

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grado en Ciencias Ambientales



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

“Propuesta de humedal artificial que actúe como filtro verde supletorio para la EDAR de Gandia”

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor/a:
Antonio Panadero Barberà

Tutor/a:
Miguel Rodilla

GANDIA, 2018

Palabras clave: Phragmites australis, Humedal artificial, flujo subsuperficial, agua residual.

Propuesta para establecer el diseño y el anteproyecto de un humedal artificial de flujo subsuperficial aledaño a la estación depuradora de Gandia que sea capaz de mejorar el tratamiento del agua residual generada durante los picos de población estival asociada al turismo de playa de las poblaciones de la Safor que envían aguas residuales a la depuradora. Se pretende implantar una alternativa ecológica, que reduzca el impacto visual, con unos costes de mantenimiento muy bajos y que dote a una zona abandonada de servicios ecosistémicos propios de los humedales.

Paraules clau: Phragmites australis, aiguamoll artificial, flux subsuperficial, aigua residual.

Proposta per establir el disseny i l'avantprojecte d'un aiguamoll artificial de flux subsuperficial limítrof a l'estació depuradora de Gandia que siga capaç de millorar el tractament de l'aigua residual generada durant els pics de població estival associada al turisme de platja de les poblacions de la Safor que envien aigües residuals a la depuradora. Es pretén implantar una alternativa ecològica, que reduïxca l'impacte visual, amb uns costos de manteniment molt baixos dotant una zona abandonada de serveis ecosistèmics propis dels aiguamolls.

Keywords: Phragmites australis, constructed wetland, subsurface flow, wastewater.

Proposal to establish the design and preliminary draft of an artificial wetland of subsurface flow adjacent to the Gandia treatment plant that is capable of improving the treatment of wastewater generated during the peaks of summer population associated with beach tourism of the Safor populations that send wastewater to the treatment plant. The aim is to implement an ecological alternative that reduces the visual impact, with very low maintenance costs and that endows an abandoned area with ecosystem services typical of wetlands

Índice

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS.....	4
Planteamiento	4
Humedales.....	4
Humedal natural	6
Humedal artificial	8
Capacidad de depuración de los humedales artificiales	9
Materia orgánica.....	10
Nitratos y derivados del nitrógeno.....	12
Fosfatos y derivados del fósforo	12
Materia en suspensión.....	13
Bacterias y microorganismos patógenos	13
Hidráulica de humedales.....	13
Flujo superficial.....	14
Flujo Subsuperficial	15
Sistemas híbridos	16
Vegetación, función y tipos.....	17
Problemática actual.....	19
Objetivos	20
CAPÍTULO 2: MATERIAL Y MÉTODOS PROPUESTA HUMEDAL ARTIFICIAL	21
Materiales	21
Marco geográfico	21
Demografía	22
Climatología.....	22
Rio Serpis.....	23
Playa Venecia-Marenys	25
EDAR de Gandia	27
Descripción área construcción	28
Metodología del diseño	33

CAPÍTULO 3: DISEÑO Y RESULTADOS: CAPACIDAD, FUNCIONAMIENTO Y ALTERNATIVAS DEL SISTEMA.....	34
Diseño del sistema.....	34
Cantidad de agua residual.....	34
Parámetros de las aguas residuales.....	35
Tratamiento previo.....	36
Dimensionamiento biológico.....	36
Dimensionamiento hidráulico.....	38
Plantas seleccionadas.....	39
Gestión y mantenimiento.....	42
Puesta en marcha.....	42
Mantenimiento.....	43
Aprovechamiento de la biomasa.....	44
Resumen resultados obtenidos.....	45
Propuesta de alternativas y elección de la mejor alternativa en función de los factores económicos, técnicos y ambientales.....	46
CAPÍTULO 4 : CONCLUSIONES.....	47
BIBLIOGRAFÍA.....	49

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y CONCEPTOS

Planteamiento

Las zonas húmedas siempre han sido consideradas como focos de enfermedades y que ocupaban espacios más aprovechables para actividades como el cultivo y la construcción (World Wildlife Fund). A partir del convenio RAMSAR firmado en Irán en 1971 se aumentó el interés y la protección de estas zonas(RAMSAR Con.) demostrando que no solo tienen un alto valor ecológico ya que tienen una capacidad natural para depurar el agua mediante unos procesos físico-químicos y biológicos que vuelven a integrar en la cadena trófica del ecosistema elementos como el fósforo, nitratos, materia orgánica que pueden integrarse en plantas depuradoras como un sistema terciario siendo una medida económica y ecológica al no tener subproductos y no necesitar de energía o de un mantenimiento costoso(Vallés,et;al,2016).

Humedales

El convenio Ramsar en su Artículo 1.1 define los humedales como “ las extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporarias, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas incluyendo las extensiones de agua marina cuya profundidad no exceda de los seis metros en marea baja”.

Los humedales presentan una gran variedad de beneficios para la sociedad llamados servicios ecosistémicos que varían en gran medida según el grado de conservación y las características propias del humedal. Los podemos dividir en funciones generales: Regulación Hidrológica, Regulación Biogeoquímica, Función ecológica.

Función Genérica	Funciones específicas	Bienes y servicios (ejemplos)
Regulación Hidrológica	Desaceleración de los flujos y disminución de turbulencia del agua	<i>Estabilización de la línea de costa. Disminución del poder erosivo.</i>
	Regulación de Inundaciones	<i>Disminución de la intensidad de los efectos de las inundaciones sobre ecosistemas vecinos</i>
	Retención de agua Almacenaje a largo plazo Almacenaje a corto plazo	<i>Presencia de reservorios de agua para consumo y producción.</i>
	Recarga de acuíferos	<i>Reservas de agua dulce para el hombre, tanto para consumo directo y para utilización en sus actividades productivas</i>
	Retención y estabilización de sedimentos	<i>Mejoramiento de la calidad del agua</i>
	Regulación de procesos de evapotranspiración	<i>Atemperación de condiciones climáticas extremas</i>
Regulación Biogeoquímicas	Ciclado de nutrientes (Nitrógeno, Carbono, Fósforo, etc.) Almacenaje / retención de nutrientes (ej Fijación/acumulación CO ₂ , liberación de NH ₄)	<i>Retención de contaminantes Mejoramiento de la calidad del agua Acumulación de Carbono Orgánico como turba. Regulación climática</i>
	Transformación y degradación de contaminantes	<i>Mejoramiento de la calidad del agua. Regulación climática</i>
	Exportación.	<i>Vía agua: Sostén de cadenas tróficas vecinas Regulación Climática: Emisiones CH₄ a la atmósfera</i>
	Regulación de salinidad	<i>Provisión de agua dulce Protección de suelos Producción de sal</i>
Ecológicas	Producción primaria	<i>Secuestro de carbono en suelo y en biomasa Producción agrícola (e.g., arroz) Producción de forraje para ganado doméstico y especies de fauna silvestre de interés. Producción apícola Producción de combustible vegetal y sustrato para cultivos florales y de hortalizas (turba)</i>
	Producción secundaria	<i>Producción de proteínas para consumo humano o como base para alimento del ganado doméstico (fauna silvestre, peces e invertebrados acuáticos) Producción de especies de interés cinegético Producción de especies de peces para pesca deportiva y comercial. Producción de especies de interés turístico-recreacional (aves, mamíferos, reptiles, anfibios)</i>
	Provisión de hábitat	<i>Ambientes de interés paisajístico Oferta hábitat de especies de interés comercial, cinegético, cultural, etc. Provisión de hábitats críticos para especies migradoras (particularmente aves) Provisión de hábitats críticos para la reproducción de especies animales (particularmente aves, tortugas acuáticas, peces e invertebrados acuáticos)</i>
	Mantenimiento de interacciones biológicas	<i>Mantenimiento de cadenas tróficas de ecosistemas vecinos Exclusión de especies invasoras.</i>
	Mantenimiento de la diversidad tanto específica como genética	<i>Producción de productos animales y vegetales alimenticios, y construcción. Producción de productos animales y vegetales no alimenticios (cueros, pieles, plumas, plantas y peces ornamentales, mascotas, etc.). Producción de productos farmacológicos y etnobiológicos (para etnomedicina, con fines religiosos, rituales, etc.)</i>

Tabla 1.1 Bienes, servicios y funciones ecosistémicas presentes en los humedales. (Kandus, et al. 2010- Fundación Humedales).

A pesar de que el Convenio Ramsar apuesta por un uso racional y un mantenimiento de las zonas húmedas preservando sus características ecológicas dentro de un desarrollo sostenible los diferentes humedales siendo la zona Mediterránea una de las más afectadas han sido degradados y han perdido terreno año tras año.

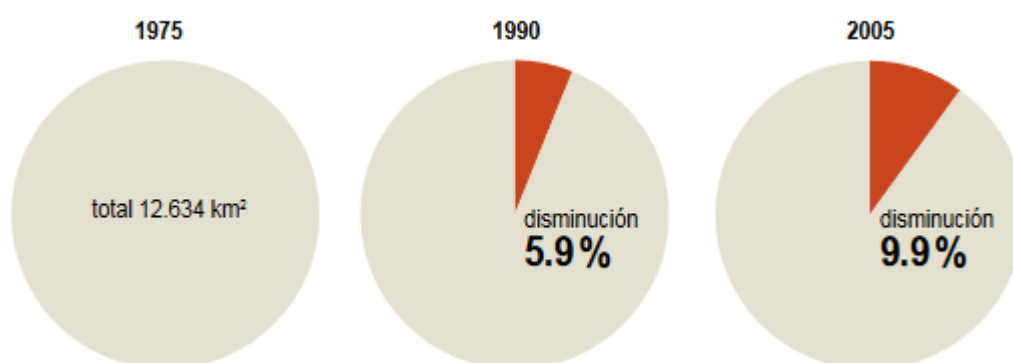


Figura 1.1 Evolución área total de 214 humedales de estudio(Mediterranean Wetlands Observatory 2014, in: Gardner et al 2015).

Por lo que es urgente y necesario impedir la progresiva pérdida de zonas húmedas ya que no solo se encuentra en peligro la biodiversidad que en ellos habita, también corren peligro los servicios que estos ecosistemas proporcionan a las personas(Fundación Humedales).

Humedal natural

Un humedal es un ecosistema que permanece con el suelo saturado o inundados durante la mayor parte del tiempo. Es por ello que los humedales presentan rasgos físicos, químicos y biológicos con predominio de procesos anaeróbicos en los suelos por lo que la mayoría de plantas con raíz muestran adaptaciones a las inundaciones(Piorno, 2016).

Los humedales tienen como gran característica la alternancia de zonas de distinta saturación por lo que la vegetación de estas zonas ha desarrollado una serie de adaptaciones a condiciones de humedad y saturación muy altas y muestra unas zonas muy diferentes según la distribución de la lámina de agua y de las zonas inundables(Merritts, et,al1994).

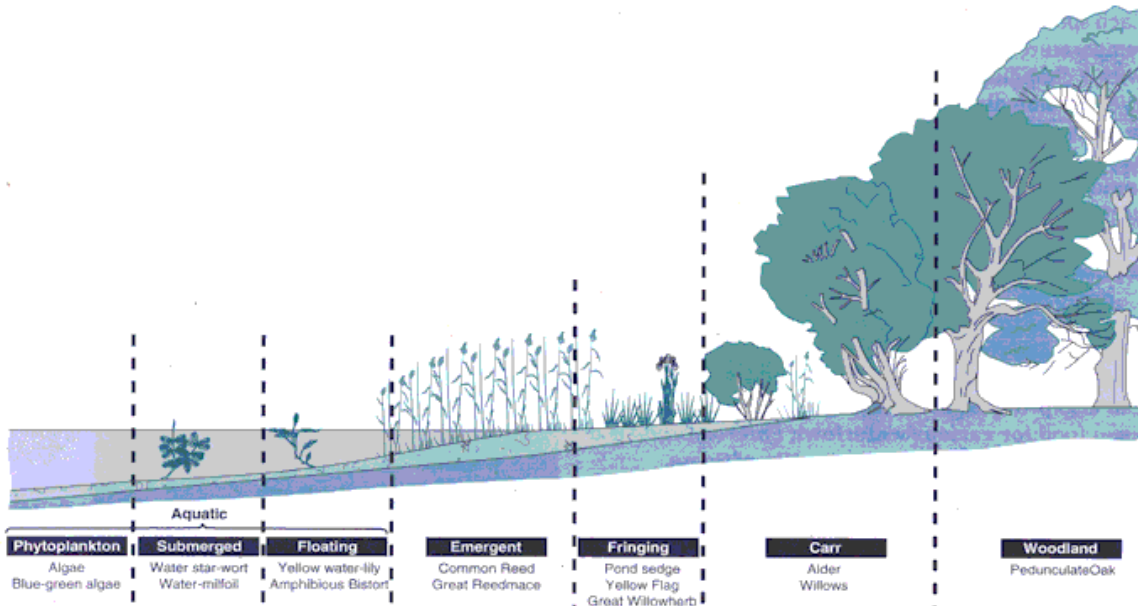


Figura 1.2 Representación esquemática de los distintos tipos de vegetación en un humedal. (Merritts, et, al 1994)

Las zonas con una menor saturación o que no están inundadas la mayoría del tiempo son habitadas por higrófitos que son los denominados bosques de ribera o los juncos y carrizos que forman la vegetación emergente del humedal. Mientras que las zonas con agua o suelos inundados están habitadas por hidrófitas y tienen una gran variedad de estructuras según la profundidad del agua (Piorno, 2016).

Los humedales naturales tienen una gran capacidad de depuración de las aguas mediante una serie de procesos físicos, biológicos y químicos. Primero reduce la velocidad del flujo aumentando así la filtración del agua, forzando así que las partículas en suspensión decanten reduciendo su turbidez. Tras estos procesos físicos entran en juego los procesos químicos y biológicos que eliminan contaminantes gracias a la acción de los seres vivos (Bondia, 2013).

Las bacterias son encargadas de procesos como la degradación de compuestos orgánicos (carbono) o transformando el nitrógeno en gas o formas asimilables para las plantas. Las algas pese a que en condiciones de eutrofización (exceso de nitratos y fosfatos y por ende un aumento sustancial de ellas) pueden generar situaciones de anoxia, son muy importantes en la oxigenación del agua ya que transforman dióxido de carbono en oxígeno. Por último las plantas también son organismos autótrofos por lo que utilizan nutrientes para su crecimiento introduciendo el fósforo, el nitrógeno y diversos oligoelementos a las cadenas tróficas del ecosistema. Cabe destacar que tienen una labor importante como barreras físicas reteniendo así los sólidos además de ser zonas de crecimiento para bacterias y algas formando también comunidades que albergan macrofauna (peces, anfibios, aves...)(Piorno, 2016).

