

Informe divulgativo para
responsables de saneamiento
y depuración sobre experiencia
y resultados en la aplicación de

Sistemas de Depuración Natural (SDN) de aguas residuales en Canarias

> marzo 2010

itc

itc

INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE CANARIAS



Gobierno de Canarias

> © Instituto Tecnológico de Canarias (ITC)
marzo 2010

Departamento de Agua - División I+D
agua@itccanarias.org

Informe divulgativo para
responsables de saneamiento
y depuración sobre experiencia
y resultados en la aplicación de

Sistemas de Depuración Natural (SDN) de aguas residuales en Canarias

> marzo 2010

itc

INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE CANARIAS



Gobierno de Canarias



> SDN Aula
La Laurisilva,
Cabildo de
Gran Canaria.

00	Objeto del informe	7
01	Introducción	9
02	Fundamentos y características de los SDN	15
03	Ratios previsibles en la aplicación de SDN en Canarias	23
06	Resultados preliminares de experiencias piloto existentes en Canarias	29
07	Divulgación del conocimiento y promoción de la formación y nuevos nichos de empleo	33
08	Conclusiones generales	37
09	Tabla resumen de resultados preliminares de experiencias piloto existentes en Canarias	39
10	Bibliografía	41



> SDN Data del
Coronado, Cabildo de
Tenerife.

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.

Se considera 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.



> SDN Campus de Tafira,
Universidad de Las
Palmas de Gran Canaria.

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 con-

tenidos 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 exigidas 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 futuras y conscientes que este sector, el de la depuración a pequeña escala, constituye una oportunidad futura 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, inició en 1998-99 una línea de trabajo para la implementación y demostración de los sistemas de depuración natural en Canarias.

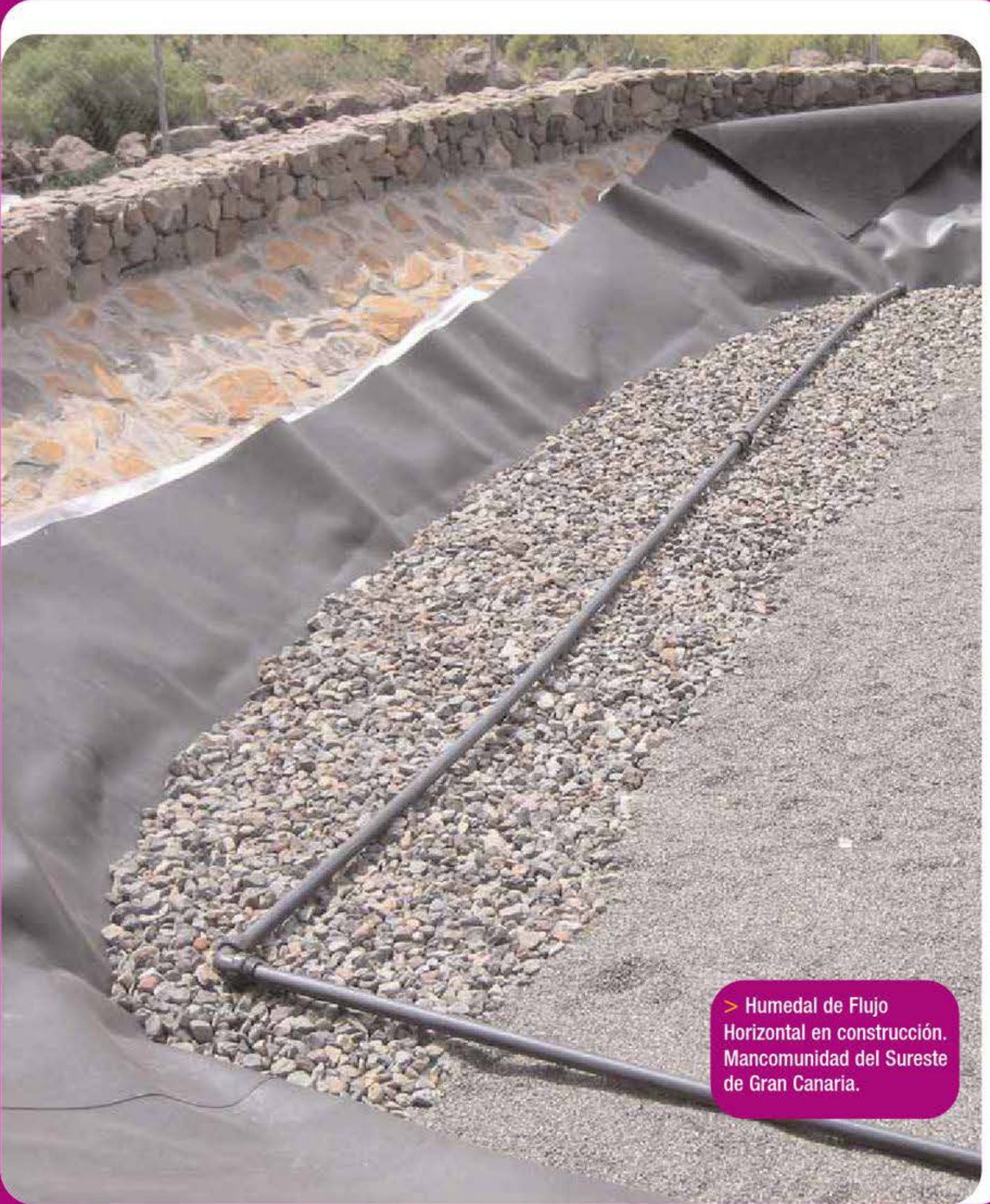
Así en 1999 se puso en servicio una primera iniciativa en el Aula de La Laurisilva propiedad del Cabildo de Gran Canaria. En el año 2000 entraron en servicio otros proyectos demostrativos como el ubicado en el Campus de Tafira de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria y en la Finca de La Data del Coronado, propiedad del Cabildo de Tenerife. Después de 10 años todos estos proyectos continúan operativos y con óptimos resultados de funcionamiento.

