

ESTUDIO PREVIO Y PROPUESTA DE
DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DEPURADORA
DE AGUAS RESIDUALES (EDAR) PARA
MUNICIPIO DE LA ISLA DE LA GOMERA

Trabajo de Fin de Grado

Titulación: Grado en Ingeniería Química Industrial

Tutores: Luisa M^a Vera Peña
Luis E. Rodríguez Gómez

Autor: Susana Hernández León

Índice

1.	Resumen/ Abstract.....	1
2.	Introducción.....	3
3.	Objetivo del proyecto.....	21
4.	Solución adoptada.....	22
5.	Fundamentos de los Humedales Artificiales.....	32
6.	Fosa séptica para zonas aisladas del municipio.....	42
7.	Cálculos.....	46
7.1.	Cálculos de habitantes equivalentes (H-E) y caudal medio.....	46
7.2.	Cálculos para el Humedal Artificial.....	50
7.2.1.	Superficie.....	53
7.2.2.	Relación longitud/ancho.....	55
7.2.3.	Tipos de distribuciones.....	57
7.3.	Cálculos para las Fosas Sépticas.....	62
7.3.1.	Cálculos del canal de desbaste.....	62
7.3.2.	Cálculos de dimensionamiento de las Fosas Sépticas.....	63
8.	Planos.....	66
8.1.	Plano de situación de los núcleos de población de Hermigua.....	66
8.2.	Plano de planta Humedal Artificial.....	71
8.3.	Plano de secciones Humedal Artificial (celda 1).....	72
8.4.	Plano de perfil Fosas Sépticas de núcleos dispersos.....	73
8.5.	Plano de planta Fosas Sépticas de núcleos dispersos.....	74
9.	Conclusiones/ Conclusions.....	75
9.	Bibliografía.....	77

1. Resumen/ Abstract

Resumen:

Para mejorar la calidad del efluente de salida de la EDAR convencional del casco del municipio de Hermigua, se ha decidido recurrir a alternativas de depuración natural, ya que son sistemas de bajo coste y se adapta a las necesidades de dicho pueblo, pues, al tratarse de una isla menor, hay baja población lo cual es indispensable cuando se habla de tecnologías extensivas.

Concretamente, se ha estudiado que el diseño de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal podría tratarse de una solución absolutamente viable y al dividirlo en dos celdas en serie se logra optimizar el espacio y poder parar una de las celdas por si fuera necesario para su mantenimiento. De este modo, se podrá cumplir la normativa canaria medioambiental de vertido al mar sin ningún problema.

Asimismo, como el municipio es bastante disperso, hay barrios alejados que no están conectados a la red de saneamiento y por ello, se ha estudiado el diseño de fosas sépticas con disposición enterrada con el fin de evitar impactos sonoros o visuales, ya que dichas zonas dispersas donde existen núcleos urbanos se encuentran en las proximidades del Parque Nacional de Garajonay.

Abstract:

For improving the quality of the effluent from the conventional Wastewater Treatment Plant (WWTP) in the town of Hermigua, it has been decided to use natural treatment alternatives, considering that they are low-cost systems and suit to the needs of that town because it is a small island, there is a low population, which is essential when talking about extensive technologies.

Specifically, it has been studied that the design of horizontal subsurface flow wetland (HSSF) could be an absolutely viable solution and dividing it into two cells in series in order to optimize space and to be able to stop one of them if was necessary for their maintenance. In this way, the Canary Islands environmental regulations on discharges into the sea can be followed without any problem.

Likewise, as the municipality is quite dispersed, there are remote neighbourhoods that are not connected to the sanitation network and therefore, the design of septic tanks with a buried arrangement has been studied in order to avoid noise and visual impacts due to these remote areas where there are urban areas are located in the vicinity of the Garajonay National Park.

2. Introducción

La isla de La Gomera destaca por ser la segunda isla más pequeña de Las Islas Canarias. Se encuentra entre las islas de Tenerife, La Palma y El Hierro, cuenta con una población de 21.136 (2018) y una superficie de 370 Km². El Parque Nacional de Garajonay presenta en su pico la altitud máxima de la isla con 1.484 metros, es el más emblemático con su bosque de laurisilva, su cantidad de endemismos florísticos y faunísticos y la morfología volcánica que posee corrobora que UNESCO la haya declarado Patrimonio de la Humanidad. También, se considera a toda la isla como Reserva de la Biosfera.

Generalmente, el terreno insular puede clasificarse como escarpado, este hecho ha ocasionado que la población se haya concentrado en núcleos urbanos más llanos, como en la desembocadura de los barrancos.

Según las cifras censales obtenidas del Instituto Canario de Estadística (ISTAC), la población de Las Islas Canarias totaliza 2.127.685 (2018), es decir, que La Gomera con 21.136 habitantes supone el 1% de la población total.

En la tabla siguiente, se muestra la población en los municipios de la isla en el periodo de 2000-2018:

Año	TOTAL La Gomera	MUNICIPIOS					
		Agulo	Ajaleró	Hermigua	San Sebastián de La Gomera	Valle Gran Rey	Vallehermoso
2000	18300	1143	1343	2131	7001	4002	2680
2001	18990	1159	1406	2120	7437	4093	2775
2002	19098	1136	1533	2151	7138	4228	2912
2003	19580	1189	1726	2167	6902	4487	3109
2004	21220	1221	1894	2176	7984	4745	3200
2005	21746	1207	1954	2142	8445	4857	3141
2006	21952	1166	2054	2147	8451	5040	3094
2007	22259	1174	2142	2170	8515	5116	3142
2008	22622	1187	2146	2178	8744	5220	3147
2009	22769	1200	2110	2203	8965	5129	3162
2010	22776	1180	2048	2183	9092	5150	3123
2011	23076	1202	2016	2232	9120	5364	3142
2012	22350	1164	2039	2116	9055	4860	3116
2013	21153	1100	2066	2103	8699	4240	2945
2014	20721	1086	1954	1919	8668	4181	2913
2015	20783	1081	2025	1950	8591	4223	2913
2016	20940	1074	1971	1924	8707	4285	2979
2017	20976	1066	1983	1808	8760	4371	2988
2018	21136	1067	2006	1805	8945	4484	2829

Tabla 2.1. Población de cada municipio en La Gomera entre 2000-2018.

(Elaboración propia a partir de datos ISTAC)

A simple vista se puede observar como en los últimos años censados, la población de la isla ha ido aumentando, el municipio de San Sebastián es en el que se concentra el mayor número de habitantes y Ajaleró presenta un aumento poblacional considerable desde el año 2000.

A partir de la Tabla 2.1. se ha realizado una gráfica de Hermigua en particular, que es el municipio que compete a el presente TFG, para observar cómo en estas dos últimas décadas la población ha disminuido aproximadamente un 15%:

Evolución demográfica en Hermigua (2.000-2.018)

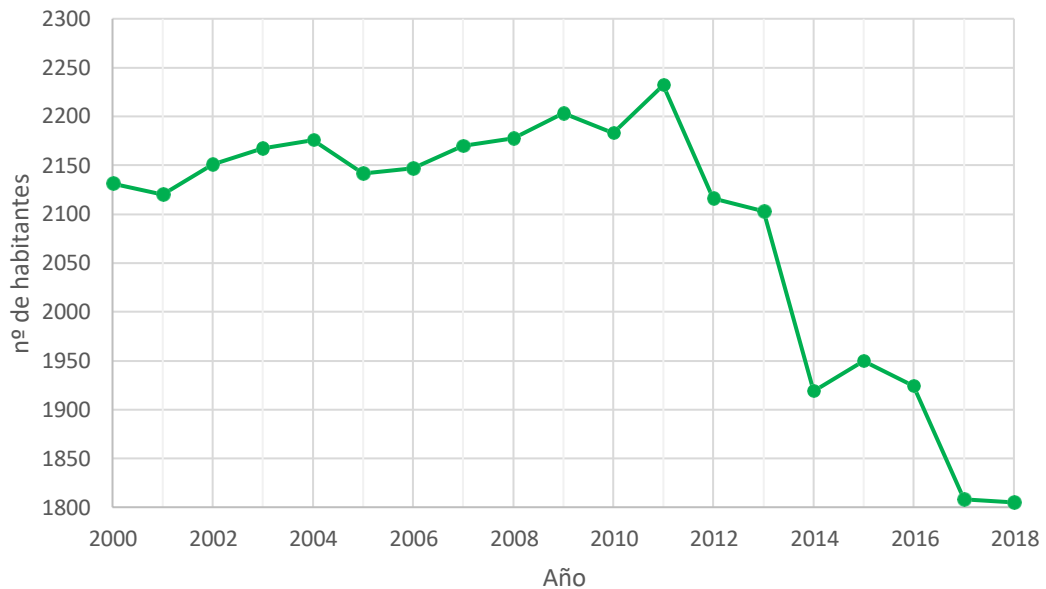


Figura 2.1. Gráfica de la evolución demográfica del municipio de Hermigua.
(Elaboración propia a partir de datos del ISTAC)

Gracias al fenómeno de lluvia horizontal los cauces son capaces de verter cantidades apreciables de agua pudiéndose aprovechar por la disposición de la red de drenaje radial que diverge desde una divisoria central a causa de la morfología cónica inicial de la isla que es usual en estructuras volcánicas.

Los barrancos de La Gomera se caracterizan por su profundidad que ha sido originada por las lluvias torrenciales que han aumentado la erosión de los suelos, además, ninguno de ellos presenta una extensión superior a 35 km² y sus pendientes medias son de alrededor a un 15%. En la figura que se muestra seguidamente se podrá observar los barrancos más importantes de la isla:

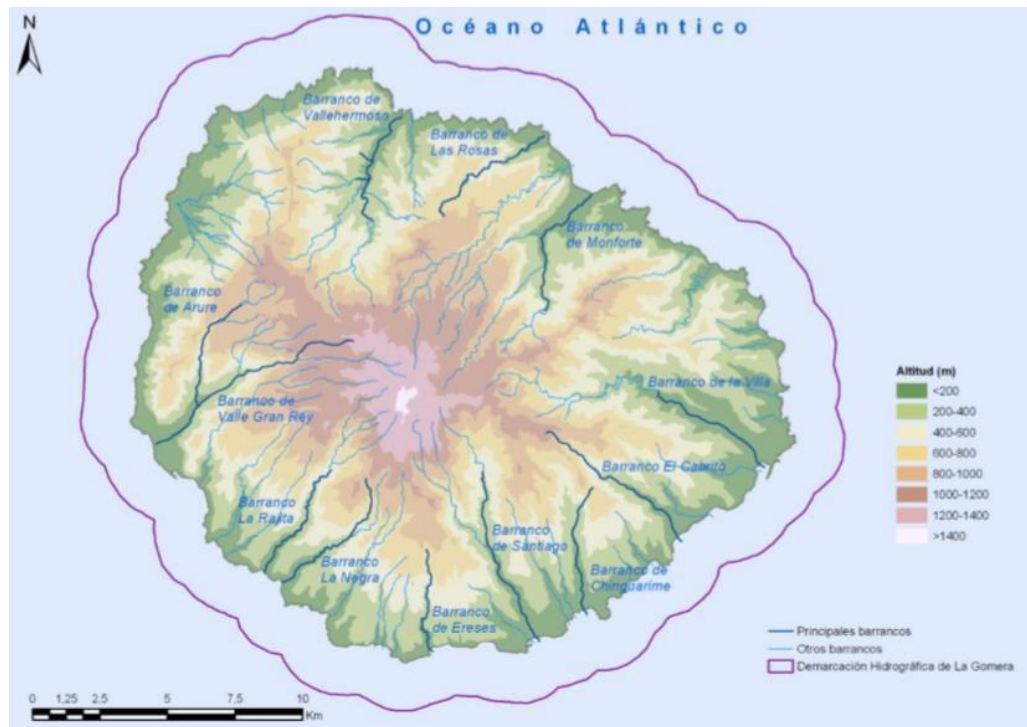


Figura 2.2. Cauces principales. (PHLG)

Resaltando que las cuencas que se encuentran más desarrolladas son las de Hermigua, el Barranco de la Villa, Valle Gran Rey, Vallehermoso y el Barranco de Santiago.

En concreto el barranco que se encuentra en el municipio de Hermigua (fenómeno de interés del presente trabajo) se trata de la cuenca con mayor extensión de la isla, con 32,3 km². Como se puede observar en la figura, el barranco de Monforte-El Rejo es de planta alargada y presenta tres cauces secundarios, destacando el barranco del Cedro lleva agua todo el año debido a que procede de manantiales colgados (en la figura corresponde al cauce se encuentra en medio). La desembocadura al mar se efectúa en la playa de Hermigua.

Recursos hidrológicos:

La isla de la Gomera destaca por tener una abundancia hídrica mayor al resto de las islas principalmente por la gran cantidad de nacientes que presenta, así como la irregularidad espacial y temporal de las precipitaciones. Se definen cuatro clases de recursos hídricos:

- Escorrentía superficial estricta: corresponde al flujo de agua que circula por la superficie del terreno y los cauces, es consecuencia de la lluvia directa y no llega a infiltrarse.

- Manantiales o nacientes: son los caudales de agua que se infiltra en el terreno y fluye nuevamente a la superficie. Se deben diferenciar de los acuíferos colgados que se localizan en la zona de cumbres, así como de los manantiales procedentes del acuífero profundo ambos debidos principalmente a la estacionalidad de las lluvias.
- Escorrentía subterránea: es el flujo de agua que circula subterráneamente por los aluviones del fondo de los barrancos y descargan al mar. Puede variar en función de los caudales que circulan por la superficie del cauce y de la permeabilidad del sustrato rocoso.
- Escorrentía subterránea profunda: circula por la zona saturada profunda del acuífero; procede fundamentalmente de la infiltración directa de la lluvia y en menor medida de la infiltración de la escorrentía subterránea. Si no existiera explotación, descargaría íntegramente al mar sin aflorar de nuevo a la superficie.

Tradicionalmente para aprovechar los recursos hídricos superficiales (citando nuevamente que se producen de manera irregular) se hace empleo de embalses para poder almacenarlos. Existen, por tanto, un conjunto de 37 presas y 2 balsas cuya capacidad estimada total es de 5,06 Hm³ con un caudal de agua disponible para su aprovechamiento de 3,4 Hm³/año que corresponde con el 70% de su capacidad total. Es preciso señalar que dos terceras partes de estas infraestructuras pertenecen al Estado y un tercio a la titularidad privada.

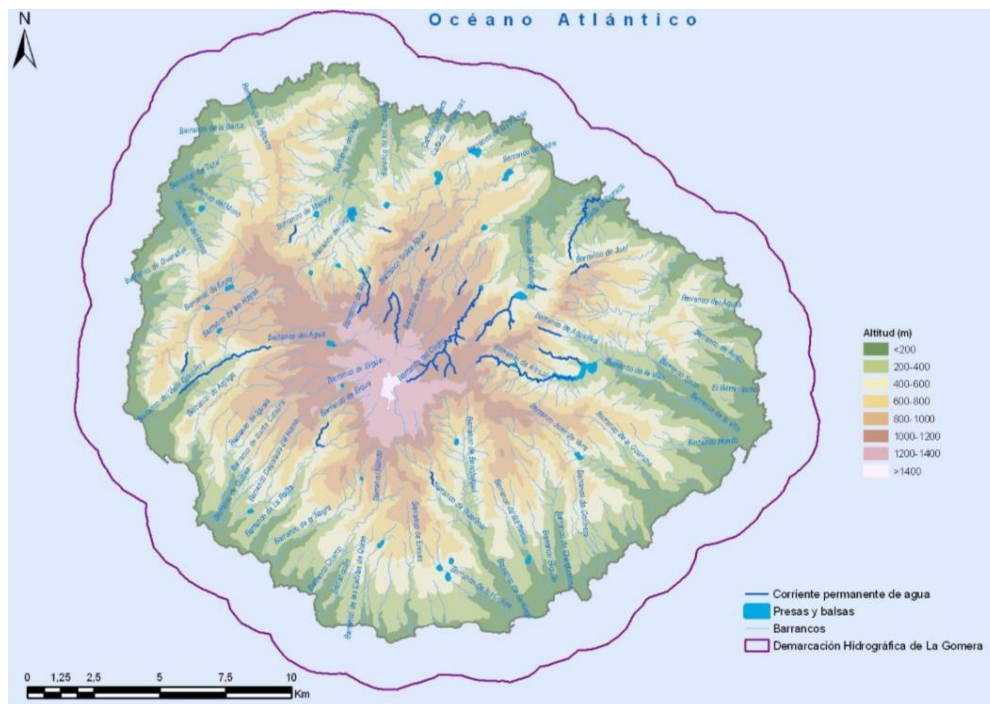


Figura 2.3. Cauces permanentes de agua aprovechados por embalses. (PHLG)

Es interesante poder apreciar en la figura que en una mayor proporción los cauces permanentes discurren por el Parque Nacional de Garajonay y que gracias a la distribución de la red hidrográfica de la isla, son capaces de verter cantidades apreciables de agua pudiéndose aprovechar por las presas y balsas construidas.

Pese a ello, el estado de conservación y mantenimiento en el que se encuentran las presas presenta diversos inconvenientes como el acceso a las instalaciones, la conservación de los elementos de desagüe, la irregularidad de las avenidas que puede ocasionar desbordamientos significativos, el aterramiento debido a que el agua embalsada no presenta apenas corrientes y se transporta gran cantidad de materia orgánica e inorgánica por las escorrentías que acaban sedimentando los sólidos menos pesados en el fondo de las presas creando principalmente pérdidas en la capacidad del embalse...

A diferencia de otras islas, la falta de actividad volcánica ha ocasionado que los procesos erosivos se alarguen en el tiempo sin aporte de nuevos materiales, por ello, está formada por lavas y otros materiales magmáticos que mayoritariamente son los basaltos y traquibasaltos (más del 95% del volumen total), y con una composición mínima fonolitas. Por esta razón, existen zonas que hidrogeológicamente son improductivas y otras que sin embargo son abundantes en recursos hídricos subterráneos.

La geomorfología insular corresponde con una isla volcánica antigua que viene determinada a grandes rasgos por dos factores:

- La distinta antigüedad de la serie volcánica que la forma hace que se encuentre más alterada y que presente una gran erosionabilidad, lo cual provoca que se reduzca la permeabilidad de los materiales produciendo una menor infiltración e incrementando la escorrentía superficial y la densidad de la red de drenaje.
- La distribución espacial heterogénea de las unidades geológicas. Este hecho es directamente proporcional al futuro desarrollo y localización de la red hidrogeológica, puesto que el agua de escorrentía se va a concentrar en zonas estructurales más débiles.

Más de las tres cuartas partes de agua que se consume en la isla es de origen subterráneo. Fundamentalmente, con procedencia de un total de 416 manantiales o nacientes donde la mayor parte tienen un caudal escaso en torno a 0,5 L/s, pero también los hay con caudales mucho mayores. Cabe destacar que en el interior del Parque Nacional de Garajonay se contabilizan 35 (incluidos en el total) con una calidad excelente debido a la ausencia de focos de contaminación.

Existen también infraestructuras como la perforación de pozos (que es la extracción más frecuente) con un número de 81, de los cuales, el 82% presentan agua permanente. Desgraciadamente, sólo el 47% de ellos se encuentran activos y en explotación, el resto, o bien ha sido clausurado o inactivo temporalmente o de manera indefinida. Explotan la escorrentía subterránea y las aguas freáticas situadas a cotas bajo el nivel del mar y cerca de la interfase de agua dulce y salada; los sondeos han aumentado en las últimas décadas hasta llegar a un inventario de 51; por último, las galerías son la infraestructura menos frecuente, en concreto hay 9 en la isla con una longitud media de 683 m.

