio las estaciones de tratamiento durante largos periodos de tiempo.

Garantía de funcionamiento eficaz frente a grandes oscilaciones de caudal y carga en el influente a tratar

Debido a su diseño extensivo, los SDN son sistemas autorregulados, como los ecosistemas naturales, absorbiendo fuertes oscilaciones, tanto de caudal como de carga contaminante, gracias a su capacidad de resiliencia. Se entiende por resiliencia

cia, la tendencia de un ecosistema a volver a su estado original tras una perturbación. Por ejemplo, cuando la concentración de nutrientes en un ecosistema acuático aumenta por causas externas, la producción de fitoplancton aumenta, absorbiendo, transformando, almacenando y, en consecuencia, reduciendo las concentraciones de nutrientes. La producción de animales filtradores aumenta con el incremento del fitoplancton, consumiendo más fitoplancton y reduciendo su concentración. Esta capacidad de los SDN tiene una contrapartida, que no debe obviarse, pues en el mismo modo en que son muy resistentes a los cambios en las condiciones de operación, si se sobrepasa su capacidad de adaptación son muy lentos en volver a su estado normal o habitual.

Simplificación del manejo de los lodos

Los lodos que se generan en los tratamientos de las aguas residuales mediante tratamientos convencionales precisan ser estabilizados, concentrados y deshidratados, antes de su evacuación⁴. Tras la operación de deshidratación, los lodos procedentes de sistemas aerobios intensivos presentan un contenido en humedad del 70-80%, por lo que cada habitante genera al día unos 0,3-0,4 l de lodos secos. La gestión de estos subproductos supone una fracción importante de los costes totales de explotación de una instalación de tratamiento. El problema se agrava en pequeñas instalaciones de tratamiento, en las que el hecho de no haber planificado correctamente la gestión de los lodos, es una de las principales causas de su mal funcionamiento. Los SDN simplifican la gestión de los lodos mediante mecanismos diferentes según la tecnología o modelo aplicado. En general, al trabajar con mayores tiempos de residencia hidráulica, gran parte de la materia orgánica biodegradable pasa a forma de gas (CO_2 y CH_4 , principalmente) y el resto queda muy mineralizado, de manera que no suele requerir extracciones periódicas, excepto en el caso de los tratamientos primarios anaerobios que sí requieren revisiones periódicas para evaluar la extracción de lodos sedimentados o flotantes. Normalmente es necesaria una extracción al año.



Humedal de flujo vertical
Mancomunidad del Sureste
de Gran Canaria

⁴ Cada habitante equivalente genera al día unos 80 g de lodos (expresados como materia seca).



Lo que no se debe confundir, en ningún caso, es simplicidad de mantenimiento y explotación con simplicidad de diseño y de construcción. Para un buen funcionamiento de un SDN es importante prestar la suficiente atención a la fase de diseño de los SDN, y a la posterior etapa constructiva. Un adecuado diseño y/o construcción, es garantía de un buen funcionamiento posterior. Pero esto mismo es extensible a todo sistema de tratamiento de aguas residuales urbanas, sea del tipo que sea, que debe para lograr los rendimientos de depuración preestablecidos, ser diseñado, construido, operado y mantenido convenientemente.



Aprovechamiento de la biomasa generada en el humedal de flujo horizontal del SDN Santa Lucía después de su poda por artesano local que utiliza las fibras vegetales que selecciona para cestería (Fuente: Mancomunidad del Sureste de Gran Canaria).



04

Ratios previsibles en la aplicación de SDN en Canarias

Necesidades de superficie

En Canarias, la experiencia del ITC obtenida a través del análisis y seguimiento de diferentes experiencias piloto y ante la benignidad del clima de las islas, con inviernos no excesivamente fríos en cotas medias y bajas, hace pensar que se pueden obtener ratios de superficie útil de tratamiento por habitante equivalente menores que en otras latitudes. En la siguiente tabla se exponen los ratios establecidos para diferentes tecnologías de SDN y los posibles ratios de aplicación en Canarias tomando en cuenta las condiciones climáticas locales y las experiencias piloto en explotación, actualmente. La superficie total ocupada por la infraestructura vendrá definida por las áreas de servicios, accesos, obras de llegada, pretratamiento, etc. Para cada caso habrá que realizar los cálculos pertinentes previos para evaluar las superficies necesarias de cara a obtener unos rendimientos de depuración concretos. En la siguiente tabla se han preestablecido rendimientos de reducción del 90 % en de DBO_5 , sin tener en cuenta el efecto de los tratamientos primarios. Así mismo, los márgenes expuestos se refieren a las condiciones de temperaturas templadas y frías de los meses de invierno que serían el factor limitante del grado de depuración.

Tabla 2. Necesidades de superficie en SDN

Tipo de Tecnología o combinación de ellas	Requirimientos de superficie propuestos en Proyecto DEPURANAT ⁵	Requirimientos de superficie de tratamiento secundario en Canarias según zonas climáticas y resultados en experiencias piloto ⁶
Filtro Verde	30-40 m ² /hab-eq	No evaluado
Lagunaje	7-10 m ² /hab-eq	No evaluado
Humedales artificiales de flujo Horizontal	3-5 m ² /hab-eq	3,2 - 4,8 m ² /hab-eq
Humedales artificiales de flujo Vertical	3-5 m ² /hab-eq	2 - 4 m ² /hab-eq
Combinación de lagunaje y filtros de grava de flujo subsuperficial	No especificado	2,2 – 5,6 m ² /hab-eq
Combinación de humedales de flujo horizontal y vertical ⁷	No especificado	1,5 - 2,5 m ² /hab-eq

Costes de inversión y operación

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales deben ser planteados en consonancia con las especificidades propias de los lugares de implantación⁷. En el caso de espacios rurales y en poblaciones de pequeña dimensión, los SDN procuran reducir los costes de obra civil y presentan una explotación simple con los mínimos costes de energía (Espadinha *et al.*, 2005; Seyring y Kusch, 2005). La información económica sobre este tipo de procesos aún se encuentra, sin embargo, poco desarrollada. En este contexto, durante el proyecto DEPURANAT y sucesivas experiencias se ha estudiado este aspecto para facilitar la selección de este tipo de sistemas de tratamiento y aportar, para tal efecto, indicadores clásicos corrientemente utilizados en proyectos de inversión.

⁵ Tratamiento de aguas residuales con finalidades productivas, en el ámbito rural y espacios naturales del Espacio Atlántico, mediante sistemas de tratamiento natural o de bajo coste energético. Proyecto cofinanciado por la Iniciativa Comunitaria INTERREG III B, Espacio Atlántico (Ref. 054-DEPURANAT).

⁶ Datos basados en los proyectos ejecutados y cálculos de humedales artificiales en diferentes condiciones climáticas de Canarias. Las cifras más bajas se obtienen en emplazamientos con climas templados donde las temperaturas medias del mes más frío son más suaves.

Tabla 3. Costes de inversión y operación en SDN según experiencias utilizadas en proyecto DEPURANAT

Tipo de Tecnología o combinación de ellas	Coste inversión	Coste anual de operación
Filtro Verde (CENTA, 2006)	350 - 400 €/hab-eq	25 €/hab-eq
Humedales artificiales de flujo Horizontal 120 hab-eq., en Andalucía Planta experimental (CENTA, 2006)	210 €/hab-eq	25 €/hab-eq
Combinación de lagunaje y filtros de grava de flujo subsuperficial	500 €/hab-eq	30 €/hab-eq

