



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE
INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS



Estudio de restauración ambiental y gestión hidrológica para la recuperación de la Laguna de San Benito (Valencia-Albacete)

Máster Interuniversitario en Ingeniería Ambiental

Autor: Rodrigo Ezpeleta Piorno

Tutor: Miguel Martín Moneris

Valencia, Septiembre 2016

Estudio de restauración ambiental y gestión hidrológica para la recuperación de la Laguna de San Benito (Valencia-Albacete)

Máster Interuniversitario en Ingeniería Ambiental,
especialidad en dirección de estaciones depuradoras de aguas
residuales

Trabajo Fin de Máster

Autor: Rodrigo Ezpeleta Piorno
rodezpio@alumni.upv.es

Tutor: Miguel Martín Monerri
Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

Cotutora: Carmen Hernández Crespo
Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

Fotografía portada: Rafael Torralba
<http://elnidoderafa.blogspot.com.es/>

Septiembre, 2016

“la realidad pasada tiene -en nuestra imaginación- agua, carrizos y espadañas, y una espaciosa estepa circundante. La elevada arenisca del Mugrón, llena de abrigos y agujeros, vigila desde su vértigo los encinares que pueblan las zonas de ladera. Van llegando las bandadas de ánades y gansos, mientras las avutardas apeonan entre el cantueso. Se han ido las cigüeñas. Para sustituirlas en invierno vendrán las grullas, cruzando en lentas flechas el cielo excesivo. Por el sendero andan un hombre y una mula.”

Antonio Cabrera, 2003.

Resumen

La Laguna de San Benito se encuentra entre las provincias de Valencia y Albacete. De tipo endorreico, fue desecada en el siglo XIX. Actualmente aparece esporádicamente asociada episodios de lluvias extraordinarias con una extensión de la lámina de agua de 450 hectáreas aproximadamente.

El presente Trabajo Fin de Máster desarrolla una propuesta de recuperación mediante la aportación de caudales provenientes de la estación depuradora de aguas residuales de Almansa, reproduciendo el régimen natural de funcionamiento. El caudal será sometido previamente a un tratamiento terciario o afino para asegurar la calidad de las aguas.

El sistema se compone de las instalaciones de bombeo y el tratamiento de depuración a través de humedales de flujo subsuperficial, además del tratamiento paisajístico del vaso de inundación y sistema de reparto de caudales y desagüe.

La metodología parte de un minucioso estudio de la bibliografía especializada en el tema, el análisis de actuaciones similares ya realizadas, una recopilación detallada de información y estudios previos sobre climatología, recursos hídricos, geología, estatus de protección y contexto socioeconómico y por último el desarrollo de la propuesta de recuperación partiendo de los estudios previos y acorde a los objetivos planteados.

El alcance del trabajo es la elaboración de una primera propuesta técnica incluyendo el dimensionamiento del sistema de depuración y bombeo, la definición general en planos y un presupuesto básico incluyendo los costes de expropiación. La cual pueda servir de punto de partida para la elaboración de un proyecto completo.

La solución adoptada parte de un caudal para la recuperación de la laguna de 3.000 m³/día. El bombeo dimensionado salva una longitud total de 9.059 m y 36,36 m de altura de carga para trasladar las aguas hasta la laguna.

El sistema de tratamiento a través de humedales de flujo subsuperficial se compone de un total de 12 celdas dispuestas en paralelo con una superficie de 4.258 m² cada una. Se han dispuesto a lo largo del perímetro oeste de la laguna.

La laguna restaurada tendrá una extensión de 30 ha y una profundidad media de 0,5 m. En el tratamiento paisajístico se han utilizado especies autóctonas propias de ambientes húmedos.

En el plan de gestión planteado se han tenido en cuenta las pérdidas por evapotranspiración e infiltración, y se propone una regulación de aportes que reproduzca su régimen natural con descenso de la lámina de agua en los meses más secos sin llegar a su completa desaparición.

El coste total de las actuaciones asciende a 2.187.945,99 €, mientras que el coste estimado de los terrenos a expropiar se asciende a 752.544,00 €.

Contenidos

1.	Introducción	9
1.1.	Bases Teóricas	11
1.1.1.	Historia de la tecnología	11
1.1.2.	Tipos de diseño	12
1.1.3.	Ventajas e inconvenientes	16
1.1.4.	Vegetación	17
1.1.5.	Mecanismos de eliminación.....	18
2.	Objetivo.....	23
3.	Marco legal	24
4.	Antecedentes y situación actual.....	26
5.	Descripción de la zona	29
5.1.	Situación	29
5.2.	Hidromorfología	29
5.3.	Geología	31
5.4.	Climatología.....	33
5.5.	Recursos Hídricos	39
5.6.	Análisis Ambiental	45
5.6.1.	Vegetación	45
5.6.2.	Fauna.....	47
5.6.3.	Figuras de protección.....	51
5.6.4.	Paisaje	55
5.7.	Análisis Socio-Económico.....	56
5.7.1.	Demografía	56
5.7.2.	Sistema económico	56
5.7.3.	Ocupación y usos del suelo.....	58
6.	Propuesta de actuación	60

6.1.	Descripción/predimensionamiento	60
6.2.	Bombeo.....	64
6.2.1.	Trazado y datos de partida	64
6.2.2.	Caudal de partida.....	65
6.2.3.	Dimensionamiento de las tuberías	65
6.2.4.	Altura manométrica	67
6.2.5.	Selección de la bomba	71
6.2.6.	Datos básicos del bombeo.....	74
6.3.	Sistema de depuración.....	75
6.3.1.	Dimensionamiento biológico.....	75
6.3.2.	Dimensionamiento hidráulico.....	81
6.3.3.	Estructuras de entrada y salida.....	85
6.3.4.	Material granular	92
6.3.5.	Impermeabilización	93
6.3.6.	Plantación	94
6.3.7.	Características resumen del humedal construido	95
6.4.	Laguna de San Benito.....	96
6.4.1.	Acondicionamiento de la zona	96
6.4.2.	Características generales	99
6.5.	Plan de gestión	100
6.5.1.	Régimen de caudales	100
6.5.2.	Puesta en funcionamiento.....	103
6.5.3.	Explotación, mantenimiento y control.....	104
6.6.	Presupuesto básico	105
7.	Conclusiones	107
8.	Bibliografía.....	111
9.	Anexos	114
	Anexo 1: Balance hídrico.	114

Laguna de San Benito	114
Humedal construido.....	119
Anexo 2: Selección de la vegetación	121
Humedal construido.....	121
Laguna de San Benito	124
Anexo 3: Presupuesto básico	128
Anexo 4: Listado de coordenadas.....	132
Anexo 5: Reportaje fotográfico.....	134
Anexo 6: Planos.....	143

1.Introducción

El convenio Ramsar (Irán, 1971) define los humedales como *“Extensiones de marismas, pantanos y turberas o superficies cubiertas de agua, sean éstas de régimen natural o artificial, permanentes o temporales, estancadas o corrientes, dulces, salobres o saladas, incluidas las extensiones de agua marina cuya profundidad en marea baja no exceda de seis metros”*.

Históricamente, se percibían como áreas insalubres foco de enfermedades e improductivas; ocupando terrenos que serían mejor aprovechados para el cultivo y existía escaso o nulo conocimiento de las mismas.

Paulatinamente, esta percepción ha ido cambiando en los últimos decenios, aumentando su conocimiento, valoración y necesidad de protección. El punto de inflexión lo marca el citado convenio, que en la actualidad recoge más de 1900 humedales de importancia internacional para los que se establecen medidas de protección y conservación.

En él se reconocen no sólo los valores naturalísticos como hábitats características singulares, sino su papel estructurante posibilitando la interconexión con otros sistemas naturales, o su valor paisajístico. Además cabe añadir otros valores compatibles con su conservación, ya sea turístico-recreativo, como fuente de recursos hídricos o ligados a usos agropecuarios asociados. Por último en ocasiones, juegan un papel fundamental en la protección frente a riesgos como la intrusión marina, la protección frente a avenidas o el efecto tampón respecto a la protección frente a vertidos.

El siguiente paso consiste no sólo en la preservación de los mismos, sino en la recuperación de los que se encuentran degradados, en malas condiciones respecto a la calidad de las aguas o desecados.

Un ejemplo reseñable lo tenemos en la Laguna de la Nava (Palencia), donde existe desde el año 1990 un proyecto de recuperación impulsado inicialmente por entidades conservacionistas y asumido posteriormente por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Castilla y León, habiéndose restituido cerca de 400 ha, mediante una gestión que simula los ciclos hidrológicos naturales del humedal utilizando recursos provenientes del

Canal de Castilla. Las actuaciones han consistido principalmente en la construcción de diques y husillos, así como el acondicionamiento de la red hidráulica.

La importancia de las zonas húmedas no reside únicamente en su valor ecológico y paisajístico, sino además en su poder depurador. Constituyen complejos mosaicos de láminas de agua, vegetación sumergida, flotante y emergente y zonas con nivel freático más o menos cercano a la superficie. El conjunto de los procesos biológicos y físico-químicos que tienen lugar en estos ambientes resulta en la mejora de la calidad del agua, eliminando grandes cantidades de materia orgánica, sólidos, fósforo, nitrógeno y sustancias tóxicas, reciclando los nutrientes a través de cadenas tróficas que potencian la biodiversidad local.

En las últimas décadas, se ha tratado de aprovechar su poder depurador para el tratamiento de aguas residuales, diseñando instalaciones capaces de reproducir las características de los humedales naturales.

Los sistemas de depuración mediante humedales artificiales, ya sea integrados como tratamiento terciario en sistemas más amplios o como alternativa a instalaciones de depuración tradicionales, se revelan como una opción de éxito en tratamiento de aguas, especialmente para instalaciones de pequeña entidad, debido a su menor consumo energético y necesidades de mantenimiento, y no generando subproductos resultado del tratamiento. A las ventajas anteriores cabe añadir además su valor paisajístico en contraposición con las instalaciones tradicionales y el establecimiento de un nuevo hábitat de características singulares.

Recientemente, se han desarrollado en España actuaciones que persiguen un doble objetivo:

- Por un lado la restauración ambiental y mantenimiento, mediante la aportación de caudales, de humedales naturales
- Por otro la depuración de aguas proporcionando el recurso hídrico necesario, a través de humedales artificiales, integrados con los anteriores.

Ejemplos de actuaciones recientes en este sentido son:

El Tancat de la Pipa, área de reserva dentro del Parque natural de L'Albufera de Valencia. Proyecto impulsado por la Confederación Hidrográfica del Júcar, con la colaboración de la Doncellería de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana. Entre otras, la actuación comprende la puesta en marcha de filtros verdes para la mejora de la calidad del agua del lago de la Albufera. En una segunda fase, se ha puesto en valor todo el sistema de ambientes húmedos y restauración ambiental con fines divulgativos, educativos y científicos, además de preservar este enclave y garantizar su incorporación como zona de reserva.

Empuriabrava, uno de los proyectos más ambiciosos en España: En 1995 el Consorci de la Costa Brava, en colaboración con la Universidad Politécnica de Cataluña desarrolló un proyecto de restauración y mejora ambiental del Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordá. Cuyo objetivo es mantener el nivel de agua de las lagunas de parque durante el período de sequía estival; con el fin de paliar los problemas de intrusión salina derivados de la sobreexplotación del acuífero. El caudal necesario se obtiene mediante la reutilización de los efluentes de la EDAR de Empuriabrava, reduciendo la concentración de nutrientes antes de su entrada a las lagunas mediante un tratamiento terciario consistente en un humedal construido de flujo superficial.

1.1. Bases Teóricas

1.1.1. Historia de la tecnología

A medida que las redes de saneamiento fueron desarrollándose en las zonas urbanas, los humedales cercanos a las mismas fueron utilizados como zona donde verter las aguas residuales de manera que se aprovechara para diluir el mismo en la masa de agua y a la vez se contaba con la depuración natural de los mismos.

No fue hasta los años 50 cuando comenzaron a desarrollarse los primeros estudios sobre rendimientos de depuración de humedales en el Instituto Max Planck (Alemania). Siguiendo esta línea de investigación, se desarrolló el tratamiento conocido como "Root Zone Method" consistente en un humedal de flujo subsuperficial con arcillas como substrato principal.

A partir de la década de los 70 se desarrolla también en los Estados Unidos el estudio y aplicación de humedales como post tratamiento recibiendo efluentes secundarios antes de su vertido. Es en esta época cuando se instalan los primeros modelos a escala real, perdurando algunos de ellos hoy día para el tratamiento de aguas residuales domésticas (Kadlec y Scott, 2009).

A partir de los años 80 comienzan a construirse múltiples instalaciones y se aplica también en Inglaterra. Algunas de estas primeras experiencias resultaron problemáticas debido a su colmatación, ya que se utilizaba como substrato el propio material de la excavación. Comprendiéndose que debían garantizarse unos valores adecuados de conductividad hidráulica mantenida en el tiempo, pasaron a utilizarse materiales granulares y gravas como substrato.

A finales de los años 80 aparecen los primeros documentos técnicos con recomendaciones constructivas, se realiza el primer simposio internacional sobre la tecnología (Chattanooga, EEUU) que continúa en la actualidad de forma bianual, y se crea el grupo especializado en humedales de la International Water Association. A finales de los años 90 se estiman en millones las instalaciones repartidas por todo el mundo. A día de hoy, se trata de una tecnología de bajo costo, sostenible y contrastada, con no pocas líneas de investigación y publicaciones relacionadas que redundan en la mejora del estado del arte.

Por lo que respecta a España, la implantación y desarrollo de los mismos ha ido unos cuantos pasos por detrás de otros países, debido principalmente a las características específicas del medio físico peninsular y a la necesidad de satisfacer otras prioridades, amén de la preferencia histórica por los sistemas de depuración tradicionales, (Seoáñez, 2005)

1.1.2. Tipos de diseño

Los sistemas de humedales construidos tratan de potenciar y optimizar los procesos naturales tanto biológicos como físico-químicos para el tratamiento de las aguas residuales. El medio donde se dan estos procesos puede ser la propia columna de agua o la interfase agua-raíces-substrato, en la que se mantienen condiciones de saturación. Su profundidad suele ser menor a un metro. Además de las condiciones de saturación, la característica fundamental es la condición del agua presente como masa, de tipo léntico, en la que los desplazamientos son lentos, lo que permite que se realice una serie de procesos físicos

(sedimentación), químicos (oxidación-reducción), y biológicos (fotosíntesis y crecimiento de la biomasa) que en aguas lóxicas serían inviables.

Los elementos principales que los componen son:

- Capa de impermeabilización (sea ésta de arcillas o materiales sintéticos)
- Substrato o medio granular
- Vegetación, ya sea ésta emergente, sumergida o flotante, según las características de la instalación y la zona donde está implantada.
- Sistemas de regulación, conducciones, estructuras de entrada y salida.

La impermeabilización es imprescindible para evitar la percolación a las capas profundas del terreno y evitar así la contaminación difusa. Atendiendo al tipo de circulación del agua, se clasifican en sistemas de flujo superficial (FWS) y sistemas de flujo subsuperficial (HSSF), un tipo particular de éstos últimos los constituyen los sistemas de flujo vertical (VF).

Humedales de flujo libre (FWS)

En este caso el agua está expuesta directamente a la atmósfera y circula de forma horizontal. Los procesos de depuración tienen lugar en la columna de agua a medida que ésta circula entre los tallos y hojas de las plantas. Tienen una profundidad de la lámina de agua de entre 0.3 y 0.4 m, y se pueden considerar como una modificación del lagunaje natural. Se suelen aplicar como tratamiento terciario para mejorar la calidad de efluentes provenientes de instalaciones convencionales. Por sí mismos, configurados con una apariencia similar a los humedales naturales, constituyen nuevos hábitats para la fauna y flora, incluyendo combinaciones de espacios abiertos y zonas vegetadas e islotes de vegetación.

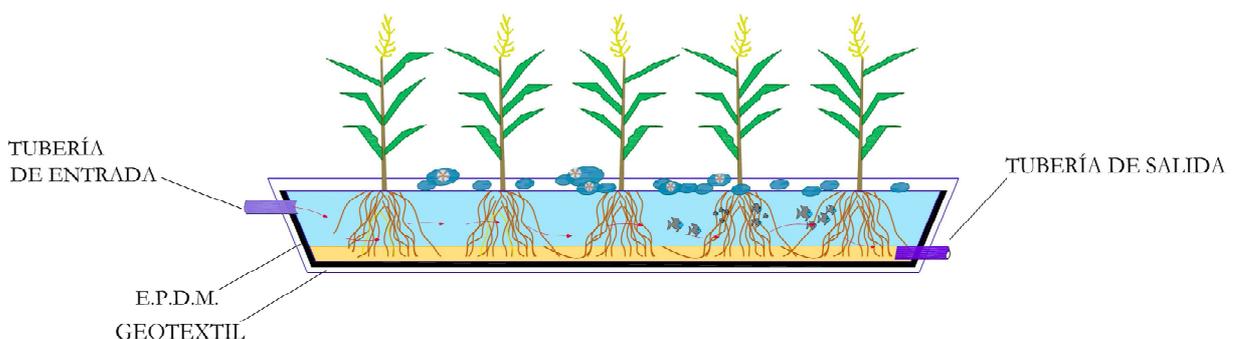


Fig. 1. Esquema de un humedal construido de tipo FWS. Fuente: García y Corzo, 2008

El sustrato constituye el medio donde está enraizada la vegetación, y suele tener una baja conductividad hidráulica, por lo que el flujo preferente se da en la columna de agua, aunque sí tienen lugar en él procesos bioquímicos que resultan en la eliminación de materia orgánica y nutrientes en la biopelícula que se desarrolla en la superficie de las raíces y rizomas.

El hecho de que los humedales FWS se encuentren expuestos a la atmósfera, puede resultar en una estratificación térmica en el agua que influye directamente en la eficacia del tratamiento, especialmente en los procesos de nitrificación.

Humedales de flujo subsuperficial (HSSF)

En este caso el agua circula también de forma horizontal, pero de forma subterránea a través del medio granular, en contacto con las raíces y rizomas de las plantas a medida que avanza. La profundidad oscila entre 0.3 y 0.9 m, el agua no está directamente en contacto con la superficie. Al igual que en el caso anterior, la biopelícula que crece adherida a la superficie del medio juega un papel fundamental en los procesos de depuración. El medio granular proporciona una mayor superficie de contacto por lo que se consiguen rendimientos similares con áreas menores. Son utilizados como tratamiento secundario por sí mismos o también para mejorar la calidad del agua tras un tratamiento convencional.

Los sistemas HSSF se pueden entender como una modificación de los sistemas clásicos de infiltración en el terreno, como los filtros verdes o los sistemas de infiltración/percolación en el terreno natural.

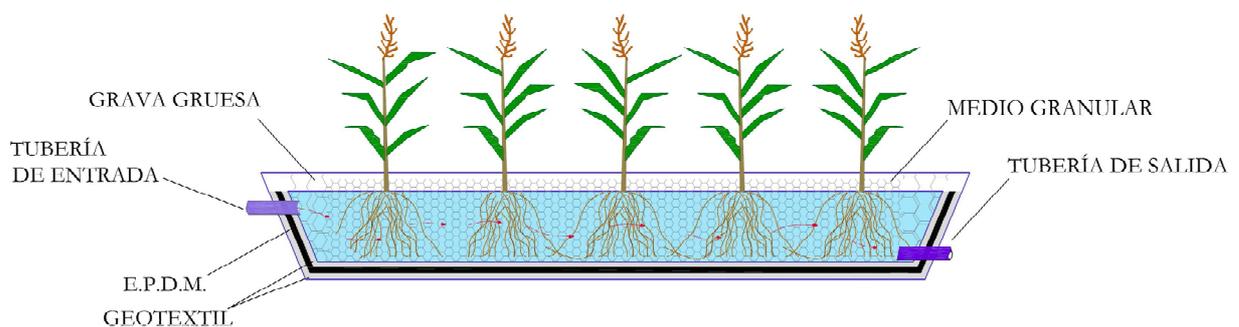


Fig. 2. Esquema de un humedal construido de tipo HSSF. Fuente: García y Corzo, 2008

Una de las ventajas que presentan estos sistemas frente a los anteriores es el bajo riesgo de aparición de insectos, la disminución de malos olores y el bajo riesgo de contacto con el agua con las personas, debido a que ésta no está en contacto con la superficie.

El aspecto fundamental en los sistemas tipo HSSF es el mantenimiento de la conductividad hidráulica, ya que inevitablemente tienden a la colmatación con el tiempo. Se utilizan gravas bien lavadas de diámetros entre 5 y 8 mm que permiten un buen desarrollo de la vegetación y buena circulación del agua.

A pesar de necesitar una menor superficie para rendimientos similares, el material granular encarece los costes de instalación, por lo que la decisión entre un sistema u otro dependerá de múltiples factores como la disponibilidad y precio del suelo, del material granular, la presencia de poblaciones cercanas, el objetivo de creación de nuevos hábitats, etc.

Humedales de flujo vertical (VF)

Este tipo de sistemas, considerados según el autor como un caso particular de los HSSF, se desarrolla con el objetivo de facilitar el proceso de nitrificación. En general se combinan con sistemas horizontales (de forma análoga a los sistemas anóxico-aerobio en los procesos convencionales) para facilitar procesos de nitrificación-desnitrificación consiguiendo así la eliminación de nitrógeno.

El medio granular no está permanentemente inundado, sino que la circulación del agua tiene lugar a pulsos, tienen una profundidad de entre 0.5 y 0.8 m. Al igual que los anteriores, están provistos de un medio granular en toda su sección vertical. Tienen mayor capacidad de tratamiento que los sistemas horizontales, aunque como contrapartida son más susceptibles a la colmatación.

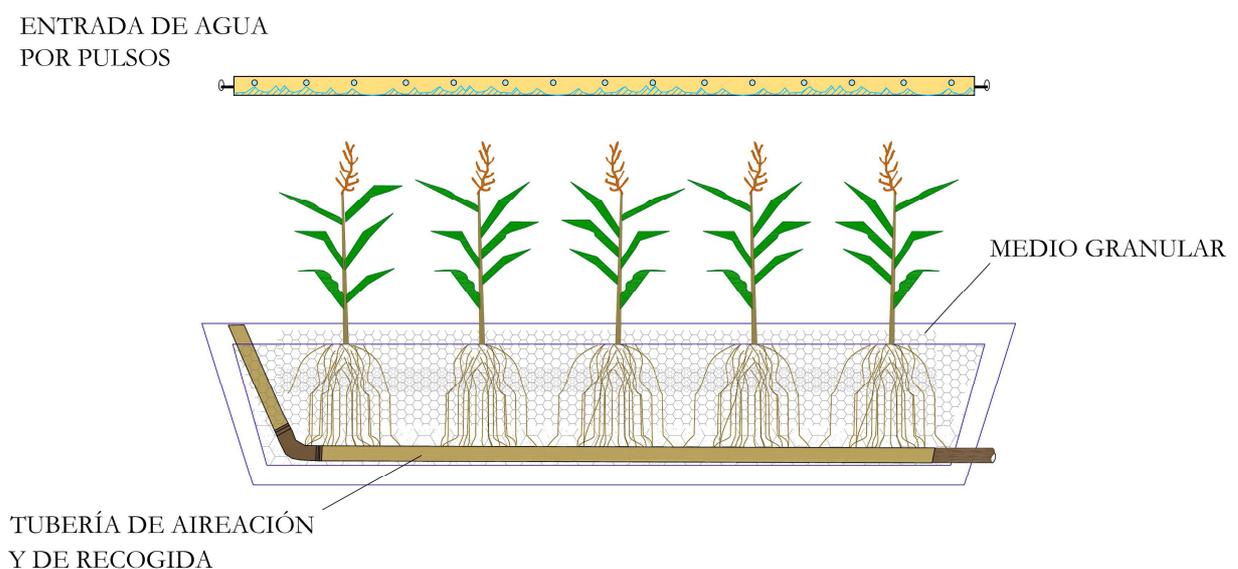


Fig. 3. Esquema de un humedal construido de tipo VF. Fuente: García y Corzo, 2008

En estos sistemas es fundamental lograr una distribución del agua uniforme en toda la superficie útil, lo que unido al flujo discontinuo, hace que las estructuras de entrada y salida sean de mayor complejidad que en los anteriores. Además se dotan de tuberías de aireación en profundidad para mejorar los procesos de degradación aerobia.

El medio granular ha de cumplir características similares a los de tipo HSSF, si bien es de tipo heterogéneo disponiéndose normalmente tres capas horizontales de distinta granulometría, aumentando ésta con la profundidad, con el objetivo de conseguir una velocidad adecuada de circulación.

1.1.3. Ventajas e inconvenientes

Las principales ventajas residen en su gran simplicidad de operación, necesitan pocos equipos para su funcionamiento y poca mano de obra. El consumo energético de estos sistemas es mínimo, destinado al pretatamiento o al bombeo en caso de ser necesario. No requieren de aditivos químicos para su funcionamiento. Tras el tratamiento, se obtienen menor volumen de residuos frente a sistemas convencionales, siendo éstos de fácil reutilización como forrajes, fangos mineralizados, etc.

Otra ventaja es su respuesta ante puntas de caudal o contaminación, ya que su elevado tiempo de retención celular y volumen, permite que éstos se vean amortiguados. Además, su funcionamiento no se describe como la adición del conjunto de procesos que tienen lugar en ellos, sino como una red completamente interactiva entre la biota y el medio físico. Por lo que se ha de utilizar como objeto el ecosistema en su totalidad, con multitud de relaciones interdependientes, lo que le confiere especiales características de autorregulación y resiliencia.

Producen bajo impacto sonoro, o paisajístico. Pueden ser utilizados para la creación y restauración de zonas húmedas constituyendo hábitats de especial relevancia debido a su singularidad.

Por otro lado, también presentan inconvenientes, como pueden ser el hecho de que la superficie necesaria para su construcción es entre 20 y 80 veces superior a los tratamientos convencionales (2-9 m²/hab por 0.1-0.2 m²/hab según Seoáñez, 2004), por lo que el valor del terreno a expropiar puede ser un factor limitante. La puesta en marcha es muy larga, de algunos meses sistemas SFS hasta incluso años en sistemas FWS. Dado el heterogéneo y

gran número de factores intervinientes en su funcionamiento, no permiten fácilmente su adaptación a distintas condiciones de funcionamiento. A diferencia de los sistemas convencionales, existen pocos parámetros de control sobre los que se pueda actuar durante su explotación. De modo que los errores constructivos o de diseño son muy difíciles de corregir a posteriori.