A partir de 2004 se desarrolló el proyecto DEPURANAT que liderado por el ITC, consiguió que un consorcio de entidades de Andalucía, Norte de Portugal, Sur de Francia y Canarias, trabajasen juntas

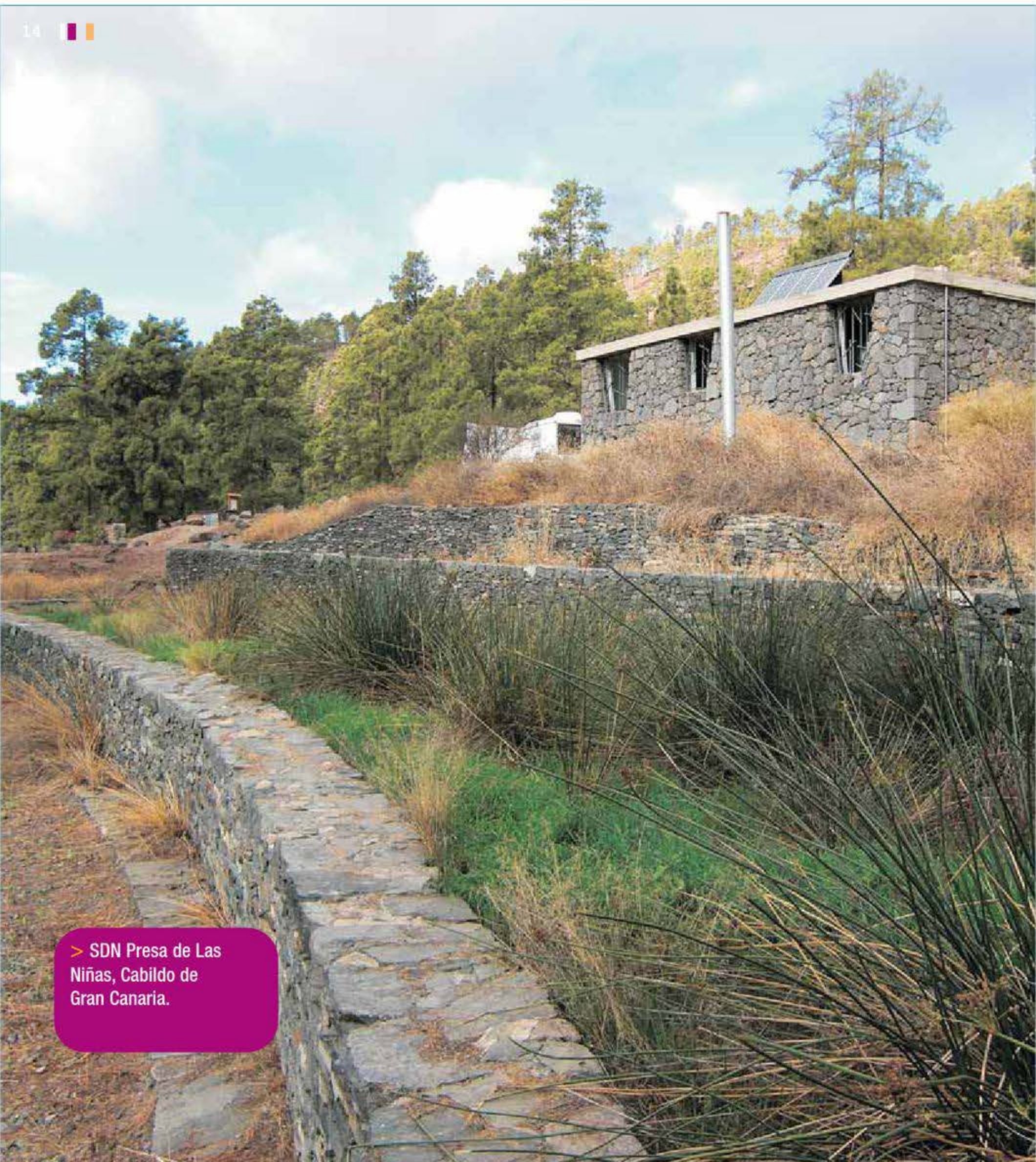
para intercambiar conocimientos, estudiar en profundidad, demostrar y desarrollar herramientas que generasen confianza y difundiesen estas tecnologías o modos de abordar el tratamiento de las aguas residuales del mundo rural en el futuro. Los resultados de este proyecto se reflejaron de forma sintética en la publicación *Gestión Sostenible del Agua Residual en Entornos Rurales*, 2ª edición editada por NetBiblo. También, fruto del proyecto desarrollado se diseñaron y pusieron en marcha nuevos proyectos demostrativos. Entre estos destacan, 3 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 3 proyectos de Humedales Artificiales 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 Bolico y el del caserío de Los Carrizales, todos ellos en el Parque Rural de Teno.