En Hermigua, particularmente, existen 84 nacientes excluyendo los nacientes incluidos dentro del Parque Nacional de Garajonay; la mayoría de los pozos se ubican en zonas del barranco y en zonas cercanas a la costa, es decir, en los tramos medios y bajos del cauce principal del Barranco de Monforte. Se dispone de un número total de 7 perforaciones de pozos de los cuales 6 se encuentran activos en explotación, el pozo que está inactivo es debido a una avería y se sitúa, en concreto, en las instalaciones de la EDAR de Hermigua; no se dispone de sondeos ni galerías en el municipio.

En la **Tabla 2.2.** se adjunta una analítica de agua de abasto realizada en diferentes puntos de muestreo del municipio:

DATOS ANALÍTICOS APORTADOS POR EL CLIENTE								
Punto de muestreo	La Serenita	Los Roques	La Vegueta	Las Cabezadas I	Las Cabezadas II	Iboalfaro	El Tabaibal	Los Aceviños
Cloro libre (mg/l)	0,48	0,5	0,49	0,57	0,54	0,55	0,44	0,51

RESULTADOS DEL INFORME DE ENSAYO									
Punto de muestreo	La Serenita	Los Roques	La Vegueta	Las Cabezadas I	Las Cabezadas II	Iboalfaro	El Tabaibal	Los Aceviños	
Parámetros microbiológicos	Rto. de Escherichia coli (NMP/100 ml)	0	0	0	0	0	0	0	
	Rto. De bacterias coliformes (NMP/100 ml)	0	0	0	0	0	0	0	
Parámetros organolépticos	Color (mg/l PT-Co)	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	
	Olor (índice de dilución)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	
	Sabor (índice de dilución)	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	
	Turbidez (UNF)	1,28	1,9	0,9	2,18	<0,5	1,11	0,79	0,71
Parámetros indicadores	Amonio (mg/l)	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	
	Conductividad a 20°C (µS/cm)	247	231	248	233	202	250	254	236
	pH	7,95	8,02	8,1	8,09	8,18	8,15	8,05	8,13

Tabla 2.2. Analítica de agua de abasto con fecha de 30/01/2018.

La ubicación de algunos puntos de muestreo es en los núcleos de población de:

- La Serenita está en Monforte.
- Los Roques se encuentra en El Estanquillo.
- Y, La Vegeta en Las Nuevitas.

En el plano de situación de los núcleos de población, punto **8.1.** del presente TFG, se podrá observar la ubicación exacta de cada uno de los puntos de muestreo, los cuales se han dividido en secciones de colores diferentes para diferenciar zonas, es decir:

- El color verde se ha utilizado para las zonas más dispersas del municipio y que se encuentran en las proximidades del Parque Nacional de Garajonay.
- El amarillo para las zonas pertenecientes a Valle alto.
- El naranja para las zonas pertenecientes a Valle bajo.
- El azul para las zonas que se encuentran más próximas a la playa de Hermigua.

Asimismo, en la **Tabla 7.1.3** también se va a poder observar esta diferencia de colores.

En lo competente al saneamiento y la depuración en la isla, existe un total de 6 EDAR públicas de las que se encarga cada ayuntamiento de su gestión. A continuación, se va a citar brevemente los tipos de tratamientos que realiza cada una de ellas teniendo en cuenta que en el PHLG existe falta de información en general, salvo la EDAR de Hermigua que se explicará más detalladamente al contar con información del propio Ayuntamiento que la gestiona:

- Municipio de San Sebastián de La Gomera:

La EDAR de San Sebastián está situada a aproximadamente 2 km del núcleo, por lo que las aguas residuales son bombeadas mediante la Estación de Bombeo de Aguas Residuales (EBAR) situada en el puerto. La depuradora cuenta con un pretratamiento de canal de desbaste y desarenado, tratamiento de aireación prolongada mediante turbinas y un tratamiento terciario con dosificación de cloro.

En la línea de fangos se utiliza un espesador por gravedad y la deshidratación se realiza con un filtro de banda.

- Municipio de Alajeró:

Las aguas residuales son recogidas mediante la EBAR de Ajaleró situada en la desembocadura del Barranco de Santiago (previamente las AARR pasan por un desbaste de sólidos antes de impulsarlas) y son dirigidas a la EDAR de Playa Santiago. Ahí, dispone de un tratamiento de aireación prolongada y un terciario de cloración con hipoclorito.

En la línea de fangos se utiliza un espesador por gravedad y la deshidratación mediante una centrífuga de polielectrolito.

- Municipio de Valle Gran Rey:

La EBAR Tres Palmeras conecta con la EDAR ubicada en Playa del Inglés, corresponde con la segunda EDAR mayor de la isla, dispone de una línea de aguas con pretratamiento de desbaste de gruesos y desarenado, utilizan tratamiento de fangos activos con aireación por turbinas y decantador secundario.

Cabe destacar que cubre las carencias de aglomeraciones menores como Aure que utiliza un sistema de depuración natural y Taguluque que dispone de una fosa séptica. En la línea de fangos se utiliza un espesador por gravedad y la deshidratación se realiza con una centrífuga.

- Municipio de Vallehermoso:

En el núcleo del municipio dispone de red de saneamiento que conecta con la EDAR y utiliza tratamiento previo, secundario con aireación prolongada y terciario de cloración con hipoclorito. El tratamiento de fangos es un espesador por gravedad con una deshidratación por filtro de banda.

Además, en Alojera, hay una EDAR con pretratamiento de desbaste de gruesos, desarenador y desengrasador; tratamiento secundario con un biológico de aireación prolongada por medio de difusores. En la línea de fangos sólo dispone de un espesador por gravedad, ya que éstos se transportan a la EDAR de Vallehermoso.

- Municipio de Agulo:

Esta EDAR se ubica en la zona “Las Verduras”, dispone de tratamiento previo con un desbaste de gruesos y un equipo compacto (desarenado, microtamizado y desengrasado) seguido de un tanque de homogeneización y un reactor biológico.

La línea de fangos usa un sistema de espesamiento estático y una deshidratación de fangos mediante una centrífuga.

Asimismo, existe otra depuradora menor en Las Rosas.

- **Municipio de Hermigua:**

La dispersión de la población en este municipio ha dificultado que se disponga de una buena infraestructura de saneamiento y depuración. Aproximadamente, el 90% de la población cuenta con red de saneamiento unitaria (unas 671 viviendas conectadas) salvo en los núcleos de población de Los Aceviños y El Cedro que actualmente usan pozos negros.

La red unitaria se desborda si se producen tormentas o lluvias intensas, causadas generalmente por la elevada pendiente del terreno. Además, el municipio cuenta con problemas de conservación de las infraestructuras debido principalmente a la antigüedad que tienen.

Actualmente, la EDAR se sitúa en la Playa de Hermigua en una parcela de unos 600 m², donde se recoge el agua a tratar de la red de saneamiento del municipio para su depuración, posteriormente, se vierte el efluente directamente al Dominio Público Marítimo Terrestre a través de un tubo semienterrado en los callaos de la playa que discurre hasta alcanzar el mar. Se ha de subrayar que no existe ningún emisario submarino en servicio, lo cual es alarmante si se habla sanitaria y ambientalmente, por las causas de las incidencias estacionales de explotación de la planta generando vertidos sin depuración. Se encuentra en trámite de revisión desde 2015 para autorizar un nuevo punto de vertido mediante pozo filtrante (pendiente de construcción).

La actividad económica del municipio de Hermigua es la agrícola y en menor medida el turismo. Las aguas que se tratan en la EDAR son aguas residuales urbanas generadas por las viviendas y por el turismo, sin embargo, las aguas generadas por la actividad agrícola no se recogen la red de saneamiento. Asimismo, no existen otros sectores de actividad que pudieran generar AARR con potencial de contaminación de parámetros diferentes a las AARR urbanas, como podrían ser las procedentes de usos industriales, explotaciones mineras, etc.

Se habla, por tanto, de una planta convencional que, como su propia definición indica, hace empleo de tecnologías intensivas. La línea de aguas dispone de tratamiento previo, secundario y terciario. Además, la línea de lodos cuenta con un tratamiento de secado de lodos. A continuación, se describirá cada uno de los tratamientos de una manera más detallada:

- **Línea de agua:**

En la cabecera de la estación de tratamiento, las AARR se reciben a través de una arqueta de llegada donde se conecta el colector general de saneamiento y parte el by-pass general de la planta. Con la finalidad de evacuar el exceso de caudal cuando supere el caudal máximo de diseño, la obra de llegada cuenta con un aliviadero.

Se ha de señalar, que la EDAR ha sido diseñada en el año 1994 para un caudal de diseño de 300 m³/día, y, ya en el año 1996 fue puesta en marcha.

- **Tratamiento previo**

1. Desbaste de sólidos se trata del primer proceso en el tratamiento de la línea de aguas y su misión es la eliminación de sólidos de tamaño pequeño mediante una reja de finos con un paso libre entre barrotes de 12 mm y una limpieza automática que incorpora un peine rascador que de manera periódica limpiará la reja automáticamente.

2. Desarenador estático de doble canal y de flujo horizontal y constante que tiene como objetivo lograr la eliminación tanto de la materia inorgánica (arenas y gravas) como de la materia orgánica no putrescible (granos de café, cáscaras de huevos, etc.). Este tipo de desarenador tiene una velocidad de paso fija (en torno a 0,3 m/s) independientemente del caudal que lo atraviesa gracias a la colocación final de los canales vertederos.

Para el caso de la EDAR de Hermigua, que se trata de una pequeña población, no ha de funcionar de manera efectiva, pues, se sabe que al operar con bajos caudales que tienen cierta fluctuación van a impedir que la velocidad de paso de 0,3 m/s se mantenga

constante tendiendo a la acumulación de arenas con alto contenido en materia orgánica.

En la siguiente figura se puede observar los equipos que se acaban de describir en la planta:



Figura 2.4. Reja de finos y desarenador de doble canal. (Elaboración propia)

○ **Tratamiento secundario**

Se trata de un tratamiento secundario de tecnologías intensivas de Aireación Prolongada:

1. Cuba de aireación o reactor biológico donde se produce el denominado licor de mezcla gracias a un cultivo bacteriano en suspensión que va formando una gran cantidad microorganismos que tienden a agruparse en flóculos. Asimismo, para poder producir las condiciones aerobias adecuadas y que el licor de mezcla se mantenga homogéneo se utiliza un aireador superficial, el cual es una alternativa que produce una agitación superficial haciendo que las gotas de agua que se rompen sean capaces de absorber parte del oxígeno atmosférico. La aireación funciona de manera intermitente, es decir, el reactor sufre una anoxia temporal con el fin de favorecer la desnitrificación biológica de los nitratos que se forman y obtener una mejor clarificación, así como un ahorro de energía en este sistema. El ahorro se debe a que la DBO_5 se oxida gracias al oxígeno contenido en los nitratos

formados, por tanto, no se tendrá que aportar el oxígeno a través del sistema de aireación para esta parte importante de DBO₅ que ya se ha oxidado.

2. Clarificador estático tronco-piramidal cuyo objetivo es separar el efluente depurado de los fangos bajo la acción de la gravedad. Mediante una bomba centrífuga situada en el fondo del decantador, parte de los fangos se recirculan de nuevo al reactor (con un caudal de 5 m³/h y a una presión de 9 m.c.a.) con el fin de mantenerlo con una cierta concentración de microorganismos, mientras que, el resto de los fangos, los denominados fangos en exceso se purgan periódicamente.

En la siguiente figura se puede observar de una manera esquemática todo lo que se ha mencionado sobre este proceso:

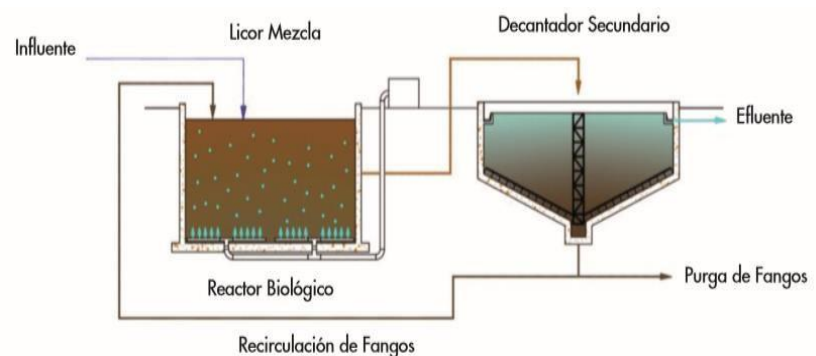


Figura 2.5. Esquema de un proceso de Aireación Prolongada.
(CEDEX, 2010)

Se ha de recalcar que la Aireación Prolongada se trata de una tecnología que necesita una supervisión y mantenimiento controlado, de lo contrario, no se podrá asegurar la correcta depuración ni la calidad de efluente esperada. La depuradora de Hermigua, no cumple adecuadamente con este punto tan importante y teniendo en cuenta que el municipio dispone de red de alcantarillado unitaria y que falta cierta modernización de los sistemas actuales de saneamiento de la planta, la variabilidad del caudal en los días más lluviosos podría afectar de manera negativa en la clarificación secundaria por un fenómeno de arrastre de sólidos desde reactor.

- **Tratamiento terciario**

Desinfección con Hipoclorito de sodio comercial almacenado en una cuba prismática de hormigón de capacidad de 200 litros. Se realiza la desinfección en el tanque terciario (cuyo volumen es de 17 m³) mediante dos bombas dosificadoras capaces de suministrar 2,2 L/h a 10 bar de presión cada una, según la programación del panel de control de la EDAR. Además, de manera ocasional, se depositan pastillas de hipoclorito sódico en los canales de paso del fluido con el fin de reforzar el proceso de desinfección.

Para casos de mantenimiento, la planta dispone de un depósito auxiliar con una capacidad de almacenamiento de 28 m³. Se sitúa junto al tratamiento terciario.

Cabe resaltar que la EDAR no dispone de ningún caudalímetro ni a la entrada ni a la salida, de esta manera, no se puede conocer de una manera precisa el caudal medio exacto del influente ni del efluente.

Finalmente, en estas figuras se puede observar la línea de aguas de la EDAR, así como identificar los diferentes equipos comentados con anterioridad:



Figura 2.6. EDAR del municipio de Hermigua en 2015. (Ayuntamiento de Hermigua)



Figura 2.7. EDAR actual del municipio de Hermigua. (Elaboración propia)

- **Línea de lodos:**

Por un lado, existen los residuos generados en las rejillas de desbaste y en el desarenador que son extraídos de manera manual a un contenedor (como se puede comprobar en la **Figura 2.4** citada anteriormente) y de forma periódica retirados por el servicio municipal de recogida de RSU.

Por otro lado, se han obtenido los fangos en exceso procedentes del sistema de Aireación Prolongada, estos fangos purgados, no necesariamente deben someterse a un **proceso de espesado del fango**, dado que, ya tienen una cierta concentración de sólidos.

Normalmente, en este tipo de tecnologías, **los fangos generados ya se encuentran estabilizados**, dado que se opera a altas edades de fango para mantener retenidos a los microorganismos en el sistema, y, por tanto, la carga másica será muy baja con tiempos de retención hidráulica altos.

- **Deshidratación de fangos:**

- **Centrífuga**

Básicamente es un dispositivo cilíndrico-cónico con un tornillo helicoidal en su interior que funciona mediante la acción de la fuerza Centrífuga. El fango (que sería la parte más pesada) decanta depositándose en la pared del tambor mientras lo

arrastra el tornillo que está girando a distinta velocidad mientras que el agua saldrá por el extremo opuesto.

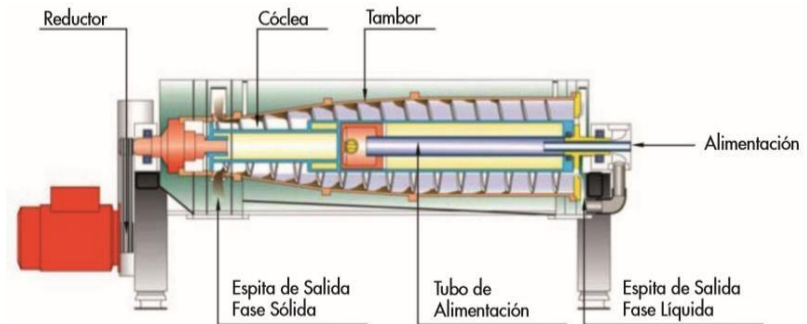


Figura 2.8. Esquema del funcionamiento de una centrífuga
(CEDEX, 2010)

Se desea, por tanto, cumplir de la manera más estricta posible con los requerimientos de las normativas correspondientes, las cuales se citarán a continuación:

- Real Decreto 174/1994 Gobierno de Canarias (BOC), por el que se aprueba el Reglamento de Control de Vertidos para la Protección del Dominio Público Hidráulico.

Cabe destacar la admisión de las fosas sépticas como sistema de depuración primario aceptable en núcleos dispersos debido a la geografía, siempre y cuando se construyan lo suficientemente alejadas de cualquier manantial, pozo o galería con el fin de evitar cualquier posible riesgo de contaminación. Asimismo, se exigen de unos valores límites admisibles de vertido, los cuales se citarán más adelante.

- Directiva 91/271/CEE Unión Europea, modificada por la Directiva 98/15/CE, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas para aglomeraciones iguales o menores a 2.000 h-e, la cual exige un tratamiento adecuado.

Se define las zonas menos sensibles como “bahías abiertas, estuarios y otras aguas costeras con un intercambio de agua bueno y que no tengan eutrofización o agotamiento del oxígeno, o en las que se considere que es improbable que lleguen a desarrollarse fenómenos de eutrofización o de agotamiento del oxígeno por el vertido de aguas residuales urbanas.”

Más adelante, se mostrará los requisitos de vertidos en zonas costeras.

- Real Decreto 1620/2007, Gobierno de España (BOE), por el que se establece la calidad mínima exigible para la reutilización de aguas depuradas.

3. Objetivo del proyecto

El objetivo del presente TFG es el diseño de un tratamiento posterior que aumente la calidad del efluente de salida de la EDAR convencional bajo los parámetros propios de los sistemas de depuración natural. Además, se buscará una solución adecuada para los barrios más alejados del municipio.

Para ello, se realizará un estudio previo del efluente de salida actual en dicha EDAR para proceder con el diseño de un humedal artificial. Sin embargo, como en las zonas más alejadas del municipio no se cuenta con red de saneamiento (actualmente se dispone de pozos negros donde sus residuos líquidos terminan filtrándose en los terrenos) se ha decidido implantar fosas sépticas que ofrecen mayor seguridad e higiene para el medio ambiente, así como impacto ambiental nulo.

4. Solución adoptada

Generalmente, las tecnologías extensivas como su propio nombre indica, se caracterizan porque la velocidad transcurre de manera natural sin ningún aporte de energía, pero ello se compensa porque necesitan una mayor superficie para obtener una correcta depuración.