1.1.4. Vegetación

En los humedales construidos, la vegetación hidrófila cumple un papel fundamental, tanto en la eliminación de contaminantes como en la creación de las condiciones idóneas para el crecimiento de los microorganismos y el adecuado funcionamiento del sistema. Las principales funciones que realizan son:

Medio de crecimiento: En los sistemas FWS actúan como base para el crecimiento de la biopelícula encargada de la biodegradación, así como la filtración mecánica de las partículas. FS los tallos y hojas sumergidos aumentan la superficie de la biopelícula encargada de la eliminación de los contaminantes, por lo que la cantidad de vegetación en el sistema debería estar relacionada con el rendimiento del mismo. En los sistemas HSSF la biopelícula crece en la matriz formada por las partes subterráneas de la plantas y en el medio granular. En sistemas FS los tallos y hojas sumergidos aumentan la

Efectos físicos: La vegetación distribuye y ralentiza la velocidad del agua, lo que favorece la sedimentación de los sólidos suspendidos y aumenta el tiempo de contacto con el agua. La vegetación origina un importante gradiente de luz, viento y temperatura desde el suelo hasta el límite superior de dicha vegetación, disminuyendo la velocidad del viento, la luz, y amortiguando los cambios de temperatura permitiendo temperaturas más cálidas en invierno y más frías en verano. En climas fríos la vegetación protege de la congelación, sobretodo en humedales subsuperficiales los cuales se han demostrado que pueden funcionar adecuadamente a temperaturas de -40°C .

Aireación de la rizosfera: Una adaptación importante, presentes un muchas plantas de los humedales es el desarrollo de un tejido tubular poroso (aerénquima) en hojas y tallos que permite el transporte de oxígeno a la rizosfera. Este oxígeno transportado incrementa el potencial redox del sustrato, siendo más favorable para el crecimiento de la raíz y permite la reoxidación y precipitación de iones tóxicos como el manganeso, además de permitir el

crecimiento de microorganismos aerobios en medios que normalmente serían anóxicos atendiendo únicamente a procesos físicos. En los humedales subsuperficiales, el aporte de oxígeno a las raíces contribuye a los procesos de nitrificación.

Eliminación de nutrientes: En general, la asimilación de nutrientes por la vegetación parece explicar, en el mejor de los casos, una eliminación del 10 % del fósforo y el 25% del nitrógeno. No obstante, el efecto puede ser importante en aguas poco cargadas. La mayor parte de los nutrientes acumulados vuelve al agua cuando muere la planta, por eso, es importante cosechar periódicamente.

Liberación de sustancias por la raíz: Las plantas liberan diversos compuestos orgánicos a través de sus raíces y hojas. Algunos con propiedades alelopáticas que evitan el crecimiento de otras especies y otra gran variedad de compuestos con diferentes propiedades. Estos compuestos orgánicos liberados por las plantas suponen entre el 5% y el 25% del carbono fijado fotosintéticamente, y podrían actuar como fuente de carbono para bacterias y otros microorganismos de la rizosfera, influyendo sobre la estructura de las comunidades microbianas que en ella se desarrollan. Otro aspecto de interés es el efecto que puede tener el empleo de una o más especies en el tratamiento. Según algunos manuales, para sistemas FWS debería favorecerse la mayor diversidad de especies posibles, ya que ello permite una mayor estabilidad a largo plazo frente a posibles plagas y mejora el valor ecológico del humedal. En sistemas de HSSF, aunque algunos experimentos demuestran mejores rendimientos a corto plazo en policultivos, se acepta que a largo plazo el policultivo acentuaría la disminución de conductividad hidráulica del sistema disminuyendo la vida activa del mismo, por ello dentro del mantenimiento de estos sistemas se incluye la eliminación de la potencial vegetación oportunista.

1.1.5. Mecanismos de eliminación

El objetivo de los sistemas de depuración, es la eliminación, o reducción hasta niveles aceptables de materia orgánica, sólidos suspendidos, nitrógeno y fósforo, según establece la Directiva 91/271/CEE, además, si las aguas depuradas se han de reutilizar, es precisa además la eliminación de patógenos, según el Real Decreto 1620/2007. Además cabe añadir la presencia en las aguas residuales de sustancias tóxicas y contaminantes emergentes. Los procesos de eliminación de estos compuestos no se dan de manera aislada, sino que, como

ya se ha comentado la interacción de los distintos elementos que conforman el sistema y procesos que tienen lugar en él tiene como resultado la disminución de la concentración de cada uno de ellos en el efluente. Aunque se describen los mecanismos de eliminación de cada uno de ellos por separado:

Sólidos suspendidos (SS)

Se denominan sólidos en suspensión a aquellos sólidos que quedan retenidos en un filtro de tamaño de poro 1,2 μm . Los procesos de eliminación son la combinación de la sedimentación debida a la baja velocidad de circulación del agua, el tamizado a nivel de los espacios intersticiales del medio granular y los fenómenos de agregación entre partículas. Siendo críticos en este aspecto los factores que determinan la velocidad del agua en el sistema y la porosidad del material granular.

Los valores habituales de eliminación de sólidos en suspensión se encuentran en el intervalo 85-95 %, produciendo efluentes con concentraciones menores que 20 mg/L de forma sistemática.

Después de la retención de la materia en suspensión, empieza a degradarse y así representa una fuente interna de materia orgánica.

Los materiales en suspensión son retenidos en la zona próxima al afluente, especialmente en el caso de los humedales horizontales. Su concentración decrece exponencialmente a lo largo de la instalación, realizándose la eliminación de la mayor parte de esta materia en el primer tercio del lecho del humedal. Un contenido excesivo de sólidos suspendidos de tipo inorgánico puede reducir drásticamente la vida útil del material granular por colmatación, por lo que es recomendable que, al menos, vayan precedidos de un pretratamiento.

Materia orgánica (MO)

La materia orgánica presente en el agua residual se puede dividir en particulada y disuelta. En los sistemas horizontales, la materia orgánica particulada se deposita por filtración en la zona próxima al afluente. La fracción particulada, se convierte por procesos de fragmentación en partículas del tamaño adecuado para ser hidrolizadas por enzimas extracelulares, así susceptibles de procesos de fermentación. Resultado de lo anterior las partículas se degradan a sustratos sencillos asimilables por los microorganismos que forman la biopelícula. No es

necesaria una hidrólisis previa en el caso de los sustratos sencillos existentes de forma disuelta.

Normalmente se suelen dar zonas con presencia y ausencia de oxígeno, por lo que la degradación se produce tanto por vía aerobia como anaerobia por diferentes tipos de bacterias. Si bien la degradación aerobia suele darse cerca de la superficie (primeros 5 cm) y en las zonas cercanas a las raíces, consecuente con la aportación de oxígeno por aireación superficial y liberación por las raíces. En los sistemas de flujo horizontal, prevalece la vía de degradación anaerobia, debido a la imposibilidad del reparto homogéneo de oxígeno por todo el sustrato a medida que aumenta la profundidad.

En ausencia de oxígeno, las bacterias facultativas pueden degradar la MO por vía anóxica utilizando el nitrato como aceptor de electrones (desnitrificación).

Debido a las condiciones predominantemente anaerobias en los sistemas horizontales se produce la fermentación de la materia orgánica originando ácidos grasos, alcoholes e hidrógeno. Estos compuestos actúan como sustratos de las bacterias sulfatoreductoras y metanogénicas, todas ellas anaerobias. Ambas compiten por el sustrato y, en presencia de sulfato resultan favorecidas las primeras. La profundidad del agua y la carga orgánica determinarán la importancia de las diferentes vías de degradación de la MO. En la tabla siguiente se observan los resultados de diferentes vías predominantes en función de la profundidad según Aguirre *et al*, 2005.

Tabla 1. Porcentaje de MO eliminada en cada vía en humedales HSSF someros (0,3 m) y profundos (0,5 m).

Fuente: Kadlec y Scott, 2009

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

Se comprueba que la vía principal de degradación en humedales a partir de 0,5 m es principalmente por sulfatoreducción y desnitrificación en profundidades menores de 0,3 m. En cualquier caso, con un diseño, construcción y explotación adecuados se alcanzan rendimientos entre el 75% y 95% de eliminación tanto para la DQO como la DBO, resultando efluentes por debajo de 20 mg/l de DBO y 60 mg/l de DQO.

Nitrógeno (N)

En las aguas residuales urbanas el nitrógeno se presenta fundamentalmente en forma de amonio y como nitrógeno orgánico. El principal mecanismo de eliminación en humedales es el proceso de nitrificación-desnitrificación, así como la asimilación por las plantas.

La nitrificación consiste en la transformación del nitrógeno amoniacal en nitratos a través de su oxidación, la realizan las bacterias autótrofas aerobias y depende directamente de la cantidad de oxígeno presente. En humedales horizontales, debido a la baja transferencia de oxígeno, la nitrificación no es destacable, manteniéndose rendimientos de eliminación de amonio por debajo del 30%, mientras que en sistemas de flujo vertical la nitrificación es total, por lo que la combinación de sistemas mejora notablemente la eliminación de nitrógeno.

La reacción de nitrificación elimina el nitrato resultado del proceso anterior transformándolo en nitrógeno gas. Este proceso se lleva a cabo en condiciones de anoxia por bacterias heterótrofas facultativas, como se ha visto, este proceso sí se ve favorecido en los sistemas de flujo horizontal, en los que se elimina todo el nitrato a medida que éste se va formando, al ser limitante el proceso de nitrificación.

Por último, queda el proceso de asimilación de nitrógeno por parte de la vegetación a partir de amonio o nitrato. Éste es incorporado a la biomasa, y durante su senescencia anual, puede retornar al sistema, por lo que son recomendables las podas antes de este período. Este último proceso puede suponer entre un 10 y un 20% de eliminación de nitrógeno.

Fósforo (P)

La eliminación de fósforo en los sistemas de humedales construidos resulta complicada, no alcanzándose generalmente rendimientos de eliminación por encima del 10-20%, esto es debido a la dificultad de reproducir los esquemas anaerobio-aerobio que se utilizan en los sistemas convencionales.

Los mecanismos son fundamentalmente la asimilación por parte de las plantas y microorganismos y por otro lado la adsorción en el medio granular. Sin embargo, la capacidad de adsorción se va reduciendo con el tiempo a medida que se alcanzan condiciones de equilibrio. En algunos casos se ha utilizado la adición de sales de aluminio para facilitar la precipitación de fósforo formando fosfatos insolubles. Sin embargo, el fósforo

fijado puede verse liberado de nuevo al medio en función de las condiciones ambientales, fundamentalmente como respuesta a cambios en el potencial redox en diferentes épocas del año.

Organismos patógenos

Para la evaluación de la eficiencia en la eliminación de microorganismos patógenos se recurre a la utilización de microorganismos bioindicadores, principalmente:

- Indicadores de proceso: evalúan la eficacia de un proceso de desinfección, pueden ser por ejemplo las bacterias heterótrofas totales o los coliformes totales.
- Indicadores fecales. Indican la presencia de contaminación fecal, como *E. Coli*.
- Organismos índice, grupo o especie indicativa de la presencia de un patógeno.

Su eliminación es un proceso de gran complejidad que depende de factores como la adsorción, la filtración y la depredación, dependiendo ésta fundamentalmente del tiempo de retención y del tamaño del medio granular, mejorando con tiempos de retención altos y diámetros menores.

El grado de eliminación oscila entre 1 y 2 unidades logarítmicas/100 ml aproximadamente para todos los indicadores. Por ello se hace necesario un sistema de desinfección si se desean efluentes con altos requerimientos sanitarios.

2.Objetivo

El objetivo principal de la propuesta es la recuperación ambiental de la Laguna de San Benito, incluyendo su ciclo hidrológico original.

Los objetivos secundarios son:

- Mejora en la calidad de las aguas residuales provenientes de la depuradora de Almansa mediante un tratamiento terciario que disminuya los niveles nutrientes.
- Tratamiento sostenible, que añada valor paisajístico y se integre en el entorno natural de la laguna.

Como objetivos académicos, con la realización del trabajo fin de máster se persigue por un lado mejorar la formación del estudiante profundizando en las técnicas de depuración mediante humedades artificiales y la puesta en práctica de los conocimientos adquiridos elaborando una propuesta para la recuperación ambiental de una laguna endorreica en la zona de la Mancha

El alcance del trabajo es la elaboración de una primera propuesta técnica, que pueda servir de base o punto de partida para la elaboración de un proyecto completo.

Incluye el diseño del humedal artificial, los cálculos básicos del dimensionamiento de los elementos que constituyen el sistema, la redacción de un presupuesto básico de las actuaciones y un plan de gestión, además de definición general en planos de la propuesta.

3.Marco legal

- Directiva 91/271/CEE del consejo de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas.
- Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas.
- Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.
- Resolución de 10 de julio de 2006, por la que se declaran las zonas sensibles en las cuencas hidrográficas intercomunitarias.
- Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que se establece el régimen jurídico de reutilización de aguas depuradas.
- Ley 12/2002, de 27 de junio, reguladora del ciclo integral del agua de la Comunidad Autónoma de Castilla la Mancha.
- Ordenanza municipal de Medio Ambiente del Ayuntamiento de Almansa, aprobado en abril de 2007.
- Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de octubre por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas.
- Directiva 80/68/CEE, de 17 de diciembre de 1979, relativa a la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación causada por determinadas sustancias peligrosas
- Real decreto 907/2007, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Planificación Hidrológica.
- Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio, por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de cuenca.
- Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, por el que se aprueba la revisión de los Planes Hidrológicos de las demarcaciones hidrográficas del Cantábrico Occidental, Guadalquivir, Ceuta, Melilla, Segura y Júcar.

- Texto Refundido de la Ley de Aguas, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio y su modificación por la Ley 62/2003 de diciembre.
- Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto ambiental de proyectos.
- Ley 2/1989, de 3 de marzo, de la Generalitat Valenciana, de Impacto Ambiental, y su Reglamento de aplicación: Decreto 162/1990 de 15 de octubre.
- Decreto 102/2006, de 11 de agosto por el que se aprueba el Reglamento de Paisaje de la Comunitat Valenciana.
- Directiva 92/43/CEE del Consejo de 21 de mayo de 1992 relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. (Red Natura 2000)
- Directiva 79/409/CEE del Consejo, de 2 de abril de 1979, relativa a la conservación de las aves silvestres.
- Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.
- Real Decreto 1997/1995, de 7 de diciembre, por el que se establecen medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.
- Acuerdo de 3 de noviembre de 1999, del Gobierno Valenciano, de adopción de medidas cautelares de protección de las zonas húmedas delimitadas en el proyecto de Catálogo de Zonas Húmedas de la Comunidad.
- Ley 11/1994, de 27 de diciembre, de Espacios Naturales Protegidos de la Comunidad Valenciana

4. Antecedentes y situación actual

Dupre *et al*, 1996 realiza una reconstrucción paleoambiental del endorreísmo en San Benito, conformando una laguna alojada en el sector más bajo de una zona topográficamente horizontal y deprimida respecto a sus bordes. En ella se describe una dinámica lacustre que sigue las variaciones climáticas a lo largo de las eras geológicas, iniciándose los procesos de sedimentación conformando depósitos aluviales a mediados de mioceno. El paisaje mantiene unas características muy abiertas, con muy pocos árboles y arbustos y vegetación acuática propia de ambientes lacustres.

Éste se verá modificado por la presión humana, con evidencias de ocupación desde la Edad de Bronce, llegando a implantarse grandes extensiones de cultivo durante la dominación romana seguidas de un período de recuperación tras su abandono.

Tras la reconquista, ya en la Edad Media, el paraje fue cedido para su colonización por el monarca Alfonso X en el siglo XIII, siendo muy apreciadas por su gran fertilidad las tierras de los márgenes.

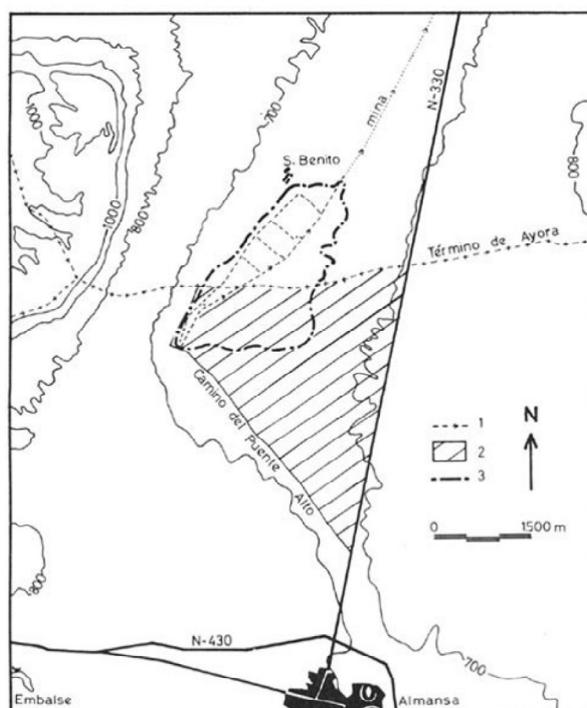


Fig. 4. Localización histórica de la laguna y conducciones de drenaje (1 y 2). Fuente: Ponce Herrero, 1986

Durante toda esta época, el paisaje queda conformado por la masa de agua como elemento fundamental, llegando a desecarse muy raramente (se citan tres ocasiones en un siglo), con márgenes cubiertas de carrizales, rodeada por campos de cereales de tamaño y formas irregulares extendiéndose a lo largo de todo el paraje del Hondo.

Sin embargo, en 1804, con el objetivo de aprovechar los terrenos inundados para su cultivo y mejorar las condiciones de salubridad (para evitar el paludismo), se inician las obras para su desecación. Éstas consistieron en la construcción de dos grandes azarbes comunicados entre sí, el principal discurriendo por su centro. Éste enlaza con una conducción subterránea que a lo largo de 7 km enlaza con la Rambla de La Peña, que desemboca en el Júcar (Castellá, 1972).

Con el paso del tiempo, y fundamentalmente debido a episodios de lluvias torrenciales, el canal subterráneo queda obstruido, y se abandonan las labores de mantenimiento.

En las décadas 60 y 70 el entonces Instituto Nacional de Colonización llevó a cabo la concentración parcelaria y puesta en regadío de la zona: se construyeron pozos, dotaciones de alta tensión para su bombeo, nueva trama de caminos y red de acequias, reparcelación y abancalamiento de las parcelas, conformando la estructura actual del paisaje (Ponce Herrero, 1984).



Fig. 5. Laguna tras el episodio de lluvias de agosto 2015. Fuente: SVO y SEO Birdlife, Rafa Muñoz

En la actualidad los terrenos históricamente ocupados por la laguna permanecen desecados y ocupados por cultivos. Ello es debido a la profusión de pozos para el riego, que ha supuesto un descenso notable del nivel freático.

A pesar de todo, en las últimas décadas se ha vuelto a inundar puntualmente, las tres últimas en 1956, 1984 y 2015; coincidiendo con episodios de lluvias extraordinarias, aproximadamente cada 30 años (Ver figura 6).

5.Descripción de la zona

5.1. Situación

La zona objeto de este trabajo se ubica entre los términos municipales de Ayora (Valencia) y Almansa (Albacete). Los terrenos originalmente ocupados por la laguna se sitúan en el paraje conocido como “El Hondo”; fondo del valle que, con dirección norte-sur pone en contacto ambas poblaciones y por el que discurre la N-330.

Se encuentra a junto a la aldea de San Benito, perteneciente a Ayora y a 8 km de la misma. Actualmente está formada por casas de labor y edificaciones auxiliares sin habitantes permanentes. Queda conectada con la vía principal a través de la CV-436, cuya plataforma ejerce como límite norte de la zona inundada en los episodios más recientes.

Las coordenadas de su punto más bajo son:

- **X:** 664001
- **Y:** 4311237
- **Z:** 666.70

ETRS 89-UTM HUSO 30N

5.2. Hidromorfología

La zona endorreica de la Mancha constituye por su extensión y singularidad ambiental, uno de los complejos pantanosos más interesantes de las aguas continentales. Las cubetas lacustres son de diversos orígenes: cárstico, hidrogeológico o fluvial y presentan una gran diversidad (Soria *et al*, 1988).

En el extremo oriental de la misma, se encuentra la depresión originariamente ocupada por la laguna. Debido a la particularidad de ser un sistema endorreico, y enmarcarse la zona inundada en la planicie del fondo de valle con relieves extraordinariamente suaves, resulta de gran dificultad establecer los límites de su cuenca vertiente con precisión.

En cualquier caso, diversos autores (Castellá, 1972 y Soria *et al*, 1988), atribuyen a la cuenca endorreica una superficie de entre 9.000 y 13.000 ha, enmarcada por la sierra del Mugrón al Oeste y las estribaciones suroccidentales del macizo del Caroig y los pliegues de la Sierra de

Almansa por el Este. En la dirección Norte-Sur coincidente con la dirección del valle se pasa insensiblemente hacia la Rambla de la Peña perteneciente al Valle de Cofrentes (Norte) y al altiplano de Almansa (Sur), la zona queda individualizada por depósitos aluviales.

La ausencia de un desagüe natural se debe no sólo a las características topográficas sino también a las acusadas condiciones de aridez. Las escasas precipitaciones y su marcada concentración en el tiempo determinan la ausencia de cursos de agua permanentes, que pudieran haber comunicado la cubeta endorreica con el altiplano de Almansa.

La aridez de las tierras provoca la rápida infiltración de las aguas que discurren por la zona, de ahí que la mayor parte de los cursos sean influentes, es decir, experimentan una pérdida constante de caudales por infiltración en sus cauces. Así, tanto en superficie, en forma de manto de agua, o en forma de flujo subterráneo, todas las aguas confluyen en el fondo de la depresión, de forma que el nivel freático del acuífero subterráneo mantenía originariamente la laguna permanente. El substrato impermeable y la periódica alimentación han determinado la presencia de una masa de agua casi perenne en el fondo de la cubeta hasta su desecación.

Se cita la curva de nivel correspondiente a 680 m como el límite que encerraría la extensión original de la laguna con una extensión de 450 ha (Castellá, 1972)

Con una extensión mucho más reducida e inundándose muy esporádicamente (aproximadamente cada 30 años coincidiendo con episodios de lluvias extraordinarias); la lámina de agua tendría unas proporciones máximas de 3.000 m en el eje mayor, 1.500 metros en el eje menor y una profundidad inferior a 1 metro en toda su extensión, tal y como se aprecia en el gráfico siguiente:



Fig. 6. Imagen en falso color del satélite Landsat 5 correspondiente a noviembre de 1984, penúltimo episodio en el que se formó la laguna hasta la actualidad.

5.3. Geología

La zona de la laguna forma parte de un área de debilidad tectónica en la que aflora el Keuper (dentro del período Terciario; 60 – 3 millones de años), aunque permanece enmascarado en gran parte por aportes posteriores que, en algunos lugares coronan las arcillas, margas y areniscas abigarradas secundarias y las protegen de un total desmantelamiento. Este Keuper está afectado por una tectónica semidiapírica, condicionada por la gran plasticidad de los materiales; algo más al norte esto se hace ya muy patente.

Al este, las masas subhorizontales de la plataforma cretácica de Caroig y al oeste el murallón del Mugrón son tierras elevadas que dominan el paisaje. El Mugrón aparece con sedimentos burdigalienes y helvecienses, su espesor anormal viene definido por un hundimiento a lo largo de las líneas de fractura que lo limitan al sur, este y norte. Las calizas del Mugrón forman un suave sinclinal de dirección N 65° W, cuya rama septentrional buza 8° al S, y la meridional, 9° al N.

Especialmente importantes son los depósitos cuaternarios (2 millones de años-hoy) en el lugar antaño ocupado por la Laguna de San Benito, donde los suelos de gley han modificado las características de los primitivos materiales. Dentro de los materiales del Cuaternario se distinguen:

- Glacis o formaciones a pie de monte, se sitúan en los bordes de las montañas, por encima de los depósitos aluviales de la red hidrográfica actual. Comprende sectores de poca pendiente y cuencas endorreicas. En los alrededores de la depresión ocupada anteriormente por la laguna aparecen desarrollados estos glacis al pie de relieves cretácicos y miocenos. Tienen en común una costra o encostramiento, gracias al cual han podido mantener sus formas; en muchos lugares estos horizontes de acumulación caliza han sido levantados para dedicar terreno al cultivo. Los referidos no son más. Aparecen allí donde los barrancos han realizado una fuerte erosión en las masas cretácicas del Caroig y han depositado buena parte de su carga al disminuir fuertemente su pendiente al contacto con la depresión. Estos conos posiblemente hayan contribuido a crear el espacio lagunar, cortando la salida hacia el valle de Ayora.
- Rellenos de ramblas, constituidos por materiales heterométricos con cantos redondeados, siendo de mayores granulometrías en los escarpes y de finos a muy finos en el centro.
- Conos de deyección. Formaciones cuaternarias de rambla a partir de abarrancamiento de las muelas cretácicas y que derraman sus materiales en típicos abanicos.
- Depósitos aluviales y fondos de rambla. Se trata de sedimentos más modernos formados por arcillas, arenas y cantos dispersos, están asociados a la dinámica fluvial actual y habitualmente son los más favorables para la puesta en cultivo.