Aunque se considera que aún es necesario seguir evaluando, investigar e introducir mejoras en los sistemas anteriores, tras los años de seguimiento llevados a cabo hasta el momento, consideramos que puede ser positivo compartir esta información 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.



> Humedal de Flujo Horizontal en construcción. Mancomunidad del Sureste de Gran Canaria.



> SDN Presa de Las Niñas, Cabildo de Gran Canaria.

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 tratamien-

to 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.

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 6-7 veces más importante 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, Zanjias 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 $1 \text{ m}^2/\text{habitante equivalente}$, mientras que los SDN o ***soluciones extensivas*** requieren varios m^2 por cada habitante-equivalente a tratar. Es este carácter extensivo el que condiciona el

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 hábitats 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

Tabla 1. Fuentes de Energía en SDN

campo de aplicación de los SDN a las pequeñas comunidades.

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 vigen-

te, 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, 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, redu-

ciendo 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 evacuación¹. Tras la operación de deshidratación los lodos procedentes de sistemas aerobios intensivos presentan un contenido en humedad del 70-80%. 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

1

Cada habitante equivalente genera al día unos 70-80 g de lodos (expresados como materia seca).



> Humedal de Flujo Vertical. Mancomunidad del Sureste de Gran Canaria.

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.

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 pre-establecidos, ser diseñado, construido, operado y mantenido convenientemente.

> Tareas de mantenimiento en un SDN.





> SDN Albergue de Bólico, Cabildo de Tenerife.

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 efectiva de depuración 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% de la 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.

Tipo de Tecnología o combinación de ellas	Requirimientos de Superficie propuesta en Proyecto DEPURANAT ²	Requirimientos de superficie en Canarias según zonas climáticas y resultados experiencias piloto ³
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	2,5 - 4 m ² /hab-eq
Humedales artificiales de flujo Vertical	3-5 m ² /hab-eq	2,5 - 4 m ² /hab-eq
Combinación de lagunaje y filtros de grava de flujo subsuperficial	No especificado	2,5 - 4,5 m ² /hab-eq
Combinación de humedales de flujo horizontal y vertical ⁴	No especificado	2 - 4 m ² /hab-eq

Tabla 2. Necesidades de superficie en SDN

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 implantación⁵. 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 (Espadilha 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.

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

2

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).

3

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

4

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

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 < 100 hab-eq., en zonas remotas de Gran Canaria (ITC, 2009)	600 - 1.000 €/hab-eq	35 €/hab-eq
Humedales artificiales de flujo Horizontal 120 hab-eq., en Anadaluía Planta experimental (CENTA, 2006)	210 €/hab-eq	25 €/hab-eq
Combinación de lagunaje y filtros de gravade flujo subsuperficial	500 €/hab-eq	30 €/hab-eq
Combinación de humedales de flujo horizontal y vertical	350-800 €/hab-eq	20-40 €/hab-eq

Tabla 3. Costes de inversión y operación en SDN según experiencia obtenida hasta el momento

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, en tanto que en México, para una población abastecida inferior a 2000 hab-eq, el coste de inversión está com-

prendido 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 más bajo. Es importante mencionar que el coste de inversión depende, además, de otros factores, en especial la resistencia del material a ser excavado para la implantación de los sistemas, y que son bastante variables en cada caso.

El coste de inversión de Humedales Artificiales resulta de varias aportaciones,

5

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.

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 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 International de l'Eau, 2006). Aunque en el presente docu-

mento 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.

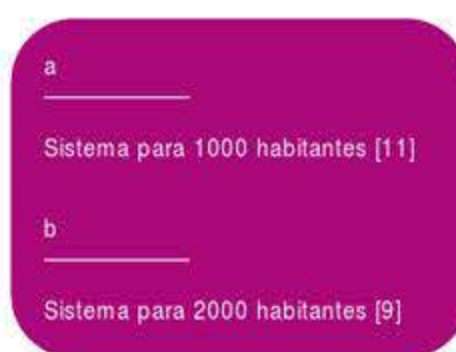


Tabla 4. Costes de inversión y operación (€/hab-eq) de sistemas de tratamiento de aguas residuales (Office International de l'Eau, 2006)