Existen diferentes tipos de sistemas depurativos naturales, como, por ejemplo, Los Lagunajes, Los Humedales Artificiales, Los Filtros Intermitentes de Arena, etc. Si se define brevemente los fundamentos de cada uno de los que se han citado, se podrá entender debido a las peculiaridades de cada tecnología, cuáles han sido las razones para optar por uno u otro en la EDAR de Hermigua. Así pues:

Los Lagunajes, se caracterizan por constar de varias lagunas conectadas en serie, por ello, podría definirse como “río compartimentado” en el que se combinan condiciones aerobias y anaerobias. La profundidad de las etapas va disminuyendo progresivamente. La primera etapa suelen ser las Lagunas Anaerobias que se caracterizan por soportar elevadas cargas orgánicas, mientras que, en las etapas posteriores, las Lagunas Facultativas tienen como objetivo principal la biodegradación fundamentalmente de manera aerobia, y, las Lagunas de Maduración, son aguas relativamente claras y poco profundas donde se dan condiciones propicias para la radiación solar. Debido a su elevado poder desinfectante, se suelen colocar en cola de otros tratamientos de depuración. Asimismo, hacen frente a las distorsiones que causan las lluvias intensas en los sistemas de tratamiento, ejerciendo un efecto de homogeneización de los efluentes finales.

En los años 80, la tecnología de Lagunaje experimentó un grado considerable de implantación en España, los malos resultados obtenidos (básicamente debido a deficientes dimensionamientos), la variabilidad temporal en la calidad de los efluentes depurados y los elevados requisitos de superficie para su implantación, conlleva a que actualmente su aplicación se encuentre en franca regresión, pero, sí se utilizan algunos de sus elementos integrantes (etapas anaerobia y de maduración), en combinación con otras tecnologías de tratamiento.

Los Humedales Artificiales (HA) se basan en reproducir la eliminación de contaminantes que ocurre en las zonas húmedas naturales. Son sistemas de depuración de carácter artificial porque se construyen mecánicamente y se impermeabilizan para evitar pérdidas de agua al

subsuelo, se utilizan sustratos distintos al terreno en el que se va a implantar para poder enraizar las plantas de éste pudiendo así elegir el tipo de planta que invadirá el terreno.

Tradicionalmente, los HA se clasifican en dos tipologías en función del modelo de circulación del agua: superficial o subterránea. En los Humedales Artificiales de Flujo Superficial o Flujo Libre (HAFS), el agua a tratar circula por encima del sustrato, mientras que, en los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HAFSS), el agua recorre el humedal de forma subterránea, a través de los espacios intersticiales del lecho filtrante.

En los HAFS, el agua discurre libremente por la superficie del sustrato donde circula alrededor de los tallos y hojas de las plantas, por lo que se encuentra expuesta directamente a la atmósfera. En cierta medida estos sistemas pueden considerarse como una variedad de los lagunajes clásicos, con las diferencias de la menor profundidad de lámina de agua y a la existencia de vegetación arraigada en el fondo. Suelen ser instalaciones de varias hectáreas que, principalmente, se emplean como tratamiento de afino, a modo de reutilización ambiental de las aguas tratadas.

En los HAFSS, la circulación del agua es subterránea, a través de un medio granular con permeabilidad suficiente, y en contacto con los rizomas y raíces de los macrófitos. Por ello, en estos sistemas se dan procesos similares a los que tienen lugar en los tratamientos mediante filtración (Filtros Intermitentes de Arena, sistemas de Infiltración-Percolación, Filtros de Turba), mientras que en los de Flujo Superficial predominan los procesos de depuración natural que se dan en las masas de agua, caso del Lagunaje. Son instalaciones de menor tamaño que las de Flujo Superficial y, en la mayoría de los casos, se emplean como tratamiento secundario de las aguas residuales generadas en pequeños núcleos de población.

Los Filtros Intermitentes de Arena son lechos poco profundos, dotados de un sistema superficial de distribución del agua a tratar y de un drenaje inferior para la recogida de los efluentes tratados. Se utilizan como tratamientos secundarios de las aguas residuales (le suele preceder tratamientos como fosas sépticas o tanques Imhoff), atraviesan verticalmente el sustrato filtrante, sobre el que se desarrolla una película bacteriana, que se mantiene sin saturar y en condiciones aerobias, gracias a que la alimentación a los filtros se efectúa de forma discontinua y a la ventilación del sistema de drenaje inferior.

A continuación, se adjunta una tabla con las ventajas y desventajas de estos tres sistemas naturales mencionados, con el fin de poder optar por el que sea más conveniente:

Tecnología extensiva	Ventajas	Desventajas
LAGUNAJES	Facilidad constructiva	Elevados requisitos de terreno para implantarlos
	Consumo energético nulo (si las AARR llegan por gravedad a la estación)	Su implantación se desaconseja en zonas frías o de baja radiación
	Ausencia de avería si no hay equipos electromecánicos en la etapa de desbaste	Generación de olores desagradables en las Lagunas Anaerobias, si bien, los olores pueden minimizarse
	Mantenimiento sencillo y simple	Posible proliferación de mosquitos
	Escasa producción de fangos	Pérdidas de agua por evaporación, provocando un aumento de la salinidad de los efluentes tratados
	Gran inercia por los elevados volúmenes	Con frecuencia, elevadas concentraciones de sólidos en suspensión en los efluentes finales, consecuencia de la proliferación de las microalgas
	Alto poder de inactivación de microorganismos patógenos	Riesgo de contaminación de acuíferos por infiltraciones en caso de que la impermeabilización del sistema no sea adecuada
	Buena integración medioambiental	
HUMEDALES ARTIFICIALES	Sencillez operativa	Como todas las tecnologías extensivas, requieren una mayor superficie de terreno, limitando su aplicación a los vertidos de pequeñas aglomeraciones urbanas. Además de repercutir notablemente en los costes de construcción, cuando se ha de adquirir terrenos
	Consumo energético nulo o muy bajo	Los HAFSs, principalmente los Horizontales, presentan riesgos de colmatación del sustrato, si no se elige

		convenientemente, no funciona adecuadamente como tratamiento previo y primario o si se reciben vertidos anómalos con elevadas concentraciones de sólidos en suspensión o grasas, y no quedan retenidos en las etapas previas
	Bajo coste de explotación y mantenimiento	Pocos factores de control regulables durante la operación, por lo que es de vital importancia que los HA esté bien dimensionados y construidos
	Posible aprovechamiento de la biomasa vegetal generada (ornamentación, alimentación animal)	Si el material disponible localmente no es apto para el sustrato filtrante, se pueden incrementar notablemente los costes de implantación
	Los HAFS permiten la creación y restauración de zonas húmedas, aptas para potenciar la vida salvaje, la educación ambiental y las zonas de recreo	Pérdida de agua por evapotranspiración, que incrementa la salinidad de los efluentes
	Mínima producción de olores, al no estar expuestas al aire las aguas a tratar en HAFSs, y por alimentarse normalmente con efluentes ya depurados los HAFS	Posible aparición de mosquitos en los HAFS y de plagas que pueden atacar la vegetación
	Perfecta integración en el medio ambiente natural, especialmente los HAFS	
FILTROS INTERMITENTES DE ARENA	Sencillez operativa	Requieren una mayor superficie de terreno para implantarlos, por lo que se limita su aplicación a pequeñas aglomeraciones urbanas repercutiendo notablemente los costes cuando se adquiere terrenos. Este inconveniente es menos acusado en los filtros con recirculación, ya que ocupan menor superficie

	Consumo energético nulo o muy bajo si las AARR a tratar circulan por gravedad entre sus distintos elementos, bajo si hay que bombear y algo mayor en los filtros con recirculación	Presentan riesgos de colmatación del sustrato si no se elige adecuadamente, no funciona de forma correcta como tratamiento previo y primario o si se reciben vertidos anómalos con elevadas concentraciones de sólidos en suspensión o grasas, y no quedan retenidos en las etapas previas a los filtros
	Bajo coste de explotación y mantenimiento	Si el material disponible localmente no es el adecuado para la filtración, se incrementarán los coste de implantación
	Rápida puesta en operación	Pocos factores de control regulables durante la operación, por lo que es muy importante que estos equipos estén bien dimensionados y construidos.

Tabla 4.1. Ventajas y desventajas de algunas tecnologías extensivas.

(Elaboración propia a partir de CEDEX, 2010)

Leyendo con atención las ventajas y desventajas de cada sistema depurativo mencionado (**Tabla 4.1.**), tienen en común sencillez operativa, energía nula y sólo poderse instalar en pequeñas poblaciones urbanas (como toda tecnología extensiva). Sin embargo, la EDAR está a 500 m de El Pescante de Hermigua, uno de los puntos más turísticos del municipio. Por tanto, interesa tener la menor exposición directa a las personas y de malos olores posibles cerca de esta zona, lo cual fomentaría de alguna manera la educación ambiental con la implantación de una tecnología sostenible. Así pues, se ha decidido elegir el sistema de depuración natural de los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial como tratamiento de afino.



Figura 4.1. Distancia entre la EDAR y Pescante de Hermigua. (Google Maps)

Como se ha mencionado en otros apartados, Hermigua se caracteriza por ser un municipio de pequeña aglomeración urbana y como ya se sabe es una condición imprescindible para que las tecnologías extensivas tengan aplicabilidad. Se desea alcanzar una calidad superior en el efluente de salida de la EDAR convencional que ya dispone el municipio, así como resolver los problemas de desbordamiento por causas de tormentas o lluvias intensas y de esta forma cumplir en cualquiera de los casos la Directiva 91/271/CEE para vertidos en aguas costeras (véase el apartado 7.2. donde se pueden observar las analíticas de agua de salida y de entrada de la planta actual).

A continuación, se adjunta una tabla que resume los límites de vertido para poblaciones entre 2.000 -10.000 h-e de acuerdo con la Directiva Marco del Agua y la Ley de Aguas:

Parámetros	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción ⁽¹⁾	Método de medida de referencia
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO 5 a 20 °C) sin nitrificación ⁽²⁾	25 mg/l O ₂	70-90 40 de conformidad con el apartado 2 del artículo 4	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Determinación del oxígeno disuelto antes y después de 5 días de incubación a 20 °C ± 1 °C, en completa oscuridad. Aplicación de un inhibidor de la nitrificación
Demanda química de oxígeno (DQO)	125 mg/l O ₂	75	Muestra homogeneizada, sin filtrar ni decantar. Dicromato potásico
Total de sólidos en suspensión	35 mg/l ⁽³⁾ 35 de conformidad con el apartado 2 del artículo 4 (más de 10 000e-h) 60 de conformidad con el apartado 2 del artículo 4 (de 2 000 a 10 000 e-h)	90 ⁽³⁾ 90 de conformidad con el apartado 2 del artículo 4 (más de 10 000 e-h) 70 de conformidad con el apartado 2 del artículo 4 (de 2 000 a 10 000 e-h)	— Filtración de una muestra representativa a través de una membrana de filtración de 0,45 micras. Secado a 105 °C y pesaje — Centrifugación de una muestra representativa (durante 5 minutos como mínimo, con una aceleración media de 2 800 a 3 200 g), secado a 105 °C y pesaje.

⁽¹⁾ Reducción relacionada con la carga del caudal de entrada.

⁽²⁾ Este parámetro puede sustituirse por otro: carbono orgánico total (COT) o demanda total de oxígeno (DTO), si puede establecerse una correlación entre DBO 5 y el parámetro sustitutivo.

⁽³⁾ Este requisito es optativo.

Tabla 4.2. Vertido en zonas costeras para 2.000-10.000 H-E. (Directiva 91/271/CEE)

Además, se podría contemplar la reutilización del efluente depurado, aunque para ello habrá que realizar un estudio de las posibles demandas del municipio (por ejemplo, una buena opción para el agua regenerada en Hermigua sería utilizarla para el riego de jardines privados o riego agrícola) así como conocer la viabilidad técnico-económica de implantar un sistema de reutilización.

Como es evidente, si se llegara a decidir reutilizar el efluente de la EDAR, se deberán establecer las características exigidas para el efluente regenerado, en función de los posibles usos a los que se vaya a destinar agua regenerada. En la **Tabla 4.3** se ha resumido la calidad bacteriológica mínima requerida para cada uso que podría ser viable en Hermigua, según lo que está establecido en el Real Decreto 1620/2007 sobre el régimen jurídico de la reutilización de aguas residuales:

Usos		Calidad	E. Coli (UFC/100 ml)	Neumatodos (huevos/10 l)	Legionella spp (UFC/100 ml)
Urbano 1.1	Riego de jardines privados	A	Ausencia	< 1	< 100
Urbano 1.2	Servicios urbanos	B	< 100 -200	< 1	< 100
	Sistemas contra incendios				
	Lavado de vehículos				
Agrícola 2.1	Riego agrícola sin restricciones	B	< 100 -200	< 1	< 100
Ambiental 5.1	Recarga de acuíferos por percolación a través del terreno	C	< 1.000	No se fija límite	No se fija límite
Recreativo 4.2	Estanques	D	< 10.000	< 1	< 100
	Masas de agua				
	Caudales ornamentales				
Ambiental 5.3	Riego de bosques y zonas verdes (no accesibles al público)	E	No se fija límite	No se fija límite	No se fija límite

Tabla 4.3. Grupos de calidad en función de los límites bacteriológicos establecidos en

R.D.1620/2007 para cada posible uso en Hermigua.

(Elaboración propia a partir de CEDEX, 2010)

Este municipio al ser tan disperso, por desgracia, ha provocado que en los lugares tan alejados del casco no se disponga de red de saneamiento, lo cual, lleva a que en los núcleos de El Cedro y Los Aceviños utilicen pozos negros como “zona de vertido” de las aguas residuales de las viviendas, ya que se habla de agujeros profundos hechos en la tierra sin ningún tipo de tratamiento, donde la parte líquida que llega se infiltra directamente en la tierra, pues son permeables, y por otra parte, la fase sólida se puede descomponer por la acción bacteriana que se produce por el subsuelo. La profundidad que suelen tener llega hasta la capa freática, al tratarse de una isla en la que los principales recursos de abastecimiento son subterráneos se podría contaminar si las aguas negras se ponen en contacto con las aguas subterráneas.

Sin más dilación, una alternativa totalmente viable para depurar estas aguas sería la implantación de dos fosas sépticas como tratamiento primario, una para cada núcleo. Como se puede observar en el punto 8.1, estos núcleos urbanos son zonas que están localizadas justo en los límites del Parque Nacional de Garajonay, es decir que se trata de zonas poco

pobladas y llenas de vegetación. A continuación, se procede a la breve definición de este tipo de dispositivos:

El Real Decreto-Ley 11/95 define tratamiento primario como “el tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso físico o fisicoquímico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos, en los que la DBO₅ de las aguas residuales que entren se reduzca, por lo menos, en un 20% antes del vertido y el total de sólidos en suspensión en las aguas residuales de entrada se reduzca, por lo menos, en un 50%”.

Las Fosas Sépticas son dispositivos totalmente impermeabilizados que ofrecen un tratamiento primario a las aguas Residuales (AARR), reduciendo su contenido en sólidos en suspensión (flotantes y sedimentables). En general, se disponen enterradas y son uno de los tratamientos más usados en los sistemas de depuración descentralizados y en aglomeraciones de tamaño muy pequeño.

Las principales ventajas y desventajas de las Fosas Sépticas como dispositivos de tratamiento primario son:

Ventajas	Desventajas
Bajos costes de explotación y mantenimiento	Tan sólo permiten alcanzar niveles de tratamiento primario, por lo que sus efluentes, en la mayoría de los casos, precisan de tratamientos complementarios
Fácil y rápida instalación en el caso de las unidades prefabricadas	Efluentes sépticos
Permiten la atenuación de los picos de carga contaminante	Impactos olfativos
Simplifican la gestión de los fangos	
Nulo impacto visual al disponerse enterradas	
Nulo impacto sonoro	

Tabla 4.4. Ventajas y desventajas de las Fosas Sépticas.

(Elaboración propia a partir de CEDEX, 2010)

Al ser núcleos poco poblados, pero con mucha vegetación, es de vital importancia disponer de un tratamiento de depuración que no tenga impacto visual ni sonoro, ya que principalmente, son zonas frecuentadas por turistas y senderistas que buscan tranquilidad

para poder disfrutar de la naturaleza. Además, de los cauces de agua permanentes que discurren por el Parque Nacional de Garajonay (véase la **Figura 2.3.**), es imprescindible que se instalen las Fosas Sépticas y eliminar por completo los pozos negros para no correr ningún riesgo de contaminación de los cauces de agua.

5. Fundamentos de los Humedales Artificiales

La tecnología de humedales artificiales puede considerarse como un complejo ecosistema, en el que principalmente interviene:

- El sustrato que sirve de soporte a la vegetación, y permite la fijación de la población microbiana (en forma de biopelícula), que va a participar en la mayoría de los procesos de eliminación de los contaminantes.
- La vegetación (macrófitas) que contribuye a la oxigenación del sustrato, a la eliminación de nutrientes y en la que también tiene lugar el desarrollo de la biopelícula.
- El agua a tratar que circula a través del sustrato y de la vegetación.

Se ha decidido implantar un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal (HAFSsH) donde la circulación del agua es subterránea, a través de un medio granular (en este caso grava) y en contacto con los rizomas y raíces de los macrófitos acuáticos. Este tipo de humedales se encuentran limitados por recintos totalmente impermeabilizados con un material de soporte para el enraizamiento de la vegetación (en este caso se utilizará la caña común, más adelante se profundizarán las razones de dicha elección). La profundidad del sustrato filtrante en el punto medio del humedal será del orden de 0,6 m.

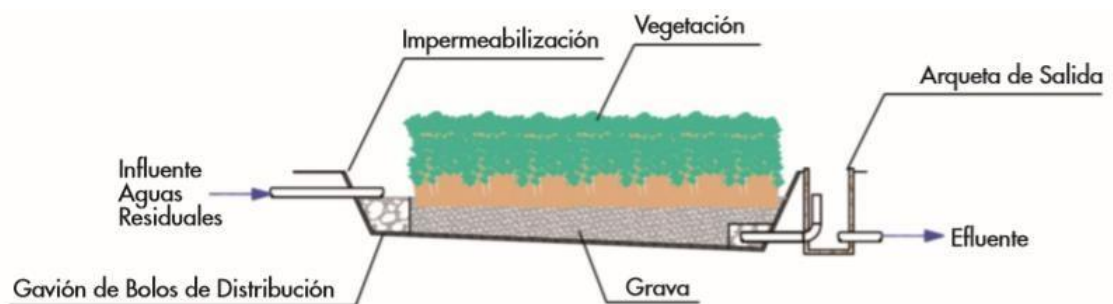


Figura 5.1. Corte longitudinal de un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal.

(CEDEX, 2010)

Dichos sistemas se consideran tratamientos secundarios, pero en este caso, será un tratamiento de afino que se encargue de recibir el efluente de salida de la EDAR actual de Hermigua.

Las principales ventajas respecto a los sistemas de Flujo Superficial son:

- Menor repercusión de malos olores debido a la circulación subterránea de agua.
- Bajo riesgo de exposición directa a las personas y aparición de insectos (mosquitos) gracias al flujo subterráneo.
- Protección térmica, debido a la acumulación de restos de vegetales y al flujo subterráneo.

En los Humedales Horizontales, las aguas circulan horizontalmente y de forma directa y continua (ya que no se precisa sistema de bombeo), atravesando un sustrato filtrante de grava con un espesor de 0,6 m, en el que se fija la vegetación. A la salida de los humedales, existe una tubería flexible para controlar el nivel de encharcamiento que normalmente se mantiene en unos 5 cm por debajo del nivel de los áridos para que las aguas no sean visibles. Además, operan en condiciones anaerobias, produciendo efluentes con ausencia de oxígeno disuelto y, por tanto, con un potencial redox negativo. Por otro lado, operan en tiempos de retención hidráulica de varios días.

De manera general, los HA se construyen por excavación de terreno con una configuración geométrica rectangular. Para el caso que se ha elegido, se opera con relaciones Longitud/anchura de 1/1.