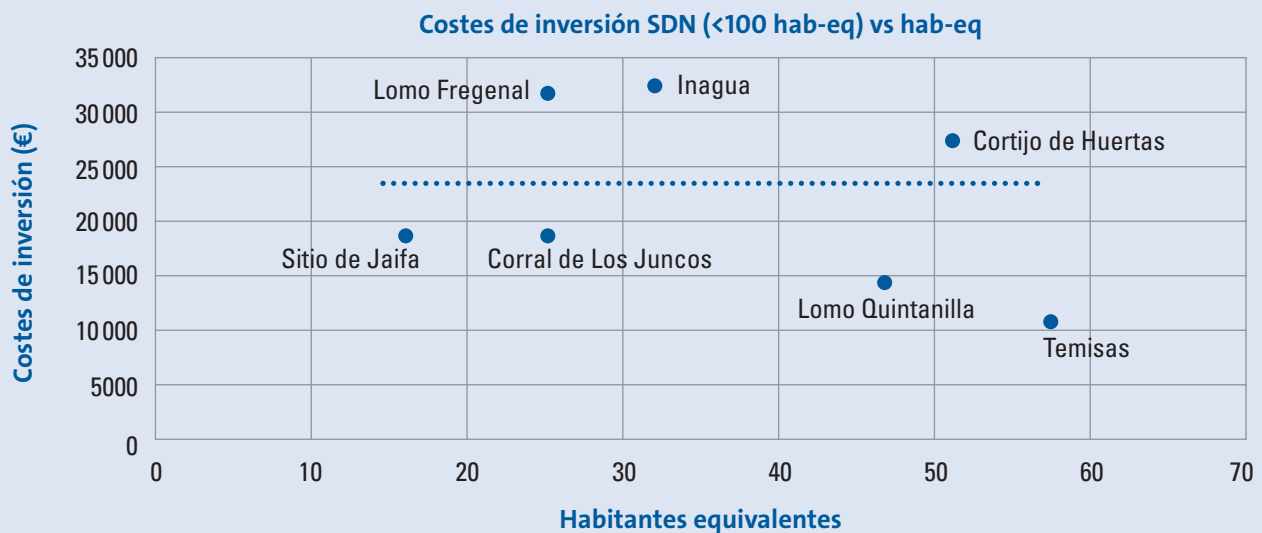
Los costes de inversión engloban los costes de construcción, incluyendo la preparación de terrenos y equipamiento electromecánico, y los costes de operación incluyendo la explotación y mantenimiento del sistema (p.ej. supervisión, energía e imprevistos), habiendo sido normalizados ambos por habitante equivalente.

El Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA) (2004) hace referencia a los costes de inversión de Humedales Artificiales, en la región de Andalucía, comprendidos entre 400 €/hab-eq y 250 €/hab-eq, para una población abastecida entre 150 hab-eq y 250 hab-eq. Un estudio efectuado por *Seyring y Kuschik (2005)* comparó los costes de inversión de Humedales Artificiales en dos países. En Alemania y para una población abastecida inferior a los 500 hab-eq, los costes de inversión se situaron en un intervalo comprendido entre los 100 €/hab-eq y 1500 €/hab-eq, bastante más amplio que el referido para el caso de Andalucía, mientras que en México, para una población abastecida inferior a 2000 hab-eq, el coste de inversión está comprendido entre los 150 €/hab-eq y 400 €/hab-eq. Se constata, de este modo, que los costes de inversión obtenidos en el ámbito del proyecto DEPURANAT se acercan más a los obtenidos en la región de Andalucía y en México, muy probablemente debido a que el coste de la mano de obra en estos lugares sea

7 Proyectos de estas características ya se aplican en el Centro Experimental de Carrión de Los Céspedes en Sevilla y en Santa Lucía (Gran Canaria).

8 Tratamiento apropiado: tratamiento de aguas residuales urbanas mediante cualquier proceso y/o sistema de tratamiento que permita que las aguas receptoras, después del vertido, satisfagan los objetivos de calidad que resulten conformes con las disposiciones de la presente y de las demás directivas comunitarias.

Gráfico 1. Representación de los costes de inversión frente a los habitantes equivalentes para las instalaciones proyectadas con una capacidad menor de 100 habitantes equivalentes



más bajo. Es importante mencionar que el coste de inversión depende, además, de otros factores como la lejanía o accesibilidad, la resistencia del material a ser excavado para la implantación de los sistemas, infraestructuras previas existentes, la orografía y la necesidad de acondicionamiento del espacio ante escorrentías, etc.

La experiencia obtenida en Canarias después del diseño de diferentes sistemas arroja unos datos que van desde 160 a 1260 € de inversión por hab-equivalente. El amplio rango se explica por las diferentes condiciones particulares de cada caso. Para la República de Cabo Verde dónde se han diseñado cinco proyectos, el rango de ratio obtenido es de unos 380 € por habitante equivalente.

El coste de inversión de Humedales Artificiales resulta de varias aportaciones, verificando que los costes de la impermeabilización del terreno y del medio de relleno representan cerca del 56% del coste de inversión, en el caso de que el flujo sea horizontal. En comparación, los Humedales Artificiales de Flujo Vertical presentan costes de conducciones más elevados

Gráfico 2. Representación de los costes de inversión frente a los habitantes equivalentes para las instalaciones proyectadas con una capacidad mayor de 100 habitantes equivalentes

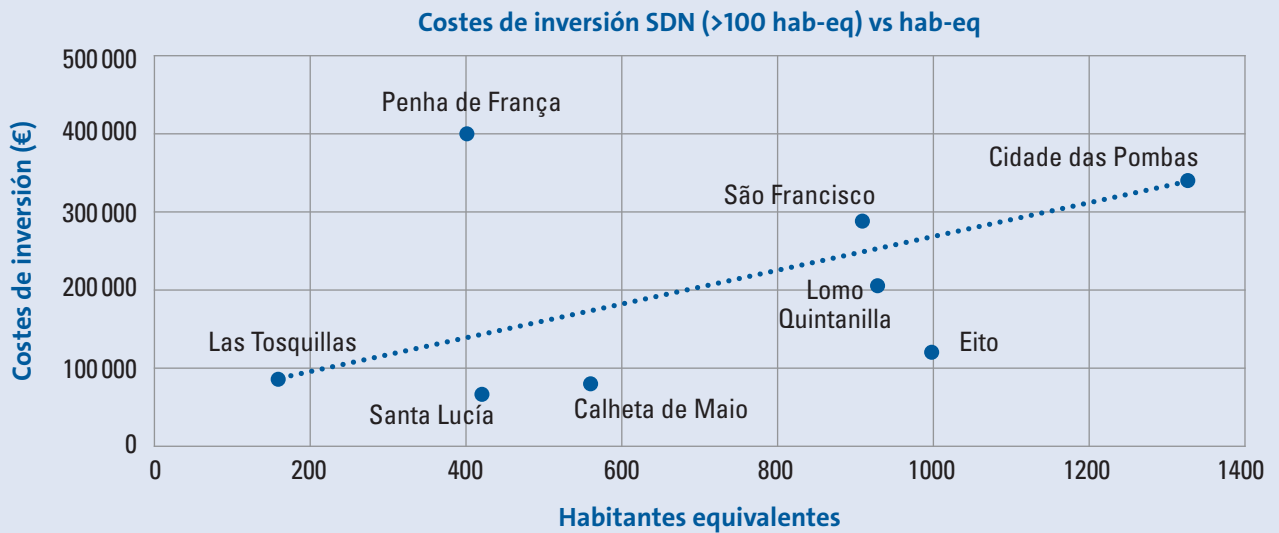


Gráfico 3. Representación del ratio de coste de inversión/habitante equivalente de diversos SDN diseñados para Canarias y Cabo Verde (excepto para el caso de Santa Lucía y Temisas en que se ha utilizado el dato de habitante equivalente calculado)

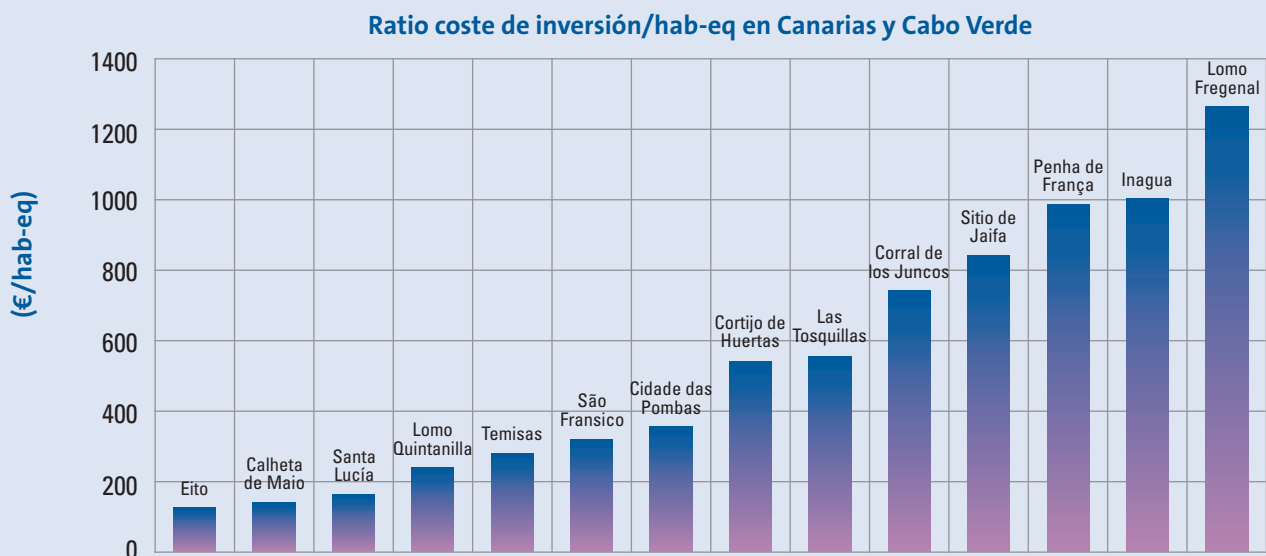


Tabla 4. Costes de inversión y operación (€/hab-eq) de sistemas de tratamiento de aguas residuales (Office Internacional de l'Eau, 2006)