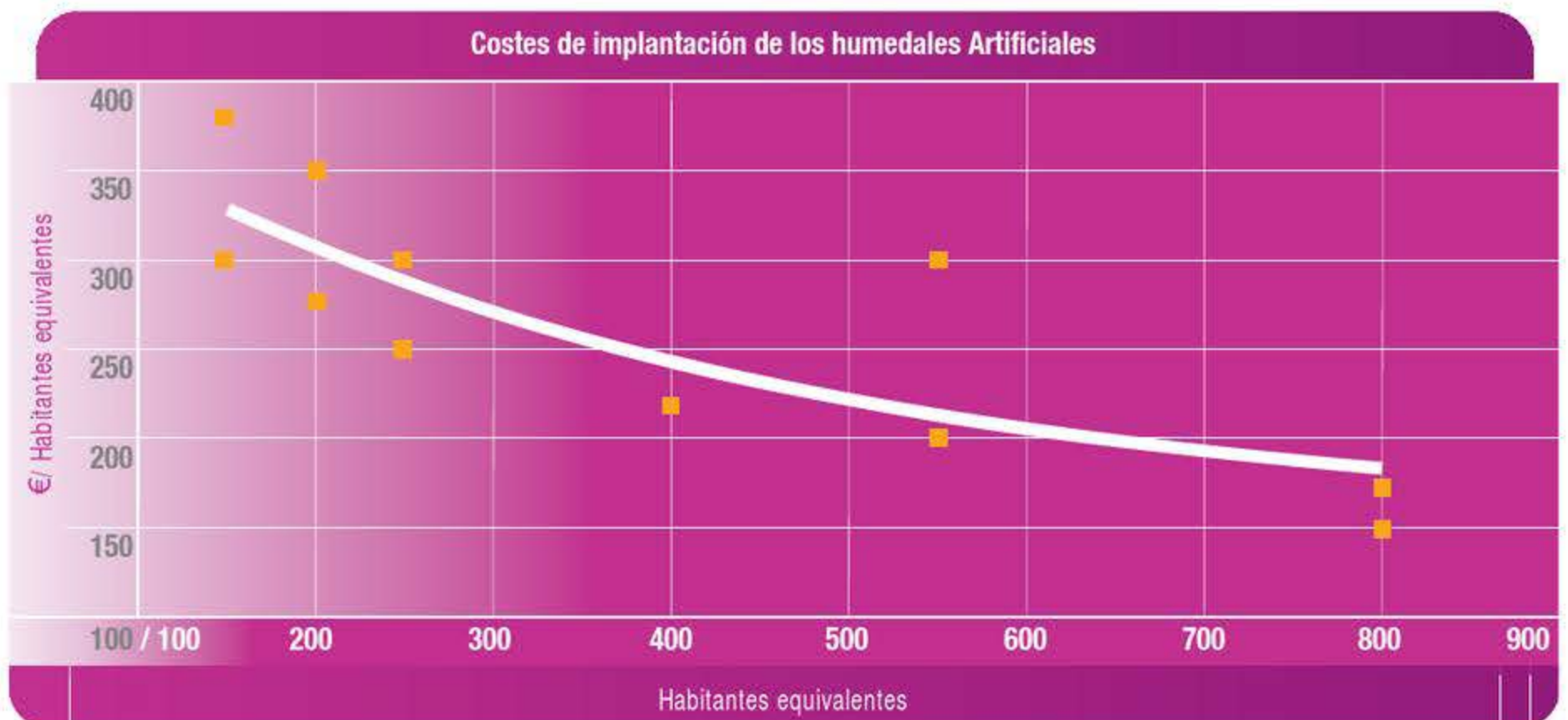
	Coste inversión			Coste anual de operación		
Francia^a	Aireación prolongada	Discos biológicos	Filtro percolador	Lagunaje	Tratamiento primario + infiltración en el suelo	Tratamiento primario + humedal artificial
Inversión	230	220	180	120	190	190
Operación	11,5	7	7	4,5	6	5,5
España^b	Aireación prolongada	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	

A continuación se expone una gráfica aportada por el CENTA, dónde 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 600 €/hab-equiv 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.

Figura 1. Costes de implantación de humedales artificiales

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.



Fuente: CENTA, Seminario formativo proyecto DEPURANAT, 2004



> SDN Carrizales,
Cabildo de Tenerife.

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:

- “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.
- “Caracterización de la biomasa vegetal en los proyectos pilotos y aprovechamiento de su posible utilización con fines alternativos” llevado a cabo por el Grupo de Biología Vegetal de la Universidad de La Laguna.