Es recomendable que la superficie total del humedal se reparta en al menos dos celdas para lograr una mejor distribución del influente y para que el sistema tenga cierta flexibilidad para operar. Con el fin de favorecer la circulación de las aguas el fondo debe presentar una pendiente del 1% (dirección entrada-salida).

El confinamiento del humedal debe estar impermeabilizado para evitar infiltraciones al terreno. Si el suelo donde se ubicará el tratamiento ya consta de una permeabilidad baja, se podrá proceder con su compactación, en el caso contrario se ha de impermeabilizar con el uso de arcillas o bentonitas o utilizando láminas plásticas de PVC. Para evitar posibles pinzamientos de piedras del terreno o incluso del propio sustrato filtrante, se recomienda utilizar encima y debajo de la lámina plástica, una lámina de geotextil de 150- 300 g/cm², o que se extienda una capa de arena por debajo de la lámina plástica.

Para los Humedales de Flujo Subsuperficial Horizontal, la presencia de oxígeno es mínima, debido a que el medio se encuentra saturado de agua y los gases atmosféricos se desplazan a los poros del sustrato, por tanto, se habla de un sustrato anóxico. La degradación de la materia orgánica transcurrirá de manera anaerobia a lo largo de una serie de etapas. Es decir,

Los compuestos orgánicos son degradados de forma simultánea mediante procesos aerobios y anaerobios, siendo difícil cuantificar la proporción en que se producen cada uno de ellos.

Para seleccionar el sustrato filtrante es imprescindible disponer de un material suficientemente homogéneo en forma y tamaño y limpio (sin presencia de finos para que no se produzca la colmatación y se acorte la vida útil del sistema). En cuanto a su colocación se debe tener especial cuidado para no dañar la lámina que impermeabiliza el sistema.

En el caso estudiado, se recomienda como sustrato filtrante el empleo de gravilla de 6-12 mm. En ese tipo de humedales el espesor del sustrato en el punto medio del humedal es de 0,6 m, si bien, se comienza a trabajar con espesores menores, en torno a 0,3 m.

Los elementos de entrada al sistema se diseñan de forma que el agua se distribuya de la manera más uniforme posible a través del HA. Para el caso estudiado, se recurre a tuberías perforadas que descarguen sobre una zona de bolos gruesos (50-100 mm), dispuesta en la cabecera del humedal. El gran tamaño de los áridos minimizará los problemas de obstrucción.

La evacuación del efluente suele realizarse a través de tuberías de drenaje en el fondo de la zona de gravas dispuesta en la zona de la salida del humedal, recurriendo nuevamente a las tuberías perforadas de bolos gruesos (50-100 mm). Estos drenajes conectarán con una tubería flexible (ubicada en la arqueta de salida del efluente) para poder modificar el nivel de encharcamiento del sustrato. Habitualmente, el nivel de agua en el humedal queda 5 cm por debajo de la superficie del sustrato.

A continuación, en la **Figura 5.2.** se puede observar cada uno de los elementos descritos anteriormente, desde las tuberías perforadas con las que se alimenta el sistema como las que evacuan el efluente, así como la tubería flexible que controla el nivel del agua del humedal.

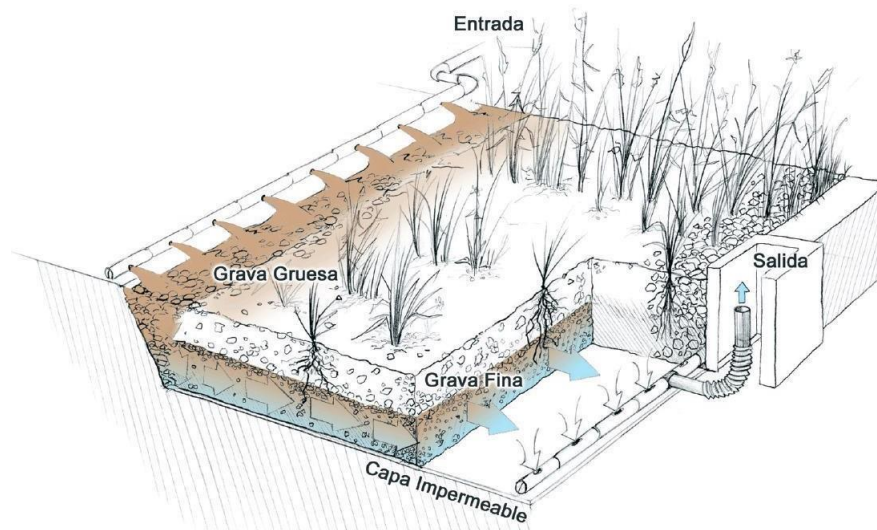


Figura 5.2. Diagrama de funcionamiento de un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal.
(CENTA, 2008)

Una vez colocado y nivelado el sustrato filtrante, así como el sistema de distribución de agua, se procede a la plantación.

Como es lógico, el buen funcionamiento de un humedal se caracteriza por la interacción de tres componentes de diseño: el propio diseño del humedal, la calidad del agua afluente y la vegetación que lo compone. Posteriormente, su mantenimiento y funcionamiento adecuado.

La vegetación de este tipo de tecnologías es la misma que coloniza los humedales naturales, es decir, plantas acuáticas emergentes arraigadas al subsuelo.

En la vegetación en los Humedales de Flujo Superficial para aguas residuales suele recurrirse de manera frecuente a la implantación de carrizo (*Phragmites australis*), juncos (*Scirpus lacustris*), aneas (*Thypha latifolia*), masiega (*Cladium mariscus*), iris (*Iris pseudoacorus*), juncia (*Cyperus longus*), etc. Mientras que, para el caso de los Humedales Artificiales de Flujo subsuperficial, la especie dominante es el carrizo común (*Phragmites australis*), pues destaca por ser la más usada en humedales artificiales europeos. Establecer la vegetación en los HA puede hacerse mediante la multiplicación vegetativa a partir de los rizomas o se puede recurrir a las plantas procedentes de viveros.

Las macrófitas son la característica visual dominante en los humedales artificiales, así como las biopelículas microbianas, ya que son imprescindibles en la eliminación de nutrientes.

Generalmente, se suele hacer una elección de las plantas en base a si son especies locales, es decir, autóctonas, pues, sabiendo que pueden utilizarse en el tratamiento de aguas residuales y que son relativamente fáciles de propagar, serán, por tanto, fáciles de conseguir y tendrán un precio razonable, manteniéndose así la biodiversidad, sin tener que introducir especies invasoras en la zona.

A continuación, en la siguiente tabla se encuentran ejemplos de especies de macrófitas emergentes utilizadas en humedales artificiales que tienen altas cargas de nutrientes:

Especie	Nombre común
<i>Alisma spp.</i>	
<i>Baumea articulata</i>	
<i>Canna indica</i>	Platanilla de las Indias
<i>Canna flaccida</i>	Lirio de canna
<i>Colocasia esculenta</i>	Ñamera
<i>Cyperus spp.</i>	Juncos
<i>Eleocharis spp.</i>	
<i>Eleocharis dulcis</i>	Castaña de agua
<i>Fimbristylis spp.</i>	
<i>Glyceria maxima</i>	Gliceria acuática
<i>Hydrocotyle umbellata</i>	Ombbligo de Venus
<i>Iris pseudacorus</i>	Lirio amarillo
<i>Juncus spp.</i>	Juncos
<i>Panicum hemitomom</i>	Maidencane
<i>Phragmites australis</i>	Carrizo
<i>Pontederia cordata</i>	Pontederia
<i>Sagittaria spp.</i>	Flecha de agua
<i>Scirpus spp.</i>	Juncos
<i>Typha spp.</i>	Juncos de agua, eneas o espadañas
<i>Zantedeschia aethiopica</i>	Cala
<i>Zizania latifolia</i>	Arroz salvaje o arroz silvestre
<i>Zizaniopsis milacea</i>	Arroz silvestre del sur

Tabla 5.1. Especies emergentes utilizadas en la construcción de humedales con alta carga de nutrientes.

(Elaboración propia a partir de Z. Zhang, 2008)

Las especies resaltadas en la **Tabla 5.1**, corresponden con especies introducidas a lo largo de los años en las islas, y por ello, son idóneas para contemplarlas como posibles candidatas

en la construcción del humedal del municipio de Hermigua. Ahora, se procede a una breve descripción de cada especie deseada para su posible implantación:

Arundo donax o comúnmente conocida como caña común, es una planta de la familia de las gramíneas (Poaceae) que ha sido introducida en las Islas Canarias ya que el origen de esta especie es de Europa del Sur, España y Portugal. Crece en las riberas de barrancos y terrenos húmedos y tiene un tamaño máximo de hasta 6 m de altura.



Figura 5.3. *Arundo donax* en Rambla de Castro, Tenerife. (Flora de Canarias)

La *Canna indica* (platanilla de las Indias) es una planta de la familia de las cannáceas (Cannaceae) que ha sido introducida en el archipiélago donde se cultiva por sus flores vistosas, es original de América del Sur. Crece en suelos poco exigentes, pero preferiblemente muy bien drenados. Su altura máxima es de 1,5 m, aunque algunas variedades pueden llegar a 3 m.

Su plantación o traslado de rizomas suele ser a finales de invierno o principios de primavera y al plantarse debe hacerse entre 30-50 cm de distancia el uno del otro a una profundidad de 10 cm.



Figura 5.4. *Canna indica* en Jardina, Tenerife. (Flora de Canarias)

La *Phragmites australis* (carrizo) es probablemente la especie más conocida para este tipo de humedales artificiales, es una planta acuática perteneciente a la familia de las gramíneas (Poaceae), con características morfológicas similares a la *Arundo donax*. La condición más diferenciable entre ambas es su condición de planta acuática halófila, es decir, su tolerancia a la salinidad. Es una planta herbácea perenne, erecta y muy robusta, que puede alcanzar más de 3 m de altura.

Se encuentra en todos los continentes, excepto en la Antártida, probablemente introducida en las islas, es muy común encontrarla en cursos de agua (como acuática o marginal).



Figura 5.5. *Phragmites australis* en Alojera, La Gomera. (Flora de Canarias)

La *Zantedeschia aethiopica*, cuyo nombre común es la cala, es una especie de la familia de las aráceas (Araceae), de origen de África del Sur e introducida y cultivada en las islas por las

espatas (hoja grande que envuelve a la inflorescencia) de color blanco de sus flores. Se suele encontrar asilvestrada en diversos lugares húmedos o en bordes de estanques.



Figura 5.6. *Zantedeschia aethiopica* en Jardina, Tenerife. (Flora de Canarias)

Existen diversos trabajos de investigación de comparación de rendimientos de eliminación de nutrientes en humedales artificiales entre algunas de estas especies en contexto experimental, como, por ejemplo, la comparación entre *Arundo donax* y *Phragmites australis* la cual presenta dos escenarios a distintas velocidades de carga hidráulica y generalmente no se encuentran diferencias significativas de eliminación de nutrientes entre ambas. Sin embargo, se debe destacar que, sobre todas estas especies mencionadas anteriormente, *P. australis* es la especie de la que más trabajos de investigación se pueden encontrar actualmente.

En las siguientes gráficas, se puede observar el estudio comparativo mencionado anteriormente, para poder tener constancia de esos valores de eliminación tan similares:

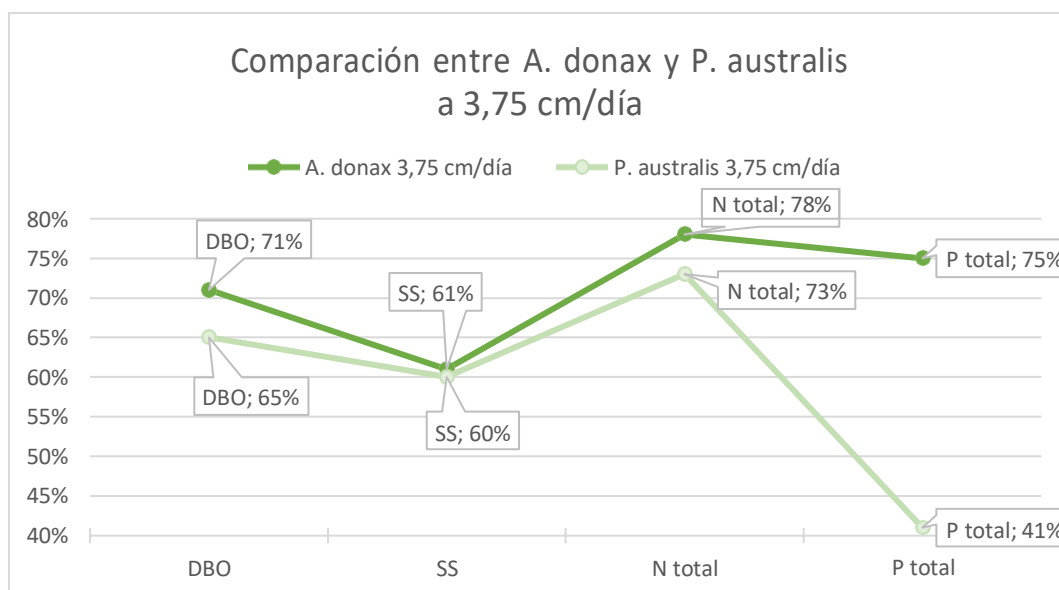


Figura 5.7. Comparación entre *A. donax* y *P. australis* a 3,75 cm/día.
 (Elaboración propia a partir de S. Idris, 2012)

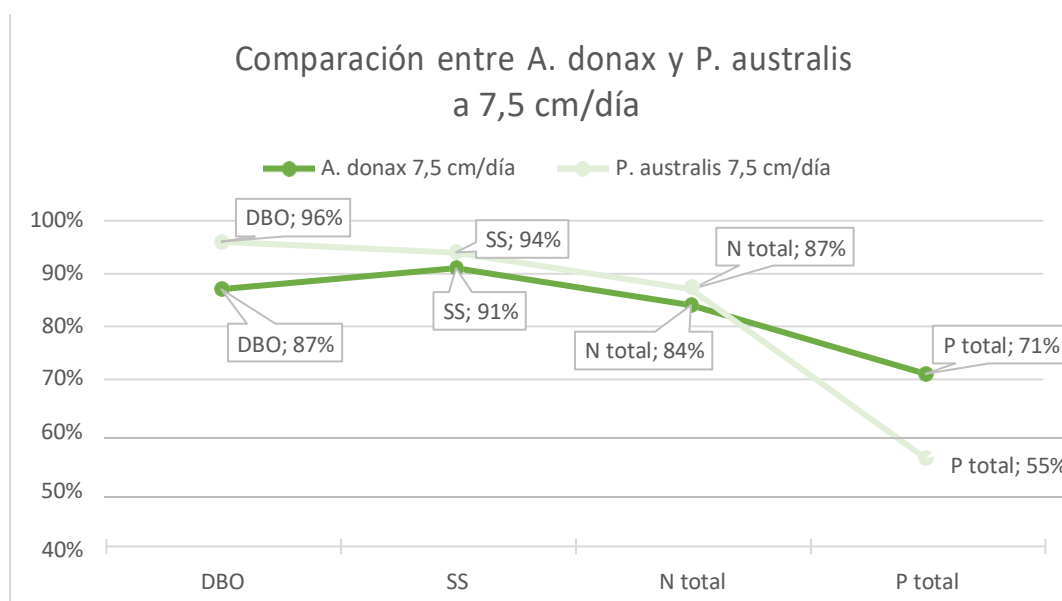


Figura 5.8. Comparación entre *A. donax* y *P. australis* a 7,5 cm/día.
 (Elaboración propia a partir de S. Idris, 2012)

Como probablemente era de esperar, *Arundo donax* produce de forma considerable más biomasa que *Phragmites australis*, se habla de 107 y 36 Tn/HA·año de biomasa (peso seco), respectivamente. La similitud entre los datos de ambas especies indica claramente que

ambas son válidas para el diseño de humedales artificiales, aunque *A. donax* ofrece ciertas oportunidades adicionales para flujos de entrada secundarios a través de la utilización de la biomasa producida.

Por último, se han descrito brevemente dos plantas ornamentales, *Canna indica* y *Zantedeschia aethiopica*, en un artículo donde se ha recopilado diversidad de estudios del uso de plantas ornamentales alrededor del mundo, se observaron porcentajes de eliminación muy similares entre ambas especies. Por un lado, la *Canna indica* usada en China (mayoritariamente) en un humedal artificial para aguas residuales urbanas se obtuvieron unos porcentajes de eliminación de: DQO 77%, DBO 86%, N total >45% y P total >82%. Por otro lado, para la *Zantedeschia aethiopica* utilizada en México (mayoritariamente) en un humedal artificial para aguas residuales domésticas se obtuvieron unos porcentajes de eliminación de nutrientes de: DBO 79%, N total 55% y P total 50%.

Por cada una de las razones expuestas, se sitúa el *Arundo donax* como la especie elegida, ya que comparte muchas similitudes con *Phragmites australis* y como se ha mencionado, es la especie más utilizada en humedales artificiales de flujo subsuperficial. La caña común siendo de la misma familia que el carrizo y compartiendo características morfológicas, así como que ambas tienen porcentajes de eliminación de nutrientes muy similares e incluso soportan ciertos niveles de salinidad, la hace idónea para ser implantada en el humedal artificial de Hermigua además de ser una especie introducida en Canarias, no solo se contribuye a mantener la biodiversidad sino también se consigue economizar con su plantación al tratarse de una especie con una propagación fácil. Cabe mencionar, su tasa de crecimiento es extremadamente elevada en condiciones óptimas (se han registrado 70 cm por semana), por lo tanto, todo ello conlleva a una alta demanda de agua (puede usar 2.000 litros de agua por metro de planta).

Normalmente la densidad de plantación es de 4 a 6 unidades/m², para conseguir de esta forma la cobertura total del humedal en aproximadamente un año.

6. Fosa séptica para zonas aisladas del municipio

Se ha decidido implantar fosas sépticas con disposición enterradas para cada núcleo de población que no disponga de red de saneamiento unitaria, es decir, para Los Aceviños con 63 habitantes (2.016) y El Cedro con 25 habitantes (2.016).

Existen dos tipos de procesos en lo referente al funcionamiento:

- **Biológicos:** básicamente se basa en la degradación anaerobia de la materia orgánica, generando desprendimiento de biogás (metano y dióxido de carbono principalmente).
- **Físicos:** actúan bajo la acción de la gravedad para separar los sólidos sedimentables de las AARR los cuales se acumularán en el fondo de la fosa, mientras que los flotantes, incluyendo aceites y grasas, van a formar una capa sobre la superficie líquida. La capa intermedia entre los fangos y los flotantes constituirá al agua tratada. Para el diseño del que se hablará con más detenimiento, se usará este tipo de funcionamiento.

Para este diseño se emplearán Fosas Sépticas que cuenten con tres compartimentos en serie. A través de un orificio situado en un punto intermedio entre las capas de flotantes y de fangos, el agua clarificada en el primer compartimento pasa al segundo. En el segundo compartimento, en menor proporción, se realizará otra separación de las materias flotantes y sedimentables. Por último, el tercer compartimento dispondrá de un material de soporte para la fijación de la biomasa bacteria, con el fin de aumentar los rendimientos de la eliminación de contaminantes.