	Sistemas de tratamiento intensivo			Sistemas de tratamiento extensivo		
Francia	Aireación prolongada	Discos biológicos	Filtro percolador	Lagunaje	Tratamiento primario + infiltración en el suelo	Tratamiento primario + humedal artificial
Inversión	230	220	180	120	190	190
Operación	11,5	7	7	4,5	6	5,5
España	Aireación prolongada	Reactor biológico rotativo	Filtro percolador	Lagunaje	Filtro de turba	
Inversión	210	204	198	162	168	
Operación	22,3	16,8	15	7,8	10,8	

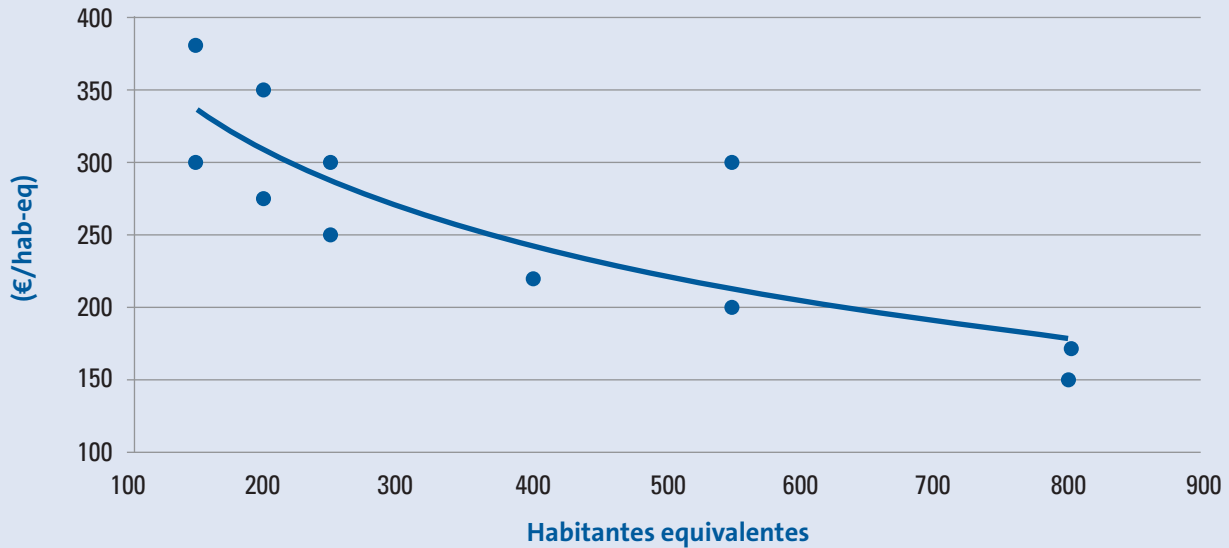
que los Humedales Artificiales de Flujo Horizontal, totalizando los costes de la impermeabilización, el medio de relleno y las conducciones cerca del 70 % del coste de inversión. Estos resultados son corroborados por un estudio realizado por la Oficina Internacional del Agua, en Francia (Office Internacional de l'Eau, 2006). Aunque en el presente documento se hayan tratado los costes asociados a sistemas de tratamiento natural de aguas residuales, se considera necesario establecer una comparación con el resto de tecnologías (Tabla 4).

Los estudios realizados en España y Francia indican que los costes de inversión de los SDN son, por lo general, inferiores a los de los sistemas intensivos. La explotación de los diferentes SDN es, ciertamente, menos costosa que la operación de los sistemas intensivos, en especial en lo que se refiere al coste energético y al coste derivado de la gestión de los lodos.

En la gráfica 4 (aportada por el CENTA) se puede observar la relación entre el coste de implantación y el nº de habitantes equivalentes. Para proyectos de menor dimensión, por debajo de 100 habitantes equivalentes, el ratio puede subir a más de

9 Sistema para 1000 habitantes [11].

10 Sistema para 1000 habitantes [9].

Gráfico 4. Costes de implantación de los humedales artificiales

Fuente: CENTA, Seminario formativo proyecto DEPURANAT, 2004

600 €/hab-eq de ejecución material. Depende, por supuesto, de la orografía, distancias al punto de vertido, de las medidas de integración ambiental que se incluyan, ubicación en zonas remotas o muy alejadas de los centros de actividad económica, etc.

Desde el punto de vista económico, otro aspecto a considerar es el efecto multiplicador de la inversión y las tareas de explotación relacionadas con la depuración a pequeña escala, sobre la economía local. Al tratarse los SDN de actuaciones principalmente de obra civil y utilización de materiales locales, prescindiendo prácticamente de la importación de equipamientos y materiales, los impactos positivos en la economía y creación de empleo local son plenos. Por otra parte la explotación del sistema, al no requerir energía eléctrica, demandar mano de obra poco cualificada, y reconvertir la mayoría de los subproductos en recursos valorizables (agua regenerada, nutrientes y biomasa vegetal), repercutiría directamente en la economía local generando recursos que compensarían los posibles costes.



05

Resultados preliminares de experiencias piloto existentes en Canarias

Fruto del desarrollo de los proyectos piloto arriba mencionados y del seguimiento y estudios realizados a lo largo de los últimos años, en colaboración con diferentes instituciones, hoy en día se cuenta en Canarias con toda una red de proyectos demostrativos que incorporan este tipo de tecnologías y que pueden servir de referencia. Aparte del seguimiento analítico y monitorización de SDNs, algunos estudios específicos realizados han sido:

- “Caracterización de la biomasa vegetal en los proyectos pilotos y aprovechamiento de su posible utilización con fines alternativos” llevado a cabo por un el Grupo de Biología Vegetal de la Universidad de La Laguna.
- “Interpretación y valoración agronómica de los efluentes obtenidos en los sistemas de depuración natural y su viabilidad para ser reutilizados en riego” en colaboración con el Departamento de Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna y el Departamento de Patología animal, Producción animal, y Ciencia y Tecnología de los alimentos de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- “Caracterización de organismos patógenos presentes en las aguas residuales y sedimentos de los proyectos pilotos de depuración natural existentes en las Islas Canarias” colaborando con el Instituto Universitario de Enfermedades Tropicales y Salud Pública de Canarias.

- “Estudio de integración social, ambiental y económica de los proyectos pilotos canarios de depuración natural en fase de diseño-construcción, en el marco del proyecto DEPURANAT” con el Centro de Estudios Ecosociales de la Universidad de La Laguna.
- “Metodología para la realización de estudios y mapas de potencial para la implantación de los SDN” con la empresa de capital público Gestión y Planeamiento Territorial y Medioambiental, GESPLAN.

Estos trabajos han sido cofinanciados con fondos FEDER y parte de los resultados están publicados en el libro *Gestión Sostenible del Agua Residual en Entornos Rurales. Proyecto DEPURANAT*, con ISBN: 978-84-9745-383-7.