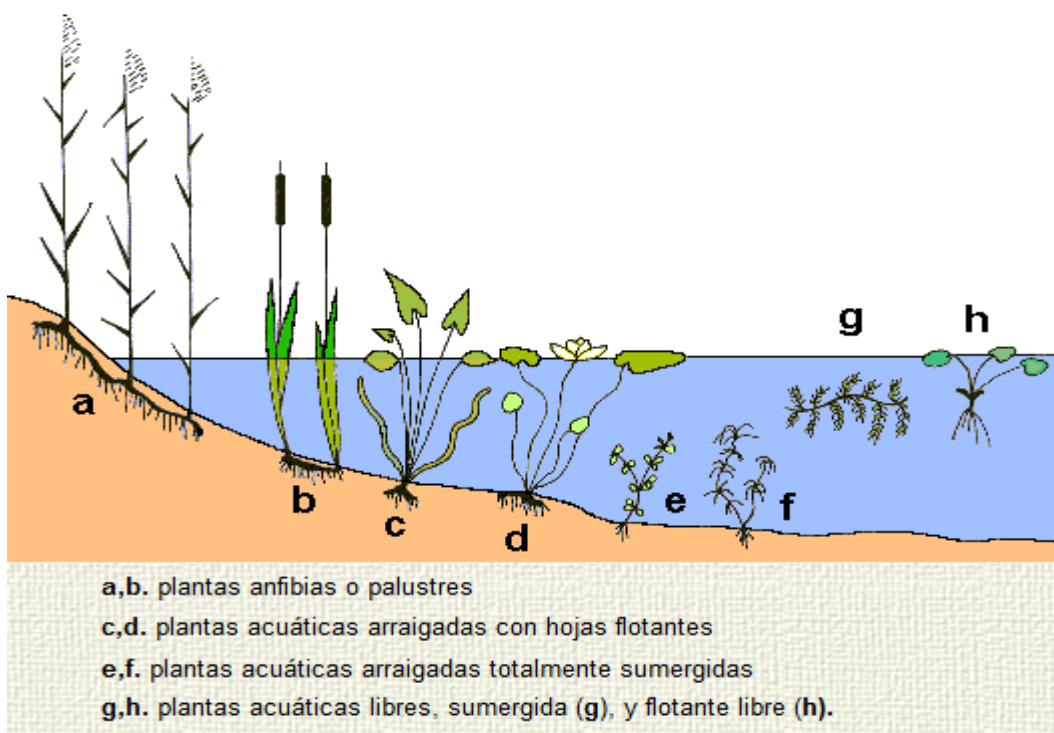


Figura 1.3 Diferentes tipos de plantas hidrófitas ligadas al medio acuático. (Camefort 1972)

Humedal artificial

Un humedal artificial es una zona construida o diseñada que intenta imitar las condiciones biológicas, químicas y físicas que tienen los humedales naturales. El flujo y la cantidad de agua son controlados por el hombre determinando él el tiempo de saturación del humedal, la altura de la lámina del agua... todo en función de la necesidad que tengamos.

Gracias a la gran variedad de funciones ecosistémicas (Tabla 1) que tienen los humedales la construcción de un humedal artificial tiene muchos factores positivos: controlan las inundaciones, crean nuevos ecosistemas aumentando la fauna, zonas de explotación agrícola y capacidad de depuración de las aguas residuales siendo este un factor determinante (Fundación Humedales).

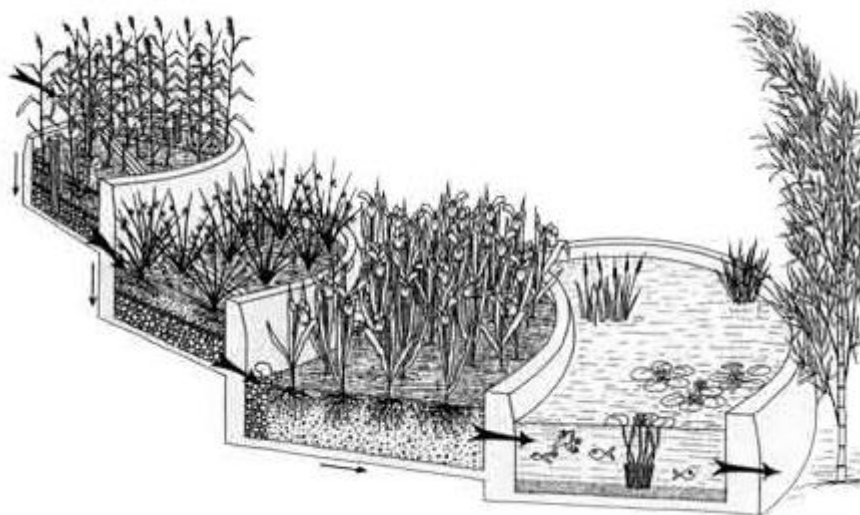


Figura 1.4 Dibujo esquemático de un sistema de humedal artificial de un humedal artificial por etapas(Miran ; in Parra Chiang 2014)

Capacidad de depuración de los humedales artificiales

La mayoría de Estaciones de Depuración de Aguas Residuales están situadas en zonas metropolitanas, teniendo un pretratamiento(rejas, tamizados,desengrasadores...), un tratamiento primario(decantación, físico-químico), secundario(lagunaje, lecho de turbas, biodiscos...) y una línea de fangos (espesador, deshidratación...), las más grandes y modernas también poseen un tratamiento terciario (osmosis inversa, ultrafiltración...). Estas instalaciones de depuración de aguas “típicas” tienen muchos puntos en contra: el gasto energético, el impacto visual y unos costes de operación y construcción desorbitados que ciertas comunidades no pueden permitirse(Bondia, 2013).

Los humedales artificiales son una gran alternativa “naturalizada” a las típicas construcciones depuradoras ya que son sistemas biológicos creados por el hombre, divididos en varias zonas y confinados por una capa de impermeabilidad. Estos sistemas de tratamiento natural requieren la misma cantidad de energía por kilogramo para degradar los contaminantes pero esta energía es tomada de los rayos del sol transformando la mayoría de esos contaminantes en biomasa y fijándolos en las cadenas tróficas (Bondia, 2013).

Los humedales artificiales son vistos con un mayor interés debido a la cantidad de beneficios que tienen(Bondia, 2013):

- La reducción del flujo, sedimentación, filtración, adsorción, degradación biológica de la materia orgánica, fotosíntesis, retención de nutrientes... son procesos naturales que ayudan a la depuración del agua.
- En estos “ecosistemas” se dan procesos biológicos, físicos y químicos que no necesitan ni energía ni químicos extras.

- -Pueden funcionar en condiciones aeróbicas o anaeróbicas en grandes extensiones y su rendimiento dependerá de la temperatura, la vegetación y la aportación del oxígeno que es natural. Esto puede ser un problema si la temperatura se reduce ya que el rendimiento bajará también.
- -No genera fangos y aguanta muy bien los aumentos de carga contaminante o los caudales de agua.
- -Forman un atractivo paisajístico ya que aumentan la biodiversidad, integrándose en el paisaje y generando pocas molestias.
- -Como el agua que producen es reutilizable pueden servir para lugares apartados como zonas de riego, empresas agroalimentarias, granjas... ya que tienen un coste de construcción y mantenimiento menor y eliminan una gran variedad de contaminantes (bacterias, patógenos, nutrientes, materia orgánica...).

Materia orgánica

La capacidad de eliminación de los humedales artificiales es bastante significativa ya que hay procesos físicos y biológicos. Esta materia orgánica puede presentarse de manera particulada o disuelta, la materia particulada es eliminada mediante procesos físicos de deposición, floculación y filtración y dependiendo de si el sistema es de flujo vertical u horizontal como veremos más adelante, la materia se depositará próxima al efluente o en la superficie (Piorno, 2016).

La materia orgánica es degradada por una serie de procesos biológicos que llevan a cabo los microorganismos del humedal y que pueden ser en situaciones de hipoxia (anaeróbicos) o con oxígeno (aeróbicos).

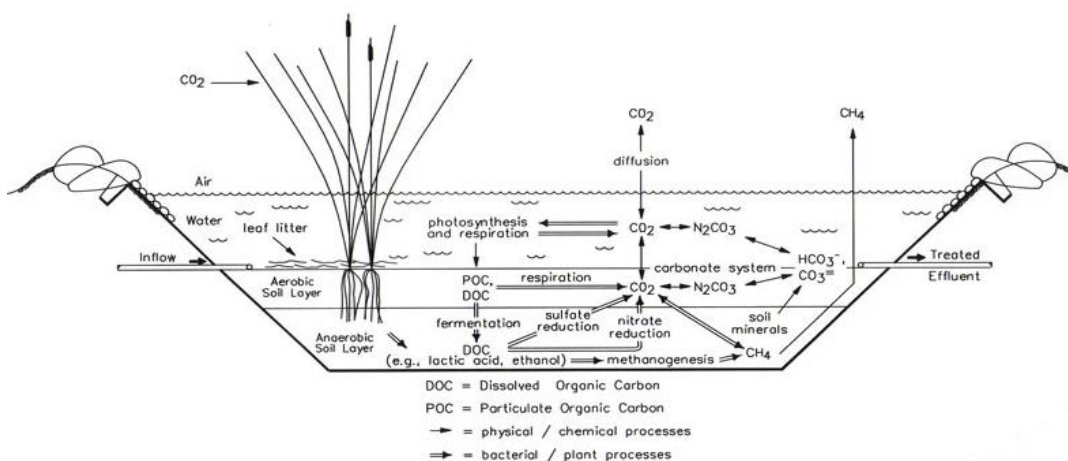


Figura 1.5 Ciclo del carbono en un humedal (M. Ogden et C. Campbel 1999).

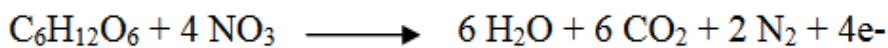
La degradación aeróbica es la que tiene un mayor rendimiento a la hora de reducir la materia orgánica, las bacterias aeróbicas heterótrofas obtienen mayor cantidad de energía

del mismo sustrato que las anaeróbicas por lo que en condiciones óptimas de oxigenación se desarrollan procesos como síntesis, oxidación y respiración endógena(Bondia,2013).

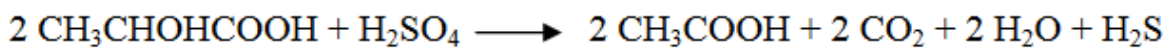
Por otro lado las bacterias anaeróbicas pueden degradar la materia y transformarla en energía en ausencia de oxígeno aunque es un proceso más lento y con un menor rendimiento. Primeramente las largas cadenas de carbono orgánico son reducidas a compuestos más sencillos como: dióxido de carbono, hidrógeno, etanol, ácido láctico y ácido acético mediante un proceso de fermentación. Tras esto se puede producir una metanogénesis dando como resultado metano y vapor de agua, una desnitrificación liberando nitrógeno, dióxido de carbono y agua o la sulfatoreducción por la que obtendremos ácido sulfhídrico, dióxido de carbono y agua (Bondia,2013).



Metanogénesis



Desnitrificación



Sulfatoreducción

ducción

Cabe destacar que en la mayoría de los casos estas son reacciones y productos no deseados ya que significan que hay situaciones de anoxia y por lo tanto el humedal no tiene el rendimiento que debería por lo que si en nuestro programa de vigilancia encontramos altas concentraciones de estos productos deberíamos plantearnos la oxigenación del sistema(Bondia,2013).

La eliminación de la materia orgánica en humedales artificiales varía desde el 75% al 95% dependiendo de la temperatura y la aireación del sistema pero se suelen alcanzar concentraciones del efluente de 20 mg/l DBO y 60 mg/l DQO(Kadlec, et al.1999). Es necesario recalcar que características como la profundidad marcan mucho la temperatura y la aireación del sistema y por ello afectan a los procesos que se darán dentro del humedal y el rendimiento que tendrán(García, Morató,2004).

Profundidad	Respiración aeróbica	Desnitrificación	Sulfatoreducción	Metanogénesis
Somero	9,9	56,9	33,2	0
Profundo	5,7	0	89,4	4,9

Tabla 1.2 Materia orgánica eliminada por tipo de reacción en humedal somero(hasta 0,3) o profundo(Kadlec 1995).

Nitratos y derivados del nitrógeno

Encontramos el nitrógeno en la naturaleza en diferentes formas como amonio (NH_4^+) y nitrógeno orgánico que son las dos formas más abundantes en el agua residual, también encontramos nitrato(NO_3^-) y nitrito(NO_2^-)(Bondia, 2013).

El proceso de amonificación transforma el nitrógeno orgánico en nitrógeno amoniacal, tras esto es transformado por el proceso de nitrificación de nitrógeno amoniacal a nitratos dependiendo de la cantidad de oxígeno que exista en el medio. Por último la desnitrificación reduce los nitratos a nitrógeno gaseoso, en este proceso se ven implicadas las bacterias heterótrofas (Piorno, 2016) Esta desnitrificación puede darse por dos vías que puede ser la anaeróbica en la que se liberará oxígeno en la columna de agua mientras que en condiciones aeróbicas seguirá una vía asimilativa acumulándose en la biomasa(Ogden et Campbel,1999).

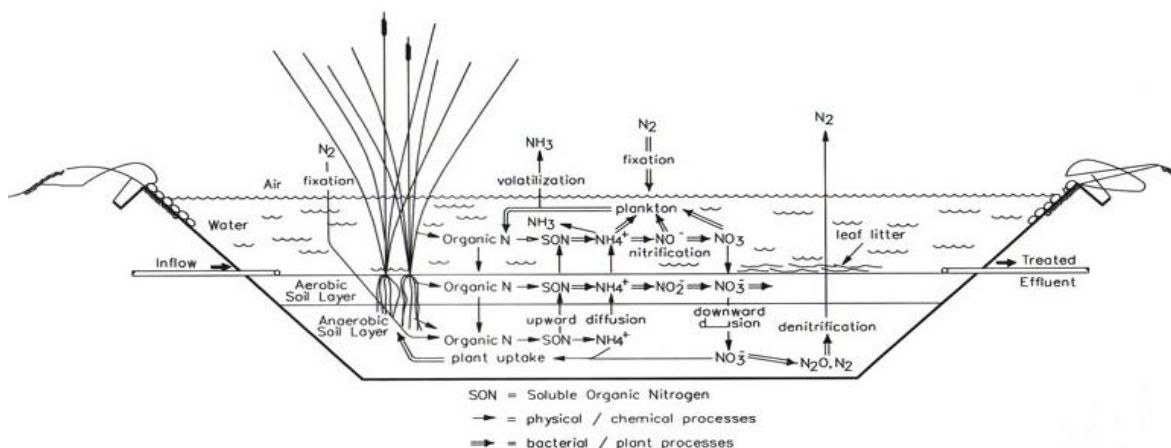


Figura 1.6 Ciclo del nitrógeno en un humedal (Ogden et Campbel, 1999).

Existe un mayor rendimiento según la profundidad y flujo que tenga el humedal alcanzando una nitrificación total en sistemas de flujo vertical debido a la gran cantidad de oxígeno y un rendimiento bastante menor humedales de flujo horizontal ya que el intercambio de oxígeno es menor con un rendimiento de eliminación de amonio inferior al 30%(Piorno, 2016). La absorción por parte de las plantas también es un proceso muy importante para eliminar el amonio dando rendimientos entre el 10%-20% de eliminación(Bondia,2013).

Fosfatos y derivados del fósforo

Podemos encontrar el fósforo presente en el agua de manera orgánica e inorgánica siendo su eliminación realizada en mayor parte por procesos bióticos como la absorción por microorganismos y plantas aunque el proceso de adsorción por el medio granular es de carácter abiótico y tiene una alta importancia inicialmente(Bondia, 2013) pese a que la

capacidad de adsorción del granulado se reduce rápidamente ya que llegamos a condiciones de equilibrio(Piorno, 2016). Pese a esto no llegamos a unos altos rendimientos de eliminación siendo entre un 10%-20% lo normal ya que los sistemas convencionales tienen sistemas anaerobio-aerobio que aquí no pueden ser imitados(Piorno,2016). Una posible solución es la adición de sales para tener procesos de precipitación(Arias, C.A. Y Brix, 2005) pese a que puede ser liberado en compuestos como el sulfuro de hierro que contaminarían de nuevo el agua (Bondia,2013).

Materia en suspensión

Los también llamados sólidos en suspensión son las partículas que quedarían retenidas en un filtro de tamaño de poro de 1,2 micras(Bondia,2013). Mediante los procesos de filtración, sedimentación y floculación los sólidos en suspensión son eliminados con un rendimiento muy alto que ronda 80%-95% produciendo así efluentes con menos de 20 mg/L (Piorno,2016) siendo su mayor eliminación en el primer tercio del humedal y luego viéndose reducida conforme avanza el efluente en la instalación(Bondia,2013). Estos materiales son retenidos en la zona próxima del afluente formando una fuente interna de materia orgánica sin embargo pueden producir colapsos, atascos y colmatación del material granular reduciendo así su vida útil(García, Morató,2004) por lo que que el pretratamiento es una opción muy recomendable (Piorno,2016).

Bacterias y microorganismos patógenos

La eliminación de estos organismos no es nada fácil.La tendencia en los humedales es que estos se adhieran y formen colonias teniendo grandes películas “biofilms”(Bondia, 2013). Estos números pueden verse reducidos por la propia depredación de protozoos y bacterias, una fijación/absorción al sustrato y una posible producción de antibióticos por parte de las raíces de las plantas(García, Morató,2004). Otros factores que ayudan son el tiempo de retención hidráulica, menor tamaño de la grava, cambios bruscos de temperatura y PH, el paso de condiciones aeróbicas a anaeróbicas(Bondia,2013).