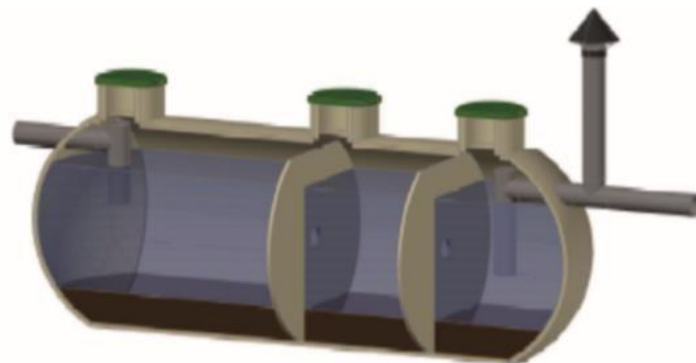


Figura 6.1. Disposición de una Fosa Séptica de tres compartimentos. (CEDEX, 2010)

Dicha Fosa Séptica será prefabricada y con forma cilíndrica que se dispondrá enterrada horizontalmente. En cada uno de los compartimentos debe contar con una boca de hombre que se coloca sobre la entrada y la salida de la fosa permitiendo así la observación y acceso a estas zonas para la inspección y retirada de fangos y flotantes. El diámetro de las bocas de hombre será de unos 20 cm.

Para la implantación de estos sistemas se debe excavar un foso de profundidad igual a la suma de: el diámetro (ya que será una disposición horizontal), el espesor de las capas de hormigón en las que descansará el equipo y del espesor de la capa entre el equipo y el nivel del terreno. Respecto a las dimensiones del foso, ha de quedar libre un espacio de 30 cm en todo el perímetro entre sus paredes y el equipo que se va a instalar.

La losa de hormigón en masa que habrá en el fondo del foso excavado debe tener unos 20 cm de espesor, o 15 cm de espesor si se trata de hormigón armado, presentando así una resistencia mínima de 175 kg/cm^2 .

Una vez construida dicha losa, se va a continuar rellenando el foso, con hormigón en masa (hasta una altura de 25 cm), presentando una resistencia mínima de 100 kg/cm^2 . Con el hormigón aún tierno, se procederá a la instalación de la Fosa Séptica para continuar rellenando el foso con hormigón en masa hasta cubrir un tercio de la fosa. El resto se rellenará con arena o gravilla fina lavada, cribada y libre de polvo. No debe contener materia orgánica ni objetos pesados gruesos que puedan dañar el depósito. La gravilla debe tener una granulometría entre 4-16 mm. Para contrarrestar la presión externa del terreno sobre el depósito, conforme se rellena la excavación se irá llenando la Fosa Séptica con agua.

Como ya se ha comentado, esta tecnología será implantada en una zona de vegetación por lo que no habrá que preocuparse por el tráfico rodado, así que el espesor y naturaleza de la capa situada entre el equipo y la superficie del terreno será de arena con un espesor máximo de 50 cm. Esto es debido a que es de vital importancia la estanqueidad de estos sistemas para que tengan un correcto funcionamiento, y, una fluctuación de una zona transitada por vehículos puede influir en posibles fugas de agua al exterior causando problemas estructurales en el sistema.

Los elementos de entrada a la Fosa Séptica principalmente se diseñan con el fin de evitar problemas de cortocircuito en el recorrido de las aguas a través de la fosa. Suelen usarse accesorios sanitarios en forma de "T" tanto a la entrada como la salida, las partes

ascendentes deberán colocarse 15 cm por encima del nivel del líquido, para evitar que la capa de flotantes pueda llegar a obstruirlas y, las partes descendentes deberán prolongarse en la zona clarificada entre el fango y la capa de flotantes (no más de un 30-40% de profundidad del líquido). Además, se ha de establecer un desnivel de 5-7,5 cm entre el elemento de entrada y salida para evitar trabajar en carga.

Para la salida al exterior de los gases, que se generan en las reacciones de degradación vía anaerobia que tienen lugar en el interior de las *Fosas Sépticas* y se precisa la instalación de una chimenea de ventilación, cuyo diámetro debe ser de al menos 7,5 cm. Como las Fosas Sépticas que se implantarán tienen tres compartimentos comunicados entre sí, bastará con la instalación de una chimenea conjunta a la salida.

Como es lógico, al tener Fosas Sépticas enterradas, su impacto visual será nulo, y tampoco se registrará ningún impacto sonoro, sin embargo, sí que se va a generar un impacto olfativo en consecuencia a los gases que escapan de las mismas entre los cuales se encuentran compuestos azufrados. Gracias a el empleo de filtros de carbón activo o de turba dispuestos en la chimenea de salida este impacto podrá minimizarse.

Por otro lado, este diseño va dirigido en torno a 100 H-E para cada barrio disperso del casco de Hermigua en los que se desean instalar las Fosas Sépticas, se precisa la implantación de la obra de llegada dotada de aliviadero y una etapa de tratamiento previo a la fosa séptica (tratamiento primario).

Se ha pensado instalar una obra de llegada que disponga de un aliviadero conectado a una línea de by-pass general con el fin de evacuar posibles excedentes de caudal cuando se supere el caudal máximo de diseño, pero, como se ha comentado con anterioridad, los habitantes de ambas zonas son mínimos, con lo cual, sería absurdo diseñar dicha obra ya que se obtendrán unas dimensiones insignificantes.

Para el tratamiento previo se hará uso de unas Rejas de Desbaste de Gruesos de limpieza manual. En el canal donde se ubique la etapa de desbaste, ha de contar con un bypass que actuará si hay colmatación en las rejas.

Las Rejas de Gruesos de limpieza manual, tienen un tamaño de paso entre los barrotes entre 20 y 30 mm. Van equipadas con un cestillo perforado para poder acumular los sólidos que

retienen las rejas y mediante un rastrillo se depositan en él. Como el cestillo está perforado permite escurrir el exceso de agua y devolverlo al canal de desbaste.

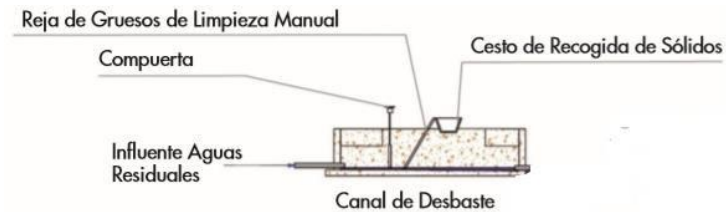


Figura 6.2. Diagrama de flujo de alzado de una Reja de Gruesos de Limpieza manual. (CEDEX, 2010)

En resumen, para solucionar el problema de las aglomeraciones más dispersas que no están conectadas a la red de saneamiento, se diseñará una Fosa Séptica con tres compartimentos para Los Aceviños y otra para El Cedro ambas con un tratamiento previo, en concreto, unas Rejas de Gruesos de Limpieza Manual. Más adelante, en el apartado **7.3. Cálculos para Las Fosas Sépticas**, se profundizará más en el dimensionado de estos dispositivos.

7. Cálculos

7.1. Cálculos de habitantes equivalentes (H-E) y caudal medio

Para comenzar con los cálculos de H-E y caudal medio, se precisan conocer los siguientes datos:

- El número de habitantes censados en el municipio para cada núcleo de población, según el Ayuntamiento de Hermigua.
- La dotación media, es decir, el consumo de agua por habitante y día para Canarias según el Instituto Nacional de Estadística (INE).
- La DBO_5 media del agua residual sin tratar según el Instituto Canario de Estadística (ISTAC).

DATOS	
(DBO_5) contaminada (mg/l) =	565,1
1 H-E (mg/d) =	60000
Consumo medio (l/hab·d) =	132

Tabla 7.1.1. Datos previos.

Se va a dividir la población total de Hermigua en dos grandes bloques:

- La aglomeración dispersa que consta de Los Aceviños y El cedro,
- y, el resto del municipio.

La razón es muy simple, como se ha comentado con anterioridad, la aglomeración dispersa no dispone de red de saneamiento unitaria, y, por tanto, el diseño por el que se ha optado es un tratamiento in situ consiste en dos fosas sépticas, una para cada núcleo de población. Mientras que, para el resto de municipio, que, si dispone de red de saneamiento unitaria que desemboca en la EDAR de la playa de Hermigua, se diseñará el Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial como tratamiento de afino.

Las **Tablas 7.1.2.** y **7.1.3.** mostrarán más adelante los habitantes censados para cada barrio (2016) en estos dos grandes bloques, así como el valor de los cálculos del caudal medio y del número de habitantes equivalentes de agua bruta.

Por tanto, para calcular el caudal medio se ha hecho uso de la siguiente expresión de manera conservativa se ha considerado que el 100% del agua consumida se transforma en agua residual:

$$Q_{\text{medio}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) = n^{\circ} \text{ de hab} \cdot \text{consumo medio} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hab} \cdot \text{d}} \right)$$

Ecuación 7.1.1. Caudal medio.

Asimismo, para calcular el número de habitantes equivalentes se resolverá de la siguiente manera:

$$n^{\circ} \text{ de H-E} = \frac{n^{\circ} \text{ de hab} \cdot \text{consumo medio} \left(\frac{\text{l}}{\text{hab} \cdot \text{d}} \right) \cdot (\text{DBO}_5)_{\text{contaminada}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right)}{60 \left(\frac{\text{g DBO}_5}{\text{H-E} \cdot \text{d}} \right)}$$

Ecuación 7.1.2. N° de H-E.

Por último, se puede observar los datos de diseño obtenidos:

Aglomeración dispersa			
	n° habitantes (2016)	Q _{medio} (m ³ /d)	n° de H-E
Los Aceviños	63	8,316	78,32
El Cedro	25	3,300	31,08

Tabla 7.1.2. Datos de diseño previos para la aglomeración dispersa.

	n° habitantes (2016)	Q _{medio} (m ³ /d)	n° de H-E
La Meseta	1	0,132	1,243
El Estanquillo	84	11,088	104,43
Monteforte	40	5,280	49,73
El Corralete	46	6,072	57,19
Hermigua	366	48,312	455,019
Las Casas	191	25,212	237,46
Las Poyatas	55	7,260	68,38
Las Hoyetas	68	8,976	84,54
Las Cabezas	52	6,864	64,65
El Curato	101	13,332	125,57
Iboalfaro	106	13,992	131,78
Piedra Romana	114	15,048	141,73
Callejón de Ordaiz	121	15,972	150,43
Las Nuevitas	105	13,860	130,54
El tabaibal	106	13,992	131,78
Palmarejo	24	3,168	29,84
Llanocampo	102	13,464	126,81
Santa Catalina	154	20,328	191,46
TOTAL HERMIGUA	1836	242,35	2282,55

Tabla 7.1.3. Datos de diseño previos para el resto de municipio conectado a red de saneamiento.

Como ya se ha comentado en el apartado **1. Introducción** del presente TFG, en la tabla apaisada de la analítica de agua de abastecimiento, a que corresponde cada distinción de colores en cada uno de los núcleos de población, se ha de especificar que todos los núcleos que están resaltados en la tabla anterior corresponden a los puntos de muestreo de las analíticas del agua de abastecimiento.

Teniendo en cuenta que existen numerosos factores que influyen en la cantidad de agua residual bruta que se genera en una aglomeración urbana, como: el consumo de agua de abastecimiento, la pluviometría (ya que se cuenta con red de saneamiento unitaria), las pérdidas que pueden deberse a posibles fugas en los colectores o parte de las aguas consumidas que no llegan a la red de alcantarillado (como el riego agrícola), y por último, las ganancias que pueden deberse a vertidos a la red de alcantarillado o a intrusiones de otras aguas en la red de colectores. Todo ello hace posible que a la hora de hacer cálculos de diseño se pueda considerar que no toda el agua consumida en un municipio llegue a una EDAR, al menos no el 100% de ese caudal.

Por todos estos factores a tener en cuenta, en la práctica se puede afirmar que entorno al 80% del agua de abastecimiento consumida se transforma en aguas residuales, dependiendo este porcentaje del consumo de agua a actividades particulares del municipio como riego de zonas verdes, existencia de fugas en la red, el propio clima, etc.

Es decir que el cálculo de caudal medio que se observa en la **Tabla 7.1.3.** (adjuntada anteriormente) para los núcleos conectados a la red de alcantarillado, corresponde al caudal medio de agua residual bruta suponiendo que el 100% de esta agua llega a la EDAR. Sin embargo, a la hora de realizar el dimensionamiento del Humedal Artificial, será necesario que este caudal medio de agua residual bruta de **242,35 m³/d** se multiplique por el 80%, que corresponderá al agua residual bruta que realmente se trata en la EDAR, en el punto siguiente del presente TFG, **7.2. Cálculos para el Humedal Artificial**, para el cálculo de la superficie de este dispositivo será imprescindible hacer esta consideración, con la que se obtendrá un caudal medio real de **193,88 m³/d.**

Evidentemente, esto sólo será aplicable (como bien se ha explicado) a los núcleos conectados a la red de alcantarillado. Para el cálculo de las fosas sépticas de los dos núcleos dispersos de Hermigua, se considerará un caudal medio de agua residual del 100%, ya que, el único tratamiento que se realiza para poder eliminar la carga contaminante es un tratamiento primario, y, será más conveniente trabajar con un equipo sobredimensionado por posibles

cambios o fluctuaciones de caudales de aguas residuales en algún momento del año debidas a actividades del municipio.

7.2. Cálculos para el Humedal Artificial

Como se sabe, las aguas tratadas en esta EDAR proceden de aguas residuales domésticas y aguas de escorrentía pluvial, donde estas últimas se ven afectadas por la contaminación atmosférica y por arrastre de suciedad depositada en tejados, suelos, etc. Asimismo, se caracterizan por sus enormes aportaciones de caudales intermitentes y la gran contaminación en los primeros 30 minutos del inicio de la lluvia.

Principalmente, los contaminantes que presentan las aguas residuales urbanas son:

- **Objetos gruesos:** como trozos de madera, plásticos, etc., que son desechados a la red de alcantarillado.
- **Arenas:** esta denominación engloba a las arenas propiamente dichas, las gravas y las partículas más o menos grandes de origen mineral u orgánico.
- **Grasas y aceites:** sustancias que al no mezclarse con el agua se mantienen en la superficie dando lugar a natas.
- **Sólidos en suspensión:** son las partículas de tamaño pequeño y con una naturaleza y procedencia muy diversa. Alrededor del 60% de los sólidos en suspensión son sedimentables y el 75% son de naturaleza orgánica.
- **Sustancias con exigencias de oxígeno:** son compuestos orgánicos e inorgánicos que se oxidan fácilmente, provocando un consumo de oxígeno presente en el medio al que se vierten.
- **Nutrientes (nitrógeno y fósforo):** la presencia de estos compuestos se debe a detergentes y fertilizantes, además de las excretas humanas que aportan nitrógeno orgánico.
- **Agentes patógenos:** son organismos (bacterias, protozoos, helmintos y virus) que pueden producir o transmitir enfermedades y están presentes en mayor o menor cantidad en las aguas residuales.
- **Contaminantes emergentes o prioritarios:** los hábitos de consumo actual de la sociedad generan una serie de contaminantes que no existían anteriormente. Estas sustancias aparecen principalmente añadidas a productos de cuidado personal, productos de limpieza doméstica, productos farmacéuticos, etc. A la mayoría de estos contaminantes no se les elimina en las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas.

Para poder caracterizar las aguas residuales se emplea una serie de parámetros para cuantificar los contaminantes definidos anteriormente. Los más habituales son:

- Aceites y grasas: el contenido en aceites y grasas presentes en un agua residual se determina extrayéndolas previamente, con un disolvente apropiado y la posterior evaporación del disolvente.
- Sólidos en suspensión: se denomina así a la fracción de los sólidos totales que quedan retenidos por una membrana filtrante de cierto tamaño (45 μm). Dentro de estos sólidos, se encuentran los sólidos sedimentables y los no sedimentables.
- Sustancias con exigencias de oxígeno: para cuantificar estas sustancias los dos parámetros más utilizados son:
 - Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO_5): es la cantidad equivalente de oxígeno (mg/l) necesaria para oxidar biológicamente los componentes de las aguas residuales. Este ensayo tiene una duración de 5 días y se consume aproximadamente el 70% de las sustancias biodegradables.
 - Demanda Química de Oxígeno (DQO): es la cantidad equivalente de oxígeno (mg/l) necesaria para oxidar los componentes orgánicos del agua utilizando agentes químicos oxidantes.
- Nitrógeno: aparece en las aguas residuales en forma de nitrógeno orgánico, amoníaco y, en menor proporción, de nitratos y nitritos. Para su cuantificación se recurre generalmente a métodos espectrofotométricos.
- Fósforo: se presenta en las aguas residuales principalmente como fosfatos orgánicos y polifosfatos. De la misma manera que las distintas formas nitrogenadas, se determina mediante métodos espectrofotométricos.
- Organismos patógenos: se encuentran en las aguas residuales en muy pequeñas cantidades siendo difíciles de aislar, se suele emplear de forma habitual los coliformes como organismo indicador.

Para poder hacer el cálculo de dimensional el Humedal Artificial de la forma más real posible, el Ayuntamiento de Hermigua ha facilitado dos analíticas de agua residual, una en la entrada del tratamiento secundario (afluente) y otra a su salida (efluente), a continuación, se mostrarán los valores de ambas:

Analítica de AARR		
Análisis microbiológico	E. coli (UFC/100ml)	>100
Análisis fisicoquímico	Sólidos totales en suspensión (mg/l)	150
	Nitrógeno Kjeldahl (mg/l)	69
	Nitrógeno (mg/l)	69
	Nitritos (mg/l de N)	<0,1
	Fósforo total (mg/l)	7,3
	Aceites y grasas (mg/l)	<0,2
	pH	6,8
	DBO ₅ (mg de O ₂ /l)	160
	DQO (mg de O ₂ /l)	192
	Sólidos decantables (mg/l)	8,5
	Amonio (mg/l)	>32

Tabla 7.2.1. Analítica con fecha 22/09/2017 del afluente del tratamiento secundario.

Analítica de AARR		
Análisis microbiológico	E. coli (UFC/100ml)	>100
Análisis fisicoquímico	Sólidos totales en suspensión (mg/l)	26
	Nitrógeno Kjeldahl (mg/l)	37
	Nitrógeno (mg/l)	37
	Nitritos (mg/l de N)	<1.0
	Fósforo total (mg/l)	3,8
	Aceites y grasas (mg/l)	<0,2
	pH	6,8
	DBO ₅ (mg de O ₂ /l)	56
	DQO (mg de O ₂ /l)	67
	Sólidos decantables (mg/l)	0
	Amonio (mg/l)	>32

Tabla 7.2.2. Analítica con fecha 22/09/2017 del efluente del tratamiento secundario.

Si se considera que el efluente parece representativo de la operación habitual de la EDAR actual de Hermigua, los valores exhibidos por los parámetros cumplen con la Directiva de vertido costero, excepto en lo que se refiere a la DBO₅, como se adjunta en la **Figura 5.1**. Así pues, para el diseño del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial se va a partir del valor de la DBO₅, y como objetivo de dicho diseño se plantea alcanzar los requerimientos de la norma en términos de la DBO₅.

Para comenzar con el diseño del Humedal Artificial, se desean conocer una serie de criterios:

- Caudales de las aguas a tratar:

- Caudal medio, Q_{medio} (m^3/d).
- Caudal máximo, $Q_{\text{máx}}$ (m^3/h).
- Concentración de DBO_5 , C_{entrada} (mg/l) de las aguas a tratar.
- Concentración de DBO_5 , C_{salida} (mg/l) a alcanzar en las aguas tratadas.
- Temperatura de operación, T_w ($^{\circ}\text{C}$): se utilizará la temperatura media del mes más frío.

7.2.1. Superficie

Los modelos más empleados para el dimensionamiento de los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal parten de la base de considerarlos como Reactores Continuos de Flujo Pistón con cinéticas de primer orden para la eliminación de los distintos contaminantes.