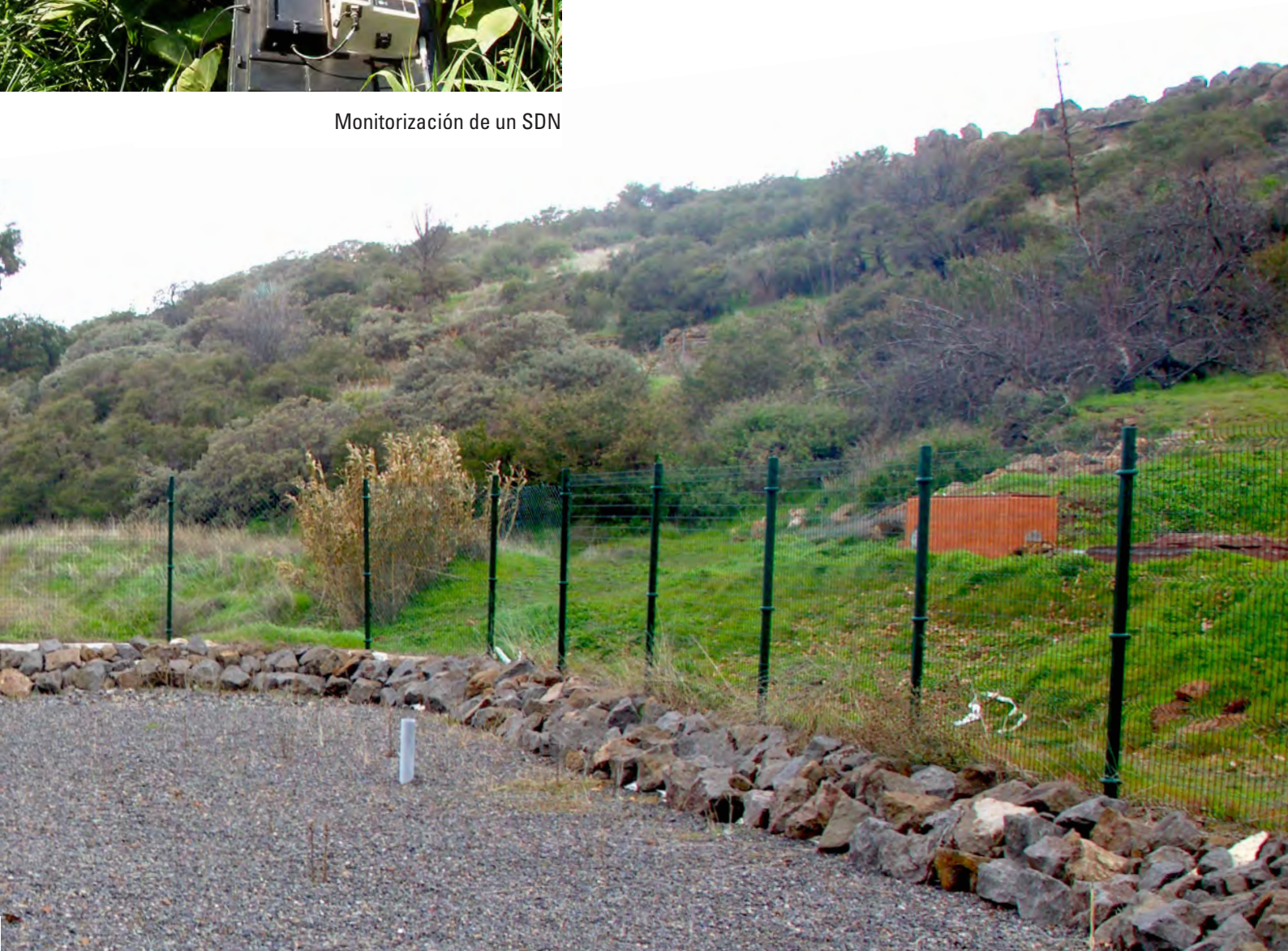
También se ha llevado a cabo el proyecto titulado “Evaluación de la eficacia de diferentes materiales como sustrato para humedales artificiales en Canarias” en colaboración con el Departamento de Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna. Y se continúa con las labores de seguimiento y evaluación de los SDN, con el fin de obtener información contrastada y complementaria en cuanto a su funcionamiento y posibles





Monitorización de un SDN

mejoras. Con el objetivo de demostrar el funcionamiento y capacidad de estas experiencias, se expone como Anexo al informe, una tabla resumen de los resultados obtenidos en cada una de ellas. Evidentemente, hay múltiples particularidades de cada aplicación relacionadas con el origen del agua residual y la tecnología aplicada que no se reflejan en la tabla, pero que pueden obtenerse de la publicación ya referenciada (*Gestión Sostenible del Agua Residual en Entornos Rurales. Proyecto DEPURANAT*). Igualmente, se anexa una galería de imágenes de los diferentes proyectos piloto que dan una idea de la disposición en el terreno de las diferentes tecnologías y sus posibilidades de integración en el paisaje.





06

Divulgación del conocimiento, promoción de la formación y nuevos nichos de empleo

Desde el comienzo de esta línea de trabajo, el ITC y los socios con los que se ha colaborado han sido muy activos en la divulgación del conocimiento, la sensibilización y la formación en este campo. Se han instalado carteles explicativos en la mayoría de los proyectos piloto, se han organizado cursos de formación y jornadas divulgativas, se han presentado numerosos póster y comunicaciones en diversos congresos y seminarios, tanto nacionales como internacionales, se ha asesorado a empresas privadas, profesionales libres e instituciones públicas y, asimismo, se ha orientado en el desarrollo de tesis doctorales y proyectos de fin de carrera en este campo. Todo ello con el objetivo de que el conocimiento disponible y los beneficios de este tipo de sistemas sean transferidos a la sociedad, posibilitando, a su vez, el desarrollo de actividades económicas vinculadas a estos sistemas y la creación de empleo cualificado con garantías de éxito.

Entre las actividades desarrolladas en este campo se pueden destacar las siguientes:

Organización y participación en cursos de formación:

- Tecnologías del Agua (1998-1999), con módulo teórico-práctico sobre depuración de bajo coste energético.
- Cursos de iniciación a los SDN en todas las islas (1999).
- Dos cursos teórico-prácticos de especialización en SDN (1999-2000).



- Curso de Verano “Tratamientos de aguas residuales de bajo coste para zonas rurales, fundamentos y tendencias”, León (2007).
- Diseño y programación del Curso *on-line* de “Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales a Pequeña Escala”, en español y portugués con varias ediciones entre 2012 y 2015.

Participación con comunicaciones y poster en diversos eventos nacionales e internacionales:

- Tecnologías de Pequeña Escala para la Depuración y Gestión de Aguas Residuales en el Ámbito Mediterráneo, Sevilla (2002).
- 10ª edición del Congreso organizado por IWA (International Water Association) sobre Humedales Artificiales, Lisboa (2006).
- II Congreso Internacional Smallwat 2007 – Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Colectividades, Sevilla (2007).
- 8ª Reunión Mesa Española de Tratamiento de Aguas, Puerto de la Cruz (2008).
- Conferencia Nacional Sobre la Reutilización del Agua, Madrid (2009).
- 3rd Wetland Pollutant Dynamics and Control – WETPOL, Barcelona (2009).

Publicación de artículos técnico-científicos:

- Tecno Ambiente (2006).
- *Water Science and Technology* (2007).
- RETEMA (2008).
- *Desalination and Water Treatment* (2009).
- *Ecological Engineering* (2013).





Vista del primer estanque del SDN Data del Coronado

07

Ejemplos de Sistemas de Depuración Natural

Data del Coronado

La Finca de la Data del Coronado se ubica en el término municipal de El Rosario en la isla de Tenerife. Dispone de una ganadería vacuna de 130 cabezas atendida por cuatro trabajadores. Esta ganadería está destinada a la producción de leche. El vertido que se trata en el Sistema de Depuración Natural (SDN) comprende las aguas residuales generadas por los trabajadores de las instalaciones, junto a las aguas provenientes de la limpieza de la sala y maquinaria de ordeño. Los residuos sólidos y líquidos de los animales de la finca son retirados en seco para su posterior tratamiento o compostaje.

Es una característica de esta zona las fuertes oscilaciones térmicas, alcanzando temperaturas máximas en verano de hasta 38 °C y mínimas en invierno de 0 °C, condicionando fuertemente el funcionamiento del SDN.

Descripción de la instalación de depuración

Población de diseño	68 habitantes equivalentes
Tratamiento primario	Reja de desbaste y fosa séptica
Tratamiento secundario	Estanques facultativos con macrófitas y filtro de grava
Caudal máximo estimado	12 m ³ /día
Superficie útil de tratamiento secundario	240 m ²
Superficie útil de tratamiento secundario / hab-eq. de diseño:	3,5 m ² /hab-eq

Resultados

Períodos de estudio	2005-2006
Concentración media de afluente a tratamiento secundario (mg/L) DBO ₅ /DQO/SS	150 / 700 / 240
Concentración media de efluente (mg/L) DBO ₅ /DQO/SS	28 / 240 / 54
Rendimiento del tratamiento secundario (%) DBO ₅ /DQO/SS	80 / 66 / 78



Aula de Naturaleza la Laurisilva

Aula de la Naturaleza La Laurisilva

El Aula de la Naturaleza de La Laurisilva, propiedad del Cabildo de Gran Canaria, cuenta con doce habitaciones además de la casa del vigilante, cocina común y servicio de lavandería. Dispone de cuarenta plazas de alojamiento a las que hay que añadir cuatro plazas del personal propio del Aula. De los seguimientos realizados del nivel de ocupación se obtiene una marcada estacionalidad, reduciéndose mucho en el período estival. Las actividades del Aula son básicamente las de alojamiento, educación ambiental y actividades en la naturaleza. En el mismo emplazamiento, el Cabido de Gran Canaria dispone de un vivero y está desarrollando varios proyectos de reforestación con especies de Monteverde.