Para comprobar la capacidad de eliminación de diferentes organismos recurrimos a una serie de bioindicadores(Piorno,2016):

- Existencia de organismos índice que corroboran la presencia de patógenos.
- Indicadores de coliformes fecales o estreptococos fecales como Salmonella o E.Coli.
- Indicadores que evalúan procesos de desinfección como el número de bacterias heterótrofas totales.

El grado de eliminación de estos organismos no es alto (Piorno,2016) por lo que deberíamos utilizar otros métodos como la radiación UV, exposición a altas temperaturas o la cloración si deseamos efluentes con una alta desinfección(Bondia,2013).

Hidráulica de humedales

Dependiendo del modo en el que circule el agua vamos a clasificar los humedales en sistemas de flujo superficial(FWS) y sistemas de flujo subsuperficial(HSSF) habiendo dentro de estos últimos los sistemas de flujo vertical(Rodríguez,2017). Todos estos sistemas tienen una serie de características comunes como: el agua avanza lentamente dando tiempo a los procesos depurativos, suelen tener una profundidad inferior a 1 metro, deben contar con una capa inferior impermeable (normalmente arcillas) para evitar fugas, un sustrato granulado para facilitar procesos de adsorción y el crecimiento de la biopelícula, un sistema de conducción de agua de entrada y salida y un tipo de vegetación dependiendo de las condiciones del humedal(Piorno,2016).

Flujo superficial

En este tipo de humedales el agua circula en lámina libre y está expuesta a las radiaciones solares y a la atmósfera ya que son canales de una profundidad máxima de 0,6 metros(Roig,2013) pero lo normal es que ronden los 0,3-0,4 metros (García y Corzo,2008). En la capa más profunda hay más procesos anaeróbicos mientras que en las capas superiores hay condiciones aeróbicas por el intercambio de oxígeno(Piorno,2016). El agua tiene flujo horizontal y el sistema debe tener un buen diseño ya que nos puede dar problemas de plagas y diversos olores si el sistema alcanza la sobrecarga(Bondia,2013).

Tiene una gran eliminación del nitrógeno debido a sus procesos de nitrificación y desnitrificación gracias a su diferencia de capas aeróbica/anaeróbica, también la biopelícula actúa en procesos biológicos y se retroalimenta de los tallos y el detritus vegetal degradado(Rodríguez,2017).

Estos sistemas se utilizan para mejorar la calidad del agua normalmente como tratamientos terciarios aunque en algunos casos pueden ser tratamientos secundarios, siempre alimentados por agua residual pretratada con un tratamiento físico primario o un pretratamiento para eliminar los sólidos más grandes y que no colapse(Rodríguez,2017).

Como último comentar que estos humedales ayudan a mejorar la calidad de humedales naturales(Proyecto Life Albufera) o crear nuevos hábitats para la fauna incluyendo espacios abiertos e islotes de vegetación siendo ideales para la cría de aves(Bondia,2013).

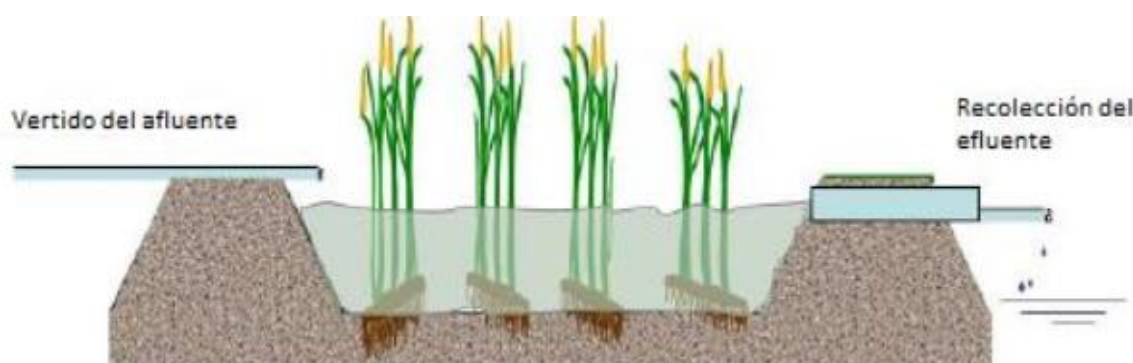


Figura 1.7 Esquema de flujo superficial(García y Corzo,2008).

Flujo Subsuperficial

En estos casos el agua circula a través de un medio granular o sustrato poroso y no está en contacto con la atmósfera y con un calado entre 0,3 y 0,9 metros(García y Corzo,2008). Cuentan con vegetación emergente necesaria para los procesos anóxicos (Bondia,2013) ya que el biofilm crece en los rizomas y raíces de las plantas además de en el medio granulado(Rodríguez,2017).

Estos sistemas tienen un mayor rendimiento que los superficiales requiriendo una menor superficie ya que el medio granulado aumenta el contacto por lo que puedes tratar aguas con mayores cargas residuales y no tiene riesgo de plagas o malos olores(Rodríguez,2017). Otro punto a favor es que en estos sistemas el agua pasa por zonas de diferentes concentraciones de oxígeno cuando discurre por el medio poroso(Bondia,2013) aunque debemos tener cuidado con el mantenimiento de la conductividad hidráulica ya que tenderá a colmatarse y tener también en cuenta que el precio será mayor que el de flujo superficial ya que el material granulado es más caro(Piorno,2016).

Podemos clasificar estos humedales entre flujo vertical o flujo horizontal:

Los humedales subsuperficiales con flujo vertical tienen una alimentación temporal por lo que no siempre lo encontraremos inundado y una circulación de agua vertical ya que al tener una corriente descendente de agua se crea una corriente ascendente de aire contraria por lo que tendremos una mayor oxigenación mejorando así los procesos de nitrificación y desnitrificación. Por lo tanto pueden tratar una mayor carga que los de flujo horizontal obteniendo un efluente más oxigenado pero tienen mayor probabilidad de colmatarse que los de flujo horizontal(Rodríguez,2017).

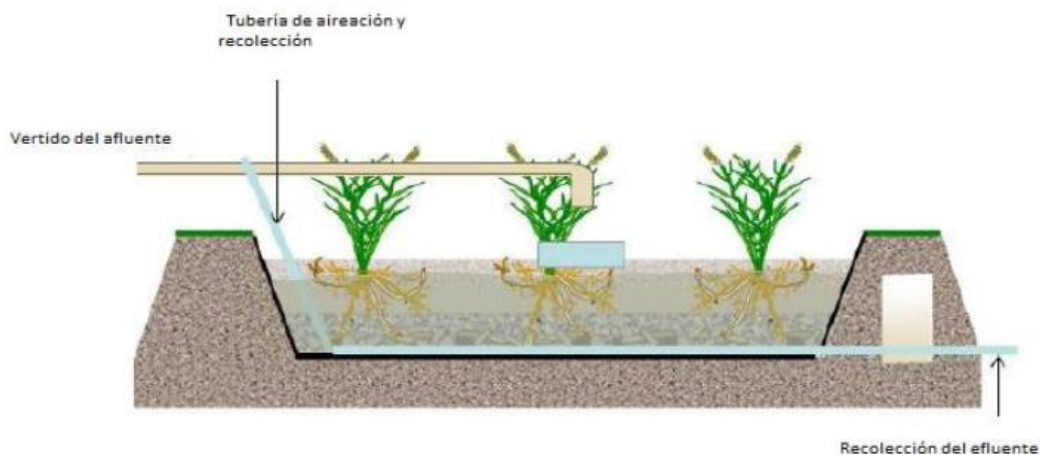


Figura 1.8 Esquema flujo subsuperficial vertical (García y Corzo 2008).

Por otro lado tenemos a los humedales subsuperficiales con flujo horizontal que son siempre alimentados por un lateral y a diferencia del anterior siempre trabaja inundado(Rodríguez,2017).

Sistemas híbridos

Debemos aprovechar las diferentes características que tienen los humedales anteriormente mencionados y combinarlos para obtener un mayor rendimiento (Bondia, 2013).

Los humedales de flujo superficial y subsuperficial vertical tienen una mayoría de procesos aerobios (nitrificación y respiración aerobia) mientras que los subsuperficiales horizontales tienen procesos en ausencia de oxígeno ya que el lecho está saturado por lo que se darán procesos de fermentación, reducción del sulfato y desnitrificación (Bondia, 2013). Si situamos delante un humedal de flujo libre o subsuperficial vertical al tener mayor aireación podemos dejar el siguiente humedal sin materia orgánica por lo que inhibiremos la desnitrificación del humedal subsuperficial horizontal ya que no tendríamos renovación de sustrato (Bondia, 2013).

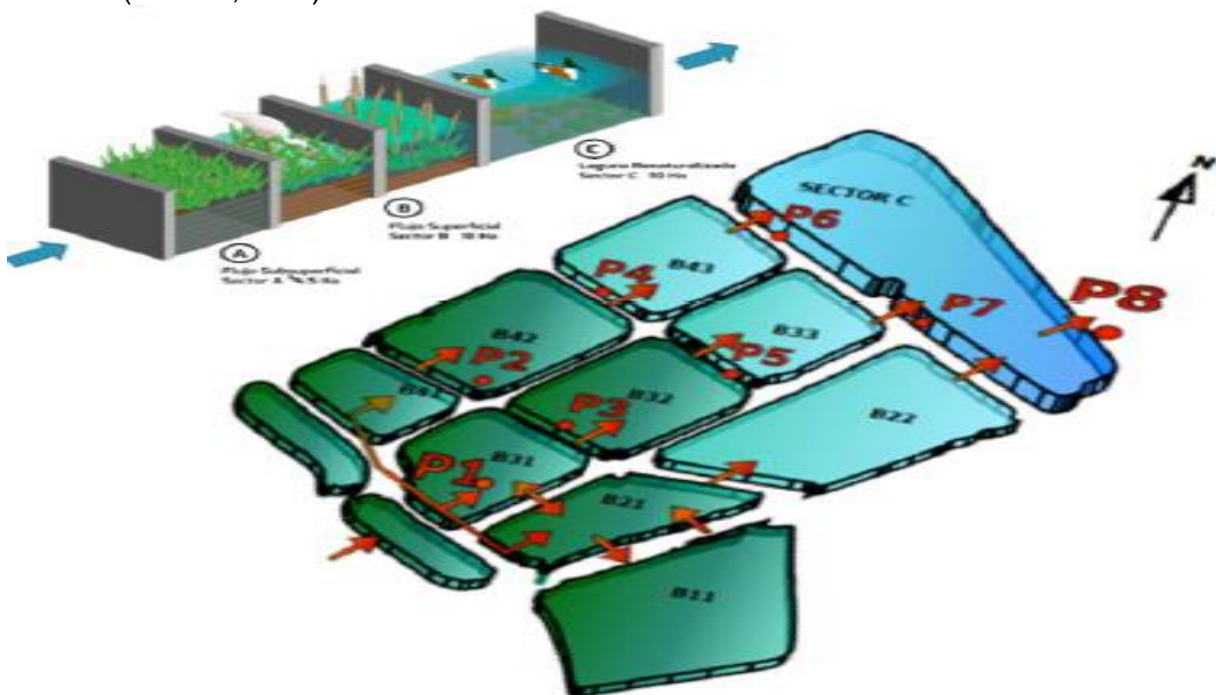


Figura 1.9 Esquema sectores filtro verde Tancat de l'Illa proyecto LifeAlbufera. (F.J. Vallés et al, 2016).

En resumen tenemos una tabla de características según el tipo de flujo:

Humedales artificiales		
	Flujo superficial	Flujo subsuperficial
Tratamiento	Tratamiento de flujos secundarios	Tratamiento de flujos primarios
Carga orgánica	Opera con baja carga orgánica	Opera con alta carga orgánica
Olor	Puede darse el caso	No da problemas
Insectos	Control más caro	No aparecen
Protección térmica	Mala, las bajas temperaturas afectan a los procesos	Buena, por la protección que ejerce la vegetación y el flujo subterráneo mantiene su temperatura constante
Superficie	Requieren superficies de mayor tamaño	Requieren superficies de menor tamaño
Coste	Menor gasto	Mayor coste por el material granular
Valor como ecosistema	Mayor valor como ecosistema para la vida salvaje, el agua es accesible	Menor valor debido a que el agua es difícilmente accesible
Usos generales	Restauración y creación de nuevos ecosistemas	Tratamiento principal de las aguas residuales
Operación	Tratamiento adicional a sistemas convencionales	Tratamiento secundario

Tabla 1.3 Características humedales de flujo superficial y subsuperficial(O.Delgadillo et al,2010)

Vegetación, función y tipos.

Las plantas son un pilar fundamental en el ciclo biológico de los humedales, siendo muy necesarias para aumentar los rendimientos, adaptarse al flujo, recrear un ecosistema natural...(Bondia,2013). Otras funciones muy importantes serían los efectos físicos que tienen sobre el humedal, servir de superficie de crecimiento de la biopelícula, liberar sustancias, eliminar nutrientes, efectos físicos y airear la rizosfera (Piorno,2016).

La eliminación de nutrientes en general tiene unos rendimientos de eliminación del 25% del nitrógeno y un 10% de fósforo, el mayor problema es que estos contaminantes son asimilados por las plantas por lo que cuando mueran estas los contaminantes en su mayoría volverán a ser liberadas en el medio por lo que necesitamos cosechar y renovar las plantaciones(Bondia,2013).

La vegetación sirve como superficie de crecimiento para la biopelícula ya que los tallos y hojas sumergidas de los sistemas de flujo libre son un medio para el crecimiento de la biopelícula que sirve para eliminar contaminantes por lo que mayor vegetación irá ligada a un mayor rendimiento al igual que en los sistemas de flujo subsuperficial las raíces son el lugar donde crecerá esta biopelícula de bacterias mejorando la capacidad del sistema(Bondia,2013).

La liberación de sustancias por parte de la vegetación de compuestos orgánicos suponen entre el 5% y el 25% del carbono fijado fotosintéticamente al sistema y actúa como fuente

de carbono para otros seres como las bacterias desnitrificantes aumentando los números de comunidades bacterianas e incluso se han dado casos de plantas que liberan antibióticos al medio(Piorno,2016).

Los efectos físicos son claves en el desarrollo del sistema, ya que la vegetación ralentiza el flujo del agua aumentando así el tiempo de retención y la sedimentación de diversos tipos de materiales, es tal el crecimiento de las raíces que pueden favorecer la conductividad hidráulica creando canales. Por otro lado la vegetación genera su propia “microclima” protegiendo de viento y estabilizando la temperatura permitiendo que estos sistemas sigan funcionando en condiciones gélidas(Piorno,2016).

La aireación de la rizosfera es aumentada por parte de la vegetación ya que muchas plantas de humedales tienen la aerénquima que es un tejido tubular poroso que permite la aireación y el transporte de oxígeno a la rizosfera incrementando así el potencial redox del sustrato y por lo tanto pudiendo eliminar sustancias tóxicas con mayor eficacia. Pese a esto no aportan el suficiente oxígeno para la degradación de materia orgánica de la materia residual pero es un incentivo importante para el crecimiento de los seres microbianos del sistema(Piorno,2016)

Podemos diferenciar distintos tipos de vegetación en los humedales como macrófitas flotantes, vegetación emergente y vegetación sumergida.

Las macrófitas flotantes tienen una capacidad de absorción de nutrientes muy alta teniendo el jacinto de agua uno de los mayores rendimientos por (150 toneladas en seco/ha/año). Como tienen una alta productividad, una recolección muy sencilla ya que se hace en superficie y grandes contenidos de fósforo y nitrógeno en sus estructuras, son ideales para reducir nutrientes en las aguas residuales(Bondia,2013). Como tienen una tasa tan grande de crecimiento debemos hacer controles y recolecciones periódicamente, así los nutrientes asimilados no vuelven al humedal y mantenemos unas tasas de productividad muy altas (Bondia,2013).