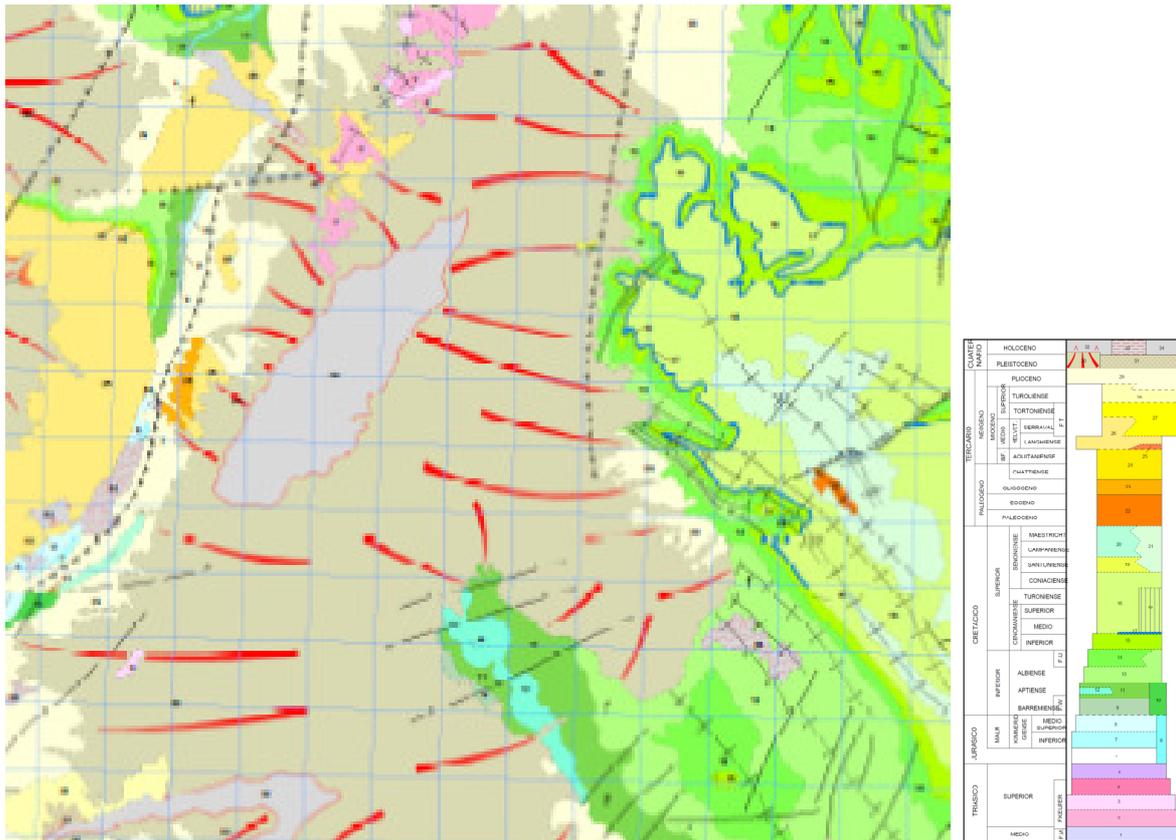


Fig. 7. Mapa Geológico de España 1:50.000 (IGME). Los terrenos de la laguna (34) corresponden a depósitos aluviales, rodeados por Glacis, arcillas, limos y conglomerados encostrados en superficie.

5.4. Climatología

Se aborda la caracterización climática general de la zona de estudio y la descripción de las principales características relativas al régimen de precipitaciones y temperaturas, partiendo de los datos disponibles en las estaciones meteorológicas existentes.

La localización de la Laguna de San Benito en la parte interior de la Cuenca del Mediterráneo Occidental, dentro de la denominada hoyo de Almansa, condicionan las características climáticas. De forma genérica, y resumidamente, el clima es mediterráneo-continental-semiárido, con un fuerte déficit de lluvias (precipitación media de 370 mm.), abundante insolación y temperaturas frías en invierno (-4°) y muy calurosas en verano (40°).

- Durante el verano el calor y la sequía son los rasgos característicos, con ocasionales episodios de lluvias de fuerte intensidad con riesgo de granizadas que suelen aparecer a finales de agosto y septiembre. Vientos dominantes del este. A medida

que se acerca el otoño suelen aparecer frentes de aire frío provocando los fenómenos de gota fría.

- En otoño las temperaturas descienden con rapidez en esta zona a partir del mes de septiembre, con un descenso más acusado en el mes de noviembre. Es, junto con la primavera, el período con mayor frecuencia de precipitaciones. Las heladas pueden aparecer a partir de finales de octubre y prolongarse hasta avanzado el mes de abril.
- Durante el invierno el tiempo se caracteriza por las condiciones anticiclónicas, caracterizadas por tiempo estable, cielos despejados que suelen dar lugar durante la noche a escarchas y heladas. Los días fríos se alternan con situaciones de "buen tiempo", de suaves temperaturas al llegar aires más cálidos procedentes del sur y suroeste peninsular. No suele ser tiempo lluvioso y sólo se producen lluvias cuando el aire procedente del Norte choca con el procedente del Sur originándose el denominado Frente Mediterráneo, que en ocasiones puede generar un máximo de precipitaciones y muy esporádicamente puede dar lugar a nevadas.
- En primavera las temperaturas mínimas dejan de ser tan acusadas y desaparecen las irrupciones de aire frío. A partir de abril va desapareciendo el riesgo de heladas manteniéndose unas temperaturas medias en torno a 15-20°C durante los meses de mayo y junio. Se producen precipitaciones pero relativamente frecuentes, normalmente debido al paso de borrascas atlánticas procedentes de la zona de Gibraltar, lluvias originadas por frentes mediterráneos o chubascos localizados.

De entre las estaciones meteorológicas existentes en la zona, se han de escoger aquellas cuya proximidad al ámbito de influencia del proyecto, cantidad y continuidad de los datos recogidos aseguren una representatividad suficiente.

Los datos se han obtenido del SIAR (Servicio Integral de asesoramiento al regante de Castilla-La Mancha), elaborado por la Consejería de Agricultura y la Universidad de Castilla-La Mancha, que elabora y suministra datos climáticos a partir de una red de estaciones agroclimáticas repartidas por la comunidad.

Tabla 2. Ubicación estación meteorológica Almansa.

CODIGO	Estación	X UTM	Y UTM	Altitud	Primer dato	Último dato
AB03	Almansa	664097	4307740	698	14/10/1999	16/04/2016

Una vez seleccionada la estación termopluviométrica a utilizar, se procede a la elaboración de los resúmenes mensuales (para todo el intervalo de datos disponibles) de las variables térmicas y pluviométricas más significativas. Con los datos diarios se ha elaborado el siguiente:

Tabla 3. Resumen valores registrados período 2000-2015. Fuente: SIAR

MES	Tm (°C)	TMA (°C)	tma (°C)	Hr (%)	Hrmax (%)	Hrmin (%)	RS (MJ/m ²)	V (m/s)	VMA (m/s)	HS (horas)	P (mm)	ETo (mm)
ENE	5,6	11,7	-0,2	72,1	88,4	48,4	8,8	2,7	8,8	7,5	20,0	44,1
FEB	6,7	12,9	0,6	67,1	86,4	42,3	11,6	3,0	9,5	8,5	22,2	56,9
MAR	9,6	16,2	3,0	64,3	85,9	38,1	16,1	3,1	9,5	9,8	34,9	91,9
ABR	12,2	19,0	5,5	64,4	87,4	36,6	20,4	2,8	9,2	11,2	42,3	114,9
MAY	15,9	23,3	8,3	62,1	88,7	32,6	22,9	2,3	8,3	11,7	40,4	142,8
JUN	20,8	29,1	12,2	56,3	86,8	26,1	25,2	2,0	7,9	12,1	22,9	174,0
JUL	23,9	32,7	14,9	53,4	86,2	22,1	25,6	2,0	8,0	12,1	10,4	194,3
AGO	23,5	32,1	15,4	56,8	86,4	24,7	23,7	1,9	8,0	11,8	18,4	179,4
SEP	19,4	26,8	12,6	65,0	88,9	33,4	18,5	1,8	7,3	10,6	46,7	120,0
OCT	15,2	21,9	8,8	69,2	89,9	40,5	13,5	2,0	7,1	9,1	33,0	79,8
NOV	9,2	15,0	3,6	72,6	88,7	49,0	9,2	2,4	8,0	7,7	42,7	48,7
DIC	6,1	12,1	0,5	74,7	89,4	51,3	7,6	2,4	8,1	6,9	23,0	36,5
AÑO	14,0	21,1	7,1	64,8	87,8	37,1	16,9	2,4	8,3	9,9	356,8	106,9

Donde:

Tm	Temperatura media mensual
TMA	Media mensual de las temperaturas máximas diarias
tma	Media mensual de las temperaturas mínimas diarias
Hr	Humedad relativa media
Hrmin	Media mensual de la humedad relativa máxima diaria
Hrmax	Media mensual de la humedad relativa mínima diaria
RS	Media mensual de la radiación solar global acumulada
V	Velocidad media del viento
VMA	Media mensual de la racha máxima diaria del viento
HS	Número medio de horas de sol

P	Precipitación mensual acumulada media
ET _o	Evapotranspiración de referencia mensual acumulada media

Precipitación media anual y mensual

La precipitación media anual oscila en torno a los 400 mm, siendo las estaciones más lluviosas las de otoño y primavera. Aunque la irregularidad característica del clima mediterráneo hace que en años puntuales se hayan alcanzado 600 mm y otros valores ligeramente por encima de los 200 el número medio de días de lluvia es de unos 65 anuales. La precipitación media mensual se produce en los meses de abril, octubre y noviembre.

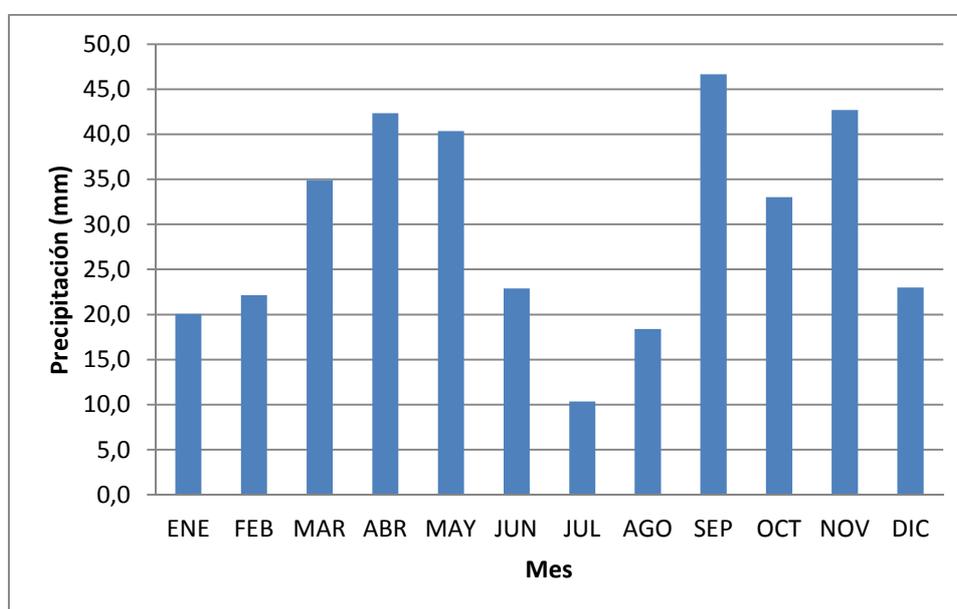


Fig. 8. Media de precipitación mensual acumulada período 2000-2015

Temperaturas

En lo que respecta a la temperatura, se evidencia un clima templado en invierno (temperatura en el mes de enero entre 2°C y 6°C) y caluroso y seco en verano, siendo la media anual de unos 14° C, mientras que la media de los meses veraniegos es de aproximadamente 22° C y la de los invernales de 7° C. Las temperaturas máximas se registran en los meses de verano, mientras que el mes más frío suele ser enero.

La temperatura máxima absoluta está en torno a los 38° C, mientras que la mínima absoluta se sitúa en torno a los -5° C. La oscilación existente entre las temperaturas medias extremas mensuales está en torno a los 18° C

Diagrama ombrotérmico

Atendiendo a la tabla y los gráficos resumen de los datos recogidos, se observa que los días en que se producen otros fenómenos atmosféricos como nieve, granizo o niebla son testimoniales. Las tormentas son un fenómeno más habitual, sobre todo en los meses de mayo a septiembre.

Con objeto de describir de forma gráfica el clima dominante a través de la relación de las diferentes variables entre sí, se ha elaborado un diagrama ombrotérmico (también denominado de Walter-Gausson) que como es sabido representa precipitaciones y temperaturas mensuales en una misma gráfica. La escala de precipitaciones es doble. En este caso, 2 mm de precipitación equivalen a 1 °C de temperatura.

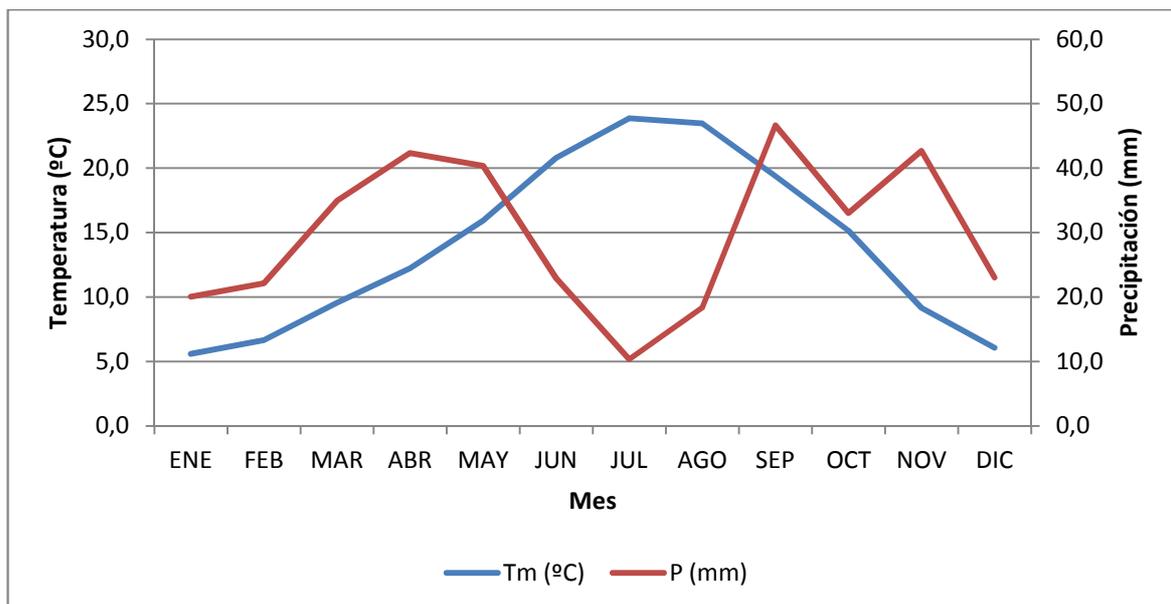


Fig. 9. Diagrama ombrotérmico período 2000-2015

Evapotranspiración

Se define la evapotranspiración como la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones, y en el supuesto caso de no existir limitaciones en la disponibilidad de agua.

En este caso, se adjuntan datos de la ETo, denominada evapotranspiración del cultivo de referencia o evapotranspiración de referencia. La superficie de referencia es un cultivo hipotético de pasto, con una altura asumida de 0,12 m, con una resistencia superficial fija de 70 s m^{-1} y un albedo de 0,23. La superficie de referencia es muy similar a una superficie extensa de pasto verde, bien regada, de altura uniforme, creciendo activamente y dando sombra totalmente al suelo. El método utilizado para el cálculo de la ETo en la red SIAR es el de FAO Penman-Monteith, capaz de predecir con gran fiabilidad ETo correctamente para un amplio rango de localizaciones y climas. A continuación se adjuntan los valores mensuales.

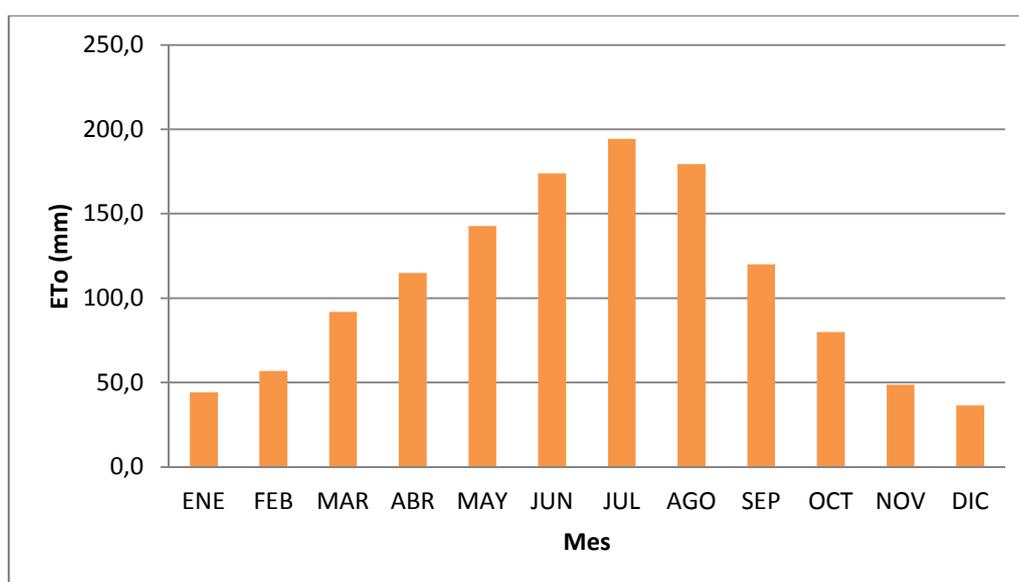


Fig. 10. ETo mensual según FAO Penman-Monteith, período 2000-2015

El valor máximo se da para el mes de julio con un valor cercano a los 200 mm y el mínimo se da en el mes de diciembre con 36,5 mm. La media anual es 106,9 mm y la evapotranspiración acumulada anual es de 1283 mm.

5.5. Recursos Hídricos

El terreno ocupado originariamente por la laguna se asienta sobre el acuífero de Almansa, unidad hidrogeológica 080.146 (CHJ), con el que está conectado hidráulicamente. Tiene una extensión de 239,26 km², se extiende por Castilla La Mancha, Valencia y Alicante.

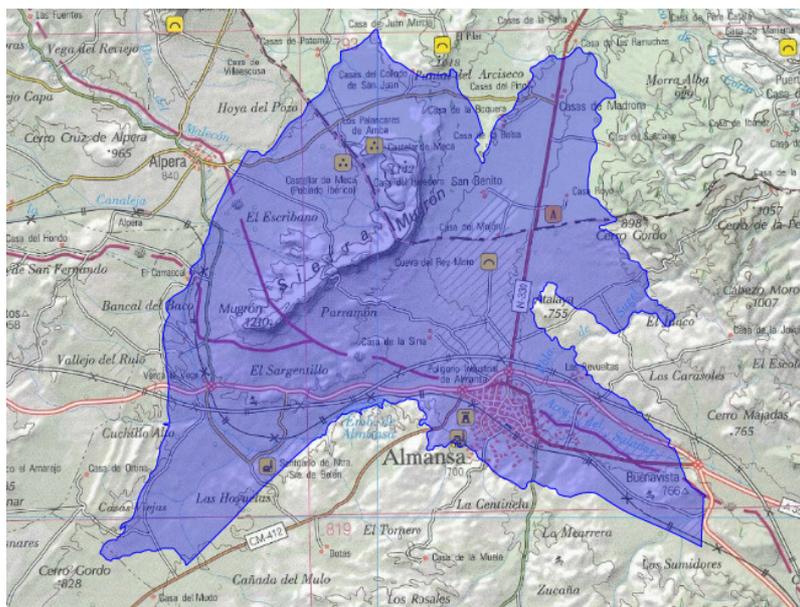


Fig. 11. Delimitación masa de agua subterránea 080.146 (CHJ)

La composición litológica del acuífero es de arenas, gravas, limos y arcillas, de tipo mixto. Tiene un espesor máximo de 115 m. La composición de las aguas es bicarbonatada-sulfatada cálcica; el contenido medio en nitratos es de 69 mg/l y la conductividad de 1080 μ S/cm. Estas características hacen que las aguas de acuífero de Almansa sean aptas para el abastecimiento, a pesar de que existe un pequeño grado de contaminación por vertidos urbanos.

La recarga procede de la infiltración y aportaciones laterales en su caso. Las salidas en régimen natural se producen a través de la subcuenca del río Reconque. En la tabla siguiente se recogen los valores correspondientes a su balance hídrico y estado general elaborados por la CHJ en 2009.

Tabla 4. Valores informe estado aguas subterráneas (CHJ 2009)

080.146 ALMANSA	Valores/diagnóstico (hm³)
Recarga de lluvia	6.2
Pérdidas del río	0.7
Entradas laterales	0.0
Salidas laterales	0.0
Retorno total (agrícola y urbano)	4.9
Recurso renovable	11.8
Salidas laterales	0.0
Restricciones ambientales	1.3
Recurso disponible	10.5
Bombeo total	16.3
Déficit	-5.8
Diagnostico cuantitativo	Mal estado, descenso piezométrico
Nitratos	Mal estado
Plaguicidas	Mal estado

De lo anterior se deduce que actualmente se encuentra en situación de sobreexplotación y siguiendo una tendencia de descenso en los niveles piezométricos. Actualmente el nivel se sitúa en los 656,57 m.s.m. en el último aforo de noviembre de 2015 (CHJ). Sanz y Molina, 2013, constatan un descenso de más de 50 metros en los últimos 40 años. De modo que la dinámica de interrelación natural entre flujos de aguas superficiales y subterráneas se halla seriamente mermada, con más del 50% de las fuentes de la zona desecadas actualmente.

Como se ha visto, la transformación de los sistemas tradicionales de cultivo a regadío y una explotación inadecuada de los recursos hídricos, han supuesto que los medios de recarga natural que mantenían la laguna se hayan visto mermados provocando la desaparición de la lámina de agua.

Por ello, se plantea la reutilización de las aguas depuradas del municipio de Almansa para la recuperación de la laguna. Las aguas residuales del núcleo urbano son conducidas hasta la estación depuradora de aguas residuales (EDAR) en una única red, estando situada la misma a 2 kilómetros al Este del núcleo urbano. Las aguas se vierten actualmente a la Acequia del Saladar. La instalación es de titularidad municipal, explotada por una empresa privada.



Fig. 12. Vista aérea de la EDAR de Almansa

El esquema de tratamiento consiste en pretratamiento, primario o físico-químico y secundario o biológico.

La línea de **pretratamiento** que se lleva a cabo en la EDAR de Almansa es convencional y consta de las etapas de desbaste, desarenado y desengrasado.

El desbaste se lleva a cabo mediante una reja formada por barras verticales que interceptan el flujo de la corriente de agua residual en el canal de entrada a la estación depuradora y que realiza un desbaste grueso; y por un tamiz que lleva a cabo un desbaste fino. Ambos sistemas disponen de un mecanismo de limpieza que separa las materias retenidas y se acciona automáticamente.

La siguiente fase es la de desarenado. En el desarenado se hace circular el agua de forma que la velocidad quede controlada para permitir el depósito de arena en el fondo. Esta arena sedimentada es evacuada mediante bombas a un contenedor. En el desengrasado, las grasas residuales ascienden a la superficie por flotación, para posteriormente permitir su separación en las balsas de decantación, retirando éstas por medio de rasquetas superficiales.

El **tratamiento primario** consiste en un decantador primario de geometría circular alimentado en la zona central. Está dotado de purga en la parte inferior para la eliminación de la materia sedimentada mediante el bombeo a la línea de fangos.

El **tratamiento secundario** consiste en la eliminación biológica de la materia orgánica mediante un proceso aerobio seguido por una decantación. El proceso biológico se realiza mediante lechos bacterianos. Su funcionamiento se basa en hacer circular el agua residual a través de un medio poroso que permite el cultivo fijo no sumergido de los microorganismos y la entrada de aire, de forma que el tiempo de contacto durante la circulación sea suficiente para la degradación biológica de la materia orgánica. El lecho puede estar formado por materiales granulares o sintéticos. En la EDAR se dispone uno de cada tipo.

El agua a tratar se rocía sobre el lecho filtrante, mediante un brazo giratorio, provisto de surtidores y da lugar a la formación de la biopelícula. En la parte inferior del lecho se sitúan el sistema de drenaje, para la salida del efluente del proceso, y el sistema de entrada de aire, para la ventilación ésta se lleva a cabo de forma natural. Posteriormente el agua se dirige al decantador secundario, también de geometría circular, en el que se eliminan los fangos compuestos por fracciones de biopelícula erosionadas o desprendidas en el tratamiento.

La línea de fangos consiste en espesador de gravedad, digestión anaerobia y deshidratación mediante filtros banda.

En episodios de lluvia abundante, se sobrepasa la capacidad de diseño y se vierte todo el agua procedente de la red unitaria a través de aliviadero al canal de salida de la depuradora.

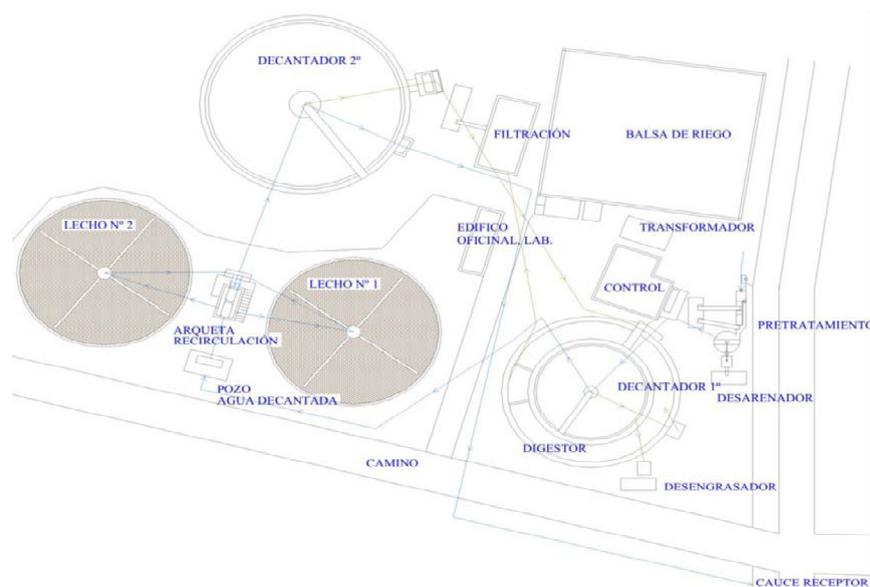


Fig. 13. Esquema de tratamiento EDAR Almansa. Fuente: Ayto. Almansa FCC/Aqualia

Volumen anual tratado en la EDAR

Respecto al caudal tratado, se han podido obtener datos del período 1997-2008. Se observa como el volumen de agua tratado diariamente se ha mantenido en torno a los 4.000 m³. Teniendo en cuenta que el caudal de diseño de la planta es de 3.600 m³ al día, el volumen tratado actualmente en la misma es superior al diseñado para su óptimo rendimiento, un aspecto que, como se observa en los datos siguientes, tiene como resultado el no cumplimiento de los parámetros de calidad establecidos para las aguas residuales. Actualmente, para remediar esta situación, se prevé por parte de las administraciones competentes la renovación y ampliación de la misma, que permitirá aumentar la capacidad, tanto de la línea de agua como de la línea de fangos. Estimando actualmente que cuenta con una población de 54.607 habitantes/equivalentes para Almansa. Se prevé un caudal de proyecto de al menos 4.100 m³/día. Se licitó el proyecto en Junio de 2015.