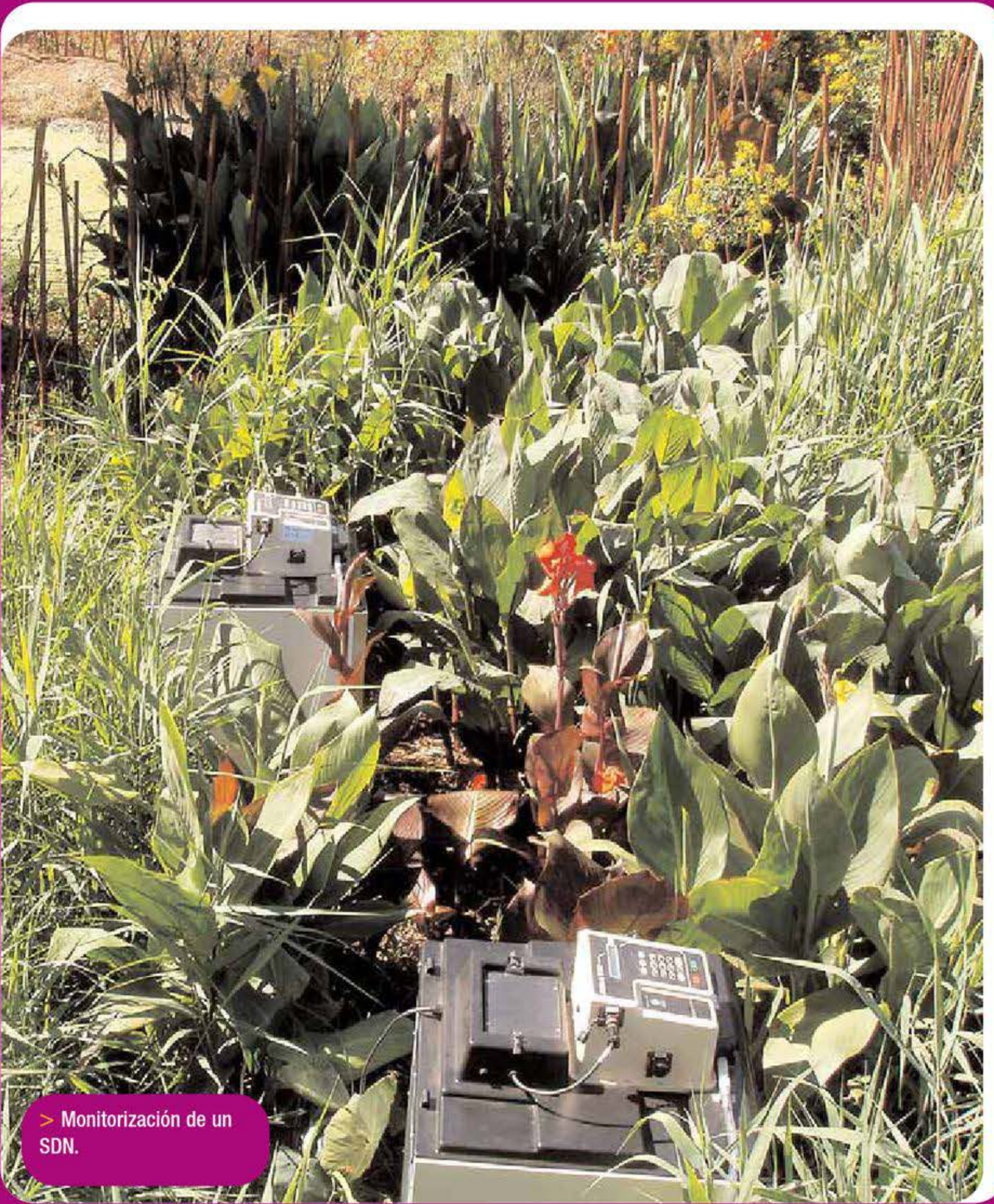
- “Estudio de integración social, ambiental y económica de los proyectos pilotos canarios de depuración natural en fase de diseño-construcción, en el marco del proyecto DEPURANAT” en colaboración con el Centro de Estudios Ecosociales de la Universidad de La Laguna.
- “Metodología para la realización de estudios y mapas de potencial para la implantación de los SDN” en colaboración 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, 2008*.