Mencionar que la capacidad de sedimentación en zonas donde abundan estas plantas es muy alta, ya que reducen el flujo superficial del agua y por lo tanto favorecen que se depositen sedimentos, al cubrir casi toda la superficie dificultan el intercambio de oxígeno con el agua y al no filtrar luz no permiten desarrollos altos de algas en capas inferiores(Bondia,2013).

Las plantas emergentes son plantas que arraigan en terrenos inundados y que tienen el tallo y las hojas sobresaliendo de las masas de agua. Pueden tener rizomas muy extensos que cuando llegan a invierno muere la parte aérea (hojas) por lo que es recomendable su poda (Bondia,2013). Toleran condiciones anaerobias ya que al tener las raíces en zonas saturadas y encharcadas han desarrollado la aerénquima para facilitar la distribución de oxígeno en las zonas inferiores incrementando el potencial redox del suelo y permitiendo un mayor desarrollo de las raíces por lo que tendremos un tratamiento bacteriano mixto ya que contamos con zonas aerobias y anaerobias potenciando la migración también de nitrógeno debido a los procesos de nitrificación/desnitrificación(Bondia,2013).

Las plantas sumergidas son un tipo de vegetación cuyo cuerpo no sale de la lámina de agua y son hábitats ideales para especies como autóctonas como el fartet o el samaruc(Vallés, et, al,2016). En cuanto a propiedades para el sistema son muy sensibles a ciertos contaminantes como metales pesados sirviendo de bioindicadores, tienen una tasa de crecimiento alta por lo que absorben y fijan muy bien los nutrientes, liberan una gran cantidad de oxígeno en el agua sirviendo así para distintos procesos aerobios y como hábitat para bacterias que necesitan oxígeno además de limitar el desarrollo de fitoplancton(Vallés, et, al,2016).

Problemática actual

Gandia es una ciudad con una carga turística muy alta en época estival que viene en busca de playas de calidad. Esta actividad es la más importante en la zona siendo uno de los destinos más solicitados a nivel autonómico por lo que su población suele triplicar la que existe en invierno rozando las 250000 personas(Generalitat Valenciana)..

Este aumento desmedido de población genera una problemática con las aguas residuales a tratar puesto que la capacidad de la depuradora se ve excedida. La estación de aguas residuales tiene una capacidad máxima de tratamiento de unos 60.000 metros cúbicos al día, durante el año entra alrededor de 37.000 metros cúbicos al día que son de una población de 118.000 habitantes (EPSAR) por lo tanto al aumentar los litros que tienen que depurar los rendimientos de reducción de la Demanda Biológica de Oxígeno, la Demanda Química de Oxígeno y los Sólidos Suspendidos se reducen en gran cantidad debido a que debemos reducir el periodo de retención de esa agua y verterla con poco tratamiento ya que nos va a entrar nueva.

Los vertidos de esta agua generan una problemática en la desembocadura del Serpis debido a que el emisario es desbordado por la gran cantidad de agua que sueltan en temporada alta(suele ser del 15 de Julio al 15 de Agosto) llegando así una cantidad de materia orgánica al río que produce situaciones de eutrofización siendo además un foco de bacterias fecales(El País).

Además del impacto ambiental que puede tener sobre el área tiene un impacto socioeconómico sobre la zona muy fuerte debido a que su cierre por contaminación es habitual y ya ha sido “premiada” varios años por grupos ecologistas con la bandera negra junto a las peores playas de la Comunitat.

Gandia cierra la playa de Venecia por la mala calidad del agua

La bandera roja ondeará hasta que los análisis den como resultado un nivel aceptable en la calidad del agua

Ep/Levante-Emv.Com | 17.08.2016 | 16:21

"Desde hace años ha ondeado la bandera roja durante unos días en esta playa situada al lado de la desembocadura del río Serpis a causa de los problemas que presenta el emisario submarino y que la depuradora comarcal no tiene un tratamiento terciario, problemática que se agrava en el tramo final del Serpis por la falta de lluvias" señalan técnicos del ayuntamiento.
Fuente LEVANTE-EMV La Safor.

Como se puede observar este titular es en temporada estival y es algo que suele pasar muchos veranos y ha supuesto más de una vez la cancelación de reservas de hotel y la reducción de turismo en la zona siendo un mal aporte y una mala publicidad para la mayor actividad económica de la zona.

Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es proponer una solución ecológica a la problemática de aguas residuales que nos encontramos en verano en la cabecera del Serpis que puede afectar a la calidad de baño de las playas colindantes como la de Venecia debido al crecimiento de bacterias peligrosas para la salud (E.Coli) .

Para esto se propone el diseño de un humedal artificial ya que la problemática se da en los meses de mayor turismo veraniego que es cuando el rendimiento del sistema será más elevado. Mencionar también que es una solución de puesta en obra y de mantenimiento económica que aporta una gran cantidad de beneficios:

- Aumento de la biodiversidad de la zona añadiendo valor paisajístico al área ya que integramos un humedal artificial en zona de humedales naturales .
- Reducción del agua contaminada que llega al emisario submarino asimilando el exceso de nutrientes para favorecer la vegetación.
- Utilizar el agua del efluente para permitir un caudal continuo en la cabecera del Serpis o para otros usos como el riego.
- Zona de recreo y de educación ambiental para la población.
- Reutilización de esos nutrientes que pasarían de ser contaminantes a ser asimilados por el sistema generando biomasa que puede tener muchas funciones (generar energía, compostaje, bioconstrucción...).
- Creación de una zona verde que absorba CO2.

CAPÍTULO 2: MATERIAL Y MÉTODOS PROPUESTA HUMEDAL ARTIFICIAL

Materiales

Marco geográfico

Gandia es un municipio situado en la comarca de La Safor siendo la capita y un destino turístico muy importante teniendo este año y el pasado ratios de ocupación superiores al 95% siendo mayores que los de otra potencia como Benidorm(LAS PROVINCIAS,2018).

Cuenta con unos 61,5 km² de área y pueden diferenciarse tres zonas(Gen.Val):

- La zona centro que corresponde a la llanura aluvial del Serpis y es donde se encuentra el casco viejo de la ciudad.
- La zona Norte-Oeste que incluye la montaña Mondúver y es un área accidentada considerada superficie forestal.
- La zona Norte-Este que limita con Xeraco y da lugar al mar teniendo el puerto un poco más al Norte que la desembocadura del Serpis y una serie de marjales y lagunas antes más numerosas pero que han sido desecadas con el paso de los años y sustituidas por edificios.

Las zonas del interior tienen una mayor altitud llegando a su máxima en el Mondúver con 840 metros sin embargo la mayor parte de la población se concentra en la llanura no superando los 20 metros en la mayor parte de la zona siendo este núcleo serpentado por el río Serpis el cual desemboca en la playa de Venecia(Instituto Cartográfico Valenciano).

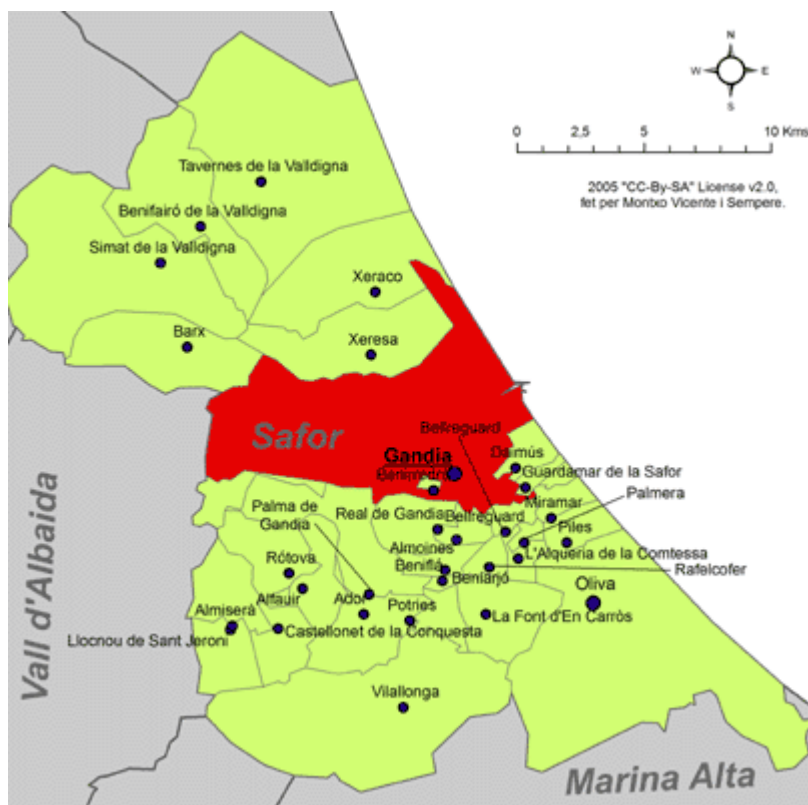


Figura 2.1 Localización de Gandia respecto la Safor (Martorell,2005).

Demografía

Según datos del último censo del instituto nacional de estadísticas Gandia contaba con una población de 76.497 habitantes. Sin embargo la ciudad aumenta su población llegando a las 180000 personas ya que la temporada de ocupación de octubre a marzo va en aumento año tras año(INE), en temporada estival es el momento de mayor población desde la segunda quincena de julio hasta la segunda quincena de agosto pudiendo llegar a las 250.000(INE).

1960	1970	1981	1991	2000	2007	2008	2014
24.176	41.984	48.494	52.000	59.123	77.421	79.958	76.497

Tabla 2.1 Evolución de la población de Gandia(INE, Censos de población desde 1842).

Climatología

Gandia tiene un clima mediterráneo de carácter húmedo con una gran humedad durante todo el año debido a su cercanía al mar. Tiene un periodo de lluvias muy marcado que se centra en los meses del otoño ocasionando el fenómeno llamado gota fría el cual provoca lluvias torrenciales que generan inundaciones siendo las zonas más afectadas las cercanas al río Serpis(Ajuntament de Gandia).

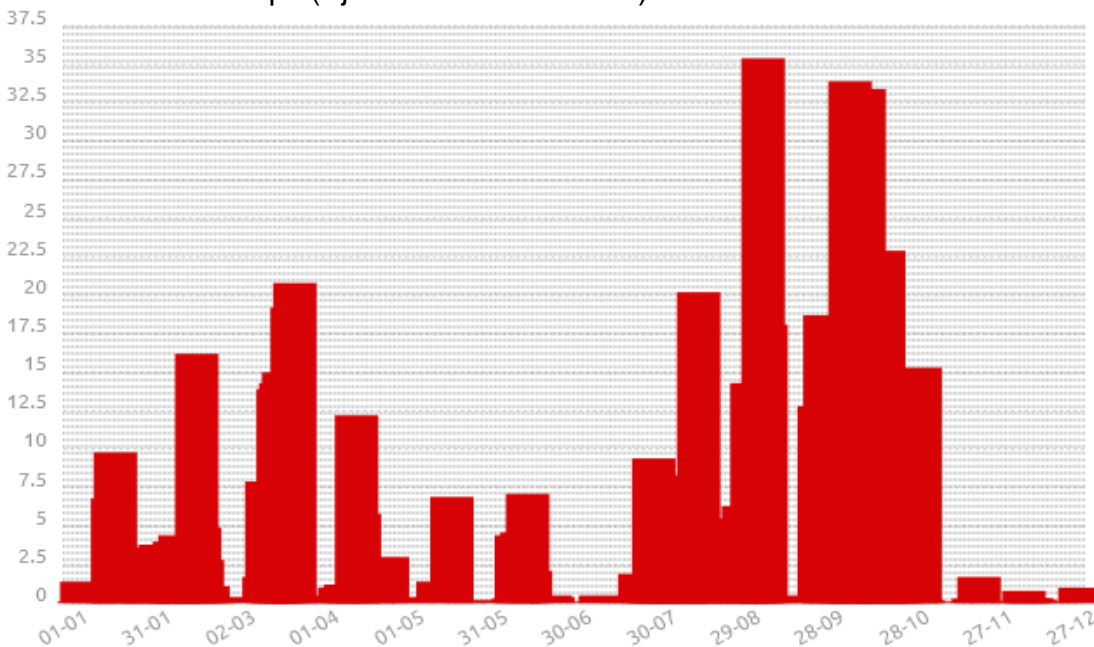


Figura 2.2 Representación de las precipitaciones en Gandia durante el año 2015 (El tiempo.org, datos Ajuntament Gandia).

Cuenta con un rango de temperaturas muy suave durante el invierno y un verano cálido siendo la temperatura media anual de unos 20°C. Los veranos tienen unas máximas que pueden pasar los 40°C pero la media suele oscilar sobre los 26°C mientras que las mínimas en invierno rara vez bajan de 5°C teniendo una media que oscila sobre los 14°C.

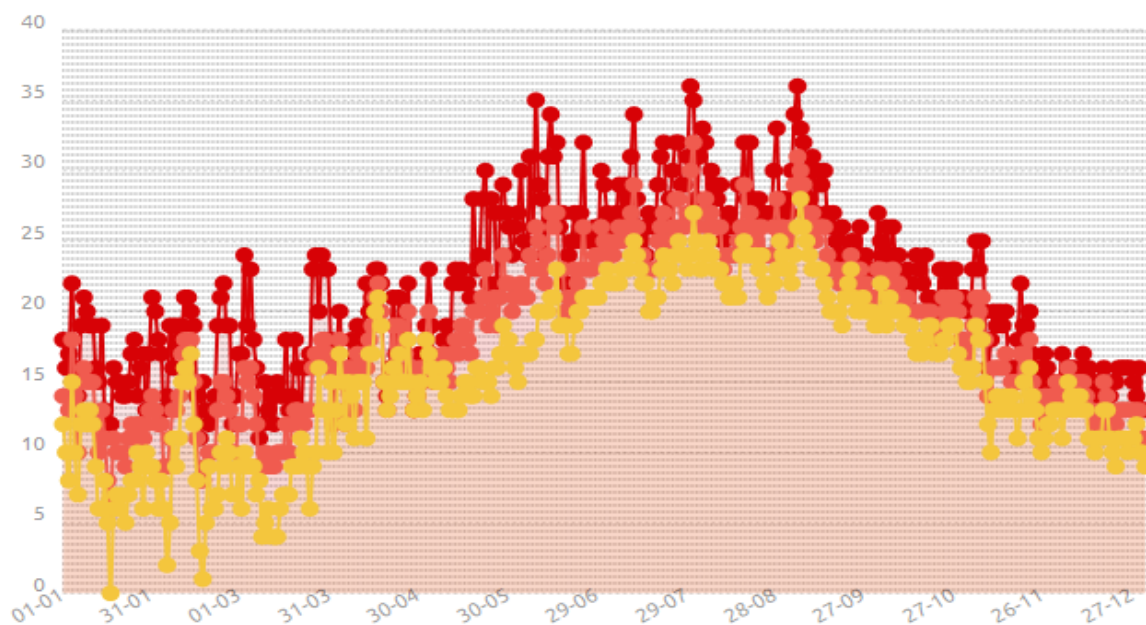


Figura 2.3 Representación de las temperaturas en Gandia durante el año 2016 (El tiempo.org, datos Ajuntament Gandia)

Rio Serpis

El Serpis es un río de corto recorrido con unos 74,5 km de longitud. Nace en la Sierra de Biscoi en el término municipal de Ibi entre los parques naturales de la Sierra de Mariola y la Font Roja. Cuenta con un caudal escaso que a veces queda seco en diferentes tramos del río, tiene un caudal muy irregular pues se caracteriza por crecidas fuertes y repentinas en otoño y bajadas en temporada estival, cuenta con un desnivel muy marcado durante la mayor parte del trayecto y su cuenca alberga 752,8km²(Pastor, et Julia,2013).

El Serpis pasa por poblaciones con un tejido industrial importante como Alcoi recibiendo una gran cantidad de residuos poblacionales e industriales siendo este tramo Alcoi-Concentaina muy contaminado pese a las instalaciones de depuración presentes. El río sigue su curso hasta llegar al embalse de Beniarrés finalizando así su tramo alto que cuenta con un desnivel total de 680 metros, una pendiente media del 2% y un sustrato de calcáreas y magras (Bosch, et, Pastor,2013).