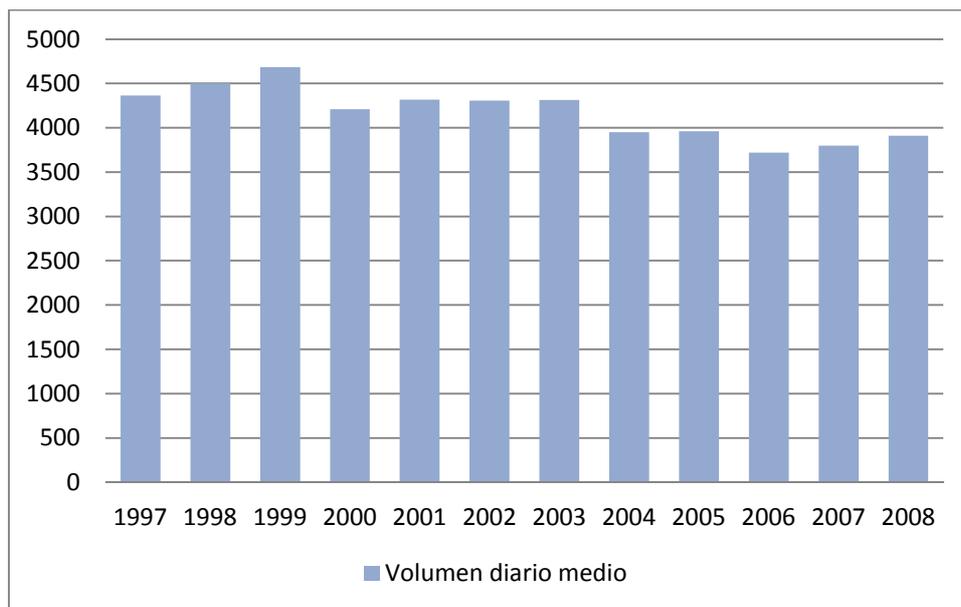


Fig. 14.. Caudales de entrada EDAR 1997-2008. Fuente: Ayto. Almansa/FCC Aqualia

Caracterización de las aguas

Respecto a los parámetros físico-químicos, se recoge en las tablas siguientes la evolución de los parámetros DBO₅, DQO y Sólidos en suspensión de influente y efluente para el año 2003 (el más reciente para el que se ha tenido acceso), junto con los valores límite de vertido

según Real Decreto 509/1996, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de aguas residuales urbanas.

Tabla 5. Valores medios de entrada y salida a la EDAR en 2003. Fuente: Ayto Almansa/FCC Aqualia

PARAMETROS	INFLUENTE	EFLUENTE	VALOR LIMITE
SS (mg/l)	213	32	35
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	426	64	25
DQO (mg O ₂ /l)	779	144	125
pH	7,80	8	

Como se ve, para el año 2003 se incumplían los valores tanto de DQO como de DBO₅ debido al funcionamiento de la planta con caudales y cargas orgánicas por encima de su capacidad de diseño, cabe esperar que la situación en la actualidad haya seguido una tendencia a empeorar, dado el desarrollo urbanístico y crecimiento poblacional de la localidad en este lapso de tiempo.

Sin embargo, dado que las actuaciones de ampliación de la EDAR tienen un carácter inminente, se considerarán los caudales y parámetros de calidad previstos una vez esté ya en funcionamiento.

Por tanto, se considera un caudal de 4.000 m³/día disponible para la recuperación ambiental de la laguna tras su tratamiento en humedales artificiales. La futura ampliación tendrá un caudal de diseño por encima de 4.100 m³/día.

Respecto a **los parámetros físico-químicos de entrada para el diseño, se adoptarán los valores límite marcados por el RD 509/1996**, quedando de esta forma del lado de la seguridad ya que es de prever que los valores de los parámetros con la nueva EDAR sean sensiblemente menores.

5.6. Análisis Ambiental

5.6.1. Vegetación

Encuadre biogeográfico

La mayor parte de la zona objeto de estudio se encuadra biogeográficamente dentro del Reino Holártico, Región Mediterránea, Subregión Mediterránea occidental. Y dentro de esta, en la Superprovincia Mediterránea-Iberoatlántica, Provincia Castellano-Maestrazgo-Manchega, Subprovincia Manchega y Sector Manchego.

Vegetación potencial

En el término municipal de Almansa se reconocen dos pisos bioclimáticos: piso mesomediterráneo y piso supramediterráneo, en clara dependencia de las condiciones climáticas, y especialmente de las temperaturas que condicionan claramente la vegetación existente (medias – T -, medias de las mínimas del mes más frío –m- y medias de las máximas del mes más frío –M-).

- Piso mesomediterráneo (T= 13-17°C, m= -1-5°C, M = 8-14°C), ocupa la práctica totalidad de la zona. La vegetación potencial en su etapa madura corresponde a un bosque denso de encinas (*Quercus rotundifolia*) que en ocasiones puede albergar otros árboles (enebros, quejigos, alcornoques, etc.) y que posee un sotobosque arbustivo en general no muy denso.
- Piso supramediterráneo (T= 8-13°C, m= -4--1°C, M = 3-8°C), está representado en una pequeña zona del oeste, en la Sierra del Mugrón, límite natural con el municipio de Bonete. Se trata de masas mixtas de encina (*Q. rotundifolia* y *Q. ilex*) y sabina albar (*Juniperus thurifera*) en altitudes superiores a 1.100 metros.

Las series de vegetación existentes en estos pisos bioclimáticos según el Mapa de Series de Vegetación de Rivas Martínez son:

- Serie mesomediterránea castellano-aragonesa seca basófila de la encina (*Quercus rotundifolia*). *Bupleuro rigidi-Querceto rotundifoliae sigmetum*.

Esta serie es típica de ombroclimas secos (350-500 mm. al año) y suelos ricos en carbonato cálcico. La etapa madura está representada por el encinar, que lleva un cierto número de arbustos esclerófilos en el sotobosque (*Quercus coccifera*, *Rhamnus alaternus* var. *parvifolia*, *Rhamnus lycioides* subsp. *lycioides*, etc.), que tras la total o parcial desaparición de la encina aumentan su biomasa y constituyen la etapa de sustitución. Las etapas extremas de degradación de esta serie se corresponden con tomillares, romerales y espliegares.

Estos territorios habitualmente suelen tener un uso agrícola (cereal, viñedo, olivar, etc.) y ganadera extensiva.

- Serie supramediterránea castellano-maestrazgo-manchega basófila de la encina (*Quercus rotundifolia*). *Junipero thuriferae-Querceto rotundifoliae sigmetum*.

Esta serie es propia de ombroclimas seco-subhúmedo. La encina suele estar acompañada en la etapa madura por enebro y sabina albar (*Juniperus oxycedrus*, *J. Hemisphaerica*, *J. Thurifera*). Las etapas subseriales corresponden a tomillares, salviares y formaciones de caméfitos pulviniformes.

Vegetación real

El análisis de la vegetación real existente en la zona se ha realizado a partir de datos del Inventario Forestal Nacional y el Mapa Forestal de España elaborado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.



Fig. 15. Mapa forestal de España 1:200.000 (MAGRAMA)

De forma aproximada, para el término de Almansa aparecen las siguientes unidades, con el porcentaje de ocupación en superficie respecto a la superficie total del término.

De las tablas adjuntas se deduce que las principales formaciones arbóreas son pinares, principalmente de pino carrasco, aunque con una muy pequeña representación porcentual de pinares de pino resinero. Arbustivamente le siguen coscojares y encinares, de porte subarbustivo y que representan una muy importante proporción del monte bajo existente en Almansa (12%), de gran significación como refugio para gran parte de la fauna vertebrada.

El resto de las formaciones son cultivos agrícolas de diverso tipo (tanto en secano como en regadío) y áreas de escasa cubierta vegetal, en ocasiones presentándose de forma uniespecífica o en mosaico de pequeñas parcelas mezcladas con monte bajo y matorrales de diverso tipo, entre los que se destacan romerales, tojares, espinares, y formaciones gramínoideas de especies adaptadas a climas secos: atochares y espartales.

Tabla 6. Unidades representativas de vegetación en la comarca y porcentaje en superficie.

BIOTIPO	Unidad representativa	%
Arbóreo	Pinares de <i>Pinus halepensis</i>	27.55
	Pinares de <i>Pinus Pinaster</i>	0.48
Arbustivo	Encinares (<i>Quercus ilex rotundifolia</i>)	0.10
	Coscojares (<i>Quercus coccifera</i>)	11.48
Subarbustivo	Romerales (<i>Rosmarinus officinalis</i>)	0.63
	Aulagares (<i>Ulex parviflorus</i>)	0.05
Herbáceo	Espartales (<i>Lygeum spartum</i>)	2.11
	Atochares (<i>Stipa tenacissima</i>)	1.14
	Mosaico de cultivos agrícolas	49.57
	Cubierta vegetal inferior al 5% de la superficie	6.70
	Masas de agua	0.19

5.6.2. Fauna

La fauna de la zona está íntimamente relacionada con el paisaje predominante de estepas, monte bajo y pinar, en ocasiones en formaciones monoespecíficas, pero también conformando paisajes mixtos que conforman ecotonos de gran interés para la distribución y presencia de distintas especies. El rasgo general de la fauna de la comarca es la potencialidad

de la zona para albergar poblaciones de numerosas especies de diversas ecologías, debido a la variedad de hábitats que se dan cita en el territorio (monte alto de pinares, agrosistemas diversos, manchas de monte bajo de encina, coscojares y otros matorrales, pastizales, roquedos, antiguas áreas lagunares, etc.) La información más actual referente a la fauna es la ofrecida por las siguientes referencias del Ministerio de Agricultura, Alimentación y

Medio Ambiente: Atlas de los Mamíferos Terrestres y Atlas y Libro Rojo de los Anfibios y Reptiles de España

Anfibios, reptiles

Debido a la aridez de la zona y la paulatina desaparición de los ambientes húmedos, los anfibios son poco frecuentes, mientras que los reptiles cuentan con gran variedad y abundancia de especies.

Tabla 7. Reptiles y anfibios presentes en la zona

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
<i>Pelodytes punctatus</i>	Sapillo moteado común
<i>Pelobates cultripipes</i>	Sapo de espuelas
<i>Bufo bufo</i>	Sapo común
<i>Bufo calamita</i>	Sapo corredor
<i>Alytes obstetricans</i>	Sapo partero común
<i>Rana perezi</i>	Rana común
<i>Acanthodactylus erythrurus</i>	Lagartija colirroja
<i>Lacerta lepida</i>	Lagarto ocelado
<i>Podarcis hispanica</i>	Lagartija ibérica
<i>Psammodromus algirus</i>	Lagartija colilarga
<i>Psammodromus hispanicus</i>	Lagartija cenicienta
<i>Malpolon monspessulanus</i>	Culebra bastarda
<i>Elaphe scalaris</i>	Culebra de escalera
<i>Coluber hippocrepis</i>	Culebra de herradura
<i>Macroprotodon cucullatus</i>	Culebra cogulla
<i>Coronella girondica</i>	Culebra lisa meridional
<i>Vipera latasti</i>	Víbora hocicuda

Mamíferos

Los Mamíferos tienen una buena representación de las especies propias de los ambientes mediterráneos. Los pequeños mamíferos están representados por especies típicamente mediterráneas. Conejo y liebre hacen su presencia en todo tipo de ambientes. La comunidad de Carnívoros está bien estructurada, con una buena representación de especies: son comunes zorro o comadreja y más escasas o raras gineta, tejón, turón o gato montés.

Tabla 8. Especies de mamíferos presentes en la zona

NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
<i>Erinaceus europaeus</i>	Erizo europeo	<i>Genetta genetta</i>	Gineta
<i>Crocidura russula</i>	Musaraña gris	<i>Felis sylvestris</i>	Gato Montés Europeo
<i>Suncus etruscus</i>	Musgaño enano	<i>Sus scrofa</i>	Jabalí
<i>Rhinolophus ferrumequinum</i>	Murciélago grande de herradura	<i>Cervus elaphus</i>	Ciervo rojo
<i>Myotis myotis</i>	Murciélago ratonero grande	<i>Dama dama</i>	Gamo
<i>Myotis blythii</i>	Murciélago ratonero mediano	<i>Capra pyrenaica</i>	Cabra montés
<i>Myotis nattereri</i>	Murciélago ratonero gris	<i>Sciurus vulgaris</i>	Ardilla roja
<i>Myotis capaccinii</i>	Murciélago ratonero patudo	<i>Arvicola sapidus</i>	Rata de agua
<i>Plecotus auritus</i>	Orejudo dorado	<i>Microtus duodecimcostatus</i>	Topillo mediterráneo
<i>Plecotus austriacus</i>	Orejudo gris	<i>Apodemus sylvaticus</i>	Ratón de campo
<i>Miniopterus schreibersii</i>	Murciélago de cueva	<i>Rattus norvegicus</i>	Rata parda
<i>Vulpes vulpes</i>	Zorro rojo	<i>Mus domesticus</i>	Ratón casero
<i>Mustela nivalis</i>	Comadreja	<i>Mus spretus</i>	Ratón moruno
<i>Mustela putorius</i>	Turón	<i>Eliomys quercinus</i>	Lirón careto
<i>Martes foina</i>	Garduña	<i>Lepus granatensis</i>	Liebre ibérica
<i>Meles meles</i>	Tejón	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	Conejo

Aves

Se incluyen aquellas especies merecedoras de alguna categoría de protección o de interés especial. Clasificadas en función de su carácter estepario o ligadas a ambientes forestales. Las aves constituyen uno de los grupos indicativos del nivel de conservación medioambiental. En la zona destacan por su importancia las especies ligadas a medios esteparios, que son las

responsables de la declaración de la Zona Especial de Protección de Aves (Z.E.P.A.) "Área Esteparia del Este de Albacete".

Tabla 9. Especies de aves de especial relevancia en la zona

AVES ESTEPARIAS		AVES LIGADAS A AMBIENTES FORESTALES	
NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTIFICO	NOMBRE COMÚN
<i>Circus pygargus</i>	Aguilucho cenizo	<i>Aquila chrysaetos</i>	Águila real
<i>Tetrax tetrax</i>	Sisón común	<i>Circus cyaneus</i>	Aguilucho pálido
<i>Otis tarda</i>	Avutarda	<i>Hieraatetus fasciatus</i>	Águila perdicera
<i>Burhinus oedicnemus</i>	Alcaraván común	<i>Circaetus gallicus</i>	Águila culebrera
<i>Pterocles alchata</i>	Ganga común	<i>Falco peregrinus</i>	Halcón peregrino
<i>Pterocles orientalis</i>	Ganga ortega	<i>Accipiter nisus</i>	Gavilán común
		<i>Bubo bubo</i>	Búho real
		<i>Strix aluco</i>	Cárabo común

Avifauna ligada a ambientes húmedos

Dado el carácter temporal y poco frecuente de aparición de la Laguna de San Benito (frecuencia aproximada entre 25 y 30 años), no se cuenta con registros oficiales de poblaciones de fauna ligada a estos ambientes. Sin embargo, es un hecho reseñable que en cada episodio la zona ha sido colonizada con relativa rapidez por diferentes especies limícolas, anátidas y migratorias.



Fig. 16. Cigüeñuela avistada en San Benito en 2015. Fuente: Actio Birding

Dado que uno de los objetivos de la recuperación ambiental de la laguna es el establecimiento permanente de un hábitat para este tipo de especies, se detalla a continuación un registro no exhaustivo de distintas especies observadas durante el último

período inundado por distintas asociaciones conservacionistas (Societat Valenciana d'ornitología, SEO Birdlife).

Tabla 10. Especies de aves identificadas durante la última reaparición de la Laguna de San Benito (2015)

NOMBRE CIENTÍFICO	NOMBRE COMÚN
<i>Ardea cinerea</i>	Garza real
<i>Anas platyrhynchos</i>	Ánade azulón
<i>Egretta garzetta</i>	Garceta común
<i>Phoenicopterus roseus</i>	Flamenco común
<i>Himantopus himantopus</i>	Cigüeñuela
<i>Actitis hypoleucos</i>	Andarríos chico
<i>Tringa glareola</i>	Andarríos bastardo
<i>Charadrius hiaticula</i>	Chorlitejo grande
<i>Calidris alpina</i>	Correlimos común
<i>Tringa totanus</i>	Archibebe común
<i>Tringa nebularia</i>	Archibebe claro
<i>Philomachus pugnax</i>	Combatiente
<i>Limosa lapponica</i>	Aguja colipinta
<i>Gallinago gallinago</i>	Agachadiza común
<i>Fulica atra</i>	Focha común

5.6.3. Figuras de protección

Se listan a continuación las diferentes figuras de protección, a nivel local, regional, nacional y europeo que incluyen la zona objeto de estudio.

-Ordenación municipal: Como ya se ha comentado, los terrenos objetos de este estudio forman parte del Término municipal de Ayora (aproximadamente un 75%) y de Almansa (25%) ya en la provincia de Albacete. En sus respectivos Planes de Ordenación Urbana, la zona de interés queda ordenada de la siguiente forma:

-Parte correspondiente a Ayora: se califica como Suelo No Urbanizable Protegido de uso agrícola.

-Parte correspondiente a Almansa: se califica como Suelo No Urbanizable Protegido. Y dentro de éste, se incluye como Área de Interés Ecológico: espacio a proteger y conservar por tener gran significado al menos a nivel regional.

-Catálogo de zonas húmedas de la Comunidad Valenciana: clasificada como zona nº 34 dentro del catálogo, se incluyen 225.04 ha correspondientes a la parte de la provincia de Valencia. En su descripción se reconoce el drenaje artificial como afección a su régimen natural de funcionamiento. Se destacan como significativos sus valores paisajísticos, patrimoniales y etnológicos. Así como su función de protección frente al riesgo de inundaciones (efecto laminador).



Fig. 17. Delimitación del perímetro lagunar y zona de influencia asociada recogido en el Catálogo de Zonas Húmedas de la Comunidad Valenciana (TERRASIT)

-Lugar de Interés Comunitario de la Sierra del Mugrón: Pertenciente a la Red Natura 2000; código ES5233034, superficie de 2079 ha. Se trata de una zona de características variadas que alberga tres unidades vegetales y de paisaje íntimamente relacionadas: por un lado, la sierra propiamente dicha, en la que aparecen los que probablemente son los mejores sabinars de sabinia negral de la Comunitat Valenciana; por otra, los cultivos de secano, hábitat de interesantes especies de aves esteparias; y, finalmente, la laguna de San Benito, sistema endorreico de funcionamiento estacional.



Fig. 18. Delimitación del Lugar de Interés Comunitario de la Sierra del Mugrón (TERRASIT)

Respecto a los hábitats y especies destacables, deben mencionarse los hábitats siguientes: por una parte, los matorrales arborescentes con *Juniperus*, matorrales y tomillares, bosques endémicos de *Juniperus*, carrascales, pastizales de Thero-Brachypodietea y pendientes rocosas correspondientes al Mugrón; por otra, los estanques temporales mediterráneos, asociados a la laguna. En cuanto a las especies, ya se ha mencionado la importancia de aves esteparias como *Tetrax tetrax* o *Burhinus oedicnemus*.

-Zona de Especial Protección para las Aves Mega-Mugrón-San Benito: Pertenece a la Red Natura 2000, código ES0000452, superficie de 7037,57 ha. Alberga poblaciones nidificantes de 17 especies de aves incluidas en el Anexo I de la Directiva 79/409/CEE. La zona es de especial relevancia para la conservación de aves esteparias. Acoge el 95,8% de los efectivos regionales de Avutarda Común, el 46,5% de Sisón Común y el 20,5% de Ganga Ortega. Desde 2007 nidifican además algunas parejas de Cernícalo Primilla. Presenta también densidades importantes de Alcaraván Común. Cuenta también con una pareja de Águila Real.

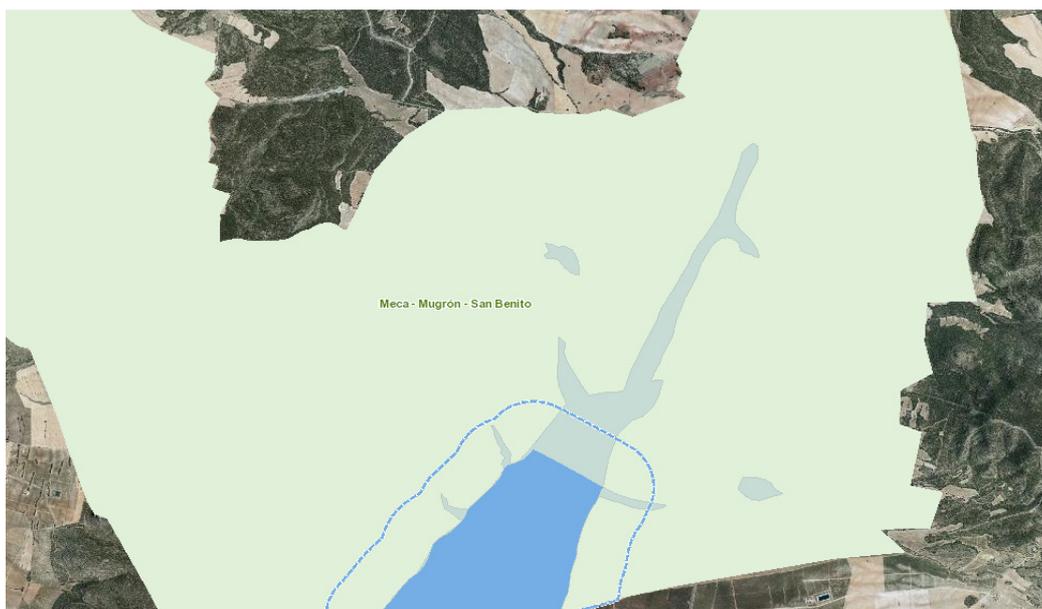


Fig. 19. Límites de la ZEPA Meca-Mugrón-San Benito, junto con el perímetro lagunar y zona de inundación asociada (PATRICOVA)

Los rangos de las poblaciones de aves reflejadas en el apartado 3.2 muestran los contingentes mínimos y máximos registrados en el periodo 2003-2008, elaborados a partir de censos oficiales.

-Microrreserva de flora Cañada Real de San Benito: Se trata de una pequeña franja de territorio siguiendo la traza de la CV-436. Coincidiendo con el límite norte de los terrenos inundados por la laguna. Tiene una superficie de 3.8 ha. Comprende las especies prioritarias *Achillea santolinoides*, *Sideritis tragoriganum subsp. mugronensis*. Unidades de vegetación prioritarias: Zonas substeparias de gramíneas y anuales del *Thero-Brachypodietea*. Las limitaciones establecidas incluyen la instalación de piquetes perimetrales y la prohibición de la remoción del sustrato o recogida de cualquier tipo de material vegetal.



Fig. 20. Perímetro de la microrreserva de flora siguiendo la traza de la carretera. (TERRASIT)

5.6.4. Paisaje

Las unidades de paisaje principales en la zona de la laguna son:

Cultivo: incluyendo tanto secano como regadíos: Es la unidad de paisaje dominante en cuanto a extensión. Predominan los cultivos de cereal, pastizales, algún regadío y algunas manchas de viñedos. Se trata de superficies muy homogéneas en color y textura, de grano muy fino y límites regulares, con predominancia de la línea y formas geométricas poligonales. Los colores varían con la estación y el cultivo de que se trate, y el bajo porte de las especies lo hace muy vulnerable a impactos paisajísticos, pudiendo distinguir cualquier elemento de más de dos metros a grandes distancias. Su calidad paisajística es media, ya que sin ser escaso ni exclusivo, es típico y representativo de la región.

Matorral: Se hace más presente a medida que el relieve se escarpa, formado por especies leñosas de bajo porte. Superficies de grano fino – medio, con especies de talla baja, formas irregulares, y colores heterogéneos dentro de las tonalidades típicas vegetales (verdes, ocre y pardos). Calidad media, con alto grado de naturalidad y nicho fundamental para sustentar ecosistemas autóctonos. Fragilidad alta dada su baja talla.

5.7. Análisis Socio-Económico

5.7.1. Demografía

Según el Instituto Nacional de Estadística, para el año 2015, el municipio de Almansa cuenta con una población de 24.837 habitantes, mientras que Ayora registra 5.303. Sumando un total de 30.140 habitantes en el área de influencia de la zona objeto de estudio. La pedanía de San Benito no cuenta con habitantes durante todo el año. En los últimos 15 años Almansa ha experimentado un crecimiento del 4%, si bien es cierto que la población se viene reduciendo significativamente desde 2009. En cuanto a Ayora, su población ha decrecido en los últimos 15 años en un 3,8%, manteniéndose una tendencia constante de decrecimiento. A pesar de encontrarse la mayor parte de la laguna en el término de Ayora, el núcleo de Almansa supone el núcleo de influencia más importante por tamaño y proximidad.

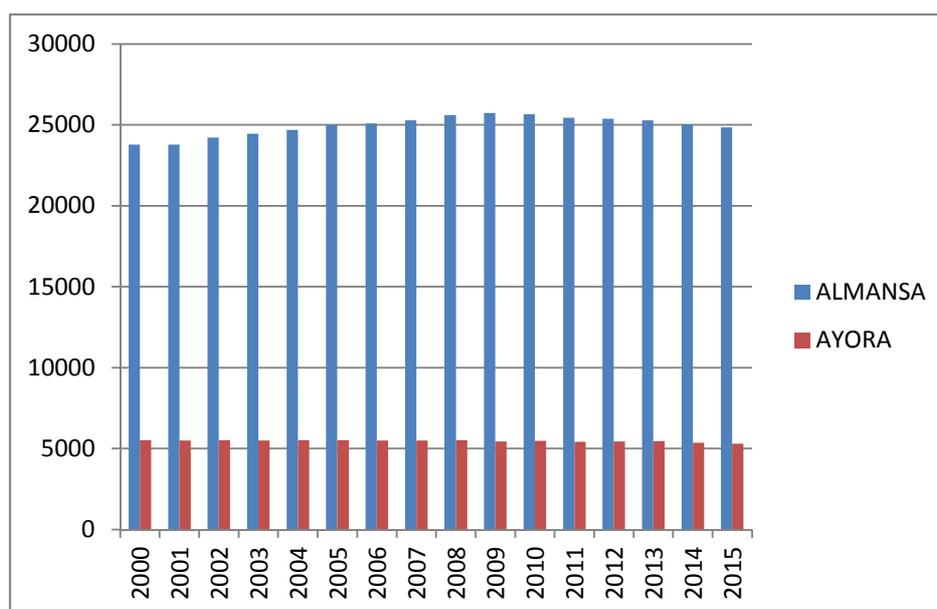


Fig. 21. Evolución de la población de los municipios de Almansa y Ayora (INE)

5.7.2. Sistema económico

El desarrollo socioeconómico experimentado desde la década de los años 60, ha posicionado a la zona como uno de los principales núcleos de referencia en el entorno. Esto unido a una importante red de comunicaciones (carreteras y ferrocarril), ha propiciado

importantes relaciones socioeconómicas con la franja sureste del arco mediterráneo, una de las regiones más industrializadas y pobladas de la geografía española.