El agua depurada se utiliza en el riego de proyectos de reforestación con la finalidad de recuperar los antiguos bosques de Laurisilva de la zona.

Descripción de la instalación de depuración

Población de diseño	44 habitantes equivalentes
Tratamiento primario	Fosa séptica preexistente (1 ^{er} período) Tanque Imhoff de 30 hab-eq. (2 ^{do} período)
Tratamiento secundario	Estanque facultativo con macrófitos y filtros de grava
Caudal máximo estimado	4,72 m ³ /día
Superficie útil de tratamiento secundario	95 m ²
Superficie útil de tratamiento secundario / hab-eq. de diseño	2,2 m ² /hab-eq

Resultados

Períodos de estudio	1999-2000	2008-2009
Caudal real promedio (m ³ /día)	4,5	3,7
Concentración media de afluente a tratamiento secundario (mg/L) DBO ₅ /DQO/SS	190 / 335 / 55	-
Carga contaminante medida en secundario (hab-eq)	14	
Ratio superficie útil de tratamiento secundario / hab-eq. calculado	6,8 m ² /hab-eq	
Concentración media de efluente (mg/L) DBO ₅ /DQO/SS	45,5 / 125 / 47	9,8 / 113 / 20,2
Rendimiento del tratamiento secundario (%) DBO ₅ /DQO/SS	76 / 62 / 14	95 / 66 / 63



Vista general del SDN Campus de Tafira

Campus de Tafira

El Campus de Tafira es un mosaico de situaciones, fundamentalmente al coexistir un espacio urbano consolidado, destinado a albergar las facultades y centros de diversa índole, con usos agrícolas y ganaderos de marcado carácter tradicional y áreas de excelente recubrimiento vegetal. Al sistema de depuración natural se derivan parte los caudales de aguas residuales generados en aulas, laboratorios, instalaciones deportivas, comedor y cafetería.

El diseño planteado es para el tratamiento de unas 50 habitantes equivalentes. Dado que el aporte de los usuarios del Campus es menor (asumido 15 gr de DBO₅, en 50 litros de agua por persona y día) se puede calcular que está tratando el agua de unos 150 a 180 usuarios de las instalaciones, sin considerar el aporte de cafeterías, comedor y laboratorios específicos.

Descripción de la instalación de depuración

Población de diseño	50 habitantes equivalentes
Tratamiento primario	No dispone de tratamiento primario. El agua residual que entra al sistema sólo pasa por una bomba dilaceradora
Tratamiento secundario	Estanque facultativo con macrófitos y filtros de grava
Caudal máximo estimado	11 m ³ /día
Superficie útil de tratamiento secundario	280 m ²
Superficie útil de tratamiento secundario / hab-eq. de diseño	5,6 m ² /hab-eq

Resultados

Períodos de estudio	Prim-Ver 2005	Otoñ-Inv 2006
Caudal real promedio (m ³ /día)	11	11
Concentración media de afluente a tratamiento secundario (mg/L) DBO ₅ /DQO/SS	390 / 650 / 130	70 / 190 / 100
Carga contaminante medida en secundario (hab-eq)	70	-
Ratio superficie útil de tratamiento secundario / hab-eq. calculado	6,8 m ² /hab-eq	-
Concentración media de efluente (mg/L) DBO ₅ /DQO/SS	22 / 104 / 7	<8 / 67 / 4
Rendimiento del tratamiento secundario (%) DBO ₅ /DQO/SS	94 / 84 / 95	90 / 65 / 96



Vista del humedal de flujo horizontal y laguna de almacenamiento del SDN Santa Lucía

Santa Lucía

Este sistema proporciona una alternativa de mejora de tratamiento y aprovechamiento local de un importante caudal de aguas residuales procedentes de varios núcleos rurales históricos situados en la ladera sur del Barranco de Tirajana (Santa Lucía Casco, El Parralillo, El Valle y Rosiana).

Las actividades fundamentales en el casco de Santa Lucía y alrededores es la agrícola, con pequeños cultivos de olivo, papas, millo y presencia de ganado caprino fundamentalmente. Otra actividad relevante es la de servicios, fundamentalmente restaurantes y turismo rural.

Además, existen artesanos que han hecho uso de la biomasa generada en el SDN para su labor así como ganaderos que lo han utilizado como cama de ganado. El agua depurada se utiliza para riego de fincas de olivos.

Descripción de la instalación de depuración

Población de diseño	100 habitantes equivalentes
Tratamiento primario	Reja de desbaste, antigua fosa de decantación reconvertida en fosa séptica y primario prefabricado para 100 hab-eq.
Tratamiento secundario	Humedales de flujo vertical de uso alternativo y humedal de flujo subsuperficial horizontal en serie con Anea
Caudal máximo estimado	12,5 m ³ /día
Superficie útil de tratamiento secundario	450 m ²
Superficie útil de tratamiento secundario / hab-eq. de diseño	4,5 m ² /hab-eq

Resultados

Períodos de estudio	2010
Caudal real promedio (m ³ /día)	34,4
Concentración media de afluente a tratamiento secundario (mg/L) DBO ₅ /DQO/SS	416 / 750 / 232
Carga contaminante medida en secundario (hab-eq)	239
Ratio superficie útil de tratamiento secundario / hab-eq. calculado	1,9 m ² /hab-eq
Concentración media de efluente (mg/L) DBO ₅ /DQO/SS	46 / 128 / 10
Rendimiento del tratamiento secundario (%) DBO ₅ /DQO/SS	87 / 80 / 92



Vista general del SDN Lomo Fregenal.

Lomo Fregenal

El Barranco de los Cernícalos es un espacio con un valor paisajístico peculiar y rica vegetación, estando integrado en su totalidad entre el Paisaje Protegido de Lomo Magullo, parte más baja del barranco, y la Reserva Natural Especial de Lomo Magullo, parte más baja del barranco, y la Reserva Natural Especial de Los Marteles, la cual alberga una de las mejores plantaciones de *Salix Canariensis* de Canarias.

La población a la que da servicio el SDN, Lomo Fregenal y La Colomba, se trata de un pequeño núcleo de población de marcado carácter rural, con una serie de viviendas en diseminado, que albergan unos veinticinco habitantes de forma habitual, pudiendo incrementarse a unos cuarenta durante los periodos vacacionales y fines de semana, incorporando la actividad de una sala de ordeño para ganado caprino.

La existencia en la zona de una importante superficie de suelo público consolidado parcialmente como un área recreativa espontánea, ha sugerido su utilización para emplazar el SDN.

Descripción de la instalación de depuración

Población de diseño	25 habitantes equivalentes
Tratamiento primario	Reja de desbaste y Tanque Imhoff para 50 hab-eq.
Tratamiento secundario	2 humedales de flujo subsuperficial horizontal sin macrófitos para uso alternativo
Caudal máximo estimado	3,5 m ³ /día
Superficie útil de tratamiento secundario	80 m ² por humedal
Superficie útil de tratamiento secundario / hab-eq. de diseño	3,2 m ² /hab-eq

Resultados

Períodos de estudio	2009-2010	2011-2012
Caudal real promedio (m ³ /día)	1	1
Concentración media de afluente a tratamiento secundario (mg/L) DBO ₅ /DQO/SS	930 / 3100 / 1600	-
Carga contaminante medida en secundario (hab-eq)	16	-
Ratio superficie útil de tratamiento secundario / hab-eq. calculado	5,0 m ² /hab-eq	-
Concentración media de efluente (mg/L) DBO ₅ /DQO/SS	31 / 177 / 21	21 / 106 / 12
Rendimiento del tratamiento secundario (%) DBO ₅ /DQO/SS	96 / 93 / 96	98 / 97 / 99



Vista de los humedales existentes en el área recreativa de la Presa de Las Niñas

Presa de Las Niñas

En el área recreativa de la Presa de Las Niñas existen unos baños públicos y una cafetería que abarca aproximadamente una hectárea de superficie. Estas instalaciones son las responsables de las aguas residuales generadas en la zona, y que se tratan a través de una fosa séptica y varios humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal con el objetivo de que se evapotranspire la totalidad de las aguas y no haya vertido a la presa. En caso de que lo haya, este pasaría por un post-tratamiento con varios filtros de arena para que la calidad del vertido sea la mayor posible.