La superficie necesaria para la implantación del Humedal Artificial se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$S (\text{m}^2) = L \cdot W = \frac{Q_{\text{medio}} \left(\frac{\text{m}^3}{\text{d}} \right) \cdot \ln \left(\frac{C_{\text{entrada}}}{C_{\text{salida}}} \right)}{K_T (d^{-1}) \cdot h (m) \cdot \varphi_s}$$

Ecuación 7.2.1.1. Superficie necesaria.

Donde:

- S es la superficie necesaria.
- L es la longitud del humedal (m).
- W es el ancho del humedal (m).
- Q_{medio} es el caudal medio de alimentación, calculado anteriormente para cada núcleo de población.
- C_{entrada} es la concentración del contaminante (para este caso se utilizará la DBO_5 , ya que es el único parámetro que hasta en una buena analítica da problemas) en el agua de entrada (mg/l).
- C_{salida} es la concentración del contaminante en el agua de salida del humedal (mg/l) (se estima la calidad que deseamos obtener para verter a costa, se ha de tener en cuenta que entre más exigente se sea, mayor superficie se ha de necesitar).
- K_T es la constante de reacción, más adelante se explicará cómo calcularla.

- h es la profundidad de la lámina de agua. Para este tipo de humedales artificiales, oscila entre 0,4-0,6 m.
- φ_s corresponde a la porosidad del sustrato (en tanto por 1). A continuación, se va a mostrar una tabla con valores de porosidad para distintos tipos de sustrato:

Tipo de medio	Tamaño efectivo d_{10}^* (mm)	Porosidad φ_s
Arena gruesa	2	0,28-0,32
Arena- grava	8	0,30- 0,35
Grava fina	16	0,35-0,38

Tabla 7.2.1.1. Valores de porosidad para distintos tipos de sustratos.

Dado que se va a utilizar la grava como sustrato, el cual tiene una porosidad de 0,35, como se muestra en la tabla anterior.

La dependencia de la constante de reacción K_T con la temperatura, viene dada por la expresión:

$$K_T = K_R \cdot \theta_R^{(T_w - T_r)}$$

Ecuación 7.2.1.2. Constante de reacción.

Donde:

- K_R es la constante de reacción a la temperatura de referencia (d^{-1}).
- Θ_R es el coeficiente de la temperatura (adimensional).
- T_w es la temperatura del agua considerada en el diseño ($^{\circ}C$). Se suele emplear la temperatura media del mes más frío del municipio.
- T_r es la temperatura de referencia a la que se ha calculado el coeficiente Θ_R , que suele ser a $20^{\circ}C$, ($^{\circ}C$).

Los valores de K_R y Θ_R para la eliminación de DBO_5 se recogen en la siguiente tabla:

	DBO_5
$k_R (d^{-1}) =$	1,104
$\theta_R =$	1,06

Tabla 7.2.1.2. Valores de K_R y Θ_R para la eliminación de DBO_5 .

Ahora bien, para nuestro humedal y las condiciones climáticas del entorno se ha obtenido los valores que se citan en las siguientes tablas:

$k_R (d^{-1}) =$	1,104
$\theta_R =$	1,06
$T_r (^\circ C) =$	20
$T_w (^\circ C) =$	13
$K_r(d^{-1}) =$	0,7342

Tabla 7.2.1.3. Valor de la constante de reacción.

$Q_{\text{medio}} (m^3/d) =$	193,88
$(DBO_5)_{EDAR} (mg/l) =$	56
$(DBO_5)_{\text{efluente}}(mg/l) =$	15
$h(m) =$	0,6
$\varphi_s (^\circ/1) =$	0,35
$S(m^2) =$	1656,42

Tabla 7.2.1.4. Superficie total del Humedal Artificial.

Por ahora se sabe que la superficie del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal será de 1.656,42 m² para una DBO₅ deseada de 15 mg/l. Más adelante, se presentará propuestas de distribución del humedal, tanto en celdas en serie como en celdas en paralelo, con el fin de optimizar el espacio del que dispondremos para instalar esta tecnología extensiva se calculará de nuevo la superficie por celda para obtener la DBO₅ deseada de 15 mg/l, siendo lo más exigentes posible en cuanto a la eliminación de este contaminante.

7.2.2. Relación longitud/ancho

Una vez determinada la superficie del humedal artificial, mediante el dimensionamiento hidráulico se procederá a calcular su longitud y anchura. Este dimensionamiento se lleva a cabo aplicando la Ley de Darcy, que es capaz de describir el régimen de un flujo en un medio poroso. Mediante la siguiente ecuación se calculará el área transversal a la dirección del flujo del humedal:

$$Q_{\text{máx}} \left(\frac{m^3}{d} \right) = k_s \left(\frac{m}{d} \right) \cdot A_s(m^2) \cdot s$$

Ecuación 7.2.2.1. Área transversal.

Donde:

- $Q_{m\acute{a}x}$ es el caudal de alimentación máximo. Para asegurar que el humedal pueda absorber una punta se debe multiplicar el caudal medio de alimentación por un 20%, de esta forma:

$$Q_{m\acute{a}x} \left(\frac{m^3}{d} \right) = 1,2 \cdot Q_{medio} \left(\frac{m^3}{d} \right)$$

Ecuación 7.2.2.2. Caudal máximo de alimentación.

- k_s corresponde a la conductividad hidráulica del medio filtrante en una sección perpendicular al flujo.
 - A_s es la sección del Humedal Artificial perpendicular a la dirección de flujo.
 - s es la pendiente de fondo del humedal (m/m), su valor suele ser de 0,01 (1%).
- La **Tabla 7.2.2.1.** muestra los valores de la conductividad hidráulica para distintos sustratos:

Tipo de medio	Tamaño efectivo d_{10}^* (mm)	Conductividad hidráulica k_s (m/d)
Arena gruesa	2	100-1.000
Arena- grava	8	500- 5.000
Grava fina	16	1.000-10.000

Tabla 7.2.2.1. Valores de conductividad hidráulica para distintos sustratos.

Dado que con el transcurso del tiempo la conductividad hidráulica del sustrato irá disminuyendo (crecimiento de la biopelícula, retención de partículas, etc.), se recomienda adoptar un factor de seguridad de 5. Es decir, se aplicará el valor de conductividad hidráulica, correspondiente al tamaño del árido empleado (en este caso es la grava con 5.000) como sustrato en el humedal, dividido por 5.

A partir de la **Ecuación 7.2.2.1.** se despejará A_s , y, una vez calculada la superficie transversal, se determinará la anchura del humedal mediante la ecuación:

$$W(m) = \frac{A_s(m^2)}{h(m)}$$

Ecuación 7.2.2.3. Anchura del humedal.

Donde W es la anchura del humedal.

Finalmente, la longitud del humedal se determina en base a la superficie y anchura calculadas, mediante la expresión:

$$L(m) = \frac{S(m^2)}{W(m)}$$

Ecuación 7.2.2.4. Longitud del humedal.

Donde L es la longitud del humedal.

Una vez determinadas la longitud y anchura del humedal, debe comprobarse que la relación entre ambas dimensiones sea como mínimo de 1:1, si esto no sucede, se procede a dividir la superficie total en varias celdas con el fin de que la anchura sea mayor que la longitud.

A continuación, en la siguiente tabla se mostrarán los resultados del ancho y el largo del Humedal Artificial:

$Q_{\text{máx}}$ (m ³ /d) =	232,66
k_s (m/d) =	5000
s=	0,01
As (m²) =	26,266
W (m)=	38,78
L (m)=	42,72
relación L/W=	1,10

Tabla 7.2.2.2. Relación longitud/ancho.

Así pues, se comprueba que no se cumple con el requisito de un ancho del humedal mayor que el largo, por lo que se va a dividir el Humedal Artificial en dos celdas. De esta manera, si en algún momento fuera necesario se podría parar una celda para su mantenimiento o usar ambas celdas para obtener una mayor calidad de efluente.

7.2.3. Tipos de distribuciones

Para comenzar, la superficie total de 1.656,42 m² se va a distribuir en dos celdas, para ello se va a calcular el dimensionamiento de cada celda según el tipo de distribución, en serie o en paralelo.

Una distribución del humedal en paralelo quiere decir que, el recorrido que hará efluente de salida de la EDAR convencional será entrar a la primera y a la segunda celda

de manera conjunta, por lo tanto, ambas celdas serán exactamente iguales. A continuación, se puede observar el recorrido del efluente en el diagrama de flujo:

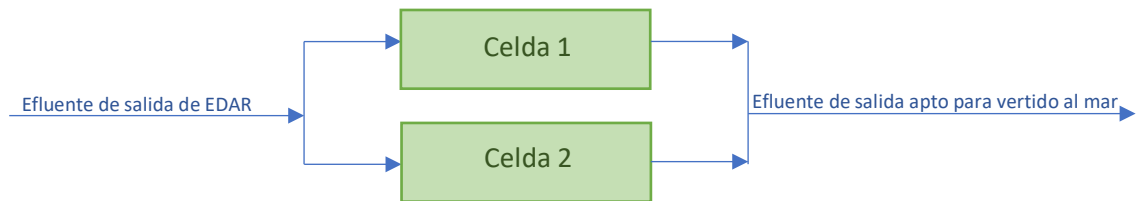


Figura 7.2.3.1. Diagrama de flujo de una distribución de 2 celdas en paralelo.
(Elaboración propia)

En la siguiente tabla, se plantea la distribución del diagrama de flujo anterior, para la obtención de una DBO_5 deseada de 15 mg/l donde los cálculos son exactamente los mismo que para un único Humedal Artificial, salvo que ahora está referidos a la celda, lo que significa que los caudales estarán divididos entre dos:

$(\text{DBO}_5)_{\text{EDAR}} (\text{mg/l}) =$	56
$(\text{DBO}_5)_{\text{efluente}} (\text{mg/l}) =$	15
$Q_{\text{medio}} \text{ celda} (\text{m}^3/\text{d}) =$	96,94
$Q_{\text{máx}} \text{ celda} (\text{m}^3/\text{d}) =$	116,33
$A_s (\text{m}^2) =$	11,633
$W_1 = W_2 (\text{m}) =$	19,39
$L_1 = L_2 (\text{m}) =$	42,72
$S_{\text{celda1}} (\text{m}^2) = S_{\text{celda2}} =$	828,21
$S_{\text{TOTAL}} (\text{m}^2) =$	1656,42

Tabla 7.2.3.1. Celdas en paralelo para obtener una DBO_5 de 15 mg/l .

Como se puede contrastar en los cálculos, para una distribución del humedal artificial con dos celdas en paralelo, no se cumple con la relación donde se obtienen dimensiones de anchura mayores que de longitud. Por lo tanto, esta distribución queda descartada por no cumplir con este requisito.

Lógicamente, para un humedal con mayor porcentaje de eliminación del contaminante, se necesita una superficie total mayor, pero como se ha argumentado, el objetivo es ser lo más rigurosos posibles con este contaminante.

Ahora bien, para un humedal artificial con dos celdas distribuidas en serie, el recorrido que realiza el efluente de salida es entrar a la primera celda disminuyendo el porcentaje de eliminación del contaminante de interés, y, tras cierto tiempo (varios días), entrar a la segunda celda un efluente con mayor calidad que se continuará depurando hasta su final vertido a aguas costeras.

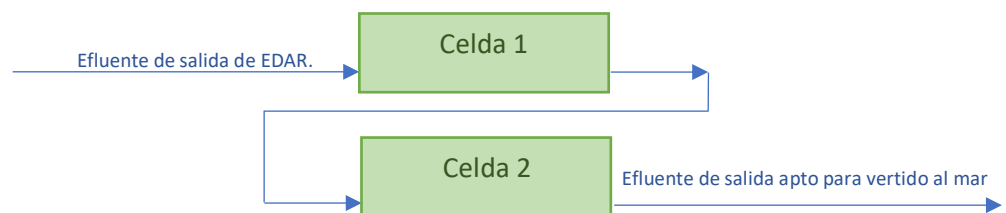


Figura 7.2.3.2. Diagrama de flujo de una distribución de 2 celdas en serie.

(Elaboración propia)

Las siguientes tablas, muestran los resultados obtenidos al proponer una primera etapa de reducción de la DBO_5 hasta 35 mg/l y una segunda etapa hasta alcanzar los 15 mg/l de DBO_5 .

1ª celda:

$(\text{DBO}_5)_{\text{EDAR}} \text{ (mg/l)} =$	56
$(\text{DBO}_5)_{\text{efluente}} \text{ (mg/l)} =$	35
$W_1=W_2 \text{ (m)}=$	38,78
$L_1 \text{ (m)}=$	15,24
$S_{\text{celda1}} \text{ (m}^2) =$	591,00

2ª celda:

$(\text{DBO}_5)_{\text{celda 1}} \text{ (mg/l)} =$	35
$(\text{DBO}_5)_{\text{efluente}} \text{ (mg/l)} =$	15
$W_2=W_1 \text{ (m)}=$	38,78
$L_2 \text{ (m)}=$	27,48
$S_{\text{celda2}} \text{ (m}^2) =$	1065,42

$S_{\text{TOTAL}} \text{ (m}^2) =$	1656,42
------------------------------------	----------------

Tabla 7.2.3.2. Distribución en serie.

Ahora si observa una relación de longitud y anchura por celdas adecuada, ya que la anchura del humedal es mayor que la longitud, por tanto, la distribución de dos celdas en serie será la distribución que interesa diseñar. Además de que esta distribución de celdas nos va a permitir una optimización del espacio que se dispone y posibilidad de si fuera necesario parar el caudal de una de las celdas para su mantenimiento.

Cabe destacar que, para la realización de planos de los Humedales Artificiales, se ha elegido utilizar como ilustración la distribución en serie, ya que es la que se va a implantar. En los apartados 8.2 y 8.3 del presente TFG, se podrá observar los planos del presente diseño.

Finalmente, habrá que conocer la superficie y el presupuesto del que se dispone para su instalación.

Para poder conocer la superficie disponible en el municipio para instalar esta tecnología, se ha recurrido a calcular la distancia del terreno que está al lado de la actual EDAR de Hermigua mediante el Google Maps.



Figura 7.2.3.3. Área total del terreno donde se implantará el Humedal Artificial.

(Google Maps)

A partir de esta aplicación satélite, mediante una de sus herramientas nos ha permitido calcular el área del terreno disponible. Por tanto, como se observa hay una superficie total de la finca de 2.465,33 m² para implantar un Humedal Artificial con una distribución de dos celdas en serie con una superficie total de ambas de 1.656,42 m². Por tanto, esta obra es totalmente viable y posible de realizar.

7.3. Cálculos para las Fosas Sépticas

Para comenzar con el diseño de Las Fosas Sépticas para las aglomeraciones más dispersas del municipio, se necesita conocer algunos datos previos:

- Caudal medio diario y medio horario de las aguas a tratar.
- Caudal máximo de las aguas a tratar, para el dimensionamiento del canal de desbaste.

7.3.1. Cálculos del canal de desbaste

La velocidad del agua en el canal de desbaste y la velocidad de paso a través de la reja de desbaste son los aspectos más importantes a la hora de diseñar la etapa de desbaste.

La velocidad de agua en el canal debe ser: $\geq 0,4$ m/s a caudal mínimo, y, $\geq 0,9$ m/s a caudal máximo, para evitar que decanten las arenas en el fondo del canal.

Por otro lado, la velocidad de paso del agua a través de las rejillas debe ser la suficiente para que los sólidos se queden atrapados en la reja sin que se produzca una gran pérdida de carga ni atascamientos en la parte profunda de los barrotes. Para ello, se adopta normalmente una velocidad de paso a través de la reja $\leq 1,0$ m/s a caudal medio y $\leq 1,4$ m/s a caudal máximo.

Para poblaciones menores de 2.000 H-E, cuyos caudales son bajos y muy variables, las dimensiones del equipo (anchura y calado) que se obtienen son tan pequeñas que es imposible conseguir equipos de ese tamaño, haciendo inviable su limpieza y mantenimiento.

Por ello, se recomienda fijar un valor mínimo para estos parámetros en función de la tipología de la reja o tamiz a instalar. Más adelante, habrá que comprobar que no se superan las velocidades máximas permitidas de paso a través de la reja, y que las dimensiones del canal tienen suficiente capacidad hidráulica para los caudales máximos de diseño.

Se considerarán los valores mínimos para el diseño del canal de desbaste, pues, para ambos barrios, existe menos de 100 H-E.

- Anchura del canal: **W=0,25 m.**
- Altura del agua en el canal: **h=0,25 m.**

- Tiempo de retención a caudal máximo de **5 minutos**.

Sin embargo, suele ser muy difícil cumplir con los límites que se exigen a la velocidad del agua en el canal (0,4 m/s a caudal mínimo), obteniéndose, generalmente velocidades menores.

7.3.2. Cálculos de dimensionamiento de las Fosas Sépticas

El principal objetivo de las Fosas Sépticas es reducir los sólidos en suspensión (sedimentables y flotantes) gracias a la acción de la gravedad, por tanto, es importante mantener en el interior de esta las condiciones de quietud precisas para obtener esta separación en el mayor grado posible. Esto se puede lograr con elevados tiempos de residencia hidráulica. También, la progresiva acumulación de fangos y flotantes reducen progresivamente los tiempos de residencia del agua a tratar.

Como para conocer el volumen de la Fosa Séptica se debe tener en cuenta la acumulación de fangos, su degradación y compactación, con base a un caudal promedio de aguas residuales (AARR) de 100 l/H-E·d se establecerá un tiempo de retención de un día, independientemente de la progresiva acumulación de fangos.

Como se recomienda una extracción de fangos con frecuencia anual, se utilizará la siguiente expresión para calcular el volumen útil:

$$V_{\text{útil}}(m^3) = 2,7 \cdot Q_{\text{medio,d}} \left(\frac{m^3}{d} \right)$$

Ecuación 7.3.3.1. Volumen útil para extracciones anuales de fango.

Las Fosas Sépticas que se van a diseñar tendrán las siguientes características:

- Será una Fosa Séptica Prefabricada de Poliéster Reforzado en Fibra de Vidrio (PRFV).
- Para una fosa de 3 compartimentos, el primero ocupará más del 50% del volumen total, repartiéndose el resto del volumen a partes iguales entre el segundo y el tercer compartimento.
- La altura de líquido será 1,2 m.
- El resguardo para la acumulación de flotantes y recogida de gases será de 0,3 m, y por tanto, la altura total de la fosa séptica será de 1,5 m.

Una vez calculado el volumen útil total, se procederá a calcular la superficie, dividiendo dicho volumen por la altura del líquido. Para el cálculo de la longitud se deberán suponer anchuras superiores a 1 m. A continuación, en las siguientes tablas se observa el resultado del dimensionamiento calculado para la Fosa Séptica de Los Aceviños:

Fosa séptica Los Aceviños	
$Q_{\text{medio,d}} \text{ (m}^3\text{/d)}=$	8,316
$Q_{\text{medio,d}} \text{ (l/H-E}\cdot\text{d)}=$	106,21
$Q_{\text{medio,h}} \text{ (m}^3\text{/h)}=$	0,3465
$Q_{\text{máx}} \text{ (m}^3\text{/h)} =$	0,4158
$N^\circ \text{ H-E} =$	78,3

Extracción fango(años)=	1
$V_{\text{útil}} \text{ (m}^3) =$	22,4532
$V_{\text{útil}} \text{ (l)} =$	22453,2
$V_{\text{útil}} \text{ (l/H-E)} =$	286,76
$S \text{ (m}^2) =$	18,71

Relación L/W=	2,08
W(m)=	3
L(m)=	6,24

Tabla 7.3.3.1. Dimensiones de la Fosa Séptica para Los Aceviños.