Por otro lado, el papel funcional de Almansa como cabecera comarcal de servicios de la comarca, ha propiciado en los últimos años la terciarización y diversificación de su economía, encaminada a satisfacer entre otras las necesidades provocadas por el aumento de la primera residencia

Actualmente la economía de la zona tiene como base el sector servicios, incluyendo dentro de éste, entre otros, la hostelería el comercio, el transporte, etc. La segunda actividad más relevante en la economía es la industria, debido a la buena situación geográfica en la que se encuentra el municipio

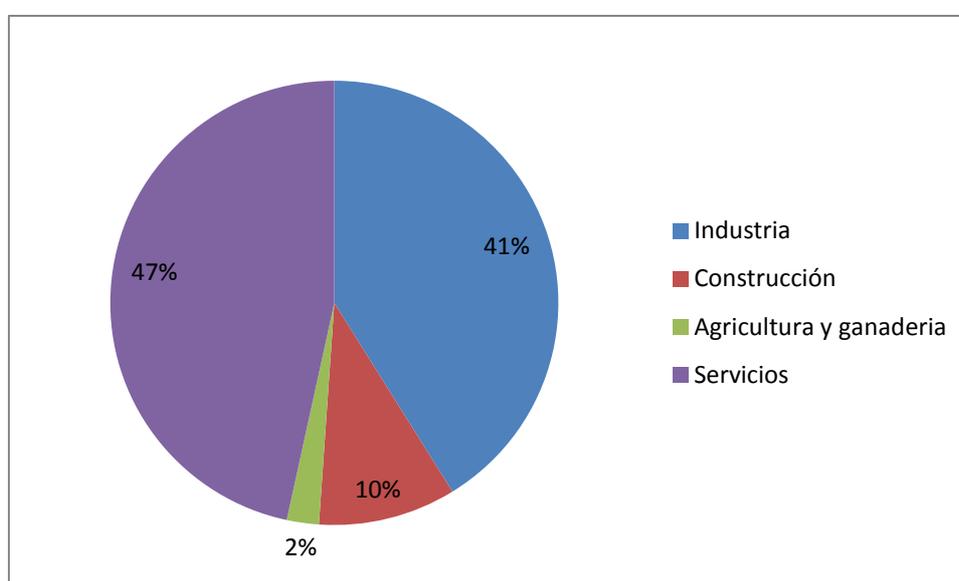


Fig. 22. Reparto de sectores productivos. Porcentaje de trabajadores afiliados a cada sector, Fuente: Tesorería General de Seguridad Social

Agricultura: El sector agrario en Almansa apenas ha experimentado cambios significativos a lo largo del tiempo, pues se mantiene en torno al 2%, la actividad agrícola se manifiesta principalmente como actividad complementaria, lo cual está íntimamente relacionado con la estructura de propiedad de la tierra.

Construcción: El sector de la construcción ha experimentado un progresivo crecimiento al igual que en el resto del país. Equivalente al 9%. del empleo local. El peso relativo del sector de la construcción en la estructura productiva es menor en comparación a nivel nacional.

Industria: El sector industrial en Almansa ha experimentado profundos cambios en los últimos años. Un claro indicador es la cantidad de puestos de trabajo que genera en el municipio y que en los últimos años ha descendido en un 10,8%. El cambio más significativo se ha producido en las industrias pertenecientes al epígrafe de preparación del cuero y fabricación de artículos de calzado.

Sector terciario: El sector terciario ha crecido muy por encima de la media de la economía local. Los servicios sanitarios, sociales y educativos, ha sido el grupo de actividad que mayor crecimiento en términos de generación de empleo. Por otro lado, las actividades comerciales aun siendo el que mayor empleo genera, han experimentado un decrecimiento en los últimos años. Otras actividades como la hostelería, el transporte y las comunicaciones, sin embargo, han experimentado un importante crecimiento.

5.7.3. Ocupación y usos del suelo

El análisis de ocupación de usos del suelo se ha realizado a partir del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España y el Mapa de Cultivos y Aprovechamientos Agrarios a través del Sistema de Información Geográfica de Datos Agrarios (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente).

El terreno inundado por la laguna se clasifica como regadío de distintos tipos, con una extensión total de 1.401,56 ha. Permanece rodeado por cultivos de secano a medida que se aumenta la pendiente del terreno a ambos lados del valle hasta las laderas de los sistemas montañosos que lo conforman.

La superficie de suelo urbano se circunscribe únicamente al núcleo de San Benito y casas de labor que contienen equipos de bombeo y depósitos repartidas por la zona.

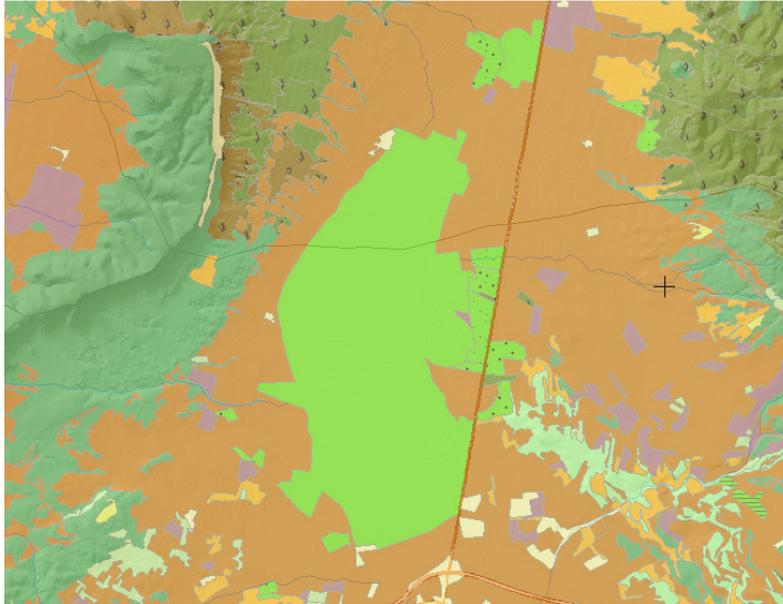


Fig. 23. Mapa de cultivos y aprovechamientos agrarios (SIGA). La zona en verde corresponde a regadíos sin identificar, rodeados por cultivos en secano en marrón

Para el conjunto de la comarca, aproximadamente el 42% está ocupado por tierras de labor en secano. Habiéndose producido en las últimas décadas un cambio estructural en los usos y aprovechamientos del suelo en la zona, reflejados en:

- Reducción de la superficie agrícola
- Aumento del índice de regadío
- Extensión de las zonas de matorral y terreno improductivo
- Aumento en el grado de ocupación de especies arbóreas, principalmente coníferas

Los cultivos predominantes en el municipio son los cereales, más concretamente la cebada, la avena y el trigo. Entre los cultivos leñosos, el viñedo es el más abundante junto con olivar y almendros, destacando en los últimos años la especialización y modernización de este sector. A pesar de la decreciente disponibilidad de recursos, la dedicación al regadío no ha dejado de aumentar, principalmente cereales, maíz, remolacha o frutales en regadío.

6. Propuesta de actuación

6.1. Descripción/predimensionamiento

La actuación propuesta consta de tres partes diferenciadas:

- En primer lugar las instalaciones de bombeo y conducciones hasta el paraje del Hondo, donde se ubica la Laguna.
- En segundo lugar el sistema de depuración compuesto por humedales construidos de flujo subsuperficial.
- Por último la restauración ambiental del vaso de inundación.

El primer paso antes de abordar el diseño de los diferentes sistemas que constituyen la propuesta de recuperación es determinar las posibilidades de recuperación en base a los recursos hídricos disponibles.

Las distintas fuentes consultadas, (Castellá, 1972; Ponce Herrero, 1986; Soria *et al*, 1988) establecen la extensión original de la laguna coincidente con la curva de nivel correspondiente a 680 m, citando una extensión de 450 ha.

Para estimar la el volumen necesario para inundar el área descrita se ha recurrido a métodos indirectos, utilizando Modelo Digital del Terreno (MDT) procesado mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG). En este caso el cálculo se ha realizado mediante las herramientas de la extensión 3D Analyst del software ArcGIS.

En primer lugar se ha obtenido el MDT correspondiente a la zona de estudio obtenido del Centro Nacional de Información Geográfica, con paso de malla 5 metros, suministrado en formato ASCII, obtenido por interpolación a partir de vuelos LIDAR del Plan nacional de ortofotografía aérea.

Mediante ArcGIS, se obtiene el MDT en formato ráster mostrado en la Figura 24, dentro del cual se acota la zona de interés.

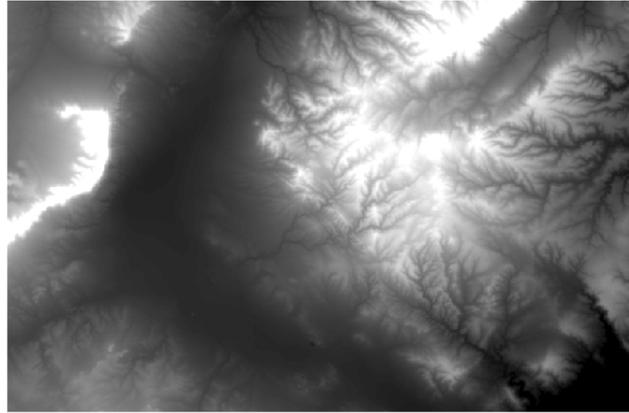


Fig. 24. MDT del terreno en formato ráster, con paso de malla de 5 metros.

Mediante las distintas herramientas del programa, se acota la zona de interés y se genera el modelo tridimensional del terreno en formato TIN (red irregular de triángulos)

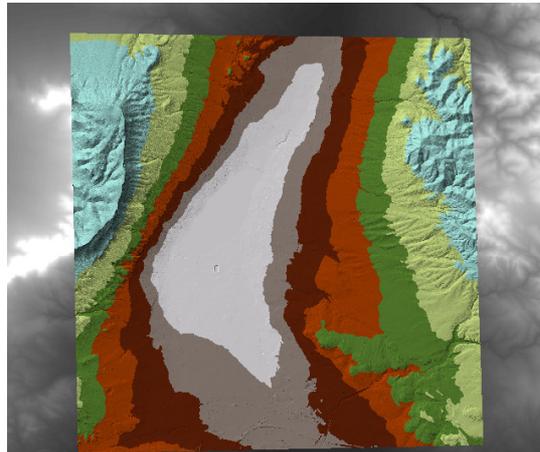


Fig. 25. MDT en formato TIN, las gradaciones de color corresponden a intervalos de altitud.

A partir del modelo TIN se pueden generar curvas de nivel con el intervalo deseado en forma de polilínea, en concreto se genera la correspondiente a la cota 680 m. Posteriormente se le dota de cota, y se convierte en un polígono cerrado que nos permita calcular el área.

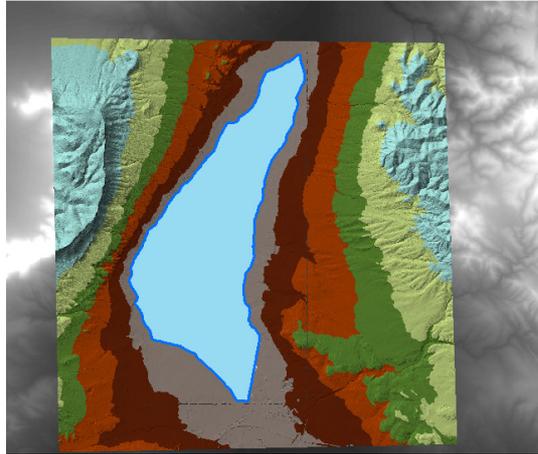


Fig. 26. Superficie correspondiente a la curva de nivel de 680 m en azul.

Para calcular el volumen situado por debajo del polígono que representa la superficie encerrada por la curva de nivel 680 m (que correspondería a la lámina de agua original) se utiliza la herramienta *Polygon Volume*, que calcula el volumen encerrado entre el terreno que queda por debajo y el polígono correspondiente.

Se ha realizado el cálculo de área y volumen encerrado para los polígonos correspondientes a la cota 680 m, 670 m, y por último el área correspondiente a la última inundación (delineada a partir de las imágenes por satélite correspondientes). Hay que señalar que la precisión de los datos depende de la resolución de la información de entrada, en este caso se parte de un paso de malla de 5 metros, que se considera válido para una primera aproximación del volumen de agua necesario para inundar el terreno.

Se utilizará para la restauración ambiental 3000 m³/día dejando un margen de 1000 m³/día para otros posibles usos.

Una vez obtenidas las áreas y volúmenes correspondientes, por simple división entre el caudal disponible se ha obtenido el número de días necesarios para inundar los terrenos, en la tabla siguiente se muestran los resultados:

Tabla 10. Superficie, volumen y tiempo de llenado para los tres niveles considerados

Polígono	Area (m ²)	Volumen encerrado (m ³)	Tiempo para el llenado (días)
680 m	17389051	19127953	6376
670 m	6090913	3654547	1218
Última inundación	1263773	631886	210

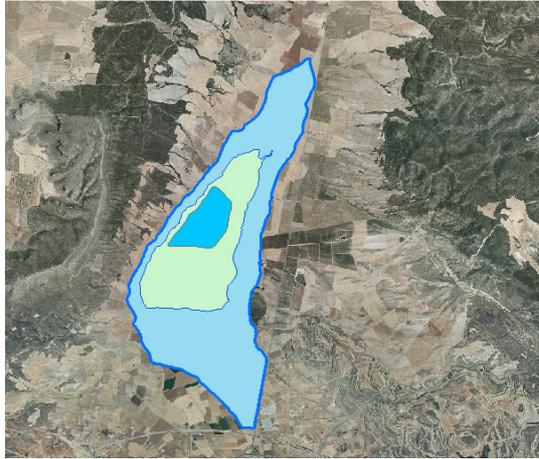


Fig. 27. Superficies consideradas superpuestas a la imagen aérea del terreno

A la vista de los resultados resulta evidente la enorme disparidad entre los datos aportados por las fuentes bibliográficas (la curva de 680 encierra una superficie de 17,38 km² frente a los 4,5 km² citados), además los tiempos de llenado son totalmente inasequibles para las tres superficies consideradas.

Abordando el problema a partir del caudal disponible en lugar de la superficie a inundar, a partir de 3000 m³/día y un tiempo razonable de llenado de 2 meses, tras varios tanteos se llega a:

$$S = 300000$$

$$t = \frac{S \cdot h}{Q} = 50 \text{ dias}$$

La superficie de llenado será de 30 ha, y la profundidad media de 0,5 m. El tiempo inicial de llenado de 50 días < 2 meses.

Una vez determinada la superficie a inundar y el caudal de diseño se dimensionará tanto la instalación de bombeo necesaria como el humedal construido, teniendo en cuenta los condicionantes relativos a requerimientos de espacio y mínima afección a instalaciones y edificaciones existentes.

6.2. Bombeo

6.2.1. Trazado y datos de partida

El conjunto de instalaciones de bombeo que permitirán el transporte del agua desde la EDAR de Almansa hasta el punto de toma en el inicio del humedal construido consta de dos elementos principales: La estación de bombeo y el colector de impulsión hasta el punto de desagüe.



Fig. 28. Ubicación de la estación de bombeo (PNOA)

La **estación de bombeo** se situará en el punto de vertido de la EDAR a la Acequia del Saladar. Estará dotada de cuatro bombas sumergibles instaladas en paralelo. Con una de ellas de reserva, con el fin de repartir la impulsión entre varias bombas para disminuir las horas de trabajo de cada una de ellas. Se aprovechará la instalación de la EDAR para el suministro de energía eléctrica.

Constará de un pozo de bombeo de dimensiones interiores 2 m x 2 m con cámara tranquilizadora y aliviadero a la entrada donde se ubican las bombas. Cada una de ellas estará conectada a su colector individual que lleva a la cámara de válvulas, ya fuera del pozo, estará provista además de desagüe de emergencia. La profundidad del pozo de bombeo desde la cota de rasante se prevé de 3 metros. Finalmente las cuatro conducciones se conectan al colector general de impulsión. Contará además con la instalación de un bypass

provisto de compuerta manual de admisión de modo que cuando no sea necesario el bombeo, las aguas tratadas se viertan en el punto actual.

El **colector general de impulsión** discurre desde la estación de bombeo hasta el punto de vertido en la entrada del humedal artificial. La distancia en línea recta es de aproximadamente 8000 m con un desnivel positivo de 11 m. Los puntos críticos en el trazado de la conducción son el cruce con la A-31 y la línea ferroviaria de Alta Velocidad Albacete-Alicante. Además de las infraestructuras periurbanas. Para evitar las últimas y aprovechar los pasos elevados existentes de las dos primeras, se ha seguido el trazado de la Rambla de Sugel, que discurre encauzada desde el punto de inicio hasta el cruce con la autovía. A partir de este punto, discurre paralela a vías existentes hasta el punto de desagüe en el límite provincial (Ver plano nº 1). La longitud total es de 9059 metros.

En la definición del bombeo se determinarán la altura manométrica total a salvar por las bombas, el diámetro y tipo de conducciones, los principales elementos auxiliares necesarios, el tipo de bomba y la potencia requerida.

6.2.2. Caudal de partida.

En el apartado 5.5. Recursos Hídricos, se ha establecido el recurso disponible en 4.000 m³/día, de los cuales se utilizarían 3000 m³/día. Para el dimensionamiento de los equipos y conducciones de bombeo se establece un factor punta de 1.5, con lo que el caudal máximo a bombear será:

$$Q_p = Q_m \cdot fp = 4500 \text{ m}^3/\text{día}$$

6.2.3. Dimensionamiento de las tuberías

El diámetro de las tuberías a instalar está directamente relacionado con la velocidad del fluido. La velocidad del agua no será superior a 3 m/s. La velocidad mínima no será inferior, en general, a 0,6-0,7 m/s para evitar sedimentaciones en la tubería. A la salida de las bombas, la velocidad mínima será de 1,00 m/s para evitar atascos en el impulsor. Para el cálculo del diámetro óptimo económico se utilizara una velocidad intermedia a esta recomendación, 1,5 m/s.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot u}} = 0,209 \text{ m}$$

Siendo:

D: diámetro mínimo

Q: caudal admisible (m³/s)

u: velocidad del fluido (m/s)

- Para el **colector de impulsión general** resulta D= 0,105 m por lo que se opta por un diámetro nominal DN= 250 mm. El material elegido para la tubería de impulsión es la fundición dúctil galvanizada y recubierta con pintura plástica con resina epoxi. La unión entre piezas cada 6 metros de la tubería de impulsión se hará mediante junta automática flexible NBR. El revestimiento interior es de mortero de cemento.

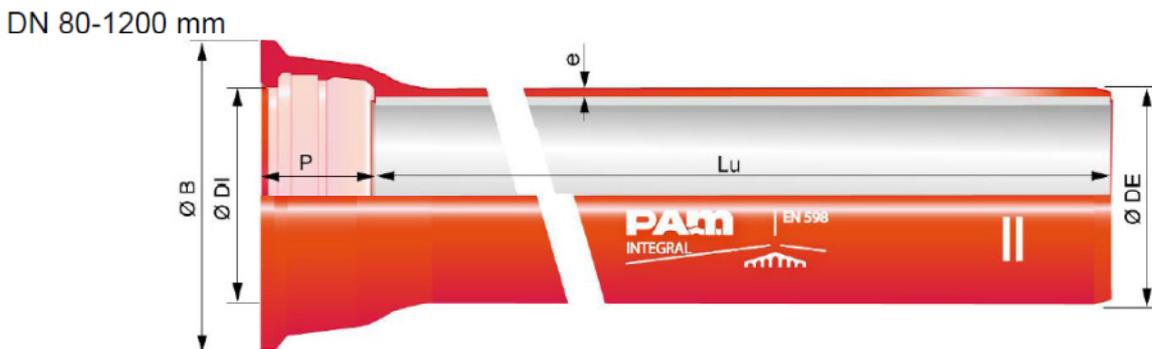


Fig. 29. Tubería de fundición dúctil gama integral para aguas residuales de Pam-Saint Gobain®

- Para las **conexiones de las bombas** hasta el colector general, el caudal unitario de entrada será el caudal total de entrada dividido entre el número de bombas en servicio (tres), resulta DN = 125 mm. Cada bomba constará de su tubería de salida en un tramo inmediatamente vertical de tres metros, enlazando con la cámara de válvulas ya fuera del pozo de bombeo (tramo horizontal de tres metros) para posteriormente conectar con la tubería de impulsión mediante una pieza de unión múltiple de tipo pantalón.

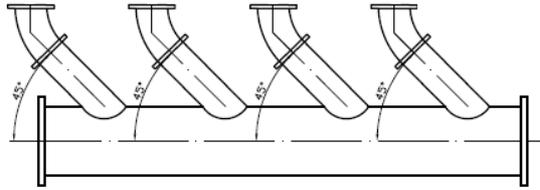


Fig. 30. Pieza de conexión de las conducciones de las bombas con el colector general

El material de las conducciones hasta la conexión con el colector principal será de acero inoxidable de alta resistencia, ya que en esta zona los requerimientos de presión serán los más críticos.

6.2.4. Altura manométrica

La altura manométrica o energía a aportar por el grupo de bombeo será la correspondiente a la diferencia de cotas entre los puntos de toma y salida mas las pérdidas de carga tanto en la instalación de bombeo como en el colector de impulsión.

6.2.4.1. Altura geométrica

La altura geométrica viene dada por la diferencia de cotas entre la salida del colector de impulsión en la entrada al humedal artificial y el pozo de bombeo. La cota en el punto donde se sitúa el pozo de bombeo es de 681 m la cota en la salida del colector de impulsión es de 670 m, teniendo en cuenta que se prevé una profundidad de 3 metros para el pozo:

$$H_g = 678 - 670 = 8 \text{ m}$$

Es decir, se cuenta con una altura disponible de 8 metros.

6.2.4.2. Pérdidas de carga

En toda la instalación de impulsión se generan dos tipos de pérdidas de carga: las primeras denominadas pérdidas continuas se producen a lo largo de las conducciones por rozamiento del fluido con las conducciones. Por otra parte, en los accesorios de la instalación como válvulas, codos, estrechamientos, etc. también se originan pérdidas de carga denominadas localizadas.

- Pérdidas continuas.

Las pérdidas de carga continuas se determinan mediante la expresión de Darcy-Weisbach

$$h_f = f \cdot \frac{L \cdot u^2}{2 \cdot g \cdot D}$$

Siendo:

f: coeficiente de fricción.

L: longitud equivalente de la tubería.

u: velocidad del fluido.

D: diámetro de la tubería.

g: gravedad.

El coeficiente de fricción se obtiene mediante la fórmula de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \cdot \log \left[\left(\frac{\epsilon}{3.71 \cdot D} \right) + \left(\frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{f}} \right) \right]$$

Siendo:

ϵ : rugosidad absoluta

Re: número de Reynolds

El número de Reynolds se calcula según:

$$Re = \frac{4 \cdot Q \cdot \rho}{\mu \cdot \pi \cdot D}$$

Siendo:

ρ : Densidad del fluido 998,20 kg/m³ (a 20°C)

μ : viscosidad dinámica del fluido, 1,007 10⁻³ Kg/m s a (20°C)

El factor de fricción definido en la ecuación de Colebrook-White se ha obtenido con la ayuda del diagrama de Moody, que representa en escala doblemente logarítmica del factor de fricción en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa de una tubería. De este modo con Re = 262940,19

La tubería de fundición dúctil tiene un revestimiento interior de mortero de cemento de alto horno, cuya una rugosidad media (ϵ) tiene un valor de 0,1 mm. Por lo que la rugosidad relativa resulta:

$$\frac{\epsilon}{D} = 3.33 \cdot 10^{-4}$$

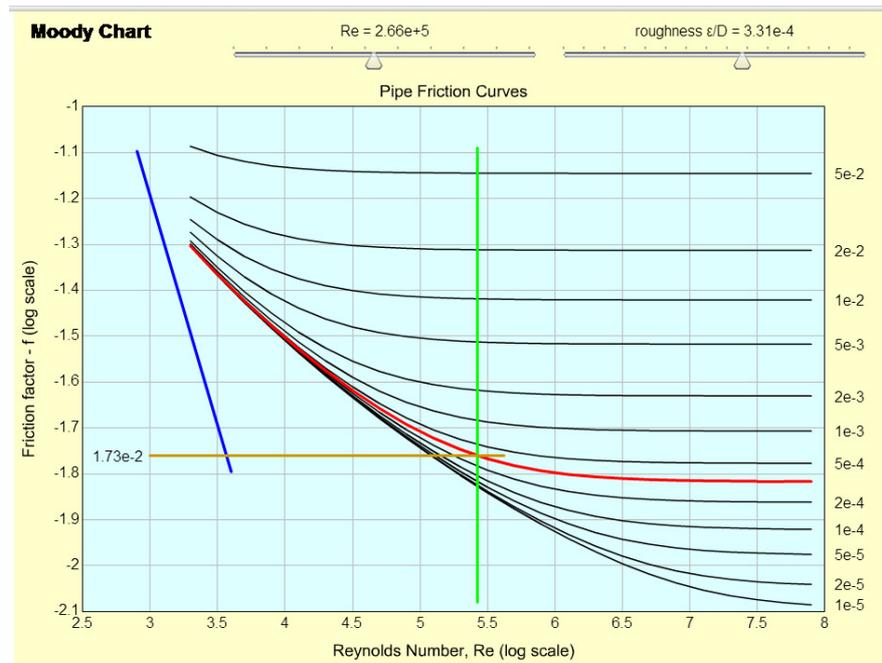


Fig. 31. Factor de fricción obtenido mediante el diagrama de Moody

A partir de lo anterior se obtiene $f = 1.73 \cdot 10^{-2}$. La velocidad en el colector general de impulsión para el DN se obtiene según:

$$u = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot Dn^2} = 1,06 \text{ m/s}$$

Teniendo en cuenta la longitud de la conducción de 9059 m y velocidad de 1,06 m/s Se obtiene para el colector de impulsión principal $h_f = 35,90$

- Pérdidas localizadas

La expresión para el cálculo de las pérdidas localizadas en accesorios y elementos singulares es la siguiente:

$$h_l = K \cdot \frac{u^2}{2 \cdot g}$$

Siendo:

K: Coeficiente de resistencia en la singularidad cuyo valor se determina experimentalmente. Se han obtenido valores para cada elemento tras consulta en bibliografía de referencia.