Descripción de la instalación de depuración

Población de diseño	50 habitantes equivalentes
Tratamiento primario	Fosa séptica / Filtro biológico
Tratamiento secundario	Humedal de flujo subsuperficial horizontal (con 2 humedales más en serie para evapotranspirar)
Caudal máximo estimado	5 m ³ /día
Superficie útil de tratamiento secundario	177, 154 y 98 m ² (desde el primer humedal al último, respectivamente)
Superficie útil de tratamiento secundario / hab-eq. de diseño	3,5 m ² /hab-eq

Resultados

Períodos de estudio	2014-2005
Caudal real promedio (m ³ /día)	2
Concentración media de afluente a tratamiento secundario (mg/L) DBO ₅ /DQO/SS	48 / 203 / 39
Carga contaminante medida en secundario (hab-eq)	2
Ratio superficie útil de tratamiento secundario / hab-eq. calculado	88,5 m ² /hab-eq
Concentración media de efluente (mg/L) DBO ₅ /DQO/SS	19 / 72 / 43
Rendimiento del tratamiento secundario (%) DBO ₅ /DQO/SS	60 / 64 / 65

Temisas

En este núcleo rural de unos cuatrocientos habitantes, perteneciente al término municipal de Agüimes, ya existía una estación de depuración de oxigenación prolongada. Dada la escasez del terreno disponible, se optó por construir la nueva estación de tratamiento aprovechando la balsa que formaba parte de la depuradora. Posteriormente, en 2014 se reconvierte la balsa en un segundo humedal y en 2016 se conecta un primario prefabricado en serie con los módulos de aireación prolongada.



Vista general de la EDAR Temisas

Descripción de la instalación de depuración

Población de diseño EDAR	500 habitantes equivalentes
Población de diseño de humedal	15 habitantes equivalentes
Tratamiento primario	Reja de desbaste, arqueta de desarenado/desengrasado
Tratamiento secundario	Módulo de aireación prolongada preexistente de 500 hab-eq. y humedal de flujo subsuperficial horizontal
Caudal máximo estimado	20 m ³ /día
Superficie útil de tratamiento secundario	72 m ²
Superficie útil de tratamiento secundario / hab-eq. de diseño	4,8 m ² /hab-eq

Resultados

Períodos de estudio	2019-2016
Caudal real promedio (m ³ /día)	25
Concentración media de afluente a tratamiento secundario (mg/L) DBO ₅ /DQO/SS	140 / 276 / 176
Carga contaminante medida en secundario (hab-eq)	58
Ratio superficie útil de tratamiento secundario / hab-eq. calculado	1,2 m ² /hab-eq
Concentración media de efluente (mg/L) DBO ₅ /DQO/SS	42 / 147 / 25
Rendimiento del tratamiento secundario (%) DBO ₅ /DQO/SS	66 / 47 / 78

Aula de la Naturaleza de Inagua

El Aula de la Naturaleza de Inagua cuenta con un edificio principal con dormitorios, baños interiores, cocina, comedor general, almacén y baños exteriores. También dispone de un pequeño edificio anexo con cocina y baños para el educador ambiental que gestiona el Aula y las visitas. Cuenta con una capacidad máxima de treinta y tres personas, ocupándose principalmente en período invernal.



Imagen del tratamiento primario integrado en el entorno del Aula de la Naturaleza de Inagua

Descripción de la instalación de depuración

Población de diseño	32 habitantes equivalentes
Tratamiento primario	Fosa séptica para 45 hab-eq.
Tratamiento secundario	Dos humedales de flujo subsuperficial horizontal en serie
Caudal máximo estimado	3,7 m ³ /día
Superficie útil de tratamiento secundario	2 x 53,6 m ²
Superficie útil de tratamiento secundario / hab-eq. de diseño	3,3 m ² /hab-eq

Cortijo de Huertas

El albergue de Cortijo de Huertas cuenta con un edificio principal, con baños y cocina, y una zona acondicionada donde se encuentran las cabañas de madera para acoger a los visitantes, que cuentan con un baño exterior el cual no está conectado al sistema de tratamiento. La capacidad del albergue es de aproximadamente cincuenta personas.



Vista general del SDN de Cortijo de Huertas

Descripción de la instalación de depuración

Población de diseño	51 habitantes equivalentes
Tratamiento primario	Separador de grasas y fosa séptica prefabricada
Tratamiento secundario	Humedal de flujo subsuperficial horizontal
Caudal máximo estimado	6,2 m ³ /día
Superficie útil de tratamiento secundario	183 m ²
Superficie útil de tratamiento secundario / hab-eq. de diseño	3,6 m ² /hab-eq

Calheta de Maio

Maio es una de las 10 islas de Cabo Verde, con una superficie total de 269 km². Calheta es considerada la segunda mayor población de la isla. El SDN de Calheta de Maio surge como respuesta al interés por parte de las autoridades locales de dar tratamiento adecuado a las aguas residuales generadas en la zona mediante sistemas de bajo coste energético.

La ejecución se realiza por fases, habiéndose llevado a cabo la primera de ellas con la construcción de un humedal, pero previéndose que en el futuro y con el esperable aumento de la población en la zona, se construyan dos humedales más.



Vista del humedal de flujo horizontal en la fase final de construcción en Calheta de Maio

Descripción de la instalación de depuración

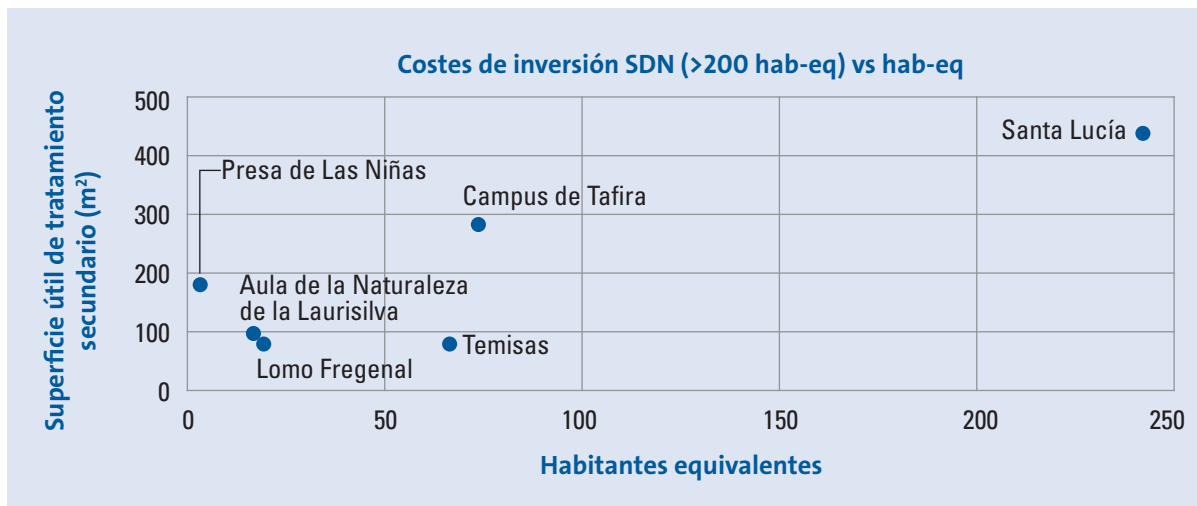
Población de diseño	1500-2000 habitantes equivalentes
Tratamiento primario	Fosa séptica
Tratamiento secundario	Humedal de flujo subsuperficial horizontal
Caudal máximo estimado	90 m ³ /día
Superficie útil de tratamiento secundario	1500 m ² (520 m ² superficie del humedal construido en 1ª fase)
Superficie útil de tratamiento secundario / hab-eq. de diseño	1-0,7 m ² /hab-eq