Asimismo, se adjunta las dimensiones de cada compartimento:

3 compartimentos:	
$V_{\text{útil}_1} \text{ (m}^3) =$	14,97
$S_1 \text{ (m}^2) =$	12,47
$L_1 \text{ (m)} =$	4,158

$V_{\text{útil}_2} \text{ (m}^3) =$	3,74
$S_2 \text{ (m}^2) =$	3,119
$L_2 \text{ (m)} =$	1,040

$V_{\text{útil}_3} \text{ (m}^3) =$	3,74
$S_3 \text{ (m}^2) =$	3,119
$L_3 \text{ (m)} =$	1,040

Tabla 7.3.3.2. Dimensiones de cada compartimento de la fosa de Los Aceviños.

Nota: para el cálculo del volumen útil del primer compartimento, se ha multiplicado el volumen útil total por 2/3 (es decir, el 66,6%), mientras que para el segundo y el tercer compartimento por 1/6, es decir, (el 16,7%).

Por último, en la **Tabla 7.3.3.3.** se encuentran los resultados de la Fosa Séptica de El Cedro:

Fosa séptica El Cedro	
$Q_{\text{medio,d}} (\text{m}^3/\text{d})=$	3,3
$Q_{\text{medio,d}} (l/H-E \cdot d)=$	106,11
$Q_{\text{medio,h}} (\text{m}^3/\text{h})=$	0,1375
$Q_{\text{máx}} (\text{m}^3/\text{h}) =$	0,165
$N^\circ H-E=$	31,1

Extracción fango(años)=	1
$V_{\text{útil}} (\text{m}^3) =$	8,91
$V_{\text{útil}} (l)=$	8910
$V_{\text{útil}} (l/H-E) =$	286,50
$S(\text{m}^2) =$	7,43

Relación L/W=	1,86
W(m)=	2
L(m)=	3,71

Tabla 7.3.3.3. Dimensiones de la Fosa Séptica para El Cedro.

Seguidamente, se puede observar la capacidad y las dimensiones de cada compartimento:

3 compartimentos:	
$V_{\text{útil}_1} (\text{m}^3) =$	5,94
$S_1(\text{m}^2) =$	4,95
$L_1(\text{m}) =$	2,48

$V_{\text{útil}_2} (\text{m}^3) =$	1,485
$S_2(\text{m}^2) =$	1,24
$L_2(\text{m}) =$	0,619

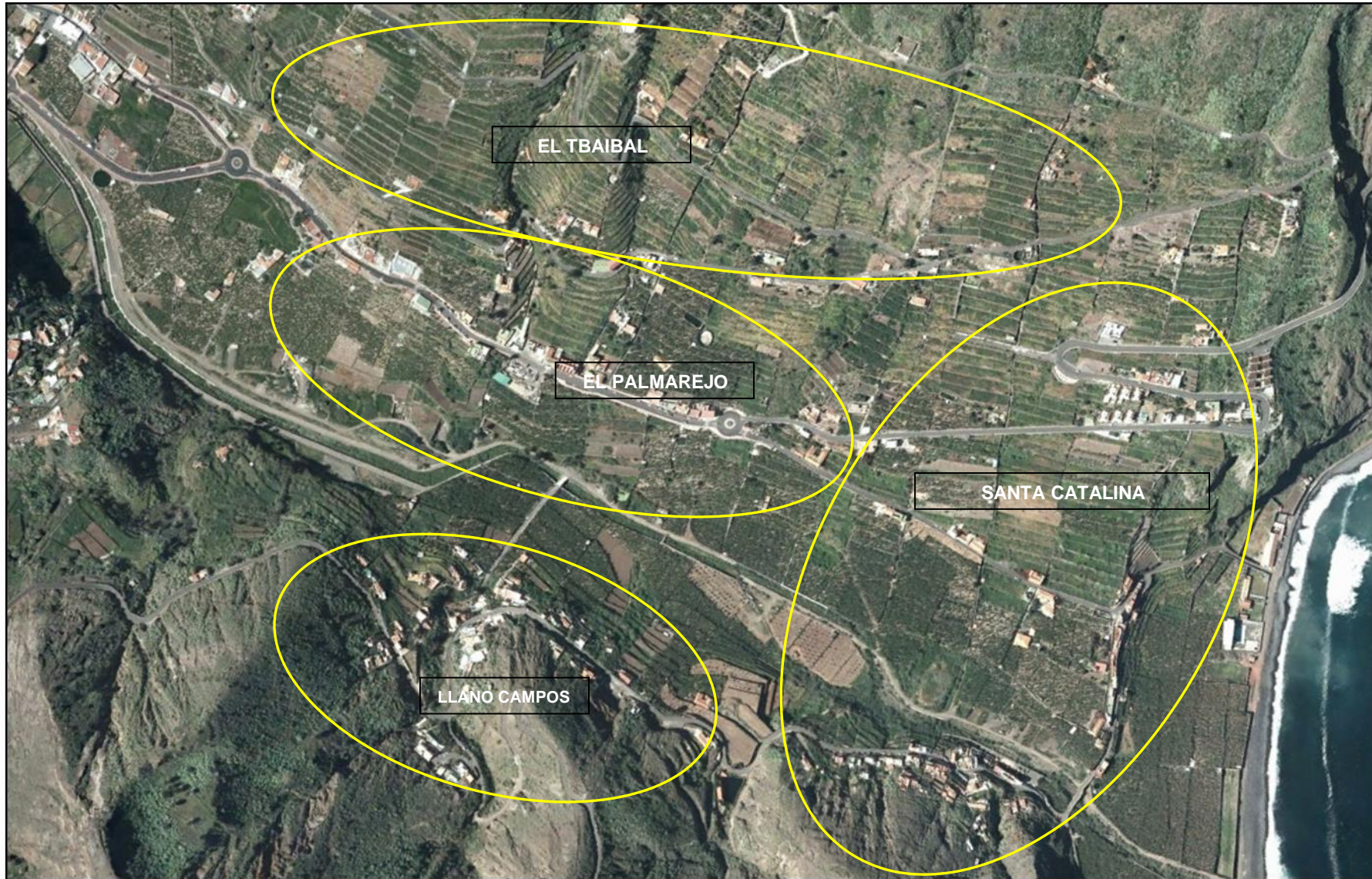
$V_{\text{útil}_3} (\text{m}^3) =$	1,485
$S_3(\text{m}^2) =$	1,24
$L_3(\text{m}) =$	0,619

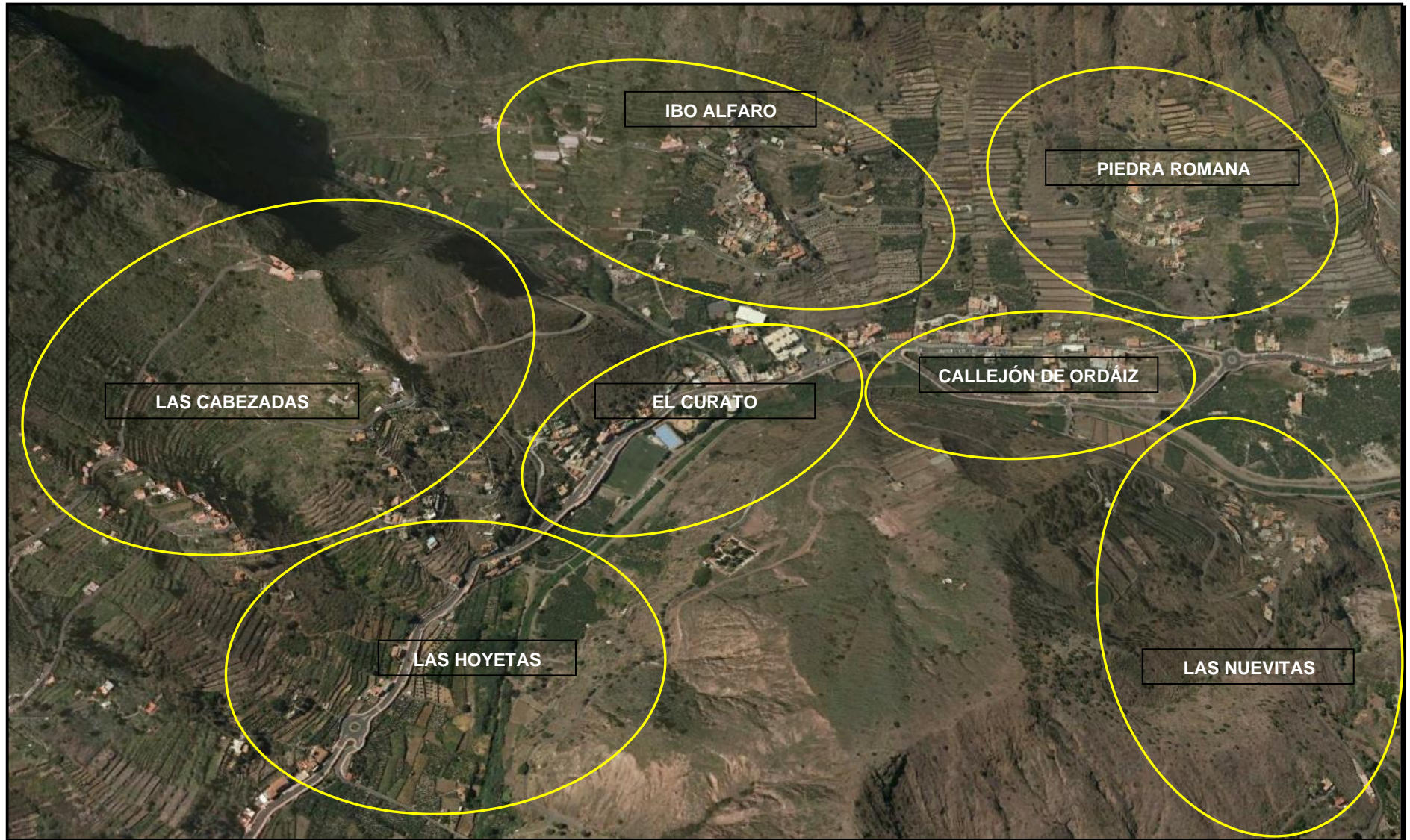
Tabla 7.3.3.4. Dimensiones de cada compartimento de la fosa del Cedro.

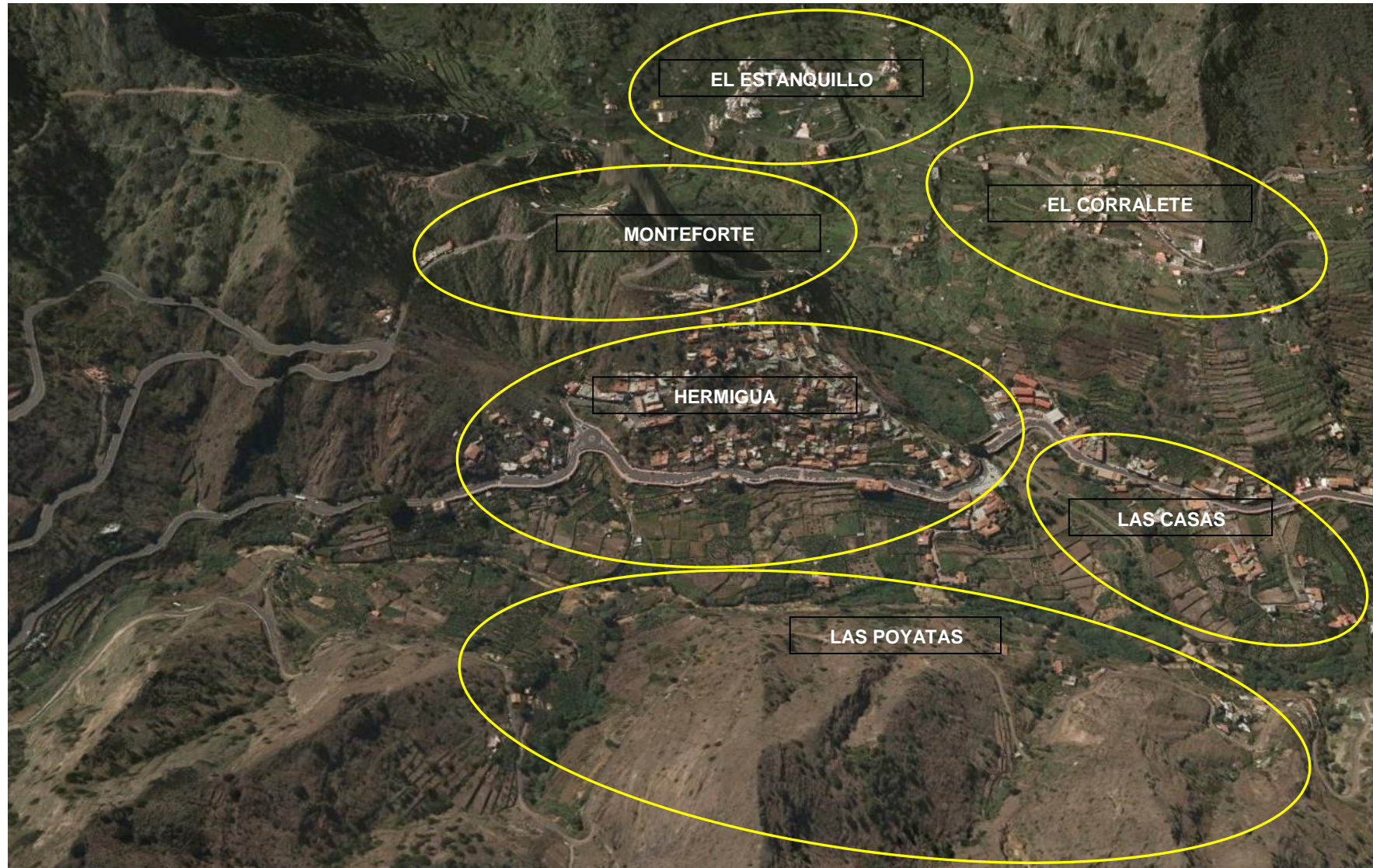
Nota: para el cálculo del volumen útil del primer compartimento, se ha multiplicado el volumen útil total por 2/3 (es decir, el 66,6%), mientras que para el segundo y el tercer compartimento por 1/6, es decir, (el 16,7%).