En la cámara de válvulas de la estación de bombeo se colocarán dos válvulas en cada tramo horizontal correspondiente a cada bomba, una de retención (tipo clapeta) y otra de corte (tipo compuerta plana)

En la tubería de impulsión se colocarán válvulas de corte (tipo compuerta plana) para facilitar mantenimiento y reparación cada 600 m.

En la estación de bombeo se instalarán dos codos, uno en la conexión de la bomba con el tramo vertical y otro en la conexión con el tramo horizontal de la cámara de bombas, además de la pieza de unión con la tubería de impulsión.

En la tubería principal se instalarán codos siguiendo el trazado de la conducción. Con un total de tres codos de 90° y tres de 45°

Además de todo lo anterior, para prevenir fenómenos de cavitación y purgar el aire del sistema se colocarán ventosas aguas debajo de la válvula de retención en la estación de bombeo, en cada cambio de pendiente y en los tramos largos espaciadas no más de 1000 m.

En el apartado siguiente se han calculado las pérdidas localizadas para cada elemento de la instalación.

- Pérdidas totales

Para la evaluación de las pérdidas totales (suma de las continuas y las localizadas) se divide la instalación en dos tramos, estación de bombeo y colector general de impulsión, se resumen en las siguientes tablas:

Tabla 11. Cálculo de pérdidas totales en la estación de bombeo

ESTACIÓN DE BOMBEO						
Elemento	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Cantidad	ϵ (mm)	K	Pérdidas (m)
Tubería vertical	3	125	1	0.15		0.036
Tubería horiz.	3	125	1	0.15		0.036
Válvula cierre		125	1		0.12	0.010
Válvula retención		125	1		1.2	0.103
Codo 90°		125	2		0.5	0.086
Conexión principal		125-250	1		1.9	0.163
TOTALES						0.434

Tabla 12. Cálculo de pérdidas totales en el colector principal de la impulsión

COLECTOR DE IMPULSIÓN PRINCIPAL						
Elemento	Longitud (m)	Diámetro (mm)	Cantidad	ϵ (mm)	K	Pérdidas (m)
Tubería Impulsión	9059	250	1	0.1		35.90
Válvula cierre		250	15		0.12	0.155
Codo 90°		250	3		0.5	0.129
Codo 45°		250	3		0.35	0.090
Desembocadura rectilínea			1		1	0.086
TOTALES						36.36

Resulta $h_t = 36,794$ m, la gran mayoría de las pérdidas corresponden a las pérdidas continuas en el colector general de impulsión debido a la gran longitud de la conducción. Por tanto la altura manométrica total será la suma de las pérdidas totales de carga mas la altura geométrica a salvar; como en este caso se tienen 8 m de desnivel positivo:

$$H_m = 36,79 - 8 = 28,79 \text{ m}$$

6.2.5. Selección de la bomba

El punto de funcionamiento de una estación de bombeo es combinación de los requerimientos de la instalación y la capacidad de elevación del grupo de bombeo. A la curva

característica de la bomba, que relaciona altura de elevación y caudal, se opone la curva característica de la instalación, que relaciona caudal y altura necesaria. Ambas curvas se cortan en un punto, que es el punto de servicio o funcionamiento (ver fig. 27). Una vez determinados los requerimientos del sistema, el punto de funcionamiento nominal de cada bomba será:

- Altura manométrica: $H_m = 28,79$ m
- Caudal unitario por bomba: $Q_b = 17,36$ l/s

Con estos datos, dentro del catálogo de bombas disponibles del fabricante, en primer lugar se elige la tipología más adecuada, en este caso de tipo sumergible, centrífuga y flujo radial, aptas tanto para aguas limpias como residuales de la empresa SULZER.

El fabricante proporciona un software (*ABSEL*®) para la selección del modelo específico con mejor rendimiento hidráulico en base a los requerimientos de la instalación. El modelo seleccionado es el **XFP101G VX**, con la configuración de tres bombas en paralelo funcionando y una en reserva. En la figura y tablas siguientes se aporta el punto de funcionamiento, rendimiento y características técnicas:

Tabla 13. Bomba seleccionada y características técnicas (SULZER®)

	Modelo	XFP101G VX
	Nº Alabes	1
	Impulsor	Rodete Vortex
	DN	125 mm
	Paso de sólidos	64 mm
	Potencia absorbida en el eje	15 kW
	Capacidad	Hasta 750 m ³ h
	Altura de elevación	Hasta 74 m

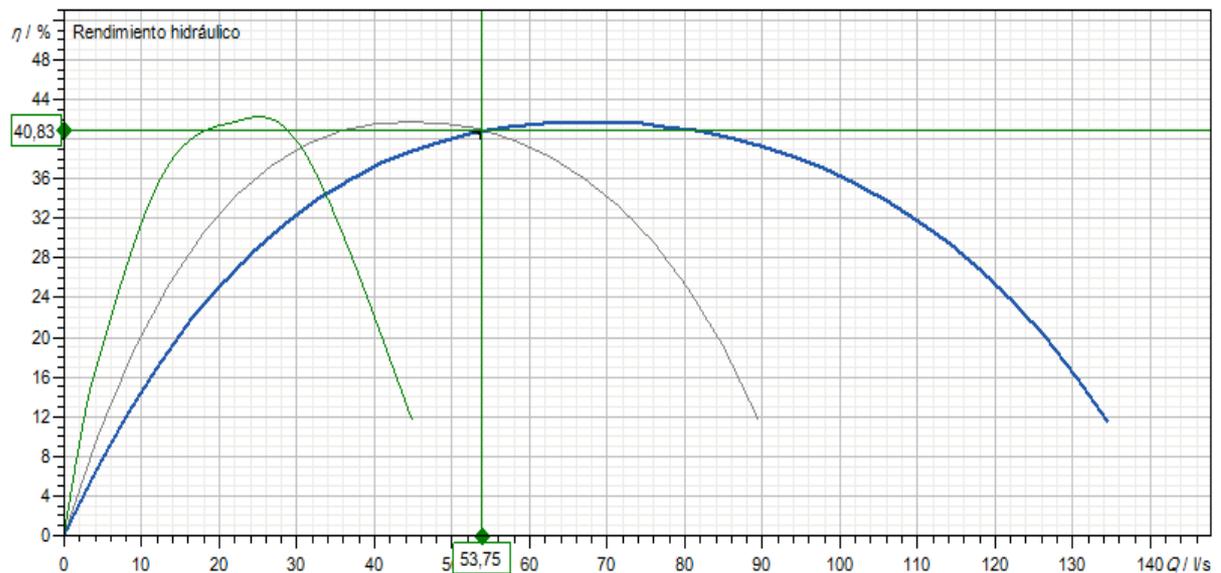
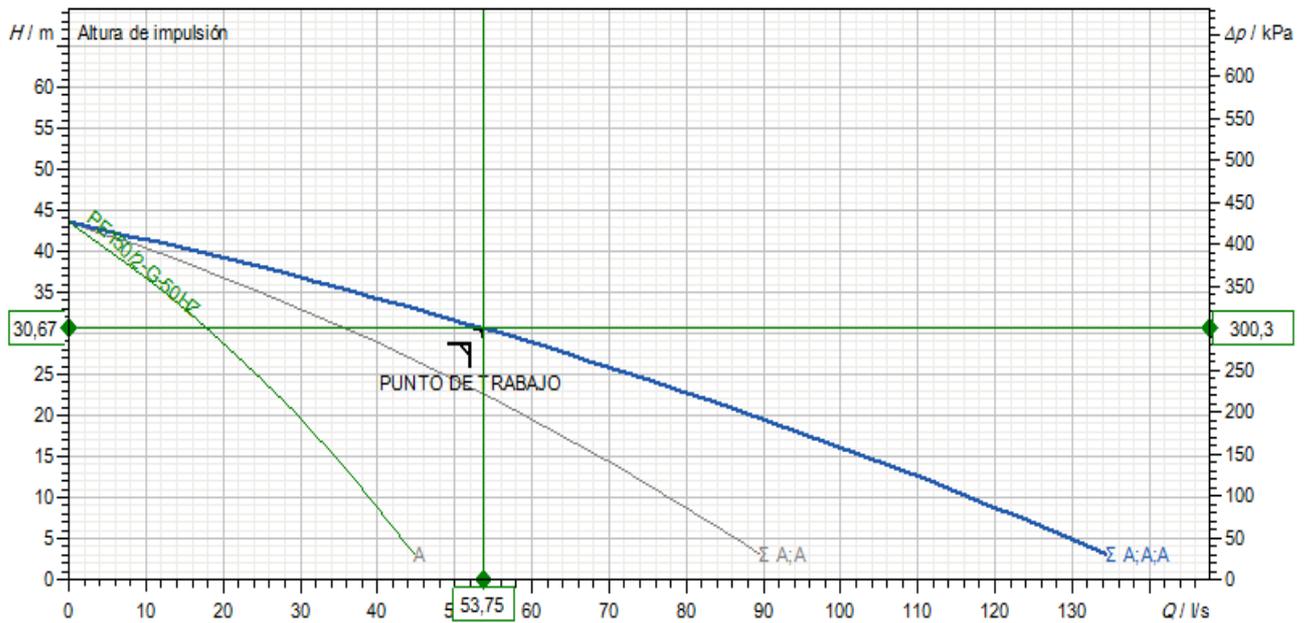


Fig. 32. Punto de funcionamiento y rendimiento para el modelo XFP101G VX, con tres bombas en paralelo

Por último, queda el cálculo de la potencia a suministrar para la elección del motor, para ello se utiliza la ecuación de Degremont:

$$P = \frac{Q_b \cdot H_m}{\mu \cdot 366}$$

Siendo:

P: Potencia a suministrar por la bomba en kW

Q_b: Caudal que suministra la bomba en m³/h

H_m : Altura manométrica

μ : Rendimiento

Para el rendimiento en el punto de funcionamiento de 40.8% se obtiene una potencia a suministrar de **13.08 kW**, por lo que el motor seleccionado tiene las siguientes características:

Tabla 14. Características técnicas del motor PE150/2-G-50HZ (SULZER-SPIRL®)

Tipo	Trifásico
Tensión nominal	400 V
Corriente nominal	44 A
Potencia absorbida en el eje	15 kW
Frecuencia	50,0 Hz
Nº de polos	2
Nº arranques/hora	15
Rendimiento	91,9 %
Factor de potencia	0,856

6.2.6. Datos básicos del bombeo

Los datos básicos de la estación de bombeo son:

- Caudal máximo a bombear: $Q_t = 52,08$ l/s
- Número de bombas: 4 (tres en servicio)
- Caudal por bomba: $Q_b = 17,36$ l/s
- Altura manométrica: $H_m = 28,79$ m
- Potencia total absorbida: $P_t = 45$ kW

Los datos básicos de la impulsión son:

- Longitud: 9059 m
- Velocidad: 1,06 m/s
- Pérdida de carga: 36,36 m
- Diámetro Nominal: 250 mm
- Desnivel geométrico: +8 m

6.3. Sistema de depuración

El tipo de humedal construido será de tipo subsuperficial (HSSF), las razones que han condicionado la elección de esta tipología han sido principalmente:

Su menor requerimiento de espacio respecto a los de flujo libre para los mismos requisitos de eliminación. En comparación a los de flujo horizontal, presenta mejor rendimiento en la eliminación de materia orgánica debido a la mayor superficie de asentamiento de los microorganismos en la matriz conformada por el material granular y las raíces de las plantas.

Además, al ser el flujo subsuperficial, presentan la ventaja de no necesitar programas de control de mosquitos y no generan problemas de olores. Evitan el contacto del agua pre-tratada con la fauna local o las personas.

Al no estar el flujo en contacto directo con la atmósfera y formarse normalmente una primera capa de vegetación muerta en la superficie, son menos sensibles a las variaciones de temperatura y funcionan mejor en climas fríos, donde se pueden ver afectados los procesos de nitrificación.

Por último, presentan mayor facilidad de acceso para facilitar las labores de mantenimiento y la minimización de cortocircuitos.

Por otro lado, se considera que las principales ventajas de los humedales superficiales principalmente respecto a sus valores paisajísticos y establecimiento de hábitats para especies asociadas a ecosistemas lagunares se verán cumplidas por la propia laguna.

6.3.1. Dimensionamiento biológico

El dimensionamiento se realiza en dos etapas; en un primer paso se determina la superficie necesaria (dimensionamiento biológico) a continuación se establecen las dimensiones geométricas del sistema (dimensionamiento hidráulico).

El modelo más empleado para el dimensionamiento biológico se basa en considerarlos como reactores de flujo de pistón que siguen modelos cinéticos de primer orden respecto a la degradación de contaminantes, por tanto:

$$\frac{dC}{dt} = -k_v \cdot C \quad (1)$$

Siendo:

C: concentración de contaminante (mg/l)

k_v : constante cinética de primer orden (d^{-1})

El valor de la constante cinética es específico para cada contaminante. Existen en la bibliografía valores recomendados de diseño basados en ajustes empíricos para varios intervalos de carga orgánica en el influente. Para tener en cuenta los efectos de la temperatura, la constante cinética se ajusta mediante la ecuación de Arrhenius:

$$k_{v,T} = k_{20} \cdot \theta^{(T-20)}$$

Donde:

θ : coeficiente de Arrhenius

T: temperatura ($^{\circ}C$)

k_{20} : valor de la constante a $20^{\circ}C$

Si se integra (1) entre la concentración en el afluente del contaminante (C_0 para $t=0$) y la del efluente (C_1 para $t=t$) se obtiene:

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp(-k_v \cdot t)$$

Siendo t el tiempo medio de retención hidráulico en días. Cuya expresión es:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{\varepsilon \cdot S \cdot h}{Q}$$

Siendo:

V: volumen del humedal (m^3)

ε : porosidad

S: superficie del humedal (m^2)

h: profundidad media del humedal (m^2)

Q: caudal medio, promedio entre entrada y salida (m^3/d)

En el predimensionamiento se puede utilizar el caudal de entrada en lugar del caudal medio. Entre los caudales de entrada y salida existirán diferencias ya que en el interior se producen aportes en forma de precipitación y pérdidas en forma de evapotranspiración. En este caso, al ser mayores las pérdidas, el efecto esperado es una concentración mayor de contaminantes a la salida y aumento del tiempo de detención en los procesos de sedimentación de partículas. Por tanto, una vez dimensionado, habrá de comprobarse que se cumplen los parámetros de calidad a la salida teniendo en cuenta el balance hidráulico.

Retomando la ecuación anterior, sustituyendo t en el modelo cinético, y definiendo una nueva constante cinética de primer orden k_a que engloba la porosidad y altura media del humedal tendremos:

$$k_a = k_v \cdot \varepsilon \cdot h$$

$$\frac{C_1}{C_0} = \exp(-k_a \cdot S/Q)$$

Despejando S :

$$S = \frac{Q}{k_a} \ln\left(\frac{C_0}{C_1}\right)$$

En el caso de tratarse de un humedal destinado a tratamiento de afino o terciario (cargas bajas), se debe tener en cuenta el aporte de carga orgánica generada por el propio sistema (vegetación). Por lo que se ha de introducir en el dimensionamiento la concentración de fondo (Kadlec *et al*, 2008). La ecuación anterior queda:

$$S = \frac{Q}{k_a} \ln\left(\frac{C_0 - C^*}{C_1 - C^*}\right) \quad (2)$$

La concentración de fondo (C^*) se determina según:

- $DBO_5: C^* = 3,5 + 0,053 \cdot C_0 \quad 0 < C_0 < 200 \quad (\text{mg/l})$
- $SS: C^* = 7,8 + 0,063 \cdot C_0 \quad (\text{mg/l})$
- $N_T: C^* = 1,5 \quad (\text{mg/l})$
- $P_T: C^* = 0,02 \quad (\text{mg/l})$

La principal limitación de este modelo es que a medida que la concentración requerida en el efluente se aproxima a la concentración umbral, las necesidades de superficie aumentan de manera exponencial debido a que e incluye esta concentración en el modelo. Por lo que para concentraciones bajas de salida se estará sobredimensionando la superficie necesaria.

El proceso a seguir es determinar la superficie necesaria a partir de los requisitos de reducción de la carga orgánica, en términos de DBO₅. Debido a lo mencionado anteriormente, no se recomienda fijar la concentración de salida por debajo de 5 mg/l. En este caso la concentración de salida requerida será de 10 mg/l. Una vez dimensionado a partir de la DBO, se comprobará la concentración de salida para el resto de contaminantes.

Tabla 15. Concentraciones a la salida de la EDAR de Almansa. (FCC/Aqualia)

PARAMETRO	CONCENTRACION (mg/l)
DQO	125
DBO ₅	25
SS	35
N _T	35
P _T	6

Las concentraciones del influente consideradas en el diseño se presentan en la Tabla 15. Los datos de partida para la determinación de la superficie necesaria son:

Tabla 16. Datos de partida para el diseño

PARAMETROS DE PARTIDA	
Q (m ³ /día)	3000
C ₀ (mg/l)	25
C ₁ (mg/l)	10
C* (mg/l)	4,825
K _a (20°C) (m/d)	0,08
ε	0,4
h (m)	0,3

En el caso de la DBO, no se corrige la constante cinética de primer orden (k_v) por temperatura. Ello es debido a la poca sensibilidad a los cambios de temperatura para eliminar

la DBO en humedales HSSF. Numerosos estudios y experiencias previas muestran que dicha eliminación no presenta diferencias significativas durante los meses más fríos y los más calurosos (Serrano y Corzo Hernández, 2008). Si se tendrá en cuenta sin embargo en los demás casos.

Sustituyendo los datos de entrada en (2) se obtiene la **superficie necesaria**:

$$S=51036,02 \text{ m}^2$$

Determinada la superficie necesaria se realiza la verificación de la carga orgánica superficial. Serrano y Corzo Hernández, 2008, recomiendan que ésta esté por debajo de 6 g DBO/m² d. En caso de no cumplir, será necesario aumentar la superficie necesaria para satisfacer este criterio. La carga superficial (Cs) se define como:

$$C_s = \frac{Q \cdot C_0}{S} = 1,47 \text{ g DBO/m}^2 \text{ d} < 6 \text{ g DBO/m}^2 \text{ d}$$

La concentración de salida del resto de contaminantes se determina despejando de (2):

$$C_1 = \frac{C_0 - C^* + C^* \cdot (e^{k_a \cdot S/Q})}{e^{k_a \cdot S/Q}}$$

En la tabla siguiente se recogen las **concentraciones de salida** obtenidas para nitrógeno y fósforo total. En este caso sí se han corregido las constantes cinéticas de primer orden para la temperatura de funcionamiento, correspondiente a la media anual de 14°C. Los valores de las constantes cinéticas y el coeficiente de Arrhenius se han obtenido de Kadlec y Scott, 2003.

Tabla 17. Concentraciones en el efluente, valores de fondo y constantes cinéticas para N y P-

	k_{a,20} (m/d)	θ	k_{a,14} (m/d)	C₀ (mg/l)	C (mg/l)	C₁ (mg/l)	Eliminación %
N_T	0,025	1.04	0,019	35	1,5	25,74	26,4
P_T	0,030	1.05	0,022	6	0.02	4,13	31,1

El cálculo de la eliminación de N y P anterior se basa en expresiones empíricas adaptadas principalmente a Estados Unidos y el Norte de Europa (Kadlec *et al*, 2008). Por ello, se ha realizado una estimación complementaria de la eliminación de nutrientes por la vegetación con el propósito de completar los resultados.

Tras la consulta de bibliografía de referencia y estudios realizados por el Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia, la cantidad de N y P eliminados del sistema tras la siega anual de la vegetación del humedal será:

- N: 40,3 g/m² año
- P: 4,1 g/m² año

A partir de este dato y teniendo en cuenta la superficie de humedal y la entrada se realiza un balance de la eliminación de nutrientes en fase aérea. En primer lugar se calcula la cantidad a la entrada:

Tabla 18. Cálculo de entrada de N y P en kg/año al humedal

ENTRADA				
	Caudal (m ³ /día)	C ₀ (g/m ³)	Entrada (kg/día)	Entrada (kg/año)
N_T	3000	35	105	38325
P_T	3000	6	18	6570

En segundo lugar se obtiene la cantidad eliminada del sistema cada año tras la siega:

Tabla 18. Balance de eliminación por la asimilación de las plantas de N y P en kg/año al humedal

BALANCE					
	Superficie (m ²)	Eliminación (g/m ² año)	Eliminación (kg / año)	Entrada (kg/año)	Balance %
N_T	51036,02	40,3	105	38325	5,4
P_T	51036,02	4,1	18	6570	3,18

Tras lo anterior se deduce que del total de la eliminación estimada para el Nitrógeno (26,4%), un 5,4% es eliminado por la asimilación de la vegetación, la cantidad restante es eliminada por el resto de procesos ya descritos en los mecanismos de eliminación. Experiencias anteriores y bibliografía consultada estiman que el valor de eliminación por vía aérea puede llegar hasta el 10%.

En el caso del Fósforo, del total eliminado (31,1%), un 3,18% responde a la eliminación vía asimilación por las plantas. En este caso, tras consulta bibliográfica, los valores usuales de eliminación en humedales HSSF rara vez superan el 20% en total, lo cual apunta a una estimación optimista de la eliminación obtenida mediante las expresiones empíricas.

Para la estimación de la eliminación de sólidos suspendidos se debe a procesos físicos por lo que no se utiliza el modelo cinético. Análisis de experiencias anteriores en EEUU prueban que la remoción de sólidos suspendidos, al igual que la DBO, no se ve influida por la temperatura, y los resultados muestran que la tasa de eliminación es similar a la DBO siempre y cuando se mantenga el flujo de agua bajo la superficie. Para estimar la tasa de eliminación de sólidos suspendidos en humedales subsuperficiales se propone la siguiente formulación empírica:

$$C_1 = C_0 \cdot (0,1058 + 0,0014 \cdot (CH))$$

Siendo CH la carga hidráulica definida según:

$$CH = \frac{100 \cdot Q}{s} \text{ (cm/día)}$$

Así, se obtiene:

Tabla 18. Concentración de sólidos suspendidos en el efluente, valor de fondo y carga hidráulica

	CH (cm/día)	C₀ (mg/l)	C[*] (mg/l)	C₁ (mg/l)
SS	5,88	35	10,005	3,99

Los valores recomendados de carga hidráulica varían entre 5 y 13 cm/d.

6.3.2. Dimensionamiento hidráulico

Establecida la superficie de tratamiento necesaria, se procede al dimensionamiento hidráulico para determinar el resto de dimensiones del sistema. Se asumen condiciones de flujo de pistón y flujo lamina uniforme en los humedales HSSF. El flujo a través del medio poroso debe superar la resistencia por fricción impuesta por el sistema radicular de la vegetación y el medio poroso. La energía necesaria viene dada por la pérdida de carga entre la entrada y la salida del sistema. El flujo en medios porosos con las condiciones anteriores queda descrito mediante la ley de Darcy en función del gradiente hidráulico:

$$Q = k_s \cdot A_s \cdot \frac{dh}{dL}$$

Siendo:

Q: caudal ($\text{m}^3/\text{día}$)

k_s : conductividad hidráulica del medio en una unidad de sección perpendicular a la dirección del flujo ($\text{m}^3/\text{m}^2 \text{ d}$)

A_s : sección del humedal perpendicular a la dirección del flujo (m^2)

dh/dL: diferencial de carga hidráulica en el sentido del flujo (m/m)

La conductividad hidráulica constituye un parámetro fundamental en el diseño, ya que ésta se va reduciendo con el paso de tiempo debido a la retención de sólidos y crecimiento del biofilm y raíces. También aparecen problemas de funcionamiento asociados al establecimiento de flujos preferenciales.

La mayor parte de la eliminación de los sólidos suspendidos se produce en el primer tercio de la longitud total del humedal como muestra la figura siguiente, y consecuentemente es la zona crítica en cuanto a colmatación:

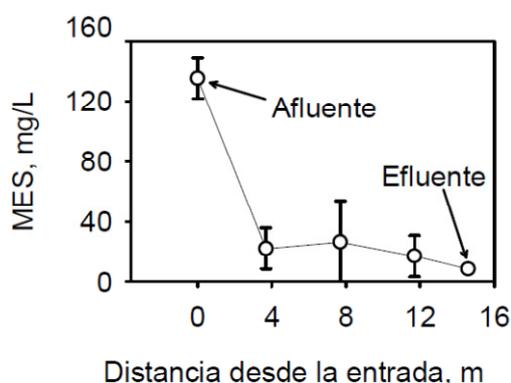


Fig. 33. Concentración de SS a lo largo de la longitud de un humedal HSSF. Fuente: Piriz, 2002

Por ello, y para evitar además que aflore el flujo a la superficie, fenómeno conocido como "surfacing", se adoptan valores bastante conservativos, adoptando un factor de seguridad para k_s de 7 como mínimo. Ésta queda determinada por la cantidad y tamaño de los huecos del medio granular utilizado, en la tabla siguiente se muestran órdenes de magnitud estimados de la conductividad hidráulica para materiales granulares limpios que pueden utilizarse en sistemas HSSF:

Tabla 19. Órdenes de magnitud de la conductividad hidráulica en función del tipo de material granular utilizado como sustrato en un humedal de tipo HSSF

Tipo se sustrato	Tamaño efectivo D ₁₀ (mm)	Porosidad (%)	Conductividad hidráulica k _s (m ³ /m ² d)
Arenas graduadas	2	28-32	100-1000
Arenas gravosas	8	30-35	500-5000
Gravas finas	16	35-38	1000-10000
Gravas medianas	32	16-40	10000-50000
Rocas pequeñas	128	38-45	50000-250000

En la elección del tipo de grava se tiene en cuenta el equilibrio entre la capacidad hidráulica del tratamiento y la eficiencia de remoción de contaminantes, teniendo en cuenta que se trata de un tratamiento de afino, se ha optado por favorecer lo segundo.