08

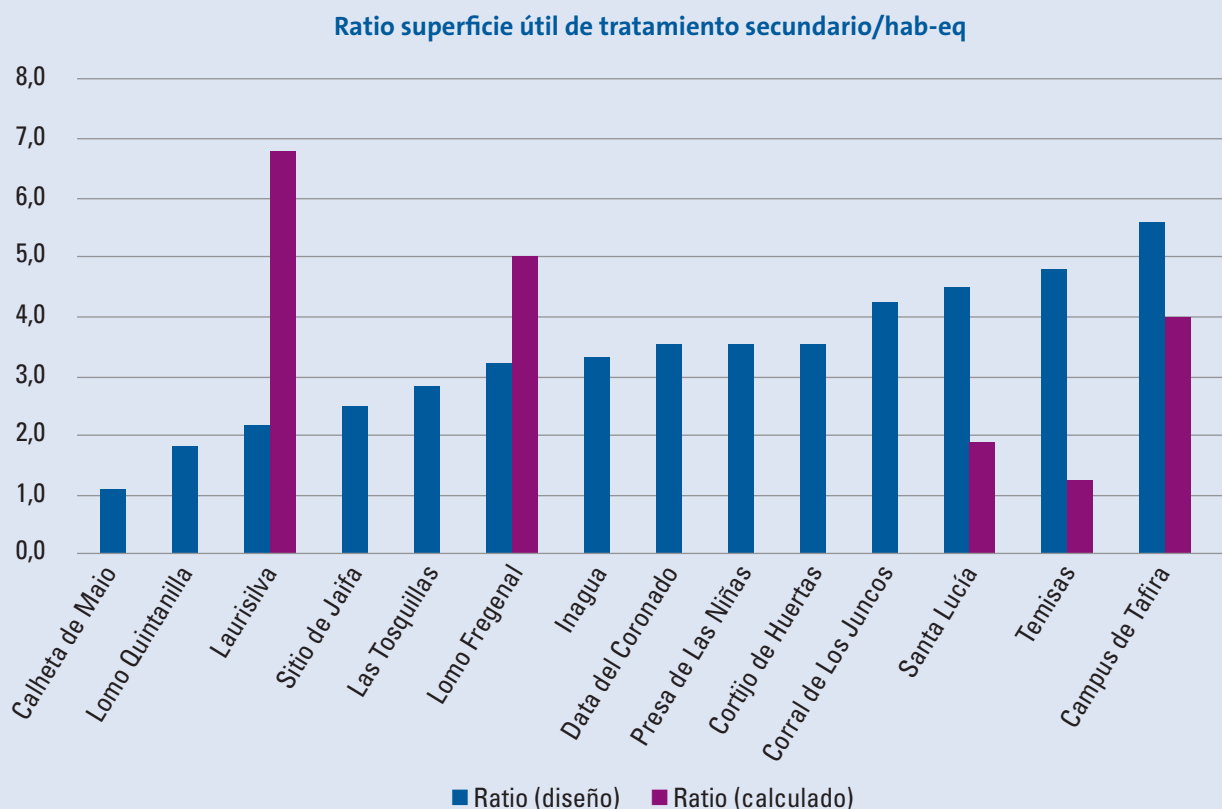
Análisis de resultados

Gráfico 5. Representación de la superficie útil de tratamiento secundario frente a los habitantes equivalentes calculados para cada instalación



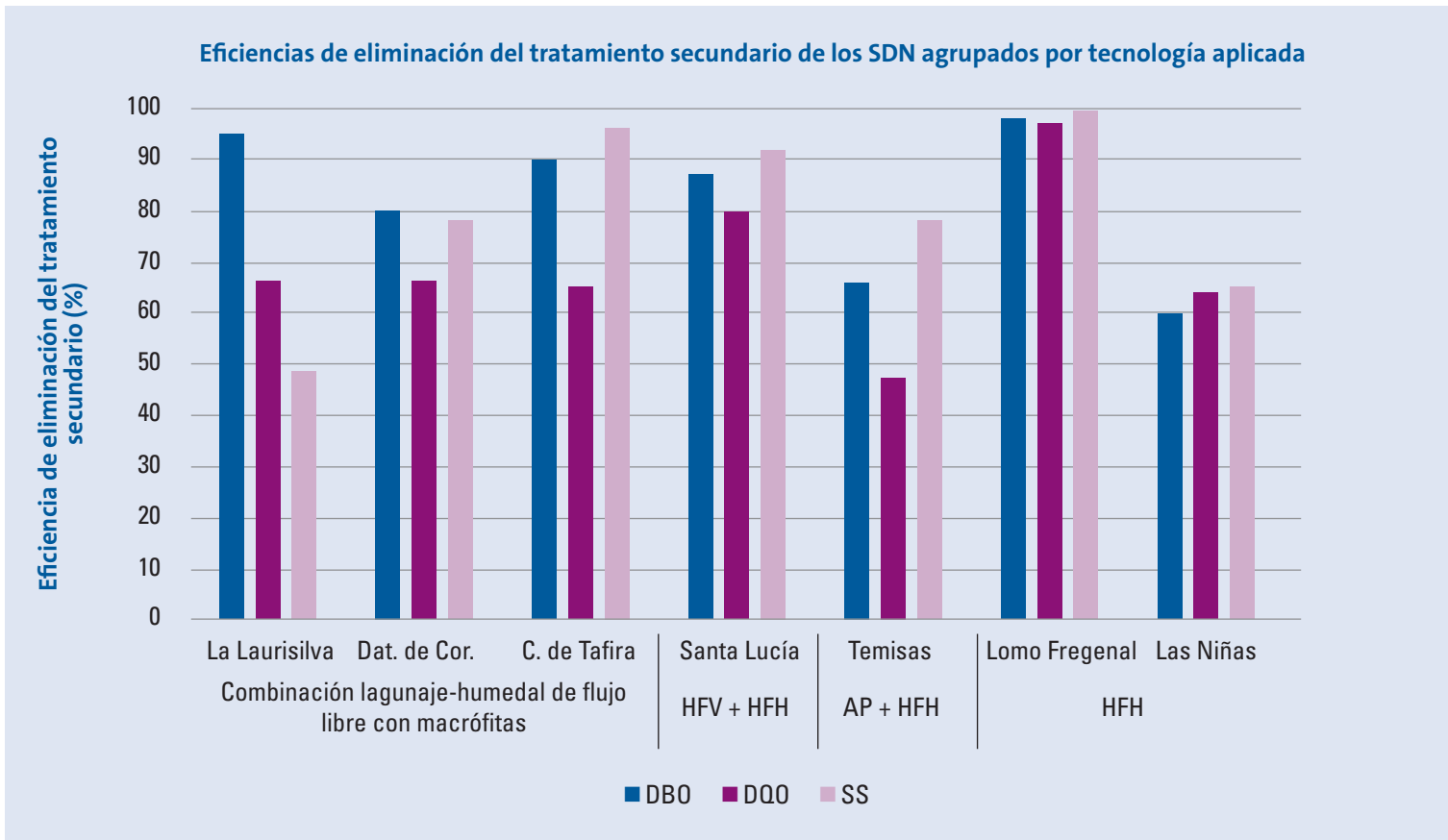
Como se comprueba en la gráfica de la superficie útil de depuración del tratamiento secundario frente a los habitantes equivalentes calculados en diferentes sistemas, no es posible establecer una correlación entre ellos. Ello se debe a las diferentes circunstancias particulares de cada sistema. Por ejemplo, en el caso de Temisas, existe una sobrecarga evidente del sistema, ya que prácticamente con la misma superficie que en los casos de Lomo Fregenal y el Aula de la Naturaleza de La Laurisilva, casi triplica los habitantes equivalentes tratados. El caso de Santa Lucía es otro que presenta sobrecarga desde prácticamente su puesta en servicio¹. Lo que sí se puede concluir es que los SDN son capaces de adaptarse a diferentes situaciones carga contaminante de forma adecuada, dentro de unos límites.

Gráfico 6. Representación de la ratio superficie útil de tratamiento secundario/habitantes equivalentes de diseño y calculado con datos reales para cada instalación



Por otro lado, si se observa en la gráfica anterior el ratio superficie útil / habitantes equivalentes de diseño, se encuentran entre tres y cuatro para todos los sistemas con humedales artificiales de flujo subsuperficial, se aprecia como en la práctica los sistemas de Santa Lucía, Temisas y Campus de Tafira tienen ratios menores a los de diseño, especialmente los dos primeros. Esto se traduce en un funcionamiento con cargas contaminantes muy superiores a las esperadas en la fase de diseño. En el otro lado, tenemos el aula de la Naturaleza de la Laurisilva y Lomo Fregenal, donde la carga contaminante que reciben son menores a las de diseño. A pesar de operar con ratios entre 1 y 2 m²/hab-eq, en Temisas y Santa Lucía, el funcionamiento de los sistemas mantiene una alta eficiencia de tratamiento, como puede observarse a continuación.

Gráfico 7. Eficiencias de eliminación de DBO₅, DQO y SS del tratamiento secundario de todas las instalaciones agrupadas según tecnología (HFV = humedal de flujo vertical, HFH = humedal de flujo horizontal, AP = aireación prolongada)



Por último, en la anterior gráfica se comparan las eficiencias de eliminación, en el tratamiento secundario, de varios parámetros (DBO₅, DQO y sólidos en suspensión) para todas las instalaciones, agrupadas según la tecnología que poseen. Es de destacar los altos rendimientos de eliminación en Lomo Fregenal y Santa Lucía, en este último a pesar de la sobrecarga que sufre. En cualquier caso, las diferencias entre instalaciones vienen marcadas por las características y funcionamiento del tratamiento primario (del cual carece el SDN del Campus de Tafira), así como de la carga contaminante de las aguas residuales en cada caso, por lo que no se pueden establecer comparaciones entre ellos.