Durante el tramo medio que discurre desde la presa de Beniarrés hasta la población de Villalonga la pendiente media se ve reducida hasta un 1,1% y cuenta con un desnivel de 240 metros. En esta parte el río es alimentado por acuíferos y aguas de escorrentía provenientes de barrancos encontrando una fuerza de erosión del agua elevada y un sustrato formado por materiales calcáreos y dolomías (Bosch, et, Pastor,2013).

El tramo bajo es donde se sitúa nuestra zona de estudio y más concretamente en los últimos dos kilómetros. Comienza en el municipio de Villalonga y desemboca en el Puerto de Gandia formando toda esta zona parte de una llanura de sedimentación cuaternaria por lo que la pendiente media no supera el 0,5% con un desnivel total de 80 metros predominando en su lecho sedimentos fluviales como arenas, limos y gravas. El río recibe nuevos aportes de su afluente el Vernissa, restos de agua de riego y aguas residuales de la mayor parte de la comarca de la Safor (Bosch, et, Pastor,2013).



Figura 2.4. Curso del río Serpis (Bosch, et, Pastor, 2013).

Cabe destacar que nos encontramos en una zona de altos valores paisajísticos, culturales y ecológicos puesto que la zona entre Alcoi y Gandia que cuenta con 50 kilómetros y 10.000 hectáreas ha sido declarada como Paisaje Protegido por la Conselleria de Infraestructuras y Medio Ambiente de la Comunitat el 13 de abril de 2007 (Bosch, et, Pastor,2013).

Sin embargo la zona de estudio situada en Gandia es un área muy alterada ya que estamos hablando de un lugar muy antropizado con altos grados de degradación en los ecosistemas previos. Esta degradación es provocada por las actividades agrícolas ya que hay extracciones de riego ilegales y el sistema de irrigación no es el apropiado, además la erosión es un factor a tener muy en cuenta ya que es una zona árida con poca cubierta vegetal y al tener una deforestación avanzada en el tramo alta se generan unos suelos muy degradados que el río va transportando hasta llegar a la zona baja. La mayor parte de vegetación son cultivos de cítricos y algunas zonas de matorral bajo y cañares cerca del río (Bosch, et, Pastor,2013).

Al ser un medio muy alterado encontramos especies muy oportunistas que aprovechan las características del entorno, al ser una zona rica en nitrógeno debido a los abonos de los campos encontramos una vegetación nitrófila que están muy ligadas al medio humano y sus cultivos (Bosch, et, Pastor, 2013). El 36% de las especies que habitan en la zona son alóctonas teniendo algunas carácter invasor ya que conquistan de una manera muy agresiva el cauce del río y bloquean su acceso (Bosch, et, Pastor, 2013). Esta zona del río suele sufrir inundaciones debido al régimen de estacionalidad estando la zona de estudio situada en un nivel de riesgo alto (1) un calado elevado superior a 0,8 metros y una frecuencia también alta teniendo episodios de desbordamiento muy fuertes en periodos de tiempo inferiores a 25 años (PATRICOVA).



Figura 2.5 Cauce típico del río Serpis en el tramo final (Bosch, et, Pastor, 2013).

El río en su tramo final queda sin corrientes de agua dando lugar a grandes zonas encharcadas con altos niveles de eutrofización pero en sus últimos mil metros se crea un ecosistema estuárico ya que el agua se adentra en grandes cantidades pero sin corriente teniendo los márgenes del río grandes rocas artificiales mayores de 50 cm de diámetro mientras que el lecho está formado por limos, arenas, gravas, guijarros y cantos rodados (Bosch, et, Pastor, 2013).

Playa Venecia-Marenys

El río Serpis desemboca al sur del puerto y da lugar a dos playas, la que está situada en el Norte es la playa de Venecia mientras que la que queda al Sur es la de Marenys. Estas playas tienen unas características especiales ya que al venir las corrientes en dirección Norte-Sur pero son bloqueadas por el puerto no dejando renovar el agua de la zona (Escrivà, 2013).

El puerto también es decisivo en los procesos de erosión ya que hay un aporte de sedimentos al Norte del puerto y siendo estas playas situadas en el Sur sometidas a procesos de erosión muy fuertes. También recibe aportes del puerto y el humedal que drenan diferentes acequias además de algunos sedimentos del Serpis (Escrivà, 2013).



Figura 2.6 Localización playa de Venecia en la desembocadura del Serpis (Google Earth).

Según las mediciones de Escrivà en 2013 donde compara tres playas de Gandia (Norte, Venecia y Marenys) destaca que en parámetros del agua la playa de Venecia ha dado los mayores resultados en cuanto a contaminantes como el amonio ($2,4 \mu\text{M}$), los nitritos ($0,72 \mu\text{M}$) y nitratos ($9,48 \mu\text{M}$) en la zona de profundidad que va desde 0,5 a 1 metro. Las concentraciones de silicio también fueron más altas allí ($9,48 \mu\text{M}$) en las zonas de menor profundidad a 1 metro y el fósforo tuvo un valor relativamente bajo pero superior a las otras playas ($1,82 \mu\text{M}$) (Escrivà, 2013).

Las zonas de Marenys y Venecia tienen una gran cantidad de limos y arcillas ya que las zonas más profundas al no ser influidas por el oleaje tienen una sedimentación aportada por el río por lo que encontramos valores de limos y arcillas de un 12% en Marenys y 15% en Venecia. También la playa de Venecia tiene una gran cantidad de gravas formadas en su mayor parte por conchas y restos orgánicos atrapadas debido al efecto barrera del puerto que genera una recirculación del agua incrementándose así el tiempo de recirculación (Rodilla et al, 2013).

La salinidad es inferior en la playa de Venecia debido al aporte del Serpis teniendo aportes de canales de riego que tienen derivados del fósforo debido a la fertilización de esa época y las descargas de la EDAR de Gandia que aumentan la producción primaria de la zona (Rodilla et al, 2013).

EDAR de Gandia

La planta de depuración de aguas residuales de Gandia al cargo de la empresa Laboratorios Tecnológicos de Levante está a la derecha de la CV-670 dirección Daimús. Tiene un caudal proyecto de 60000 (m³/diarios) y actualmente atiende a las poblaciones de Almoines, Beniflá, Gandia, Alqueria de la Comtessa, Piles, Real de Gandia, Bellreguard, Beniarjó, Benirredrá, Daimús, Guardamar de la Safor, La Font d'en Carrós, Miramar, Palmera, Potries, Rafelcofer y Villalonga sirviendo así a una población aproximada de 118.102 habitantes y atendiendo un caudal medio de 36.427 (m³/d) con unos rendimientos muy altos de eliminación de contaminantes Sólidos Suspensión: 95% Demanda Biológica Oxígeno: 96% Demanda Química Oxígeno : 90%(EPSAR).



Figura 2.7 Planta depuradora de Gandia entre el Serpis y la CV-670(EPSAR).

Las estaciones de aguas residuales están divididas entre una línea de agua y otra línea de fangos. La depuradora de Gandia cuenta con un pretratamiento, un tratamiento primario, un tratamiento secundario, un tratamiento terciario y la línea de fangos cuenta con un espesador, una digestión anaerobia y una deshidratación que se explican a continuación(López, 2017):

Durante el pretratamiento y el tratamiento primario retiramos en gran medida los sólidos en suspensión y contaminantes flotantes en el agua. En el caso de nuestra depuradora contamos con una reja de sólidos y un desbaste que elimina los sólidos mas grandes y que no son solubles en agua como las toallitas, pasamos a un desarenador donde eliminaremos sólidos en suspensión normalmente mediante la sedimentación y un desengrasador que elimina sólidos y líquidos con menor densidad que el agua y no son miscibles en ella, todos estos procesos son necesarios para aumentar la vida útil de la depuradora ya que los elementos anteriormente eliminados podrían dañarla(Rodríguez,2017).Por último tenemos un proceso de decantación que elimina cualquier sólido en suspensión de muy pequeño tamaño que pudiera quedar en el agua(Díaz,2015).

El tratamiento secundario es el que ataca a la fracción disuelta que contamina el agua(Díaz,2015). En este caso contamos con un reactor biológico que cuenta con unos fangos activos donde una serie de bacterias eliminan materia orgánica de manera aeróbica o anaeróbica(Rodríguez,2017) siendo este retroalimentado por los fangos que provienen del decantador, también se utiliza un físico-químico que mediante procesos de coagulación-floculación elimina las partículas microscópicas que no son capaces de sedimentar(Díaz,2015).

Como tratamiento terciario tenemos un proceso de cloración que elimina microorganismos patógenos y el efluente sobrante es mandado al emisario submarino (EPSAR).

La línea de fangos consiste en todos los residuos extraídos del agua por los tratamientos que hemos aplicado que más tarde serán utilizados para un aprovechamiento energético o agrícola(Rodríguez,2017). En este caso contamos con un espesador que reduce el volumen de agua que tiene el fango y aumenta su concentración de sólidos reduciendo su tamaño, un tanque de digestión anaerobia que permite destruir patógenos, obtener metano para combustible y reducir el volumen ocupado por los fangos y por último una deshidratación mecánica que cuenta con un tubo cilíndrico que gira y separa el líquido que es mandado de vuelta a los decantadores obteniendo un fango con mucha densidad y materia orgánica(Díaz,2015).

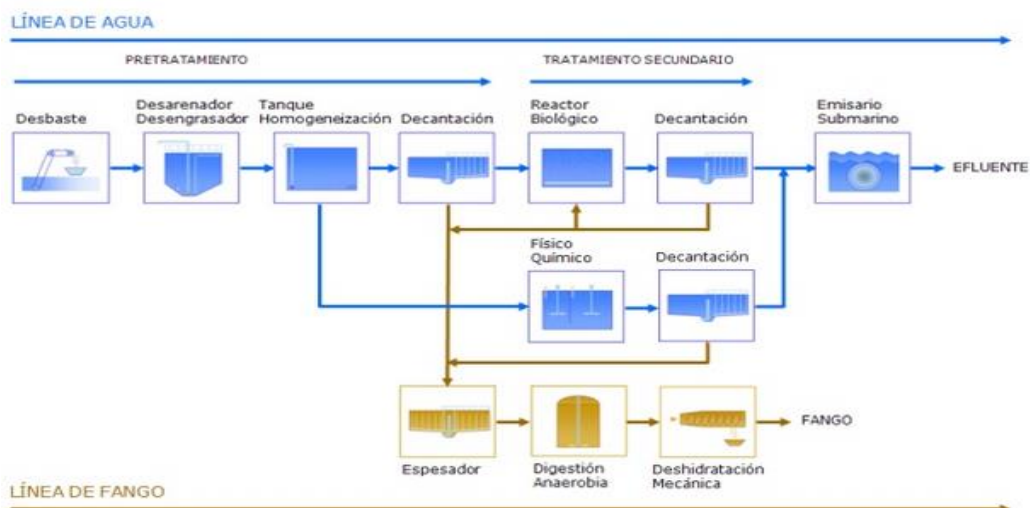


Figura 2.8 Diagrama de funcionamiento EDAR Gandia (EPSAR).

Descripción área construcción

La zona donde quedaría nuestro futuro filtro verde se sitúa al Sur de la planta depuradora de Gandia teniendo como límites el Serpis, la CV-670 y la CV-671. Se trata de una zona abandonada llena de matorrales y sin ningún aprovechamiento que causa un gran impacto visual en el área puesto que es una zona carente de vegetación en una zona rodeada de cultivos y en el margen de un río.

El área cuenta con unas 5 hectáreas aproximadamente que están alejadas de los núcleos poblacionales pudiendo así mitigar impactos negativos que puedan afectar a las personas como olores o inundaciones. Al ser un páramo abandonado causa un impacto visual negativo por lo que con la construcción de este humedal artificial dotamos al área propuesta de unos valores ecológicos, estéticos y una función medioambiental que nos servirá para reducir una problemática.



Figura 2.9. Zona propuesta para la construcción del humedal (Elaboración Propia).

Los usos del suelo según el Sistema de Ocupación del Suelo de España (SIOSE) nuestra zona propuesta cuenta con una parcela de 0,6 hectáreas en la parte Sur de la depuradora que es suelo no edificado mientras que las otras 4,6 hectáreas cuentan como pastizal o cultivos abandonados(ICV) y no hay ninguna construcción por lo que, reitero que la zona propuesta actualmente no tiene ningún aprovechamiento y se está desperdiciando un potencial aprovechamiento.

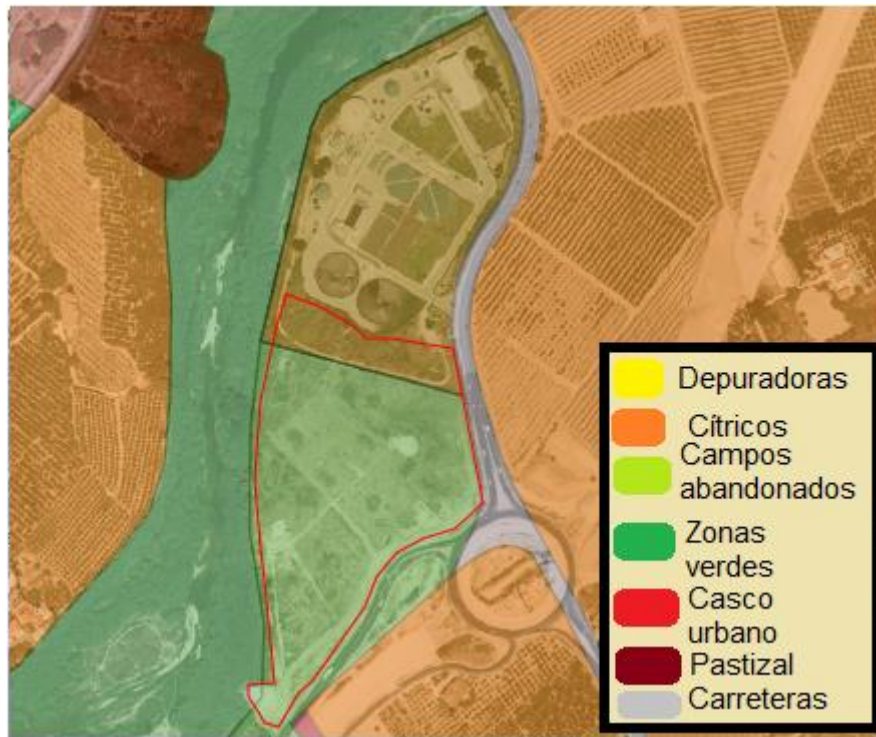


Figura 2.10. Usos del suelo de la zona propuesta (Elaboración Propia).

Según la clasificación del suelo estamos hablando de un suelo no urbanizable por lo tanto hablamos de un suelo incompatible con el desarrollo urbano para así poder garantizar la utilización racional del territorio teniendo como objetivo un modelo territorial sostenible (Departament Territori i Urbanisme Generalitat Catalunya).



Figura 2.11 Clasificación del suelo de la zona propuesta (Elaboración propia).

La zonificación del suelo nos muestra que en su mayor parte es un suelo rural común, por lo que puede ser utilizado para nuestra propuesta y convertido a dotacional convirtiéndolo en un suelo destinado a usos y servicios públicos (Departament de Territori i Urbanisme Generalitat de Catalunya).