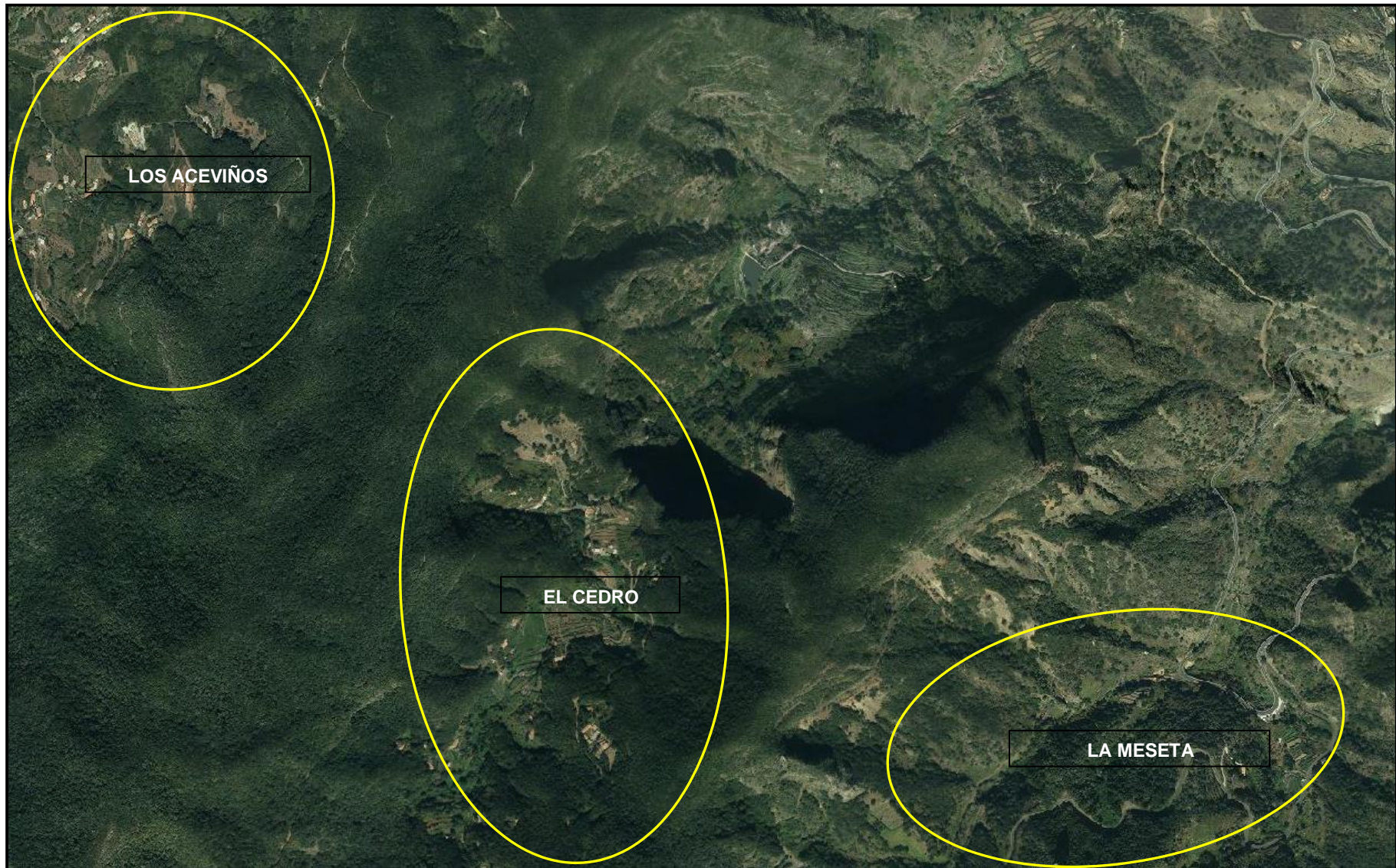
8. Planos

8.1. Plano de situación de los núcleos de población de Hermigua

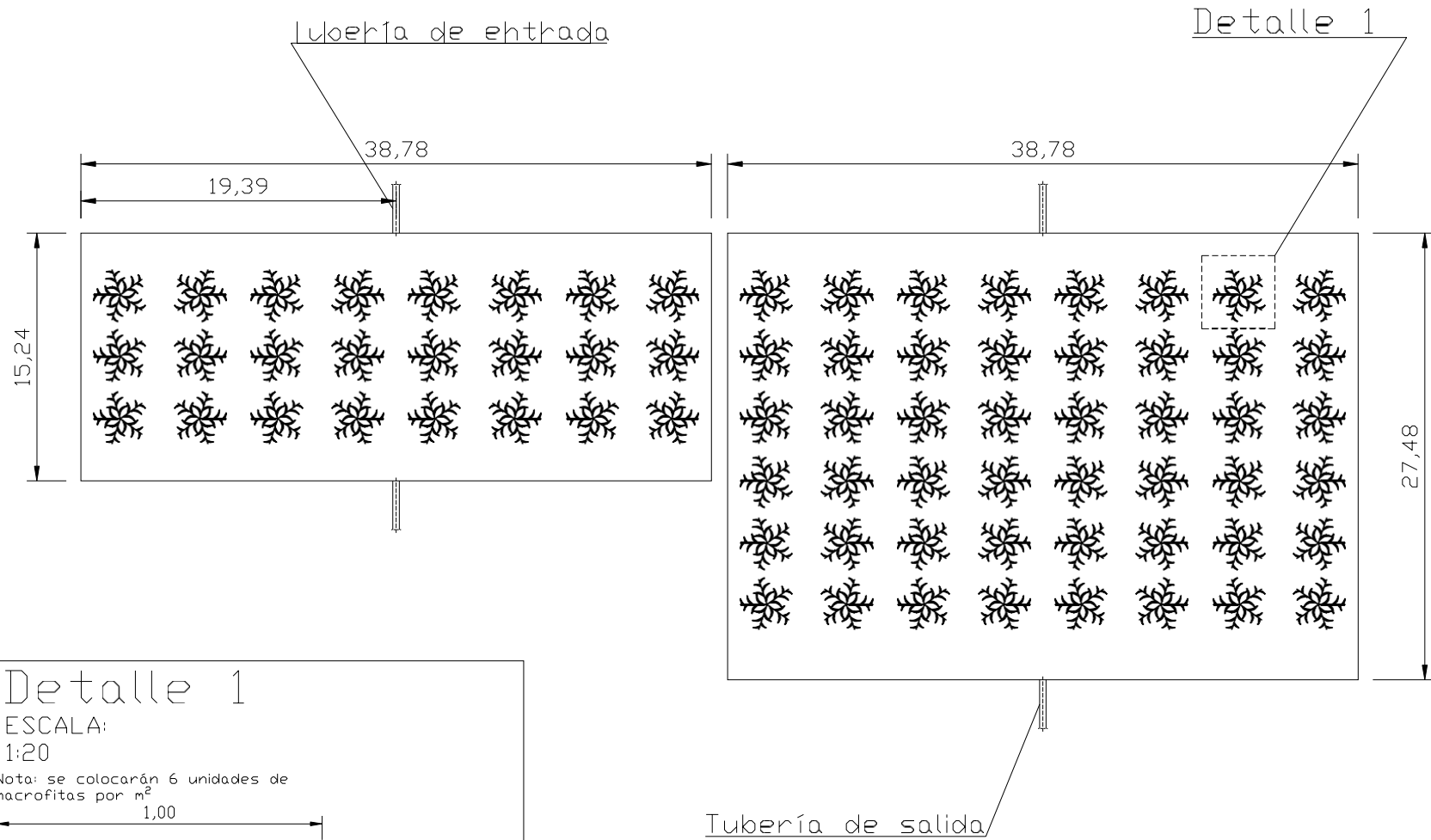








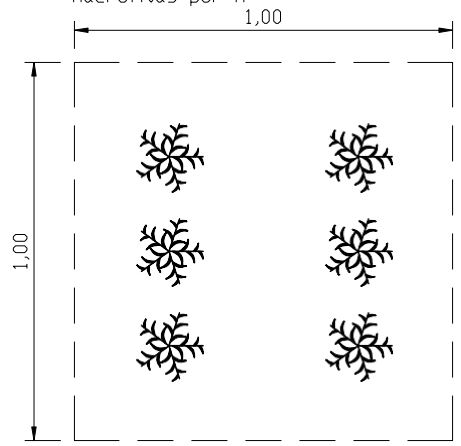
8.2. Plano de planta Humedal Artificial




Detalle 1

ESCALA:
1:20

Nota: se colocarán 6 unidades de macrofitas por m²



ESTUDIO PREVIO Y PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA EDAR
PARA MUNICIPIO DE LA ISLA DE LA GOMERA

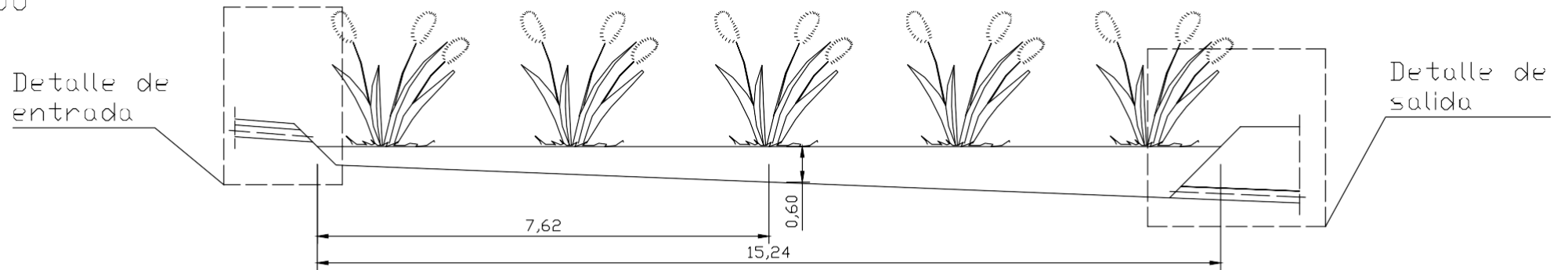
Nombre:	Susana		Grado en Ingeniería Química Industrial Universidad de La Laguna
Apellidos:	Hernández León		
Unidades:	Metros		
ESCALA: 1:400	PLANTA HUMEDAL ARTIFICIAL	PLANO Nº: 1	

8.3. Plano de secciones Humedal Artificial (celda 1)

Corte longitudinal (perfil):

ESCALA:

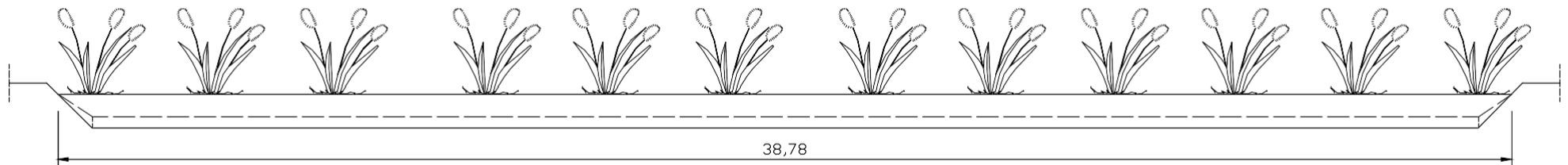
1:100



Corte transversal (alzado):

ESCALA:

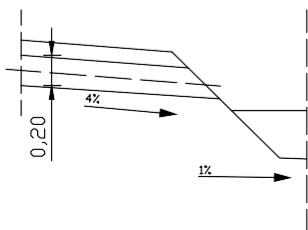
1:160



Detalle de entrada

ESCALA:

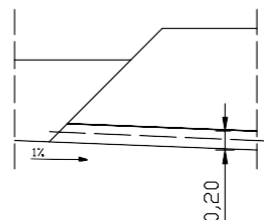
1:50



Detalle de salida

ESCALA:

1:80



ESTUDIO PREVIO Y PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA EDAR PARA MUNICIPIO DE LA ISLA DE LA GOMERA

Nombre:

Susana

Apellidos:

Hernández León

Unidades:

Metros



Grado en Ingeniería Química Industrial
Universidad de La Laguna

ESCALA:

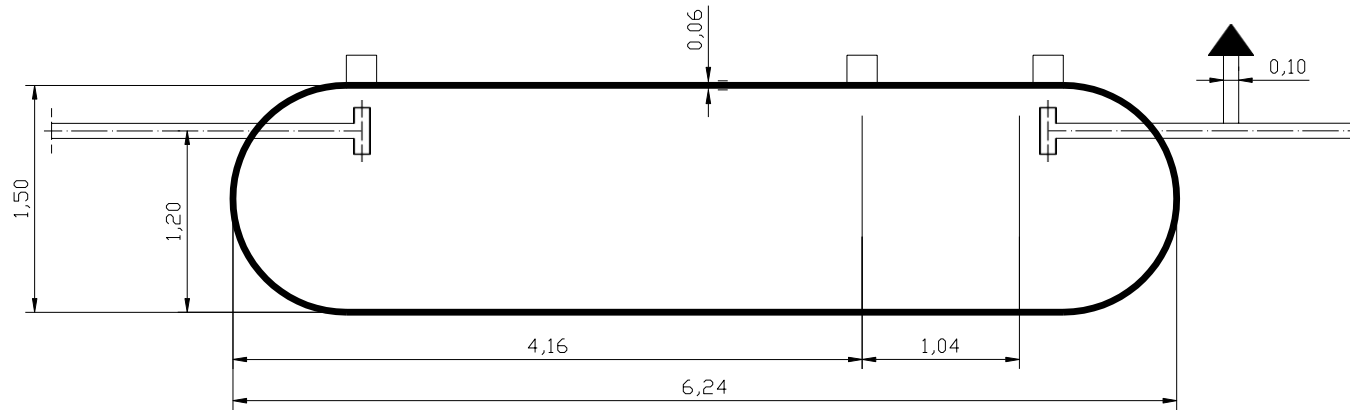
VARIAS

SECCIONES HUMEDAL ARTIFICIAL (CELDA 1)

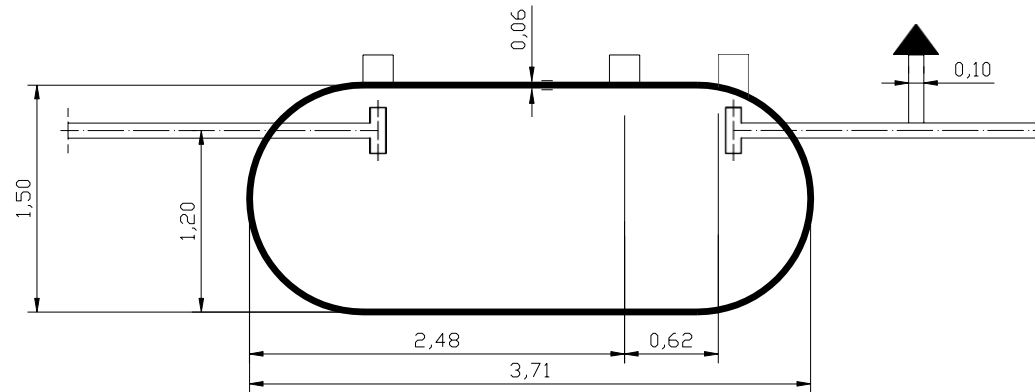
PLANO Nº: 2

8.4. Plano de perfil Fosas Sépticas de núcleos dispersos

Fosa séptica Los Aceviños



Fosa Séptica El Cedro

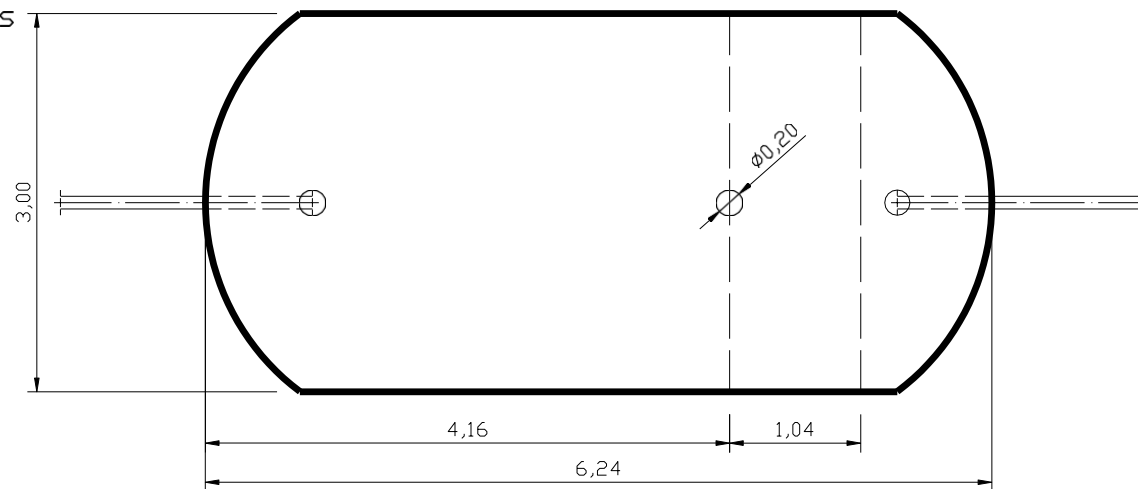


ESTUDIO PREVIO Y PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA EDAR
PARA MUNICIPIO DE LA ISLA DE LA GOMERA

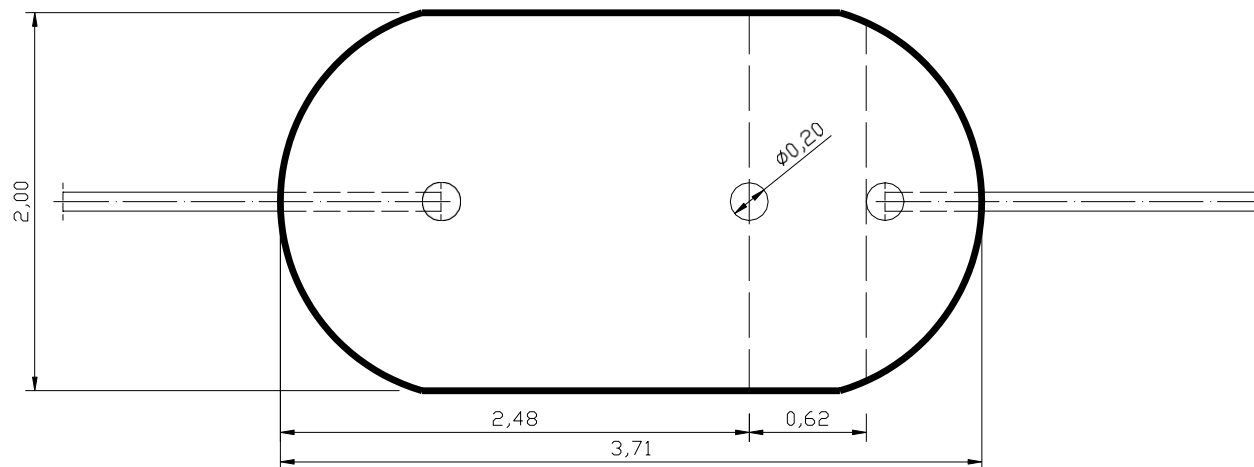
Nombre:	Susana		Grado en Ingeniería Química Industrial Universidad de La Laguna
Apellidos:	Hernández León		
Unidades:	Metros		
ESCALA: 1:50	PERFIL FOSAS SÉPTICAS NÚCLEOS DISPERSOS	PLANO Nº: 3	

8.5. Plano de planta Fosas Sépticas de núcleos dispersos


Fosa Séptica Los Aceviños
 ESCALA:
 1:60



Fosa Séptica El Cedro
 ESCALA:
 1:40



ESTUDIO PREVIO Y PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA EDAR
 PARA MUNICIPIO DE LA ISLA DE LA GOMERA

Nombre:	Susana		Grado en Ingeniería Química Industrial Universidad de La Laguna
Apellidos:	Hernández León		
Unidades:	Metros		
ESCALA: VARIAS	PLANTA FOSAS SÉPTICAS NÚCLEOS DISPERSOS	PLANO Nº: 4	

9. Conclusiones/ Conclusions

Conclusiones:

- Con el diseño propuesto en este TFG es posible dar respuesta a las exigencias establecidas en la Directiva 91/271/CEE (Directiva del Consejo de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas), así como el Real Decreto 1620/2007 de reutilización de aguas depuradas, haciendo uso de tecnologías de bajo coste en el municipio de Hermigua (La Gomera).
- Es posible mejorar la calidad del efluente de la EDAR de Hermigua hasta niveles aptos para la reutilización agrícola mediante la instalación de un humedal artificial como tratamiento de afino.
- La configuración idónea del humedal artificial diseñado para el municipio es de flujo subsuperficial horizontal, en el cual se usará la macrófita *Arundo Donax*, especie ya existente en Canarias, de fácil propagación, y que contribuirá a mantener la biodiversidad sin la introducción de especies invasoras.
- La solución óptima para el tratamiento del agua residual de los núcleos aislados del municipio de Hermigua es un tratamiento primario de fosas sépticas, una para cada núcleo, con el fin de evitar el impacto visual y sonoro por tratarse de zonas poco pobladas y llenas de vegetación ya que se encuentran en los límites del Parque Nacional de Garajonay.

Conclusions:

- With the design proposed in this final degree project, it is possible to meet the requirements established in Directive 91/271/CEE (Council Directive of 21 May 1991 on urban wastewater treatment), as well as Royal Decree 1620/2007 on the reuse of treated water, using low-cost technologies in the municipality of Hermigua (La Gomera).
- It is possible to improve the quality of the effluent from the Hermigua WWTP to levels suitable for agricultural reuse by installing a constructed wetland as a refining treatment.
- The ideal configuration of the constructed wetland designed for the municipality is horizontal subsurface flow (HSSF), in which the *Arundo Donax* macrophyte will be used, a species already existing in the Canary Islands, which is easy to propagate, and

which will contribute to maintaining biodiversity without the introduction of invasive species.

- The optimal solution for the treatment of wastewater from the isolated areas of the municipality of Hermigua is a primary treatment of septic tanks, one for each area, in order to avoid the visual and noise impact as they are sparsely populated and full of vegetation, as they are located on the edge of the Garajonay National Park.

9. Bibliografía

Ayuntamiento de Hermigua (2016). Estudio Hidrogeológico para la tramitación del permiso de vertido de Aguas Residuales al terreno en el nuevo punto de vertido de la EDAR.

Ayuntamiento de Hermigua. Analíticas de agua de abasto y Analíticas de efluente de AARR.

Ayuntamiento de Hermigua. Planos de situación de los núcleos de población.

Ayuntamiento de Lorca, Universidad Politécnica de Madrid (2004). Manual de fitodepuración.

Cabildo Insular de La Gomera, Consejo Insular de Aguas de La Gomera. Plan Hidrológico Insular de la demarcación hidrográfica de La Gomera, ciclo de planificación hidrológica 2015-2021.

Canal de Isabel II Gestión S.A. (2013). Un nuevo criterio para el cálculo del caudal de agua residual urbana.

Canarias en CIFRAS 2016, Instituto Canario de Estadística (ISTAC).

Centro AGUA, Universidad Mayor de San Simón (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.

Centro de Estudios Hidrográficos CEDEX, Fundación CENTA (2010). Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.

Climate-Data.org: Datos climáticos mundiales, Clima de Hermigua. <https://es.climate-data.org/europe/espana/canarias/hermigua-656518/>

Directiva 91/271/CEE, de 21 de mayo, sobre el tratamiento de las aguas residuales urbanas, modificada por la Directiva 98/15/CE. El Consejo de las Comunidades Europeas.

Flora Vascular de Canarias. http://www.floradecanarias.com/imagenes_disponibles.html

Fundación CENTA, Instituto Tecnológico de Canarias (ITC) (2006). Proyecto ICREW. Guía sobre tratamientos de aguas residuales para pequeños núcleos de población.

Fundación CENTA (2008). Manual de depuración de Aguas Residuales Urbanas.

Luis Sandoval, Sergio A. Zamora-Castro (2019). Role of wetland plants and use of ornamental flowering plants in constructed wetlands for wastewater treatment: a review. Applied Sciences.

Meteoblue: Mapas meteorológicos. Clima de La Gomera, Comunidad Autónoma de Canarias. https://www.meteoblue.com/es/tiempo/historyclimate/climatemodelled/la-gomera_espa%c3%b1a_2517187

Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Boletín Oficial del Estado (BOE).

Real Decreto 174/1994, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Control de Vertidos para la Protección del Dominio Público Hidráulico. Boletín Oficial de Canarias.

S. Idris, Paul L. Jones (2012). Performance of giant reed (*Arundo donax*) in experimental wetlands receiving variable loads of industrial stormwater. Water Air Soil Pollut.

Z. Zhang (2008). Plant Growth and nutrient removal in simulated secondary-treated Municipal Wastewater in Wetland Microcosms. (Thesis). University of Western Australia.