09

Tabla 5. Resumen de resultados generales de experiencias piloto existentes en Canarias monitorizadas por ITC

Proyecto piloto (actividad)	Pretratamiento / Tratamiento primario	Tecnología aplicada	Períodos estudio	Hab-equiv diseño	Caudal teórico (m ³ /d)
Aula de Naturaleza La Laurisilva (Hospedaje y cocina industrial)	Fosa séptica preexistente (1 ^{er} período) Tan. Imhoff de 30 hab.equiv. (actualidad)	Estanque facultativo con macrófitos y filtros de grava	1999-2000 2008-2009	44	4,72
Data del Coronado (Sala de ordeño de granja de vacuno)	Reja de desbaste y fosa séptica	Estanques facultativos con macrófitas y filtro de grava	2005-2006	68	12
Campus de Tafira (Baños públicos de aularios, cafeterías, complejos deportivos y laboratorios)	Bomba dilaceradora	Estanque facultativo, canales y filtros de grava con macrófitos	Prim-Ver 2005 Otoñ-Inv 2006	50	11
Santa Lucía (Núcleo urbano de carácter rural)	Reja de desbaste, antigua fosa de decantación y primario prefabricado 100 hab.equiv.	Humedales de flujo vertical en paralelo y humedal de flujo horizontal en serie con Anea	2010	100	12,5
Lomo Fregenal (Núcleo rural de carácter disperso y sala de ordeño de caprino y ovino)	Reja de desbaste y Tanque Imhoff 50 hab.equiv.	2 humedales de flujo horizontal sin macrófitos para uso alternativo	2009-2010 2011-2012	25	3,5
Temisas (Núcleo urbano de carácter rural con actividad de producción de quesos y aceite de oliva)	Reja de desbaste, arqueta de desarenado/desengrasado	Módulo de aireación prolongada preexistente de 500 hab.equiv. y humedal de flujo horizontal	2009-2016	15	20
Presa de Las Niñas	Fosa séptica/Filtro biológico	Humedal de flujo subsuperficial horizontal (con 2 humedales más en serie para evapotranspirar)	2004-2005	50	5

Caudal real (m ³ /d)	Conc. media entrada (mg/l) DBO ₅ /DQO/SS	Carga contaminante medida en secundario (hab-eq)	Sup. efectiva depuración natural sin primario (m ²)	Conc. media salida (mg/l) DBO ₅ /DQO/SS	Rend. (%)
4,53,7	190 / 335 / 55	14	95	45,5 /125 /479,8 / 113 / 20,2	76/ 62 / 1495 / 66 / 63
-	150 / 700 / 240	-	240	28 / 240 / 54	80 / 66 / 78
11	390 / 650 / 13070 / 190 / 100	7012	280	22 / 104 / 7<8 / 67 / 4/	94 / 84 / 9590 / 65 / 96
34,4	416 / 750 / 232	239	450	46 / 128 / 10	87 / 80 / 92
11	930 / 3100 / 1600	16	80	31 / 177 / 2121 / 106 / 12	96 / 93 / 9698 / 97 / 99
25	140 / 276 / 176	58	72	42/147 / 25	66 / 47 / 78
2	48 / 203 / 39	2	177	19 / 72 / 43	60 / 64 / 65

10

Experiencia y conocimiento acumulado por el ITC en este ámbito

- Caracterización de las aguas residuales en pequeñas comunidades y pequeñas instalaciones de transformación agropecuaria. Este conocimiento se aplica tanto a los aspectos cuantitativos (estimación de caudales) como cualitativos (parámetros de calidad de agua residual, estimación de carga contaminante, etc.), e interpretación de los resultados analíticos para dimensionado o adecuación de los sistemas de tratamiento.
- Fundamentos de diseño de los Sistemas de Depuración Natural (SDN), tecnologías disponibles, combinaciones y adaptaciones a cada caso concreto:
 - Descripción y explicación de los fenómenos de depuración natural asociados a las diferentes tecnologías o combinaciones. Por ejemplo: procesos de degradación aerobia microbiana, degradación anaerobia, procesos de nitrificación-desnitrificación, intercambio iónico, desinfección, etc. Conocer los procesos es necesario para poder definir adecuados diseños según las condiciones requeridas en cada caso.
 - Descripción de las tecnologías disponibles, combinaciones posibles y modelos de diseño innovadores desarrollados por el ITC o en proyectos en los que haya participado el ITC.

- Herramientas de dimensionado para sistemas de depuración natural, sistemas de información y asesor software a través de internet para apoyo a toma de decisiones, definición de cargas contaminantes y combinaciones de tecnologías posibles según superficie disponible.
- Diseño de modelos innovadores en cuanto a formas de sistemas, combinaciones y adaptación de tecnologías a diferentes entornos ambientales y socioeconómicos.
- Protocolos de seguimiento, explotación y mantenimiento de SDN para evaluar los sistemas tanto desde el punto de vista del rendimiento de las etapas de tratamiento y calidad de los efluentes como para estimar los aspectos ambientales y de integración.
- Caracterización de los subproductos generados en los SDN y su aplicación. Valoración sanitaria y agronómica de las aguas tratadas de cara a su reutilización, usos adecuados a cada caso y buenas prácticas. Uso y potencialidad de biomasa vegetal.
- Metodologías y experiencias para el desarrollo de estrategias participativas en la toma de decisiones y para de la integración socioeconómica y ambiental de los SDN en cada entorno.
- Evaluación económica y de análisis de ciclo de vida de los SDN en comparación con otro tipo de tecnologías.

11

Conclusiones generales

En general, de la experimentación realizada hasta el momento y los resultados obtenidos, se puede concluir que:

- Los proyectos piloto desarrollados han demostrado que, con diferentes combinaciones tecnológicas y aplicaciones, los SDN son una alternativa fiable para el tratamiento de aguas residuales a pequeña escala.
- Los SDN son fácilmente integrables en el territorio y la extensión que ocupan se puede ver sobradamente compensada con la ausencia de consumo energético externo, la no necesidad de extracción frecuente de lodos, el mantenimiento sencillo y no demasiado exigente, pero necesario, y la ausencia de averías.
- Las áreas ocupadas por los SDN pueden convertirse en espacios multiuso, donde se combinan: la integración paisajística, la potenciación de la biodiversidad, la producción de biomasa vegetal para diferentes aplicaciones, la producción de agua regenerada para reutilización, por lo menos, en los usos menos exigentes como riego localizado de frutales, restauración ambiental, silvicultura, etc.
- Son sistemas que se adaptan bien a las fluctuaciones de caudal y carga, como es propio de las áreas rurales, incorporando incluso vertidos no asimilables a urbanos, como los procedentes de la limpieza de salas de ordeño asociadas a queserías artesanales.
- Los SDN constituyen un campo amplio de investigación relacionado con diferentes áreas del conocimiento.
- La formación cualificada en este campo y la inclusión de los SDN en la toma de decisiones a la hora de abordar el saneamiento y depuración en Canarias, puede promover la creación de empleo sobre todo en sectores actualmente en crisis, como la construcción.

12

Bibliografía

- Espadinha, C., Marcão, A., Fàbregas, A., Galvão, A. e Matos, J. Sustainable Indicators of Treatment Solutions for Small Agglomerations. *International Meeting on Phytodepuration* (2005). Lorca, Spain, pp. 129-134.
- Seyring, N. y Kusch, P. Are constructed wetlands a cost-effective alternative to activated sludge systems? Investigation of plants in Germany and Mexico (2005). *International Meeting on Phytodepuration* (2005). Lorca, Spain, pp. 136-141.
- Martel, G., Vera, L., Salas, J., Nogueira, R., et al. (2008). *Gestión Sostenible del Agua Residual en Entornos Rurales*. Proyecto DEPURANAT. Ed. NETBIBLO. ISBN: 978-84-9745-383-7.
- Office International de l'Eau (2006). *Document de travail - Project DEPURANAT- Les techniques d'épuration naturelle: 50 à 200 EH* (2006), pp. 50.
- CENTA, ITC (2006). Proyecto ICREW – Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población. Ed. CENTA e ITC. ISBN 84-689-7604-0.
- CENTA, CEDEX (2010). *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. ISBN: 978-84-491-1071-9.
- CENTA (2007). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales*. Ed. ISBN: 978-84-611-6882-8.

itc
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE CANARIAS

 **Gobierno
de Canarias**