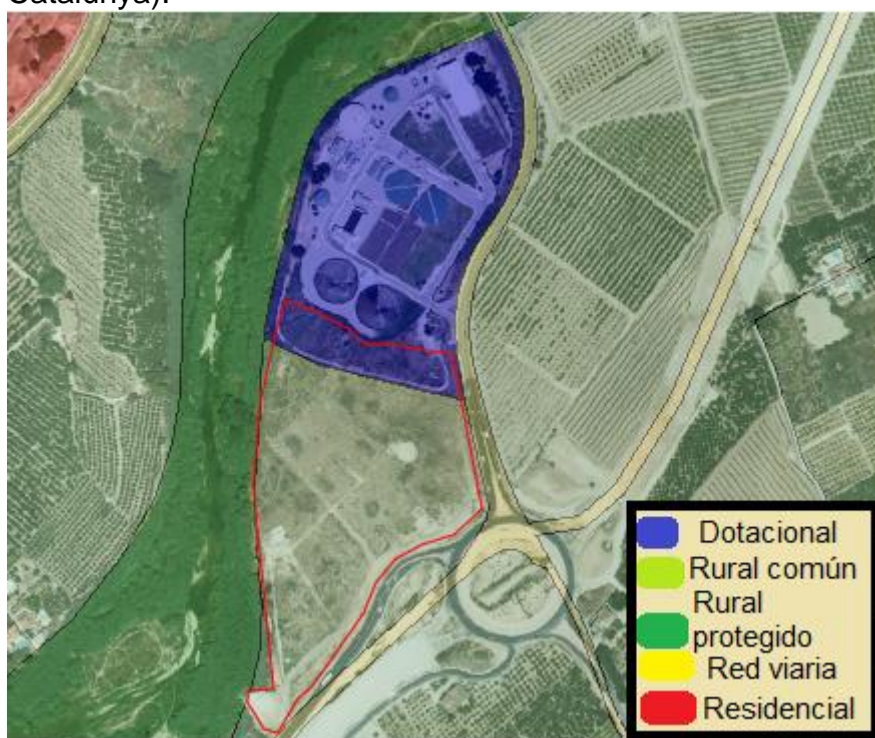


Figura 2.12. Zonificación del suelo de la zona propuesta (Elaboración propia).

La afección negativa más destacable que afecta a esta zona es su riesgo de inundación. El Serpis y su cauce como hemos visto anteriormente son muy irregulares sufriendo frecuentemente inundaciones. Como se puede ver en la imagen el Serpis tiene la más alta peligrosidad por inundación (Peligrosidad 1, Frecuencia alta y calado superior a 0,8 metros) haciendo que las zonas colindantes tengan riesgo de ser inundadas (ICV).



Figura 2.13. Peligrosidad por inundación de la zona propuesta (Elaboración Propia).

La zona cuenta con una figura de protección el “Paisaje Protegido del Serpis” declarado el año 2007 por el gobierno autonómico. Por lo que acciones como la que proponemos pueden ayudar a preservar los recursos biológicos (ICV).

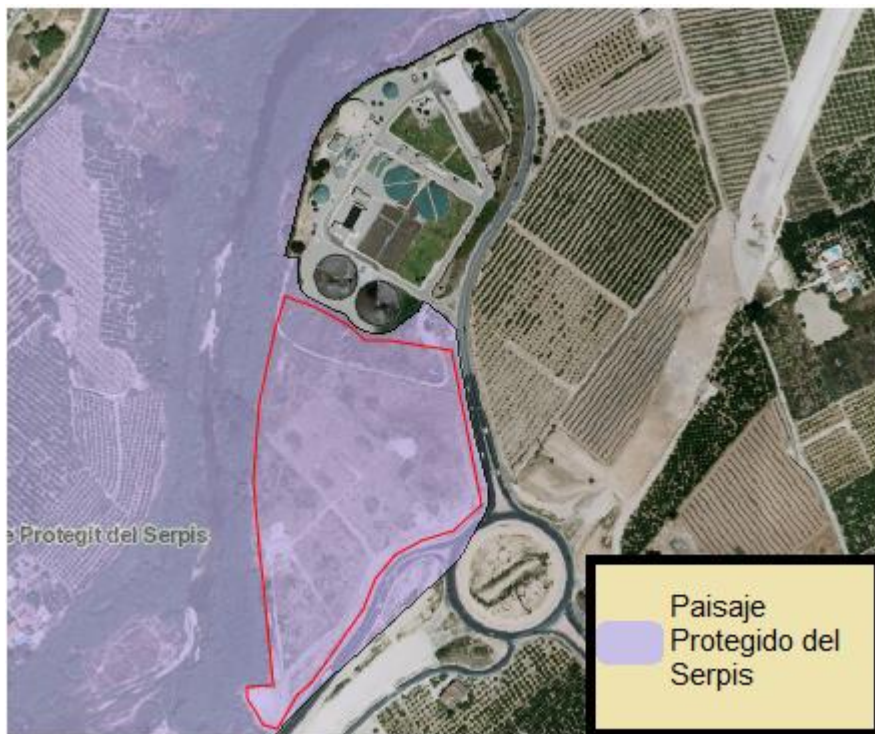


Figura 2.14. Figuras de protección de la zona propuesta (Elaboración Propia).

Metodología del diseño

En cuanto a la metodología primero hemos localizado el área mediante el Instituto Cartográfico Valenciano comprobando las características de nuestra zona propuesta son aceptables mediante ArcGis y el SIOSE. A la hora de diseñar el sistema se han utilizado los procesos descritos en el manual de García y Corzo (2008) *Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial* y Salas (2017) *Diseño, construcción y explotación de humedales artificiales en pequeños municipios*. Para la obtención del caudal se ha supuesto un consumo por encima de la media siendo 250 litros/hab./día y un aumento sustancial de la población hasta llegar a los 270.000 habitantes. Tras restar un 20% de agua total que suele quedar para riego de jardines se comprueba que existe un supuesto exceso de carga en la depuradora de 6.830.000 litros diarios, al carecer de datos se toman unos datos patrón de aguas residuales urbanas del manual, a esta agua se le resta un 30% de DBO puesto que en vez de diseñar un tanque Imhoff se utilizará el tratamiento primario de la depuradora, tras esto calculamos el tiempo de residencia que tendrá el agua contaminada en el sistema hasta que alcance los 25 mg/L de DBO que marca la normativa (Tabla 3.2).

$$\ln(C_i/C_e) = K_T \cdot t$$

- Tiempo residencia hidráulica

Tras realizar este cálculo se procedió a calcular la cantidad de agua que podemos tratar en nuestra zona propuesta ya que al ser una zona irregular no todo el terreno es aprovechable.

$$S = L \times A = \frac{Q \times \ln(C_i/C_e)}{K_T \times h \times \phi_s}$$

- Dimensionamiento biológico

Se realizan cálculos de superficie para distintos caudales y se descartan los que no quepan en nuestras 5,2 hectáreas de superficie.

- Ley de Darcy $Q = k_s \times A_s \times s$

- Área transversal $W = \frac{A_s}{h}$

- Longitud $L = \frac{S}{W}$

Por último se calculan las dimensiones de anchura y longitud de cada sistema, al ser una zona irregular y ser los humedales artificiales resultantes mucho más largos que anchos se elige el de máximo caudal que quepa en nuestra zona de estudio siendo este capaz de tratar 2000 metros cúbicos diarios con 85 metros de ancho y 265 metros de largo.

CAPÍTULO 3: DISEÑO Y RESULTADOS: CAPACIDAD, FUNCIONAMIENTO Y ALTERNATIVAS DEL SISTEMA

Diseño del sistema

Cantidad de agua residual

Normalmente se utilizan campañas de aforo que nos permiten tener acceso a caudales medios, dotaciones de agua residual y cargas contaminantes mediante un método volumétrico (García, et, Corzo, 2008) pero en este caso utilizaremos el método de caudales de abastecimiento teniendo en cuenta los datos de consumo por habitante y que de un 10% a un 20% se convierte en agua de riego en la mayoría de núcleos urbanos siendo este superior si hablamos de poblaciones con jardines (García, et, Corzo, 2008).

La propuesta debe ser efectiva con el exceso de agua que no pueda tratar la depuradora siendo la temporada crítica de afluencia de turismo del 15 Julio al 15 de Agosto, al carecer de datos de consumo de población en esa época hay que basarse en un supuesto teórico que será el de Barrera, 1999 (García, et, Corzo, 2008) que dota el consumo medio de poblaciones en Catalunya en unos 150 L/hab/día estando el 72% de su rango de muestreo entre los 80-250 L/hab/día. Al ser esta una situación teórica vamos a ponernos en una situación de exceso asumiendo que el consumo será de unos 250 L/hab/día.

La población actual que abastece a la depuradora es de aproximadamente 118.000 habitantes teniendo un caudal medio de 36.430 m³/d siendo el caudal proyecto de la depuradora de 60.000 metros cúbicos diarios (EPSAR). En situación de temporada alta se espera que la población de Gandia se puede triplicar siendo la actual de casi 75.000 habitantes (Ayun. Gandia), como se carecen de los datos de población durante ese mes se plantea el caso teórico de un incremento de 152.000 personas en toda la zona de servicio de nuestra depuradora de estudio haciendo un total de 270.000 personas.

Por lo tanto debemos calcular el caudal diario que gastan esos habitantes. Asumimos que esos 118.000 siguen consumiendo 36.430.000 litros diarios dando a 308 litros/habitante pese a ser una cantidad excesiva ya que el agua que llega a la depuradora no solo es consumo doméstico. Realizamos el cálculo de consumo de esos 152.000 nuevos habitantes multiplicando por 250 litros que consume cada uno dando un total de 38.000.000 de litros. Según J. García et A. Corzo, 2008 no toda el agua abastecida se convierte en agua residual ya que sobre un 20% se transforma en agua de riego para zonas verdes por lo que reduciremos un 20% el caudal añadido siendo 30.400.000 el caudal de agua residual producido por los nuevos habitantes. A continuación sumamos el caudal medio ya consumido (36.430.000) y el nuevo caudal añadido (30.400.000) percibiendo un total de 66.830.000 litros superando así los 60.000.000 de caudal proyecto de nuestra depuradora por lo que diseñaremos nuestro filtro verde para tratar máximas de 6.830.000 litros diarios.

Parámetros de las aguas residuales

Es necesario saber las cantidades de contaminantes del agua residual previamente al dimensionamiento del filtro nuestro diseño debe ir enfocado a la DBO, DQO y a la eliminación de nitrógeno total ya que como vimos anteriormente y se menciona en J. Escrivà, 2013 el fósforo tiene un valor bajo en las playas. Al carecer de datos utilizaremos unos datos patrón propuestos en J. García et A. Corzo, 2008 para municipios de Catalunya:

Parámetro	Concentración (mg/L)
MES	200
DBO ₅	280
DQO	600
Nitrógeno Total	50
Fósforo Total	12

Tabla 3.1. Parámetros de aguas residuales en municipios de Catalunya (García, et, Corzo, 2008).

Debemos tener en cuenta pues los parámetros deseados que debe tener el efluente que vienen dados por la directiva europea 91/271/CEE en sus artículos 4 y 5 (García, et, Corzo, 2008).

Parámetro	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción (1)
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅ a 20 °C) sin nitrificación (2)	25 mg/L	70-90
		40 de conformidad con el apartado 2 del artículo 4
Demanda química de oxígeno (DQO)	125 mg/L	75
	35 mg/l (3)	90 (3)
Total de sólidos en suspensión	35 de conformidad con el apartado 2 del artículo 4 (más de 10000 hab-eq)	90 de conformidad con el apartado 4 (más de 10000 hab-eq)
	60 de conformidad con el apartado 2 del artículo 4 (de 2000 a 10000 hab-eq)	70 de conformidad con el apartado 2 del artículo 4 (de 2000 a 10000 hab-eq)

Tabla 3.2. Parámetros del efluente de salida (García, et, Corzo, 2008).

Pese a que (3) es optativa es muy recomendable su cumplimiento puesto que supone una eliminación a su vez de DBO y DQO (García, et, Corzo, 2008) que necesitan un rendimiento de eliminación de 70%-90% para la DBO mientras que para la DQO debe de ser de un 75%.

Tratamiento previo

Es necesaria la aplicación de tratamientos previos en las aguas residuales que vayan al humedal ya que ponemos en peligro su funcionamiento pues pueden contener materiales que dañen las tuberías o que pueden obstruir los diferentes canales llegando a situaciones de colmatación y reduciendo así la vida útil del humedal(Salas,2017)

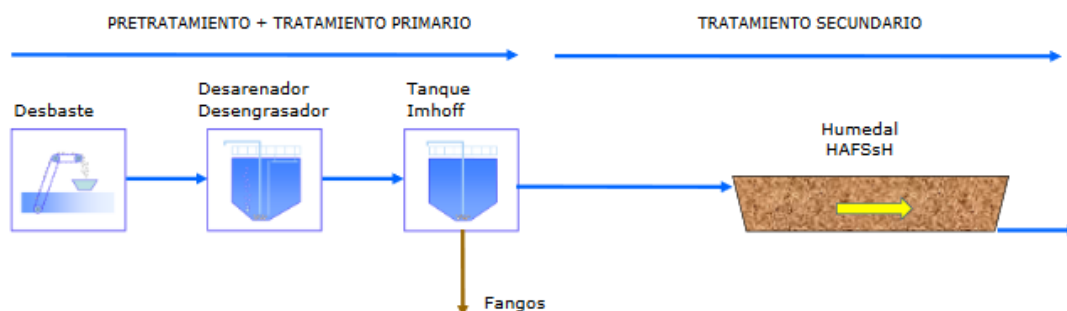


Figura 3.1. Posible línea de tratamiento de aguas residuales(EP SAR,2017).

Como los humedales artificiales están diseñados para ser diseños de bajo coste y con un gasto energético mínimo(García, et, Corzo,2008) utilizaremos el pretratamiento y el tratamiento primario de la EDAR de Gandia ya que no supone una carga de trabajo excesiva pero la opción de tener un tratamiento propio previo al humedal existe y será necesaria en el caso de que la demanda de agua suba. Este pretratamiento debería eliminar a parte de sólidos en suspensión alrededor de un 30% de la DBO(Salas,2017).

Dimensionamiento biológico

Para un correcto diseño tratamos a los humedales como sistemas que se comportan como reactores de flujo ideal en pistón en los que los contaminantes son degradados por modelos cinéticos de primer orden (García, et, Corzo,2008).

$$\ln (C_i / C_e) = K_T \cdot t \quad F.3-1$$

En esta fórmula viene dado el tiempo de residencia hidráulica siendo C_i la concentración inicial del influente (recordemos que no es el total pues ya ha sido reducido por el tratamiento físico), C_e la concentración que deseamos en el efluente y K_t la constante de reacción (Salas, 2017).

Temperatura (°C)	Valor de K_t	Superficie (m ²)	(m ² /h.e.)
4	0,43	2.005	4,3
10	0,62	1.390	3,0
15	0,82	1.051	2,3
20	1,10	780	1,7

Tabla 3.3. Valores constante K_t en función de la temperatura (Salas, 2017).

La constante K_t depende de la temperatura por lo que dimensionaremos nuestro humedal para el mes de uso eligiendo una temperatura de 20 grados y por ello la constante K_t tendrá un valor de 1,10.

Despejamos F3.1 $\ln(C_i/C_e) = K_t \times t$ obteniendo $\ln(196/25) = 1,1 \times t$ dando como resultado 1,83 días de retención hidráulica.

$$S = L \times A = \frac{Q \times \ln(C_i / C_e)}{K_T \times h \times \phi_s}$$

F.3.2

La obtención de la superficie necesaria viene precedida por F3.2 (Salas, 2017) en la que C_i significa la concentración del caudal influente y C_e la deseada en el caudal efluente, K_t es la constante de reacción, h la altura del humedal, Q el caudal de alimentación y ϕ_s la porosidad del medio elegido.

En nuestro caso planteamos un humedal de flujo subsuperficial por lo que la profundidad debe ser de 0,4 a 0,6 metros (Salas, 2017). El dimensionamiento lo realizamos a partir de la DBO ya que así el sistema servirá para eliminar materia en suspensión y rangos de eliminación del nitrógeno de entre un 30% a un 60% (García, et, Corzo, 2008). La porosidad viene dada en humedales de flujo superficial por el rango de desarrollo de la vegetación (Salas, 2017) mientras que en los humedales subsuperficiales viene dado por el material que utilizamos dando diferentes rangos expuestos en la siguiente tabla (García, et, Corzo, 2008):

Tipo de substrato	Tamaño efectivo D_{10} (mm)	Porosidad (%)
Arenas graduadas	2	28-32
Arenas gravosas	8	30-35
Gravas finas	16	35-38
Gravas medianas	32	36-40
Rocas pequeñas	128	38-45

Tabla 3.4. Porosidad según el tipo de substrato (García, et, Corzo, 2008).