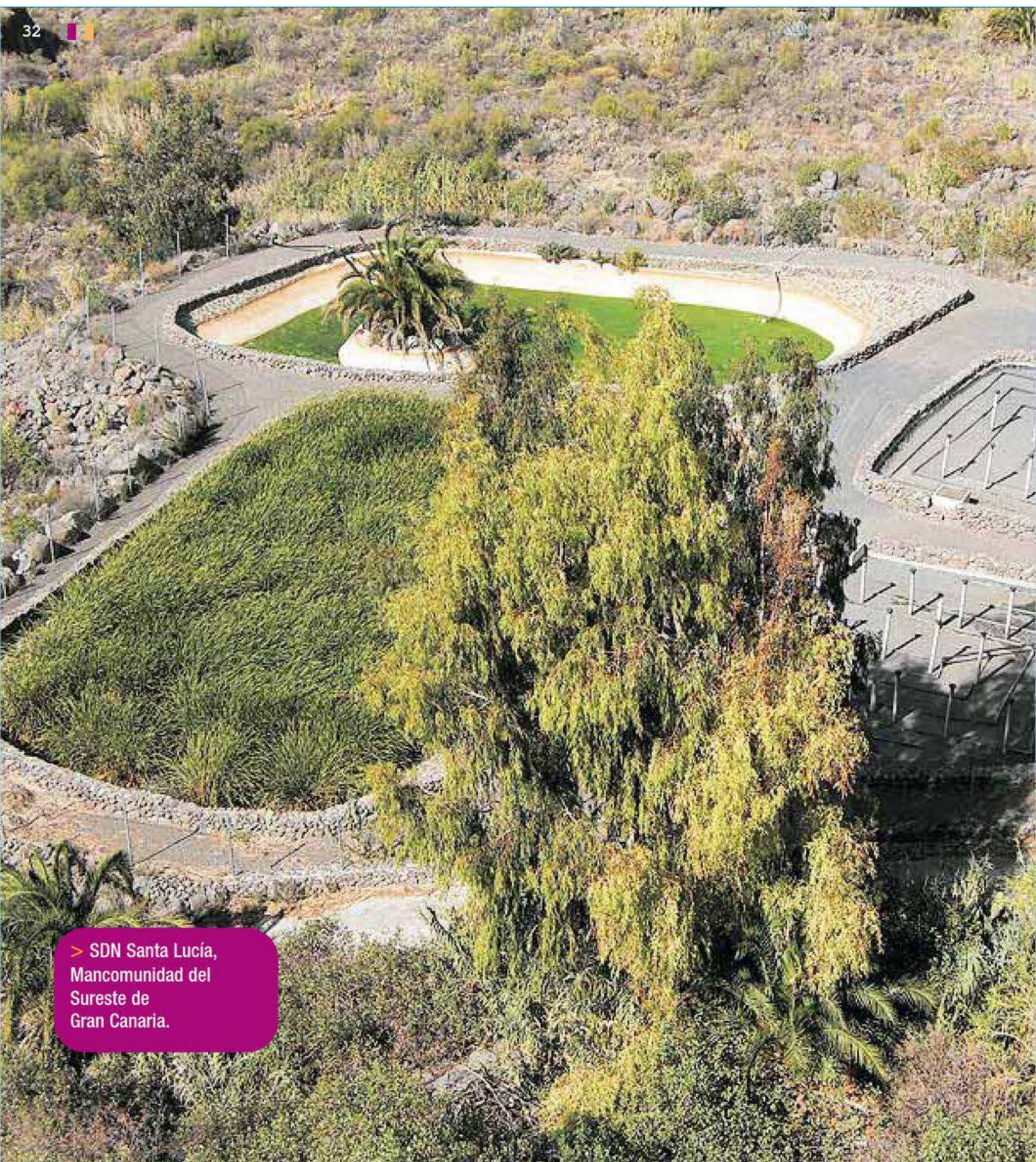
También se ha llevado a cabo el proyecto titulado “Evaluación de la eficacia de diferentes materiales como sustrato para humedales artificiales en Canarias” en colaboración con el Departamento de Edafología y Geología de la Universidad de La Laguna. Y se continúa con las labores de seguimiento y evaluación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

cuanto a su funcionamiento y posibles 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, 2008*).



> Monitorización de un SDN.



> SDN Santa Lucía,
Mancomunidad del
Sureste de
Gran Canaria.

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:

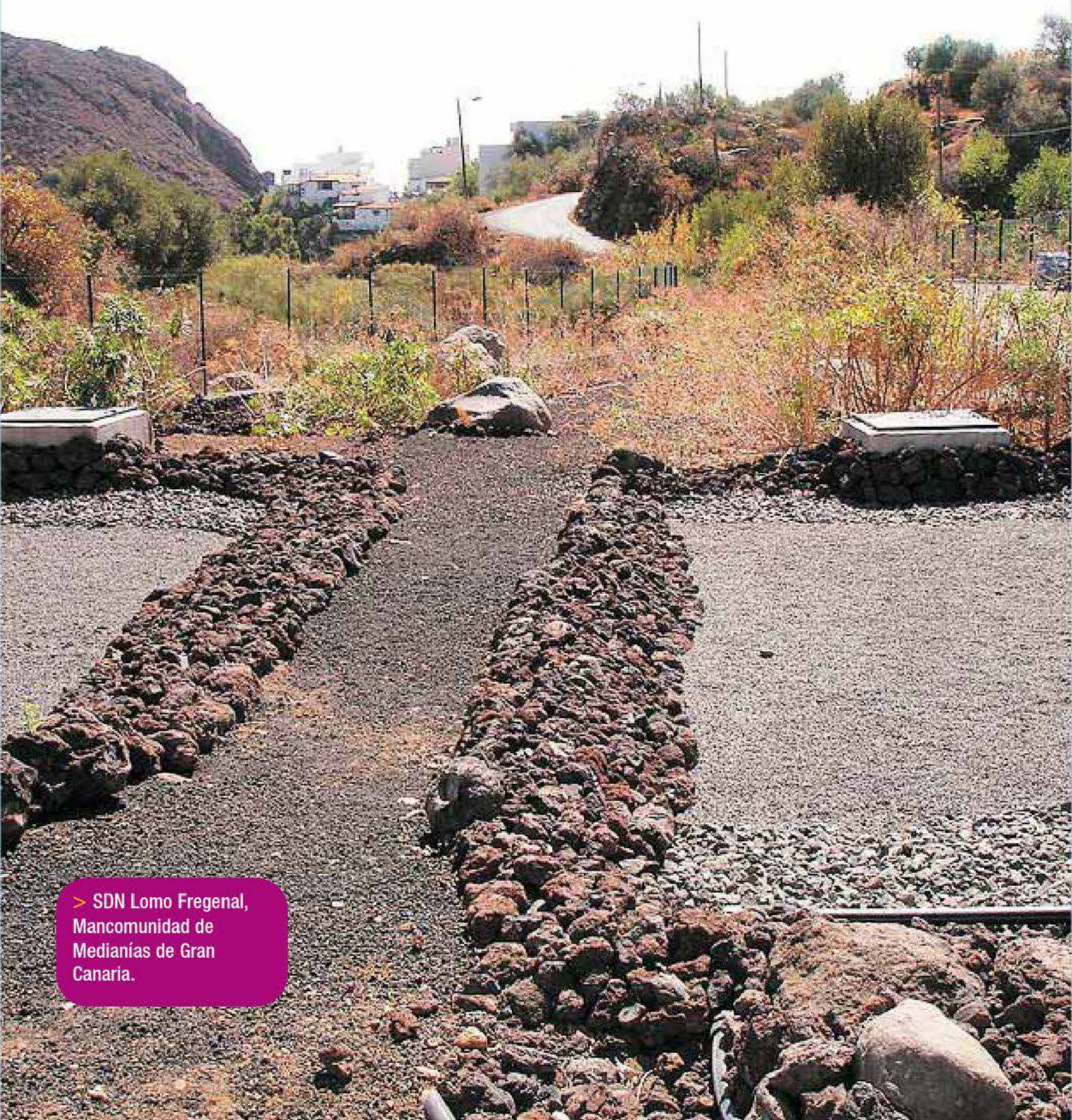
- Organización y participación en cursos de formación:
 - Tecnologías del Agua (1998-1999), con módulo teórico-práctico sobre depuración de bajo coste energético.
 - Cursos de iniciación a los SDN en todas las islas (1999).
 - 2 Cursos teórico-prácticos de especialización en SDN (1999-2000).

- "Tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. Fundamentos y Tendencias". Curso de Verano de Universidad Carlos III, Universidad de León y Ayto de Villablino. 23-27 de julio de 2007. Villablino, León.
- "Los Sistemas de Depuración Natural: una alternativa para el tratamiento de las aguas residuales". Curso Universitario de Extensión ULL: El Agua en Canarias: de la abundancia a la escasez. La Guancha. 25 de septiembre de 2008. La Guancha, Tenerife.
- 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).
 - 10th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control. IWA - (International Water Association), Lisboa (2006).
 - SMALLWAT07 II International Congress. Wastewater Treatment in Small Communities, Sevilla (2007).
 - 8^a Reunión de la Mesa Española del Tratamiento del Agua (META'08), 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:
 - L. Vera, J. Gutiérrez, M. Márquez, G. Martel, J.J. Salas, N. Sardón. "Depuranat: humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales". Tecno Ambiente, Año 16, nº 164, 21-24 (2006).
 - R. Nogueira, I. Ferreira, P. Janknecht, J.J. Rodríguez, P. Oliveira and A.G. Brito. "Energy-saving wastewater treatment systems: formulation of cost functions". Water Science & Technology Vol 56 Nº 3 pp 85-92 (2007).
 - Vera, L.; Martel, G.; Márquez, M.; Gutiérrez, J. "Humedales artificiales en áreas rurales de las Islas Canarias". RETEMA, 20 (124) 66-79 (2008).

- Luisa Vera, Gilberto Martel, Juan José Salas, Nieves Sardón, Regina Nogueira, Antonio G. Brito, Jean-Antoine Faby, Antonio Ramón. Depuranat project: sustainable management of wastewater in rural areas. *Desalination and Water Treatment.*, 4 (April), 59-68 (2009).
- R. Nogueira, A.G. Brito, A.P. Machado, P. Janknecht, J.J. Salas, L. Vera, G. Martel. Economic and environmental assessment of small and decentralized wastewater treatment systems. *Desalination and Water Treatment.*, 4 (April), 16-21 (2009).

Agradecimientos:

- Mancomunidad del Sureste de Gran Canaria.
- Mancomunidad de Medianías de Gran Canaria.
- Cabildo de Tenerife.
- Cabildo de Gran Canaria.
- Consejo Insular de Aguas de Gran Canaria.
- Centro de Investigación, Fomento y Aplicación de las Nuevas Tecnologías del Agua.(CENTA).
- Universidade do Minho.
- Oficina Internacional del Agua.
- Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.



> SDN Lomo Fregenal,
Mancomunidad de
Medianías de Gran
Canaria.

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, dónde 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.