Los valores de la pendiente a utilizar que aseguren un gradiente hidráulico suficiente varían en el rango de 0,01 a 0,02 m/m. Los costes de excavación y movimiento de tierras normalmente marcan el límite superior.

El **área de la sección transversal** queda:

$$A_s = \frac{Q}{k_s \cdot \frac{dh}{dl}}$$

Y una vez calculada y fijada la profundidad el ancho mínimo del humedal compatible con el gradiente hidráulico seleccionado será:

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

Conocido el ancho y teniendo en cuenta la superficie de tratamiento determinada en primer lugar, es inmediata la obtención de la longitud del sistema:

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

Parámetros de diseño:

- Pendiente del lecho (dh/dl): 0,01m/m
- Diámetro efectivo del material granular: 15 mm
- Conductividad hidráulica (k_v): 10000 m³/m² d
- Porosidad (ϵ): 40%
- Factor de seguridad: 7
- Q: 3000 m³/d
- Profundidad (h): 0,3 m
- Superficie (S): 51037 m

La sección transversal requerida será

$$A_s = 210 \text{ m}^2$$

Y el **ancho mínimo** para el gradiente hidráulico seleccionado

$$W = 700 \text{ m}$$

La **longitud**:

$$L = 72,91 \text{ m}$$

Una vez determinadas las dimensiones del sistema se divide la superficie en un número adecuado de **celdas en paralelo**. Se debe verificar que la relación largo : ancho sea como mínimo 1:1. Se recomiendan múltiples celdas para conseguir un buen diseño que en la práctica reduzca los cortocircuitos y aporte flexibilidad operativa. Una adecuada división de varias celdas en paralelo aporta una distribución más uniforme del influente en todo el lecho. Además se facilitan las tareas de mantenimiento, en caso de colmatarse el material granular a largo plazo, permite la desconexión de la parte afectada mientras el resto del sistema continúa en funcionamiento.

Dado que $L:W < 1:1$ y por las ventajas anteriores, se divide la superficie total de tratamiento en 12 celdas paralelas. Las dimensiones, y superficies de cada celda quedan de la siguiente forma:

$$W_i = 58,33 \text{ m}$$

$$L_i = 73 \text{ m}$$

$$L_i:W_i = 1,25$$

$$S_i = 4258,1 \text{ m}^2$$

$$S_t = S_i \cdot 12 = 51097 \text{ m}^2$$

$$Q_i = Q_t/12 = 250 \text{ m}^3/d$$

El **tiempo de retención hidráulico** será:

$$t = \frac{\varepsilon \cdot S_i \cdot h}{Q} = 2,04 \text{ d}$$

A continuación, se estima la **altura superficial del agua** para comprobar que no aparezcan flujos superficiales por encima del material granular produciendo olores y problemas de flujos preferenciales. Una capa de 0,08 m. de grava por encima del nivel del agua será suficiente para evitar esta situación además de proporcionar una capa de aislamiento frente a variaciones de temperatura.

6.3.3. Estructuras de entrada y salida

El adecuado diseño de los sistemas de entrada y salida debe asegurar el adecuado reparto de caudales a cada celda del humedal y la distribución y recogida uniforme a lo largo de todo el ancho de cada celda. De esta forma se evitarán problemas por zonas muertas, flujos preferentes y colmatación.

El punto de desagüe del colector general de impulsión que transporta el agua procedente de la EDAR consistirá en una cámara tranquilizadora de 2 metros de profundidad y 1,5 x 1,5 m. En ella se instará una compuerta de regulación provista de caudalímetro. Ésta permite la evacuación uniforme del caudal de diseño a la conducción de reparto. De esta forma se

pasará del flujo en presión procedente del bombeo al flujo en lámina libre en la conducción de distribución a cada celda.

El caudal deberá dividirse equitativamente en correspondencia con las 12 celdas del sistema. Esto se realizará mediante arquetas provistas de aliviaderos. Estas arquetas de reparto deberán ser registrables y estar provistas de tapa perforada para permitir la expulsión de gases. Tendrán unas dimensiones de 0,7 x 0,7 m. El agua procedente del tubo de reparto se encontrará con un deflector destinado a reducir la velocidad del agua en la arqueta y evitar circuitos preferenciales. El caudal se verá dividido en tantas partes iguales como número de vertederos instalados. En la figura siguiente se muestra la imagen de una arqueta provista de tres vertederos con el deflector formado por una pared perpendicular de ladrillo perforado.



Fig. 34. Arqueta de reparto provista de tres deflectores. Fuente: García y Corzo, 2008

Serán necesarias un total de 7 arquetas, el esquema de distribución y reparto de caudales a las 12 celdas es el siguiente:

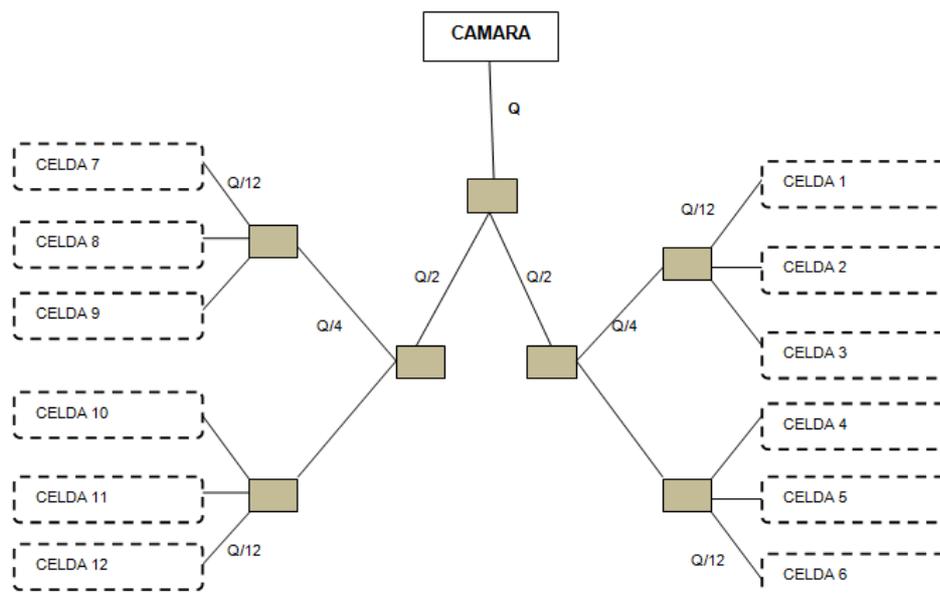


Fig. 35. Esquema de la red de distribución y reparto de caudales

Siendo Q_d el caudal de diseño:

$$Q_d = 3000 \frac{m^3}{dia} = 0,035 \frac{m^3}{s}$$

Las tuberías del último tramo que conducen el agua desde las arquetas hasta las celdas irán provistas a la salida de una válvula de control que posibilite su desconexión.

El diámetro de las tuberías de conducción en cada tramo se obtiene mediante la fórmula de Manning-Strickler:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot Rh^{2/3} \cdot J^{1/2} \cdot S$$

Siendo:

n: coeficiente de rugosidad del material (adimensional). Para materiales lisos $n=0$, conducciones de hormigón $n= 0,0135$)

Rh: radio hidráulico (m)

J: pendiente (m/m)

S: sección mojada (m^2)

Las condiciones de trabajo serán:

- Funcionamiento en lámina libre, las tuberías funcionarán como máximo con una altura de lámina de agua igual a un 75% del diámetro de la tubería.
- La velocidad máxima para evitar daños en las conducciones será de 3m/s
- La velocidad mínima para evitar problemas de sedimentación será de 0,3 m/s
- El diámetro mínimo para evitar obstrucciones será de 100 mm.

Para la obtención del diámetro en primer lugar se formula la ecuación anterior para funcionamiento a sección llena (Q_{llena}):

$$Q_{llena} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{D}{4}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot J^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{\pi \cdot D^4}{4} \quad (3)$$

Siendo

D: diámetro de la tubería

Para un 75% de llenado la relación entre el calado y el diámetro o altura de llenado será:

$$\frac{y}{D} = 0,75$$

A partir de la relación anterior, la siguiente gráfica proporciona la relación entre el caudal circulante a sección llena y el circulante para la altura de llenado elegida:

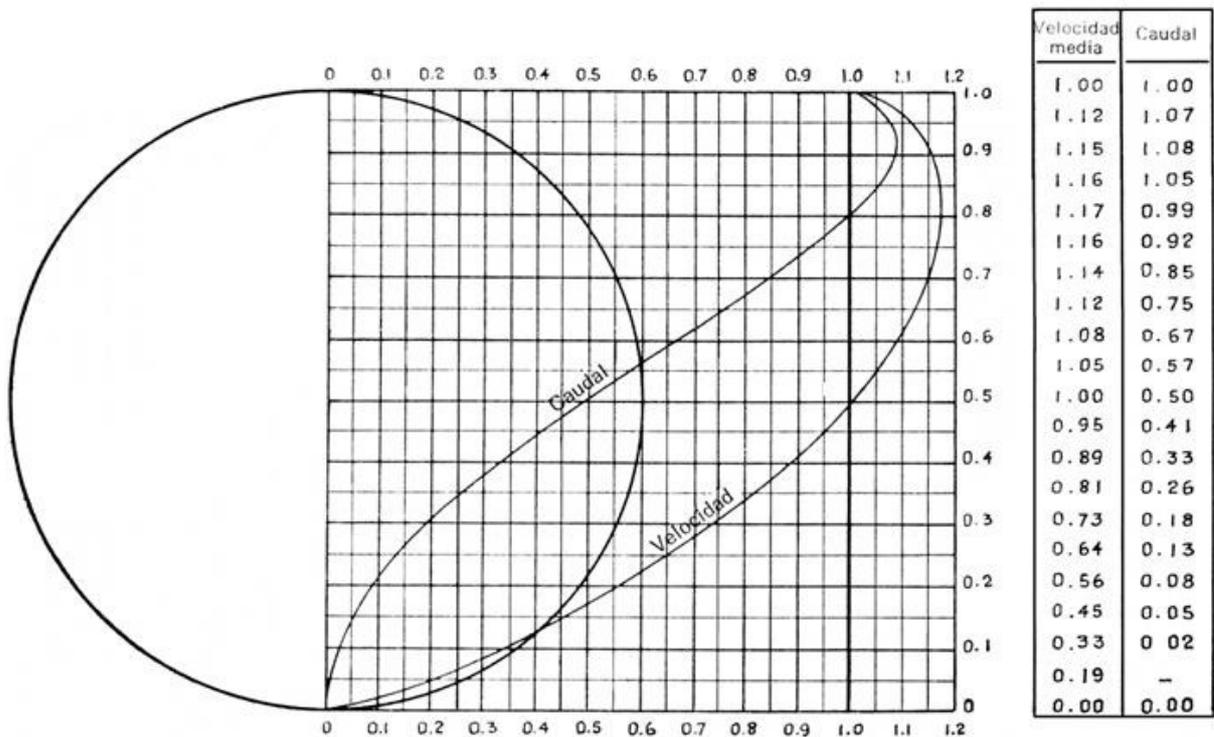


Fig. 35. Nomograma que relaciona y/D en abscisas y Q/Q_{llena} (Normas para redes de saneamiento, Canal Isabel II)

Para una altura de llenado de 0,75 se obtiene:

$$\frac{Q}{Q_{llena}} = 0,9$$

Siendo:

Q: caudal de diseño

Q_{llena} : caudal funcionando a sección llena

De modo que para cada Q, se obtiene Q_{llena} , y sustituyendo en (3) se obtiene el diámetro correspondiente. Por último se comprueba que la velocidad esté dentro del rango de funcionamiento previsto. La pendiente se ha establecido en 0,01 (m/m). El material de las conducciones será de la misma gama que el elegido para el bombeo, fabricado por Pam-Sant Gobain, revestido interiormente por mortero de cemento para proteger frente a la corrosión y apto para funcionamiento en gravedad por lo que el coeficiente de rugosidad $n=0,0135$. Los resultados para cada tramo se muestran a continuación, en la última columna se indica el DN disponible escogido.

Tabla 20. Caudal en cada tramo de la red de distribución, diámetro, velocidad, longitud y DN seleccionado

Caudal (m ³ /s)	Q _{llena} (m ³ /s)	Diámetro (mm)	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	DN (mm)
Q=0,035	0,0388	217	1,20	480	250
Q/2=0,0175	0,0194	166	1,01	187	200
Q/4=8,75 10⁻³	9,72 10 ⁻³	128	0,8	257,32	150
Q/12=2,90 10⁻³	3,21 10 ⁻³	85	0,6	510,64	100

Zona de entrada: el dispositivo de entrada del afluente al humedal está constituido por dos elementos: el sistema de vertido y una franja de material granular de gran tamaño ubicada propiamente ya dentro de la celda. Como se ha comentado, se ha de asegurar que el agua se distribuya uniformemente a lo largo de todo el ancho de la celda.

A pesar de utilizarse frecuentemente tuberías perforadas enterradas en el medio granular. Se ha optado por una solución diferente debido a la dificultad de mantenimiento y problemas de obstrucciones y asentamientos diferenciales que resultan en un reparto desigual del caudal.

Como se ve en las figuras siguientes, se ha optado por un canal de vertido, el cual está dotado de un vertedero continuo por el que rebosa el agua a lo largo de todo el ancho al medio granular.

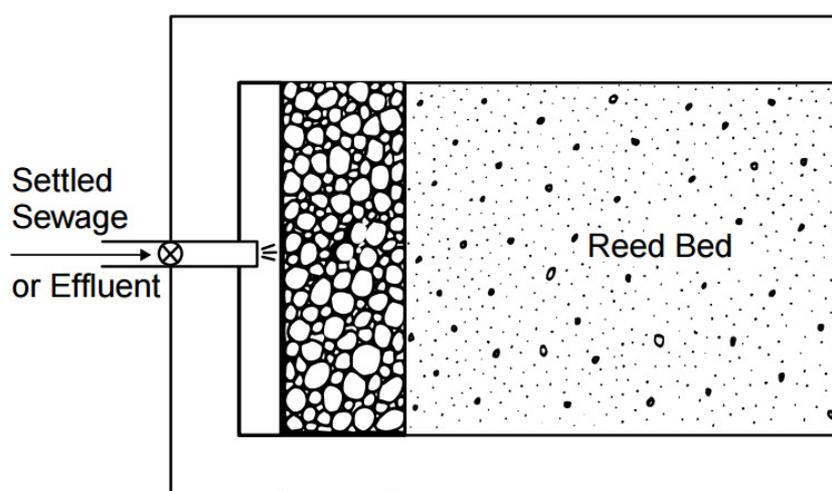


Fig. 36. Estructura de entrada a cada celda. Fuente: EPA

El canal normalmente se encuentra tapado con elementos desmontables con el fin de evitar la entrada de elementos extraños y prevenir el contacto de personas o fauna con el

influyente. En la figura siguiente se aprecia el canal destapado y la franja de áridos gruesos a la izquierda, que se deja sin vegetación.



Fig. 37. Instalación de canal de vertido de entrada a un humedal existente con tapas de protección y vertedero continuo thompson en material plástico. Fuente: Generalitat de Catalunya, Departament de Territori i Sostenibilitat

Zona de salida: también está constituida por dos elementos, el sistema de recogida y la franja de material granular de gran tamaño situada en el tramo final de la celda y de las mismas características que la franja a la entrada. El sistema de recogida está compuesto por una tubería de drenaje y una arqueta de salida de 0,7 x 0,7 m. La tubería de drenaje está perforada en todo su perímetro (360°) de forma que permita el paso del agua pero no de los áridos de gran tamaño. Ésta va colocada en el fondo de la celda (por lo que no se producen asientos diferenciales) y se conecta a un tubo que atraviesa el talud hasta llegar a la arqueta donde la conducción termina en forma de "L" invertida; la altura a la que se coloque el extremo superior permite controlar el nivel de agua en el humedal. Se utilizará polietileno de alta densidad PEAD con un diámetro nominal DN= 100 mm.

Este último tramo será intercambiable de manera que permita el vaciado completo de la celda o la regulación para diferentes alturas, permitiendo un cierto margen de control operacional. Ajustando la estructura de salida se puede variar la profundidad del humedal y el tiempo de retención hidráulica.

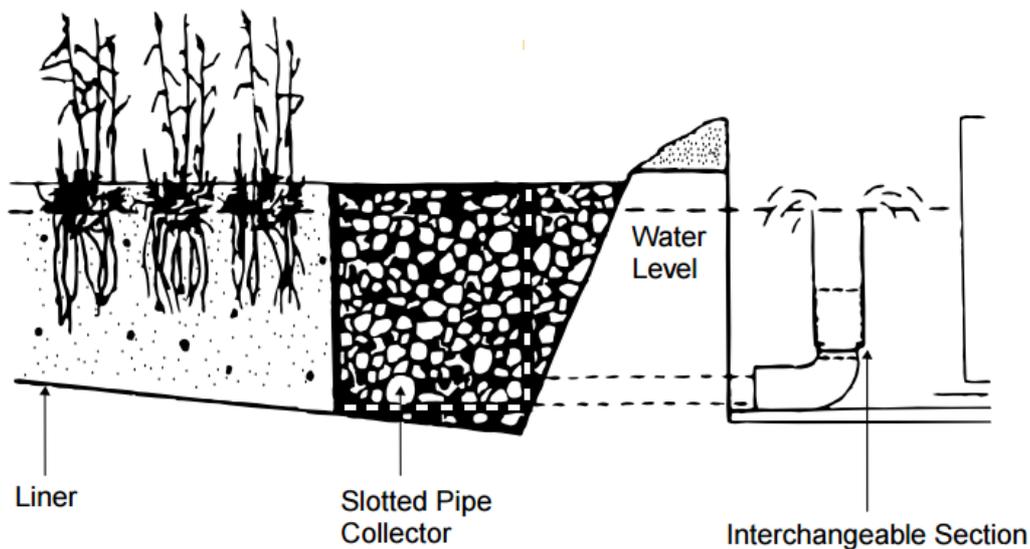


Fig. 38. Estructura de salida de cada celda con el tramo vertical intercambiable. Fuente: EPA

Por último, para cada celda, es recomendable la instalación de un "bypass", con una tubería por la que circulará el agua cuando se cierre la válvula de control y que desembocará en la arqueta de salida, posibilitando de esta manera su desconexión hidráulica para realizar tareas de mantenimiento o reparación. Los taludes tanto en la zona de entrada y salida como en los laterales serán 2:1.

6.3.4. Material granular

El medio granular juega un papel determinante en el adecuado funcionamiento hidráulico del humedal y en la eficiencia del tratamiento. Materiales porosos y resistentes al desgaste mecánico y químico ocasionado por el flujo continuo de aguas residuales tienen una mayor conductividad hidráulica y han demostrado proporcionar una mayor eficiencia en la remoción de contaminantes.

Se procurará disponer de un material suficientemente homogéneo en forma y tamaño, duro, durable, capaz de mantener su forma a largo plazo y limpio (sin presencia de finos).

La elección del tamaño debe ser tal que permita un flujo adecuado de agua, constituya un medio adecuado para el crecimiento de la vegetación y el biofilm y no sufra de colmataciones a corto plazo. En el cálculo del dimensionamiento biológico se optó por un diámetro efectivo $D_{10} = 15$ mm.

La franja de material granular de gran tamaño en la zona de entrada y la zona de salida estará nivelada con el resto del material granular. Tendrá una anchura mínima de entre 0,5 y 2 m y no tendrá vegetación ya que su cometido es asegurar una buena conductividad hidráulica.

Su procedencia depende totalmente de la ubicación de la instalación, pudiendo obtenerse tanto de cantera como de origen fluvial. En este caso no se dispone de áridos naturales y se obtendrá de cantera; se debe procurar un tratamiento de lavado antes de la colocación.

Dada la altura de diseño con un calado de 0,3 m, se asegurará además un margen de al menos 10 cm de material para prevenir la aparición de flujo superficial y mantener aislada la lámina de agua del exterior. En la siguiente tabla se resumen las características del medio granular:

Tabla 21. Material granular a utilizar

Zona	Longitud (m)	Espesor (m)	Tipo	Tamaño (mm)
Entrada	1	0,4	Rocas pequeñas granítico	D ₅₀ = 100
Tratamiento	71	0,4	Grava fina, granítico	D ₁₀ = 15
Salida	1	0,4	Rocas pequeñas, granítico	D ₅₀ = 100

6.3.5. Impermeabilización

Este es un aspecto sumamente importante, se debe asegurar la contención de las aguas en el interior de la celda evitando infiltraciones que puedan ocasionar la contaminación de las aguas subterráneas. Se impermeabilizará tanto en los taludes de la zona de entrada y salida, los laterales y el fondo de la celda.

En la impermeabilización se utilizarán láminas sintéticas impermeables, de caucho EPDM. El EPDM es un termopolímero con buena resistencia al desgaste y a la abrasión formado por la polimerización de etileno (entre el 45 y el 75%) y polipropileno en presencia del catalizador de Hegler a temperatura ambiente y presión normal. Se utilizan láminas de espesor cercano a 1 mm ya que experimentalmente dan buenos resultados y se encuentran fácilmente en el mercado.

El método para encajar las geomembranas será la utilización de una zanja periférica en la cual se fija la lámina mediante el relleno del material extraído. Dado que los áridos son

procedentes de cantera, y por tanto de arista fina, se protegerá toda su superficie con un geotextil para protegerla de la perforación.

Los elementos críticos son las soldaduras entre cada lámina y el anclaje al terreno, por ello se procurará que las piezas sean del máximo tamaño disponible para reducir las uniones al mínimo.

6.3.6. Plantación

Tras el análisis realizado en el Anexo nº2 se selecciona una plantación monoespecífica de espadaña (*Typha sp.*) con una densidad de 3 ejemplares por metro cuadrado. Capaz de desarrollarse con los condicionantes del tamaño del medio granular y la climatología de la zona.

6.3.7. Características resumen del humedal construido

CARACTERISTICAS GENERALES			
Caudal de diseño	3000 m ³ /día		
Superficie	51097 m ²		
Número de celdas	12		
Caudal por celda	250 m ³ /día		
Superficie por celda	4258 m ²		
Ancho de celda	58,33 m		
Longitud celda	73 m		
Relación largo:ancho	1,25		
Calado	0,3 m		
Pendiente	0,01 m/m		
Tiempo de retención hidráulica	2,04 días		
Carga hidráulica	5,88 cm/día		
Carga superficial	1,47 g DBO/m ² día		
Temperatura de diseño	14°C		
OTROS ELEMENTOS			
Material granular entrada y salida	D ₅₀ = 100 mm		
Material granular tratamiento	D ₁₀ = 15 mm		
Permeabilidad	10000 m ³ /m ² d		
Porosidad	40%		
Altura	0,4 m		
Taludes	2:1		
Impermeabilización	Lámina EPDM+geotextil		
Vegetación	<i>Typha latifolia</i> / <i>Typha angustifolia</i>		
Densidad plantación	3 ejemplares/m ²		
CALIDAD DEL EFLUENTE			
Contaminante	Influyente (C ₀)	Efluente (C ₁)	Rendimiento
DBO ₅	25 mg O ₂ /l	10 mg O ₂ /l	60%
SS	35 mg SS/l	3,99 mg SS/l	88,6%
N _T	35 mg NO ₃ /l	25,7 mg NO ₃ /l	26,6%
P _T	6 mg P/l	4,13 mg P/l	31,2%

6.4. Laguna de San Benito

Para la restauración ambiental de la laguna se prevé una intervención de baja intensidad dado que, a pesar de inundar tan sólo 30 ha de las 450 ha originales, lo que se busca es restablecer en la medida de lo posible su dinámica y características originales.

Una vez determinada la superficie a inundar y la extensión del humedal construido, se procede a darle forma y su encaje en el terreno, teniendo en cuenta la topografía, usos y elementos existentes.

Para la ubicación se ha partido de la zona con menor cota del paraje de El Hondo, que supondrá la zona con mayor calado de la Laguna, y a partir de ahí se ha encajado la superficie a inundar de 30 ha siguiendo la topografía del terreno evitando deliberadamente la geometría regular, pues lo que se busca es reproducir la forma original de inundación. Se dotará de una mota perimetral que la delimitar con el doble propósito de evitar la afección a los terrenos colindantes más allá de la superficie elegida y a la vez evitar la entrada de materiales finos por arrastre.

Se dispone cada una de las celdas del sistema de depuración bordeando la laguna a lo largo de su perímetro.

En los planos del Anexo 4 puede verse la vista en planta de la futura laguna y el encaje de todo el sistema incluido el humedal construido. Los únicos elementos afectados han sido los cultivos existentes y caminos de acceso. A excepción de la instalación y conducciones de bombeo, el resto del sistema de depuración y laguna queda dentro de la provincia de Valencia.

6.4.1. Acondicionamiento de la zona

Las actuaciones a desarrollar serán:

- Movimiento de tierras, eliminación de acequias y otros elementos existentes.
- Construcción de berma o mota perimetral
- Infraestructuras de llenado y desagüe
- Plantación de especies

Vaso de inundación y estructura perimetral

Una vez delimitada la superficie inundada, se procederá al desbroce y limpieza del terreno en toda su extensión, eliminando la capa vegetal superficial con un espesor de 20 cm. Se eliminarán además las acequias, elementos de riego existentes y se nivelará la plataforma de los caminos afectados con el resto del terreno. El vaso de la laguna quedará desprovisto de vegetación y regularizado, tal y como se aprecia en la figura siguiente:



Fig. 38. Vaso de inundación regularizado y desbrozado, con aporte de tierra vegetal en las zonas a sembrar. Fuente: Programmed property services (AU)

En todo el perímetro de la laguna se instalará una mota perimetral que delimite la zona a inundada. Los terraplenes serán de pendiente lo más suavizada posible para procurar su integración en el entorno. Tendrá una altura en su coronación de 0,5 m sobre la cota del terreno y una pendiente 5 H: 1 V, hacia el lado de las aguas y 3 H: 1 V hacia el exterior y un ancho de 1 m, por lo que el ancho total será de 5 metros

Sistemas de llenado y desagüe

Las celdas del humedal construido, se disponen bordeando el perímetro de la laguna en paralelo, y quedan conectadas con éste a través de una tubería desde la arqueta de salida de cada una que pasa bajo la mota perimetral. La laguna tendrá un total de 12 tuberías de llenado correspondientes a cada una de las celdas con un DN 100 mm de polietileno de alta densidad PEAD (dimensionado anteriormente para un caudal de diseño de 250 m³/día). La

longitud será de 8 metros para salvar la distancia desde la arqueta de salida de cada celda salvando la mota perimetral. Irán provistas de una rejilla en su desembocadura para evitar la entrada de elementos extraños.