Con los anteriores datos despejamos F.3.2 $S = L \times A = (Q \times \ln(C_i/C_e)) / K_t \times h \times \phi$

Siendo el caudal elegido de 2500 m³/d tratando así un 37% del agua en esa situación límite, la profundidad de 0,6 metros y la porosidad de un 35%. $S = (2500 \times \ln(196/25)) / (1,1 \times 0,6 \times 0,35)$ dando un total de 22286 m².

Dimensionamiento hidráulico

Con el dimensionamiento hidráulico podemos calcular la amplitud y la longitud de nuestro sistema utilizando la Ley de Darcy que en un medio poroso viene dada por la siguiente ecuación(García, et, Corzo,2008):

$$Q = k_s \times A_s \times s$$

F 3.3

Siendo Q el caudal máximo de alimentación, A_s la sección perpendicular del humedal con la dirección del flujo, S la pendiente del humedal tomando como norma general un 1% ya que la subida al 2% suele aumentar mucho los costes de obra (García, et, Corzo,2008) y K_s la conductividad hidráulica del medio filtrante que viene dada por la siguiente tabla:

Tipo de medio	Tamaño efectivo d ₁₀ [*] (mm)	Porosidad (p _s)	Conductividad hidráulica (m/d)
Arena media	1	0,30	492
Arena gruesa	2	0,32	984
Arena pedregosa	8	0,35	4.920
Grava mediana	32	0,40	9.840
Grava gruesa	128	0,45	98.400

Tabla 3.5 Porosidad y conductividad hidráulica (Salas,2017).

Por lo que despejando F.3.3 $Q = K_s \times A_s \times s$ teniendo una conductividad hidráulica de 4920 obtenemos $A_s = 2500 / (4920 \times 0,01)$ dando un área transversal (A_s) de 50,81 m².

$$W = \frac{A_s}{h}$$

F.3.4.

Aplicando el área transversal en esta fórmula obtendremos el ancho del sistema (W) siendo h la altura del sistema: $W = A_s / h$ $W = 50,81 / 0,6$ dando una amplitud necesaria de 84,7 metros. Usaremos 85.

$$L = \frac{S}{W}$$

F.3.5.

Finalmente calculamos la longitud (L) dividiendo la superficie entre la amplitud. $L = S / W$ siendo $L = 26743 / 84,7$ dando una longitud de 263,11 metros. Usaremos 265.

Teniendo el terreno disponible citado en el capítulo 2 la disposición de nuestro humedal artificial será la siguiente:



Figura 3.2 Disposición final del humedal artificial (Elaboración propia).

Plantas seleccionadas

Para la elección de plantas debemos tener una serie de factores limitantes (Bondia,2013):

- Temperatura
- Superficie total del humedal
- Tipo de humedal
- Profundidad lámina de agua
- Evolución de los rizomas
- Tipo de sustrato
- Composición del agua a tratar
- Poda, protección plagas y demás tratamientos específicos de cada planta.

Con esos principios como base cabe añadir otros que pueden ser muy recomendables en su cumplimiento (Bondia,2013):

- Deben poseer una gran capacidad de aireación y oxigenación del suelo debido a la aerénquima u otros sistemas, facilitando así los procesos aeróbicos y la nitrificación.
- Contar con el mayor crecimiento posible en poco tiempo ya que así se favorece la asimilación de nutrientes.
- Poseer unos rizomas de gran longitud ya que así favorecemos el crecimiento de la biopelícula en la planta.

- Plantas a ser posibles autóctonas ya que así favoreceremos una integración paisajística, estarán adaptadas al clima local, tolerando posibles plagas y enfermedades de la zona.

En caso de introducir una especie foránea se debe llevar un control exhaustivo para que esta no se expanda a otros lugares.

Existen dos especies ampliamente utilizadas y que pueden servir para nuestro propósito la Typha angustifolia.(Enea) y el Phragmites australis (Carrizo).

El Carrizo es una planta anual de gran altura alcanzando de 1,8 a 4 metros y con una inflorescencia en la punta en forma de espigas desde Julio a Octubre. Tiene una penetración alta del sustrato ya que sus raíces pueden llegar hasta los 45cm de profundidad facilitando la oxigenación de todo el sistema subsuperficial(Bondia,2013).

Cuenta con un rango de desarrollo en temperaturas de 12–33 C°, siendo el rango de germinación de 10-30 C°, capaz de resistir rangos de pH de 2-8 y altas concentraciones de sales(Ariño,2013).Es una planta perenne con un desarrollo anual siendo en abril cuando brotan los rizomas y sobre julio comienza la floración produciéndose la senescencia de la parte aérea de las plantas durante los meses más fríos. Tiene una gran adaptación a aguas contaminadas con alta carga orgánica por lo que es ampliamente utilizado en humedales artificiales, siendo resistente y un buen oxigenador del sustrato(Ariño,2013). Tiene una gran producción de biomasa por lo que es conveniente hacer cosechados periódicos para que no haya una recirculación de nitrógeno al humedal (Ariño,2013).



Figura 3.3. Carrizo en un humedal (Plants for ponds).

La enea es una planta de rápido desarrollo que llega a los dos metros de altura con unas inflorescencias muy características en forma de tubo. Esta planta puede crecer en ambientes salinos o con aguas alteradas, con posibilidad de vivir en climas templados o templados fríos desarrollándose en temperaturas de 10-30 C°(Ariño,2013).

Cuenta con un ciclo anual en el que la planta brota de los rizomas a finales de primavera creciendo en verano un tallo aéreo con las inflorescencias secándose toda la parte emergente durante otoño.(Ariño,2013).

Genera sistemas radiculares muy amplios pero no llegan a profundizar demasiado ya que no suelen sobrepasar los 30cm por lo que no es tan eficaz como otras especies aportando

oxígeno a las zonas más profundas(Bondia,2013) pero puede alcanzar rendimientos de extracción de 180g N/m² (Ariño,2013).

Se recomienda un corte anual durante la época de descanso de la planta siendo esta los meses más fríos. Si este corte se realiza en periodos anteriores es probable que el almacenamiento de nutrientes dentro de los rizomas no sea el suficiente por lo que se comprometería el crecimiento de la planta en la próxima temporada(Ariño,2013).

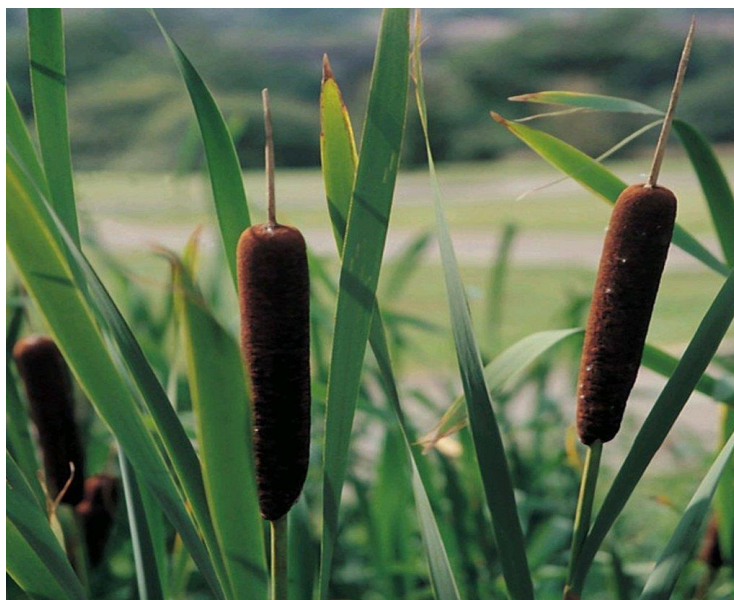


Figura 3.4 *Typha angustifolia* (Plants for ponds).

Ambas especies son utilizadas en la mayor parte de los humedales artificiales, el monocultivo es la forma más extendida de explotación por ser simple y no entrar diferentes especies en competencia, sin embargo en caso de enfermedad o plaga es fácil que esta se extienda afectando a todo el sistema mientras que siendo diferentes cultivos la resistencia general del cultivo aumenta (Ariño,2013).

Pese a este último punto la elección más indicada para nuestro sistema es el monocultivo de Carrizo ya que cuenta con un sistema radicular más profundo que la enea por lo que favorece la oxigenación de las partes profundas del sistema.

Es difícil conocer la capacidad de absorción de nitrógeno que tendrían nuestras plantas en el sistema ya que hay muchos factores que las pueden alterar. Desde la cantidad de nutrientes en el agua, el rango de temperaturas, la incidencia solar (Ariño, 2013)... Indiferentemente del rendimiento los humedales artificiales de flujo subsuperficial eliminan entre un 40% a 60% de nitrógeno siempre y cuando la lámina de agua sea más profunda de 0,3 metros (García, et, Corzo, 2008).

Humedal artificial	Tipo agua entrada	Vegetación	Concentración N (g N/m ²)	Referencia
Michigan, EE.UU.	Secundario EDAR	<i>Typha latifolia</i>	46,2	-
Kentucky, EE.UU.	Primario EDAR	<i>Typha latifolia</i>	112,04	Pullin and Hammer (1989)
Nueva Zelanda	Primario EDAR	<i>Scirpus validus</i>	53,0	Tanner (2001)
Kentucky, EE.UU	Primario EDAR	<i>Scirpus validus</i>	47,0	Pullin and Hammer (1989)
Kentucky, EE.UU	Primario EDAR	<i>Scirpus validus</i>	64,8	Pullin and Hammer (1989)
Brisbane, Australia	Secundario EDAR	<i>Phragmites australis</i>	50,4	Greenway (2002)
Netherlands	Primario EDAR	<i>Phragmites australis</i>	110	Mueleman et al. (2002)
New York, EE.UU	Primario EDAR	<i>Phragmites australis</i>	216	Peverly et al. (1993)

Tabla 3.6. Recopilación de rendimientos de vegetación en diferentes situaciones (Ariño, 2013).

Gestión y mantenimiento

Puesta en marcha

Los sistemas son consolidados como funcionales cuando las plantas están adaptadas y tienen ya un crecimiento importante siendo esto alrededor del año mientras que el sistema de bacterias que son las que degradan la mayor cantidad de los contaminantes suelen tardar de 3 a 6 meses en estar a pleno rendimiento (García, et, Corzo,2008).

A partir de la plantación es conveniente seguir una serie de consejos para prevenir contratiempos (García, et, Corzo, 2008):

- Es necesario que el nivel del agua aflore sobre unos 2 centímetros por encima de la superficie e ir alternando periodos de estancamiento y de ausencia de agua superficial ya que así no permitimos que afloren malas hierbas al inundar y prevenimos la aparición de insectos al secar la zona.
- Es de vital importancia que no se desarrollen especies de plantas externas a nuestro sistema dentro de él, el viento puede traer semillas durante el proceso de plantación

además durante la inundación pueden crecer filamentosas o lenteja de agua por lo que se debe vigilar y retirar manualmente si aparecen.

- Es posible que algunas especies como los conejos se alimenten de nuestras plantas. En caso de que esto ocurra en meses como septiembre o marzo puede ser catastrófico para la puesta a punto de nuestro humedal puesto que la vegetación no tiene la suficiente velocidad de crecimiento para recuperar las pérdidas por lo que hay que obstaculizar el acceso a la zona ya sea encharcando el sistema a más de 10 centímetros o con un cercado que rodee el perímetro y no permita acceder excavando.

Mantenimiento

Uno de los mayores problemas que sufren los sistemas de flujo subsuperficial es la colmatación. En un principio no debería existir en sistemas que han sido correctamente diseñados apareciendo solamente en el final de su vida útil (García, et, Corzo, 2008).

Sin embargo podemos encontrarnos situaciones en las que la carga de los contaminantes sea mucho más alta que la estimada o que haya una acumulación de los restos vegetales reduciéndose así los espacios intersticiales del medio, provocando obstrucciones que llevan a encharcamientos en la superficie y una reducción del rendimiento del sistema (García, et, Corzo, 2008).

Existen diferentes soluciones a este problema, la sustitución del medio filtrante por uno nuevo en el caso de que se formen encharcamientos (García, et, Corzo, 2008) siendo esta una opción aplicable en nuestro caso debido a que al estar planteado para una estacionalidad el nuevo medio volvería a estar listo para la temporada siguiente, otra opción es la creación de fosas sépticas que almacene los fangos creados a partir de esa materia orgánica pudiendo ser reutilizados para otra función (Salas, 2017).

Para que la anteriormente mencionada colmatación no aparezca es importante implementar un programa de vigilancia en el que se revise de manera semanal los rendimientos de eliminación de sólidos en suspensión del pretratamiento y el tratamiento primario (García, et, Corzo, 2008).

Al mismo tiempo es importante una revisión general del sistema de vertido manteniéndolo limpio y libre de obturaciones además de comprobar que el agua fluya completamente por todo el sistema alcanzando todas las celdas. A su vez hay que vigilar que el nivel del agua llegue a las raíces de las plantas por lo que este se deberá mantener a unos 5 centímetros de la superficie granulada (García, et, Corzo, 2008).

La vegetación requiere mantenimiento ya que al ser un sistema cíclico estas plantas secan su parte aérea sobre noviembre por lo que al descomponerse pueden recircular los

nutrientes al sistema o pueden obstruir el material granulado acelerando el proceso de colmatación (García, et, Corzo, 2008).

Las mejores fechas para segar son los meses fríos ya que la siega es mucho más sencilla y barata, las plantas se encuentran en parada vegetativa por lo que al estar secas tienen menor biomasa que en otras épocas del año en las que almacenan agua (Avivar, 2016).

Este proceso se realizará con maquinaria ligera que cortará la parte aérea pero en las zonas próximas a los taludes de las celdas debemos realizar una siega manual ya que la maquinaria podría dañar la lámina impermeable (García, et, Corzo, 2008).

Aprovechamiento de la biomasa

Normalmente la biomasa producida por estos espacios era considerada como un residuo sin valor alguno que era combustionado pero últimamente se le está dotando de utilidades como la valorización energética. Hay que tener en cuenta las fechas de siega ya que el producto que obtendremos será muy diferente, mientras que en invierno obtenemos un producto seco que será muy útil en bioconstrucción mientras que si segamos a principios de primavera obtendremos un producto rico en agua ideal para producir biogás (Avivar, et, al, 2016).

Existen distintos aprovechamientos de la biomasa vegetal:

- El cultivo de setas es una opción viable, la materia vegetal extraída de un filtro verde es mezclada al 50% con un sustrato corriente aumentando en más del 100% los rendimientos alcanzados por los cultivos de *P.Pulmonarius* y *P.Sajor* (Rodríguez, 2009) por lo que se puede considerar un abono de gran calidad.
- El compostaje resulta del proceso natural de descomposición de seres vivos, siendo este un proceso aeróbico. Debe tener unas condiciones de oxígeno y humedad exactas para no generar subproductos como el metano (Avivar, et, al, 2016). También es posible el lombricompostaje en el que utilizamos lombrices que transforman esa materia orgánica en un abono de calidad, produciendo a su vez lombrices que pueden ser comercializadas como alimento de animales, producto de pesca...(Rodríguez,2009).
- La producción de envases es posible. La empresa Contrerina S.L. utiliza la biomasa vegetal de la paja del arroz y de diferentes residuos de podas para formar una pasta moldeable y transformarla en envases que estos a su vez pueden ser reciclados para formar nuevos envases o para productos de papel, además de ser biodegradables por lo que si alguno se descompone en la naturaleza sería rápido y sin generar impactos negativos(Avivar, et, al, 2016).
- La bioconstrucción intenta aprovechar materiales de origen vegetal para la construcción de casas, muebles, etc. El carrizo es muy utilizado para cubrir tejados

en los países del norte como Alemania o Dinamarca siendo el carrizo obtenido por los humedales artificiales de muy buena calidad gracias a su gran cantidad de nutrientes (Avivar, et, al, 2016).