Proyecto piloto (actividad)	Pretratamiento / Tratamiento primario	Tecnología aplicada	Períodos de 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 macrófitos 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 Tanque Imhoff 100 hab. equiv.	Humedales de flujo vertical en paralelo y humedal de flujo horizontal en serie con Anea	2008-2009	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.	Humedal de flujo horizontal sin macrófitos	2009	25	3,5
Presa de Las Niñas (Baños públicos de un área recreativa)	Fosa séptica / Filtro biológico	Humedal de flujo horizontal (Con 2 humedales más en serie para evapotranspirar)	2004-2005 2008-2009	-	-
Albergue de Bolico (Hospedaje y cocina industrial)	Fosa séptica sobredimensionada (100 m ³)	Circuito de picón de flujo horizontal con macrófitos	2005-2006	80	10
Los Carrizales (Núcleo rural)	Fosa séptica sobredimensionada (180 m ³)	Canales de picón de flujo horizontal con macrófitos en paralelo	Prim-Ver 2005 Otoñ-Inv 2005-06	125	20

a

Muestras de entrada al sistema obtenidas a la salida de tratamiento primario.

b

Muestras de entrada al sistema obtenidas a entrada de Tanque Imhoff.

c

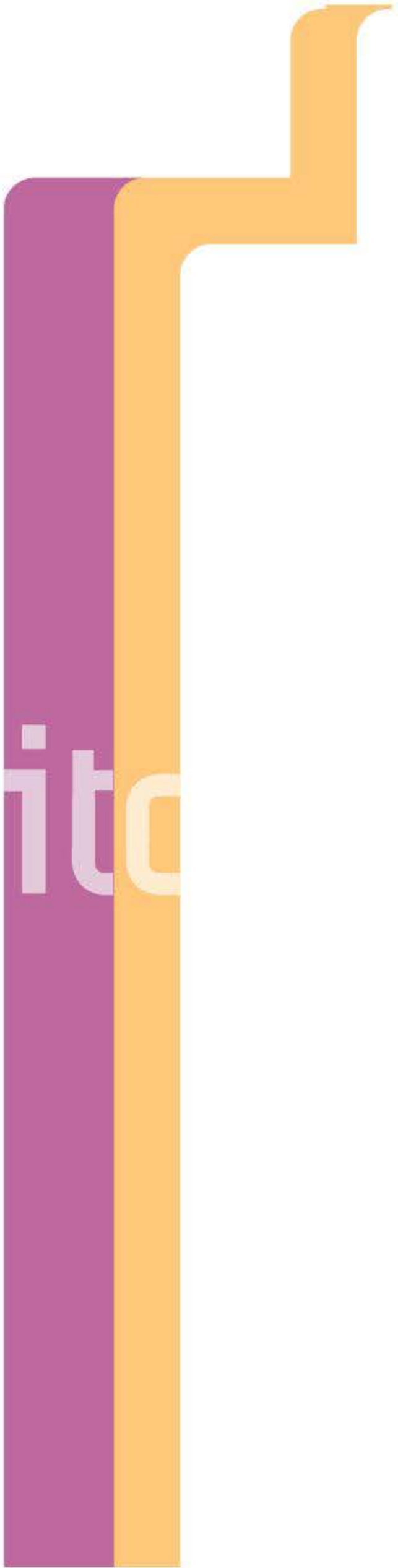
Datos de DBO₅ y DQO.

Caudal real (m ³ /d)	Conc. media entrada (mg/l) DBO ₅ /DQO/SS	Hab-equiv real	Sup. efectiva depuración (m ²)	Conc. media salida (mg/l) DBO ₅ /DQO/SS	Rendimiento (%)
4,5 3,7	187/333/55 ^a		95	45,5/125/47 9,8/113/20,2	76/62/14 95/66/63
-	145/706/242 ^a		240	28/240/54	80/66/78
11	385/648/132 68/189/93	70 12	280	22/104/7 <8/67/4/	94/84/95 90/65/96
25,5	410/740/310 ^b	200	350	66/172/16	84/76/92
-	1065/3021/1115 ^a	-	80	23/176/12	98/94/99
-	48/203 ^a	-	177	19/72 ^c 19/173 ^c	60/65
4-5	59/148 ^a	40	50	17/67 ^c	70/55
4-5	42/140 ^a 36/106 ^a	30	100	18/85 ^c 10/42 ^c	57/39 72/60



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 Kuschik, P. Are constructed wetlands a cost-effective alternative to activated sludge systems? Investigation of plants in Germany and Mexico (2005). *International Meeting on Phytodepuration. Lorca, Spain, pp. 136-141.*
- Gestion Sostenible del Agua Residual en Entornos Rurales. Proyecto DEPURANAT 2ª edición (2008). Ed. NETBIBLO. ISBN: 978-84-9745-383-7
- Office International de l'Eau. Document de travail - Project DEPURANAT- Les techniques d'epuration naturelle: 50 à 200EH, (2006) pp. 50.
- Proyecto ICREW - Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de Población (2006). Ed.CENTA e ITC (2006). ISBN 84-689-7604-0



itc

INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE CANARIAS



Gobierno de Canarias