- La digestión anaerobia tiene como objetivo producir energía a partir de los productos formados en la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno (siendo en su mayoría metano). La mayor parte de las depuradoras cuentan con un digestor anaeróbico que aprovecha el biogás producido en la digestión de fangos para generar electricidad gracias a unos motores de combustión interna (Avivar, et, al, 2016).
- La combustión suele ser la última alternativa, la materia vegetal que tenemos es mezclada con otra y transformada para producir pellets que tienen un poder calorífico alto por lo que producirán mucha energía. Destacar que la incineración de nuestra biomasa vegetal sin valorización energética está prohibida (Avivar, et, al, 2016).
- El acolchado o mulching se basa en colocar una cubierta protectora encima del suelo modificando así los efectos del clima local. El objetivo es retener el calor del suelo, preservar la humedad, aumentar el proceso de nitrificación, reducir la erosión de nuestro suelo o la posible propagación de malas hierbas. Esta actividad se realiza en campos de cultivo, áreas naturales y en procesos de reforestación.

Cabe destacar que la elección final dependerá de la fecha de siega ya que el material que obtendremos cambiará mucho. Nuestra siega podría estar propuesta sobre principios de septiembre ya que así ha pasado la temporada de turismo reduciéndose la carga sobre la depuradora, obteniendo así un material rico en nutrientes y con gran concentración de humedad. Nuestra biomasa tendrá usos puntuales ya que no es obtenida de manera continua por lo que el mulching es una opción muy interesante ya que el fin de la temporada de incendios coincide con el fin del verano por lo que nuestro material estará listo para las primeras fases del proceso de reforestación evitando la erosión del suelo y añadiendo nutrientes, siendo lo ideal aplicarse a zonas cercanas como el incendio de este año de Lutxent. Como segunda opción se puede utilizar para producir compost, al ser obtenido de manera puntual no vale la pena fabricar nuestro propio compost por lo que lo ideal sería transportarlo a la planta de TRAMAVE S.L. en Picassent donde transforman la materia vegetal en compost siendo esta planta utilizada ya para la masa vegetal de los humedales Pipa, Milia e Illa del proyecto Life Albufera.

Resumen resultados obtenidos

Se ha supuesto que la población a la que abastece la depuradora de Gandia ha aumentado en 152.000 personas alcanzando los 270.000 habitantes. En este supuesto los nuevos habitantes consumen 250 litros/persona diariamente, tras restar las pérdidas por riego de jardín se calcula que la capacidad de la depuradora es excedida en unos 6.830.000 litros diariamente, generando problemas al no poder ser correctamente depurada, por ello se diseña un humedal artificial en una zona abandonada complementaria a la depuradora que ocupa 22286 m² utilizando 85 metros de ancho y 265

metros de largo teniendo una capacidad de tratamiento de 2.500m³ diarios tratándo así un 36,6% del supuesto exceso de agua. El tiempo de residencia hidráulica es de 1 día y 21 horas entrando una DBO de 280 mg/L que es reducida a 196 mg/L durante el pretratamiento y tratamiento primario de la depuradora y saliendo del filtro verde con una concentración de 25 mg/L reduciendo así el sistema en un 91,1% la DBO inicial.

Propuesta de alternativas y elección de la mejor alternativa en función de los factores económicos, técnicos y ambientales

La principal idea de la propuesta es dotar a la zona Sur aledaña a la depuradora de una utilidad práctica ya que el terreno ahora mismo está desaprovechado. Debido a las características de los filtros verdes obtenemos sistemas mucho más largos que anchos, esto nos reduce mucho el terreno que podemos utilizar de la zona al ser irregular, sin embargo esta longitud viene dada entre otras cosas por la carga de DBO que hemos supuesto que al ser alta nos da un sistema largo por lo que una alternativa sería tomar muestras para saber la DBO de entrada pudiendo así necesitar menos tiempo de residencia hidráulica y por lo tanto una longitud menor facilitando así un mayor aprovechamiento de la zona.

En el caso que nuestro supuesto teórico se cumpla necesitaríamos otra área más para poder tratar toda la carga extra (6830 metros cúbicos) ya que en la zona propuesta alcanzamos los 2000 metros cúbicos. Se ha diseñado siguiendo los pasos anteriores otro filtro verde supletorio en frente de la depuradora en unos terrenos de cultivo que algunos ya han sido expropiados para la construcción de una nueva carretera, facilitando así la expropiación en caso de ser necesaria, este filtro contaría con una superficie de 4,46 ha siendo unos 170 metros de ancho y unos 265 metros de largo discurriendo en paralelo a la nueva carretera y teniendo una capacidad diaria de 5000 metros cúbicos del agua con las condiciones teóricas nombradas en la Tabla 3.1.



Figura 3.5 Disposición de ambos humedales en caso de necesitar 7000 metros cúbicos de capacidad (Elaboración propia).

CAPÍTULO 4 : CONCLUSIONES.

Como hemos podido comprobar cualquier actividad humana puede tener un efecto negativo sobre el medio que la rodea. En este caso comprobamos como un exceso de agua no puede ser depurado adecuadamente y genera unos impactos en las playas que pueden afectar económicamente al municipio, siendo el objetivo de la propuesta remediar esa problemática.

La dinámica actual es pensar en los sistemas de depuración como los mastodontes de cemento que situamos a las afueras de las ciudades para no generar impactos visuales o molestias de olores, otra idea que tenemos muy generalizada en España es que los filtros verdes tan solo sirven para poblaciones pequeñas ya que no tienen capacidad suficiente. Esta visión actualmente está cambiando.

En el año 2011 en Omán se completó un filtro verde de 2.35km² capaz de tratar 45,000m³ diariamente, tras esto en 2014 se amplió la superficie abarcando unos 10.5km² pudiendo tratar unos 115,000m³ diariamente, en la actualidad hay planteado un aumento de capacidad para llegar a los 175,000m³ siendo este un proyecto gargantuesco que reduce la concentración de hidrocarburos en el agua a 0,5 ppm sin la utilización de químicos o de electricidad (KHL International Construction, 2017).

En nuestro país normalmente estaban planteados para pequeñas poblaciones rurales pero en los últimos años hemos desarrollado humedales de grandes dimensiones. El proyecto LIFE Albufera de humedales fue galardonado este año con el título BEST LIFE por la unión europea ya que demuestra que pueden servir para depurar las aguas, extender los hábitats y fomentar la biodiversidad, tratándose de tres humedales el Tancat de la Pipa con 8,92 ha, el Tancat de Milia con 19 ha (sumando ambos sectores) y el Tancat de l'Illa con 9,2 ha (sumando ambos sectores) (Vallés, et, al, 2016). Mientras que hay un proyecto para depurar las aguas que llegan al mar Menor en Murcia que utilizará un humedal artificial siendo su primera fase de 9 ha y tratando 62 litros/segundo de momento.

Con todos estos ejemplos podemos demostrar que estos sistemas funcionan. Teniendo claro que, estas tecnologías extensivas al principio pueden tener un coste similar al del convencional pero que este se amortiza en poco tiempo debido al nulo coste energético y poco coste de mantenimiento. Además de tener una serie de ventajas como no generar impacto visual, reducir la huella de carbono, generar subproductos para otros usos y un aumento de la biodiversidad.

Es por todos estos motivos por los que creemos que nuestra propuesta de filtro verde subsuperficial es adecuada para resolver la problemática ya que además de resolverla aporta beneficios ecosistémicos a suelos que actualmente no tienen valor.

Un siguiente paso a proponer sería comprobar el exceso de agua que tenemos en la depuradora durante la temporada alta, realizar mediciones de parámetros de agua en la entrada de la depuradora durante el periodo de 15 julio a 15 de agosto y un experimento a pequeña escala para comprobar la reducción de nitrógeno que podría tener el carrizo en las condiciones de la zona. Con estas medidas podremos mejorar el diseño de nuestros

sistemas ya que contaremos con datos precisos y no con supuestos teóricos realizados con referencias bibliográficas.



Figura 4.1 Mayor humedal artificial del mundo en Omán (KHL International Construction,2017).



Figura 4.2 Tancat de la Pipa (Vallés, et, al, 2016).

BIBLIOGRAFÍA

- ARIÑO, F. J. B. (2014). *Estudio de la vegetación en el humedal artificial Tancat de la Pipa y en el filtro verde V-30: determinación de la biomasa vegetal y su contenido nutritivo, evaluación de la velocidad de crecimiento y asimilación de nutrientes*. Valencia. Universitat Politècnica de València: <https://riunet.upv.es/handle/10251/35383> (25 de agosto de 2018).
- Avivar, G., et al (2016) *Gestión de la vegetación para la mejora del hábitat y de la calidad del agua; Alternativas para la valorización de la biomasa vegetal de los humedales artificiales*. Valencia. Global Nature. <http://www.lifealbufera.org/index.php/es/documentos> (Consulta 10 de julio de 2018).
- Ajuntament de Gandia. http://www.gandia.es/aytg/web_php/index.php?lang=10 (Consulta 15 de julio de 2018).
- BONDIA, J. R. (2014). *Eliminación de contaminantes emergentes mediante Humedales Artificiales como sistema alternativo o complementario a un tratamiento de aguas convencional*. Trabajo Final de Máster. Valencia: Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/> (Consulta 2 de julio 2018).
- BOSCH CAMPOS, M. D. P., GÓMEZ, P., & JULIA, M. (2013). *Restauración ambiental del tramo final del río Serpis y su desembocadura*. Trabajo Final de Carrera. Valencia: Universitat Politècnica de València <https://riunet.upv.es/handle/10251/34093> (Consulta 20 de julio de 2018).
- Brix, H., & Arias, C. A. (2005). *The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater*. New Danish guidelines. *Ecological engineering*, 25(5), 491-500.
- Camefort, H. (1972). *Morphology of vascular plants*. Doin.
- Campbell, C. S., Ogden, M., & Ogden, M. H. (1999). *Constructed wetlands in the sustainable landscape* (Vol. 3). John Wiley & Sons.
- Delgadillo, O. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Nelson Antequera.
- El País (2007) *La playa Venecia de Gandia registra altos niveles de bacterias fecales*. https://elpais.com/diario/2007/08/18/cvalenciana/1187464682_850215.html (Consulta 3 de julio de 2018).
- El tiempo.org <http://eltiempo.org/tiempo/valencia/tiempo-gandia.html> (Consulta 15 de julio de 2018).
- Entitat de Sanejament d'aigües. *Gandia-La SAFOR*. <http://www.epsar.gva.es/sanejament/instalaciones/edar.aspx?id=418> (Consulta 3 de julio de 2018).
- Escrivá, J. (2013). *Distribución y abundancia de macrofauna bentónica del infralitoral somero*. Trabajo Final de Máster. Valencia: Universitat Politècnica de València <https://riunet.upv.es/handle/10251/32845> (Consulta 25 de julio de 2018).

- García, J., Morató, J., & Bayona, J. M. (2004). *Nuevos criterios para el diseño y operación de humedales con [s] truidos*. Universidad Politècnica de Catalunya.
- García, J., & Corzo, A. (2008). *Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial*. Universidad Politècnica de Catalunya. Barcelona, España.
- Gardner, R. C., Barchiesi, S., Beltrame, C., Finlayson, C., Galewski, T., Harrison, I., ... & Walpole, M. (2015). *State of the world's wetlands and their services to people: a compilation of recent analyses*.
- Generalitat de Catalunya Departament de territori i sostenibilitat. http://territori.gencat.cat/es/06_territori_i_urbanisme/ (Consulta 2 de agosto).
- ICV. Instituto Cartográfico Valenciano. <http://www.icv.gva.es/es> (Consulta 15 de julio de 2018).
- INE. Instituto Nacional Estadístico. https://www.ine.es/buscar/searchResults.do?searchString=gandia&Menu_botonBuscador=Buscar&searchType=DEF_SEARCH&startat=0&L=0 (Consulta 15 de julio de 2018).
- Kadlec, R. H. (1995). *Overview: surface flow constructed wetlands*. *Water Science and Technology*, 32(3), 1-12.
- Kadlec, R. H. (1999). *Chemical, physical and biological cycles in treatment wetlands*. *Water Science and Technology*, 40(3), 37-44
- Kandus, P., Morandeira, N., & Schivo, F. (2010). *Bienes y servicios ecosistémicos de los humedales del Delta del Paraná*. *Wetlands International: Fundación Humedales*.
- KHL International Construction *Biggest water treatment plant gets bigger* <https://www.khl.com/international-construction/biggest-water-treatment-plant-gets-bigger/130400.article> (Consulta 18 de julio de 2018).
- Levante-EMV (2016) *Gandia cierra la playa de Venecia por la mala calidad del agua*. <https://www.levante-emv.com/safor/2016/08/17/gandia-cierra-playa-venecia-mala/1456944.html> (Consulta 3 de julio de 2018).
- LÓPEZ RUBIALES, C. A. R. M. E. N. (2017). *Estudio de viabilidad para eliminación biológica de nutrientes y recuperación de fósforo en la EDAR Don Benito-Villanueva de la Serena (Badajoz)*. Trabajo Final de Máster. Valencia: Universitat Politècnica de València <https://riunet.upv.es/handle/10251/90995> (Consulta 28 de julio de 2018).

- Merritts, D. J., Vincent, K. R., & Wohl, E. E. (1994). *Long river profiles, tectonism, and eustasy: A guide to interpreting fluvial terraces*. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 99(B7), 14031-14050.
- Parra, P., & Chiang, R. (2013). "Integrated model of biopurification system for home sewage. A proposal for peri-urban communities from south center of Chile". en *Gestion y Ambiente*, 16(3), 39-51.
- Piorno, R. E. (2016). *Estudio de restauración ambiental y gestión hidrológica para la recuperación de la Laguna de San Benito (Valencia-Albacete)*. Trabajo Final de Máster. Valencia: Universitat Politècnica de València, <https://riunet.upv.es/handle/10251/71701> (Consulta 2 de julio 2018).
- Portal estadístic de la Generalitat Valenciana. *Demografia y población*. <http://www.pegv.gva.es/es/temas/demografiaypoblacion> (Consulta 1 de julio de 2018).
- REGAÑÓN, J. D. (2015). *Propuesta de soluciones a los problemas de funcionamiento de la estación depuradora de aguas residuales de Noblejas (Toledo)*. Trabajo Final de Máster. Valencia: Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/49465> (Consulta 28 de julio de 2018).
- RODRÍGUEZ LATORRE, A. D. R. I. Á. N. (2017). *Diseño de un humedal artificial para el municipio de Arcos de las Salinas (Teruel)*. Trabajo Final de Máster. Valencia: Universitat Politècnica de València: <https://riunet.upv.es/handle/10251/89917> (Consulta 8 de julio 2018).
- RODRÍGUEZ VALENCIA, N. E. L. S. O. N. (2009). *Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrófitas acuáticas* (Doctoral dissertation). Valencia: Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/4342> (Consulta 30 de junio de 2018)..
- Salas, J.J. (2017) *Diseño, construcción y explotación de humedales artificiales en pequeños municipios*. <http://www.epsar.gva.es/sanejament/estudios/estudios.aspx?idcontenido=411> (15 de agosto de 2018).
- Sebastiá, M. T., Rodilla, M., Falco, S., & Sanchis, J. A. (2013). Analysis of the effects of wet and dry seasons on a Mediterranean river basin: Consequences for coastal waters and its quality management. *Ocean & coastal management*, 78, 45-55. <https://riunet.upv.es/handle/10251/36262> (Consulta 25 de julio de 2018).
- Vallés, F. J., et al (2016) . *Manual técnico para una gestión óptima de la hidráulica en humedales restaurados para mejora del hábitat y de la calidad del agua*. Valencia. Universitat Politècnica de València. <http://www.lifealbufera.org/index.php/es/documentos> (Consulta 10 de julio 2018)-
- Vera, M.C. (2018). *La playa de Gandía supera la ocupación hotelera un agosto más y roza el 100%*. <https://www.lasprovincias.es/safor/playa-gandia-supera-20180816002232-ntvo.html> (Consulta 18 de agosto de 2018).

The Mediterranean Wetlands Initiative. <https://medwet.org/observatory/> (Consulta 10 de julio de 2018).