Para el desagüe se hará servir la antigua conducción subterránea actualmente aterrada que a lo largo de 7 km enlaza con la Rambla de La Peña, que desemboca en el Júcar.

El dispositivo de desagüe consistirá en una toma de fondo situada en el vértice norte de la laguna, estará provista de válvula de regulación y arqueta de registro desde donde conducirán las aguas en régimen de lámina libre a través de tubería que desembocará en la antigua conducción subterránea original tras pasar bajo la CV-436. Las conducciones serán de polietileno de alta densidad PEAD con un DN 250 mm (dimensionado anteriormente para un caudal de diseño de 3000 m³/día) y DN 200 mm para el tramo entre la toma y la válvula de regulación.

Vegetación

Para asegurar un desarrollo equilibrado de la zona, tienen que coexistir al menos, dos hábitats diferentes dentro de los humedales:

- Superficies de aguas abiertas sin poblaciones de plantas acuáticas emergentes, pero con vegetación sumergida como fuente de alimento para las aves acuáticas
- Poblaciones palustres en aguas someras y zonas perilagunares, como las zonas de refugio para aves acuáticas y otras aves.

Es una tarea difícil lograr el equilibrio de estos dos hábitats, sobre todo, si el humedal es rico en nutrientes que aumentan el crecimiento desenfrenado de las plantas palustres. En la posterior gestión del humedal, se procederá a su cosecha en caso de producirse.

En el Anexo nº2 se ha realizado un análisis de la vegetación existente en humedales de las mismas características en la zona y se han seleccionado las especies a plantar.

La plantación será la última etapa a realizar en la puesta en servicio de todo el sistema una vez ya tenga agua.

En la franja de anchura 1 m hasta la orilla, se plantarán las macrófitas emergentes, con una densidad de 33 ejemplares/m² dispuestos al tresbolillo. De forma que la parte inferior quede

sumergida. Se dispondrán en una abundancia 2 ejemplares de *Typha sp.* por 1 ejemplar de *Phragmites australis*.

El resto del talud de las motas desde la orilla hasta su coronación se plantará con una densidad de 2 ejemplares/m² de *Scirpus lacustris* y *Schoenus nigricans* en los terraplenes interior y exterior.

En la coronación, con una anchura de 1 m, se plantará *Tamarix Gallica*, de porte superior a los anteriores, con una densidad de 1 ejemplar por metro lineal.

6.4.2. Características generales

CARACTERÍSTICAS GENERALES LAGUNA DE SAN BENITO	
Caudal de diseño	3000 m ³ /día
Superficie	30 Ha
Profundidad media	0,5 m
Volumen llenado máximo	150000 m ³
Influente	12 caños de entrada DN 100 mm
Efluente	Desagüe de fondo DN 250 mm
Vegetación	<i>Phragmites australis</i>
Densidad vegetación	3 ejemplares/m ²
TALUD PERIMETRAL	
Ancho total	5 m
Altura	0,5 m
Taludes	5 H:1 V Interior 3 H:1 V Exterior
Vegetación	<i>Scirpus lacustris</i> <i>Schoenus nigricans</i> <i>Tamarix Gallica</i>
Densidad plantación	Variable

6.5. Plan de gestión

En este apartado se definirá el plan de gestión del sistema de depuración, incluyendo el régimen de caudales y labores de mantenimiento y explotación a desarrollar.

6.5.1. Régimen de caudales

Con el balance hídrico se estiman los cambios producidos en el caudal efluente a consecuencia de los factores climatológicos que suceden en el tiempo que el flujo de agua permanece en el humedal.

En el Anexo 1 se ha obtenido, tras el análisis de los datos meteorológicos, el déficit mensual acumulado (mm/mes m²) correspondiente al balance entre ETo y precipitación media. Dicho valor representa las pérdidas que habrán de sustraerse del caudal de entrada en el humedal.

Para compararlo con el caudal de entrada en m³ día:

$$(P - ET)\left(\frac{m^3}{dia}\right) = (P - ET)\left(\frac{mm}{mes\ m^2}\right) \cdot S_t(m^2) \cdot \frac{1}{1000}\left(\frac{m^3}{mm}\right) \cdot \frac{1}{n^{\circ}\ de\ días/mes}$$

Y el caudal efluente será:

$$Q_{efl} = Q_d + (P - ET)$$

En la tabla siguiente se muestran los resultados para el humedal construido:

Tabla 22. Resultados del balance hídrico en el humedal HSSF. Régimen de caudales de salida mensuales

	P-ET (mm)	P-ET (m³/día)	Q_d (m³/día)	Q_{efl} (m³/día)
ENE	-24,03	-39,61	3000,00	2960,39
FEB	-34,77	-63,45	3000,00	2936,55
MAR	-75,35	-124,20	3000,00	2875,80
ABR	-106,96	-182,18	3000,00	2817,82
MAY	-202,36	-333,54	3000,00	2666,46
JUN	-307,65	-523,99	3000,00	2476,01
JUL	-378,34	-623,61	3000,00	2376,39
AGO	-340,51	-561,26	3000,00	2438,74
SEP	-157,35	-268,01	3000,00	2731,99
OCT	-70,73	-116,59	3000,00	2883,41
NOV	-10,90	-18,57	3000,00	2981,43
DIC	-13,51	-22,26	3000,00	2977,74

Donde:

Donde:

P-ET Balance de pérdidas en el humedal construido

Q_d Caudal de diseño

Q_{efl} Caudal efluente hacia la laguna tras pérdidas

Los caudales obtenidos corresponden al caudal de entrada a la laguna. De la misma manera, en el Anexo 1 se ha calculado el déficit mensual acumulado. En este caso, se ha tenido en cuenta el balance entre evaporación de la lámina de agua, infiltración y precipitación.

El caudal a verter hacia la Rambla de la Peña manteniendo el volumen de la laguna constante vendrá dado por:

$$Q_v = Q_{efl} + (P - E - I)$$

Sin embargo, lo que se persigue es restablecer el régimen hidrológico original. Para ello se ha examinado la bibliografía existente en lo referente a su funcionamiento antes de la construcción del canal subterráneo. Castellá, 1972 confirma que antes de procederse a su drenaje, se trataba de una laguna permanente, llegando a desecarse completamente en torno a 3 veces a lo largo de 100 años. También se ha consultado la dinámica de lagunas endorreicas existentes en la zona de La Mancha, y dependiendo del caso pueden llegar a desecarse completamente formando ambientes hipersalinos o ver reducida su superficie durante el período seco.

De todo lo anterior puede concluirse que en su funcionamiento original la dinámica lagunar respondía a un período de inundación máximo durante los meses húmedos reduciendo su nivel durante el período seco sin llegar a desecarse completamente.

Esta dinámica se reproducirá regulando el caudal de desagüe. Durante los meses de septiembre a abril, se mantendrá la lámina de agua a nivel constante, compensando las pérdidas por infiltración y evaporación. Durante los meses de mayo a agosto, período en el que la evaporación se sitúa por encima de 100 mm/mes m². Las pérdidas por evaporación por encima de este valor dejarán de compensarse, de modo que baje el nivel y la superficie inundada se vea reducida. En el siguiente gráfico se muestra la evaporación mensual calculada y el umbral de 100 mm/mes m² a partir del cual dejará de compensarse.

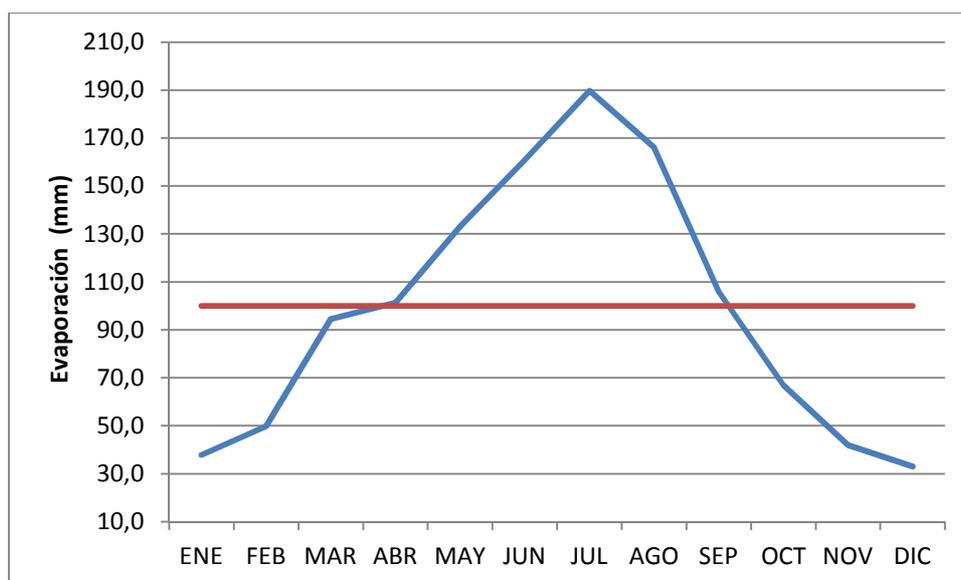


Fig. 39. Evaporación mensual calculada y umbral de 100 mm

En la tabla siguiente se presentan los resultados obtenidos y el régimen de caudales. En primer lugar se obtiene el caudal de salida para mantener el volumen constante. En segundo lugar se obtiene la evaporación por encima del umbral elegido, valor que se suma al caudal de salida para así obtener el régimen de caudales manteniendo volumen constante durante el período húmedo y sin compensar la evaporación por encima de 100 mm/m² mes en el período seco.

Tabla 23. Resultados del balance hídrico en la laguna. Régimen de caudales de vertido mensuales

	P-E-I (mm)	P-E-I (m ³ /día)	Q _{eff} (m ³ /día)	Q _v a V cte. (m ³ /día)	E>100 (mm)	E>100 (m ³ /día)	Q _v (m ³ /día)
ENE	-45,34	-438,76	2960,39	2521,63			2521,63
FEB	-52,55	-563,05	2936,55	2373,50			2373,50
MAR	-87,17	-843,57	2875,80	2032,23			2032,23
ABR	-85,70	-857,00	2817,82	1960,82			1960,82
MAY	-120,31	-1164,27	2666,46	1502,18	33,07	320,04	1822,22
JUN	-164,59	-1645,86	2476,01	830,15	60,78	607,82	1437,97
JUL	-207,00	-2003,23	2376,39	373,16	89,76	868,68	1241,83
AGO	-175,35	-1696,97	2438,74	741,76	66,14	640,08	1381,84
SEP	-85,96	-859,59	2731,99	1872,40	5,92	59,18	1931,58
OCT	-61,49	-595,08	2883,41	2288,34			2288,34
NOV	-25,92	-259,20	2981,43	2722,23			2722,23
DIC	-37,66	-364,50	2977,74	2613,24			2613,24

Donde:

P-E-I Balance de pérdidas en la laguna

Q_{eff} Caudal proveniente del humedal construido

Q_v a V cte Caudal a verter para mantener el nivel constante

E>100 Pérdidas por evaporación por encima del umbral de 100 mm/m² mes

Q_v Caudal a verter sin compensar las pérdidas por encima del umbral

6.5.2. Puesta en funcionamiento

Una vez construida la obra civil e instalación de los sistemas de bombeo, distribución y desagüe, comienza el llenado de la laguna. Hasta que el agua no alcance la cota correspondiente, se mantendrá la toma de desagüe cerrada. El tiempo de llenado inicial es de 2 días para el humedal construido y dos meses aproximadamente para la laguna.

Es en este momento cuando se llevan a cabo las plantaciones, que se llevarán a cabo a partir de plantas procedentes de viveros o multiplicación de rizomas. Serrano y Corzo, 2008,

recomiendan realizar las plantaciones en primavera. Durante la fase inicial de crecimiento, el nivel en las celdas del humedal se mantendrá ligeramente por encima del nivel de gravas para evitar la aparición de malas hierbas hasta que las macrófitas estén consolidadas. Una vez desarrolladas el nivel de agua se bajará a la profundidad de diseño de 0,3 m.

Una vez realizada la plantación, a medida que se van desarrollando las plantas, lo irá haciendo a su vez la biomasa bacteriana sobre sus rizomas, tomando cada vez más importancia los procesos biológicos de depuración hasta el completo desarrollo de las plantas y el biofilm. Esta etapa de arranque y estabilización se extiende aproximadamente a lo largo de 1 ciclo vegetativo, en este caso 1 año. El potencial de remoción de nitrógeno es el que más tiempo tarda en desarrollarse, pudiendo alargarse incluso más de un ciclo vegetativo hasta alcanzar el equilibrio.

A partir de este punto solamente serán necesarias tareas de control de explotación y mantenimiento.

6.5.3. Explotación, mantenimiento y control

Una vez el sistema está estabilizado, será necesario realizar un plan de mantenimiento y control para garantizar el buen funcionamiento del sistema el cual incluirá:

- Revisión y limpieza del circuito hidráulico, sistemas de bombeo, distribución y desagüe

Cada 2 semanas, se realizará una inspección visual del sistema hidráulico, comprobando que todo el sistema funciona correctamente, se mantienen los niveles de agua adecuados y no hay obstrucciones. Se deberá prestar especial atención a la aparición de flujos superficiales en las celdas del humedal. La limpieza se realizará una vez al mes.

- Regulación de caudales

También mensualmente se actuará sobre los sistemas de regulación para adecuar el caudal de funcionamiento conforme al régimen de caudales establecido.

- Retirada de la vegetación

Se realizarán siegas de los macrófitos en el humedal anualmente durante el mes de noviembre con el objeto de evitar que una vez muerto el material vegetal no se descomponga en el medio granular acelerando el proceso de colmatación y disminuyendo el rendimiento. Preferiblemente el material retirado se llevará a compostaje.

- Toma de muestras y análisis

Este apartado resulta fundamental para evaluar el rendimiento del humedal y si éste se ajusta a los objetivos de diseño. Debido al alto coste de las analíticas, se prevé la toma de muestras 2 veces al año, una en invierno y otra en verano. Se tomarán muestra en el afluente, en el efluente de cada celda y en la salida de la laguna para evaluar la calidad en ella. Los parámetros a controlar serán: pH, conductividad, sólidos suspendidos, nitratos, nitrógeno Kjeldahl total, fósforo total, DBO₅ y DQO.

- Seguimiento ambiental

Se hará un seguimiento del desarrollo y diversidad de las especies vegetales y animales y estado general del sistema para valorar su evolución como hábitat natural, prestando especial atención a las aves ligadas a ambientes acuáticos y su evolución año a año. En base a los resultados, se planteará la introducción, replantación de nuevas especies vegetales o incluso fauna piscícola. Para la realización de estas labores existen grandes posibilidades de colaboración con organizaciones educativas, administración local y ONG. Organizaciones como SEO birdlife han llevado a cabo registros de avistamientos durante la última ocasión en que se inundó la Laguna.

6.6. Presupuesto básico

En el Anexo nº3 se presenta el presupuesto básico para el conjunto de las actuaciones a implementar en dos subcapítulos: Instalación de bombeo y reparto y humedal construido y restauración ambiental. El objetivo del mismo es la obtención de una primera valoración económica que sirva de punto de partida a una definición más exhaustiva en fases posteriores.

Los precios se han conformado a partir de la medición correspondiente a cada unidad de obra y su precio unitario. Para la obtención de los precios unitarios se ha consultado la base de datos de construcción de la Comunidad Valenciana del Instituto Valenciano de la Edificación así como la base de datos de precios para obras de construcción elaborada por el Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. En el caso de equipos o instalaciones singulares se ha recurrido a catálogos comerciales. A continuación se presenta el resumen del presupuesto general, las partidas más importantes corresponden a la instalación de la canalización del bombeo y los costes de excavación y relleno de gravas de las celdas del humedal, motivado por la gran distancia a salvar entre la EDAR y la gran superficie de humedal necesaria.

CAPITULO	RESUMEN	EUROS
01	INSTALACIONES DE BOMBEO Y DISTRIBUCIÓN	621.481,41
02	HUMEDAL CONSTRUIDO Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL.....	1.186.738,22
	TOTAL EJECUCIÓN MATERIAL	1.808.219,83
	21,00 % I.V.A.....	379.726,16
		2.187.945,99
03	ADQUISICIÓN TERRENOS	752.544,00
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL		2.940.489,99

Asciende el presupuesto general a la expresada cantidad de DOS MILLONES NOVECIENTOS CUARENTA MIL CUATROCIENTOS OCHENTA Y NUEVE EUROS CON NOVENTA Y NUEVE CÉNTIMOS.

7. Conclusiones

Respecto a los objetivos planteados al inicio del presente estudio, en primer lugar, respecto a la recuperación ambiental de la Laguna de San Benito, la bibliografía existente identifica la extensión de la Laguna original delimitada por la curva de nivel 680 m, con una superficie de 450 ha. Tras el análisis mediante SIG se comprueba que la superficie encerrada por la curva de nivel corresponde a 1738 ha. Por lo que las estimaciones de las dimensiones originales contienen imprecisiones.

Se ha obtenido la superficie correspondiente a la última inundación en el año 2015, arrojando una superficie de 126,4 ha mucho más realista.

Sin embargo, los condicionantes dados por el recurso hídrico disponible, la viabilidad técnica y la mínima afección a las instalaciones y edificaciones existentes han limitado la extensión que puede ser cubierta por el agua, estableciéndose en 30 ha. Aproximadamente un 25% de toda la extensión de la última inundación.

El objetivo se considera cumplido ya que cualquier propuesta de actuación ha de adaptarse a los recursos disponibles y a la realidad actual del entorno para ser viable.

Se ha procurado simular su ciclo hidrológico original desaguando más agua en verano de modo que se produzca una bajada de nivel sin llegar a su desecación. Ya que la bibliografía consultada sostiene que originalmente era semipermanente llegando a desecarse sólo en ocasiones extraordinarias.

En segundo lugar se planteó la mejora de la calidad del efluente proveniente de la EDAR de Almansa:

Se han obtenido buenos resultados sobre todo respecto a la reducción de SS (por encima del 80%).

Respecto a la reducción de nutrientes (N y P); en el caso del Nitrógeno se está dentro de los valores esperables (30%) para humedales tipo HSSF, de los cuales un 5% corresponde a la eliminación por la vegetación. Cabría la posibilidad de plantear un sistema tipo HSSF-VF con el objetivo de mejorar los procesos de eliminación de nitrógeno para mejorar aún más la

calidad de las aguas. Dicho lo cual, la concentración en el efluente se considera adecuada para el uso planteado.

En el caso del Fósforo la eliminación estimada mediante expresiones empíricas (31,2% de los cuales la eliminación por las plantas corresponde a un 3,2%) se considera sobreestimada en base a los resultados en humedales ya operativos, donde rara vez supera el 20%.

Cabe resaltar además el potencial depurador de la propia laguna (que constituye por sí misma un humedal superficial) por lo que es esperable una reducción aún mayor en el efluente hacia la Rambla de la Peña.

En cualquier caso existe una incertidumbre sobre las concentraciones de nutrientes y su impacto en la futura laguna recuperada, por lo que será necesario un seguimiento tras su puesta en funcionamiento y la adopción de medidas en caso de detectarse indicios de eutrofización.

El tercer objetivo buscado consistía en plantear un sistema de depuración que añada valor paisajístico y se integre en el entorno de la laguna. Se considera que el humedal construido cumple perfectamente dicha función; disponiendo las celdas alrededor de la zona perimetral de la lámina de agua de forma que sirvan de transición o zona de buffer entre los cultivos y la laguna. Aportan además diversidad de hábitats al constituir una pradera de macrófitas sin flujo superficial complementando el ambiente acuático.

La integración queda garantizada con la elección de especies autóctonas y ausencia de vallados o instalaciones propias de sistemas convencionales.

Respecto al coste de las actuaciones, una parte importante corresponde a la instalación de bombeo, ello es debido principalmente a la larga distancia de la EDAR al humedal, lo que penaliza mucho los costes. Otra partida importante corresponde al movimiento de tierras y volumen de gravas necesario. debido a la gran superficie de tratamiento necesaria, lo que repercute los costes de excavación y material granular

Por último, la recuperación ambiental de la laguna contribuirá a paliar la situación actual de sobreexplotación y descenso piezométrico del acuífero sobre el que se asienta. Esto se producirá mediante los aportes por infiltración de la zona inundada y además por el cese de la explotación de las parcelas de regadío que serán ocupadas por las instalaciones, reduciendo el caudal sustraído por bombeo.

Una vez desarrollada la propuesta técnica, el siguiente paso sería la elaboración de un plan de gestión integrado que asegure el buen funcionamiento y mejora continua del sistema formado por las instalaciones de depuración y la laguna, el cual deberá establecer:

- Organismos responsables, actores implicados y su papel en la gestión del humedal. Acuerdos de colaboración.
- Método de financiación de las actuaciones necesarias, ya sean construcción, mantenimiento o mejora.
- Programa de explotación, mantenimiento y control. Incluirá el protocolo de seguimiento ambiental e indicadores que permitan evaluar la calidad de aguas y ecosistemas, el grado de cumplimiento de objetivos y el ajuste del modelo a su funcionamiento real.
- Acuerdos de custodia del territorio y usos permitidos en el entorno lagunar.
- Publicación de resultados y actuaciones de divulgación y educación ambiental.
- Actuaciones de ampliación y/o mejora en función de la evolución a medio plazo.

8. Bibliografía

García Serrano, J. y Corzo Hernández, A. 2008. Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Universidad Politécnica de Catalunya.

Seoanez Calvo, M. 1999. Aguas residuales urbanas. Tratamientos naturales de bajo costo y aprovechamiento. Ed. Mundi-prensa.

Seoanez Calvo, M. 2004. Depuración de las aguas residuales por tecnologías ecológicas y de bajo costo. Ed. Mundi-prensa.

Ferrer Polo, J. y Seco Torrecillas, A. 2003. Tratamientos biológicos de aguas residuales. Editorial UPV. Universidad Politécnica de Valencia

Tchobanoglous, G. et al. 1995. Ingeniería de aguas residuales: tratamiento, vertido y reutilización. McGraw-Hill/Interamericana de España

Feliu Castellá, A., 1972. La Laguna de San Benito (Valencia-Albacete), Cuadernos de Geografía, nº 11, Valencia, pp. 79-89.

Vymazal, J. y Kröpfelová, L. 2008. Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow. Environmental Pollution, Volume 14. Springer Science.

Kadlec, R., Scott, W. 2009. Treatment Wetlands. Second Edition. CRC Press, Taylor and Francis Group.

Secretaría de la Convención de Ramsar, 2013. Manual de la Convención de Ramsar: Guía a la Convención sobre los Humedales (Ramsar, Irán, 1971), 6a. edición. Secretaría de la Convención de Ramsar, Gland (Suiza).

Aguirre, P., Ojeda, E., García, J., Barragán, J., y Mujeriego, R., 2005. Effect of water depth on the removal of organic matter in horizontal subsurface flow constructed wetlands. *J. Environ. Sci. Health*.

García, J., Aguirre, P., Mujeriego, R., Huang, Y., Ortiz, L. y Bayona, J.M., 2004. Initial contaminant removal performance factors in horizontal flow reed beds used for treating urban wastewater. *Wat. Res.*

Dupré, M., Fumana, M., Martínez Gallego, J., Pérez Obiol, R., Roure, J., Usera, J., 1996. The "Laguna de San Benito" (Valencia, Spain): Palaeoenvironmental reconstruction of an endorheic system [Le lac de San Benito (Valencia, Espagne) : reconstruction paléoenvironnementale d'un système endorrèique.]. In: *Quaternaire*, vol. 7, n°4, pp. 177-186.

Ponce Herrero, G., 1986. Transformaciones agrarias recientes en la laguna de San Benito: la última fase de la ocupación de un espacio natural. *Investigaciones geográficas*. N° 4, pp. 59-69

Soria, J.M., Belda, F. y Catalan, J.P., 1988. Problemàtica de les aigües continentals: La Llacuna de San Benito, Vall de Cofrents. Departament de Microbiologia. Facultat de Ciències Biològiques. Universitat de València. 13è Congrés de Metges i Biòlegs de Llengua Catalana Vol.[3] : Comunicacions , p.079.

López, G. y Molina, R., 2013. Inventario de fuentes y manantiales del término municipal de Almansa (Albacete). Informe final. Universidad de Castilla-La Mancha

García Bartual, R. y Fernández Bono, J.F., 2001. Flujo estacionario de fluidos incompresibles en conductos a presión: Teoría y problemas resueltos. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Editorial UPV. Universidad Politécnica de Valencia

Grundfos, 2004. Manual de bombeo de aguas residuales. GRUNDFOS Management A/S.

Watson, I., 1993. *Hydrology: An environmental approach*. CRC Press

Reed, Shrerwood C., 1993. Subsurface flow constructed wetlands or wastewater treatment. A technology assessment.. United States.Environmental Protection Agency, Office of Water.

Guerrero Maldonado, N. y Meco Molina, A., 2013. Cartografía de la vegetación esteparia de los humedales incluidos en LIFE Humedales de La Mancha (LIFE+10 NAT/ES/000563. EINTAM Estudios Europeos De Medioambiente, S.L.

Puigagut, J., Villaseñor, J., Salas, J.J., Becáres, E. y García, J. Subsurface Flow Constructed Wetlands in Spain for the Sanitation of Small Communities: A Comparative Study. En 10th International Conference on Wetland System for Water Pollution Control, IWA, 2006, Lisboa, Portugal.

Píriz, A. J., 2000. Condiciones de óxido-reducción en humedales construidos de flujo subsuperficial. Tesina de Especialidad. Universidad Politécnica de Cataluña

9. Anexos

Anexo 1: Balance hídrico.

Laguna de San Benito

En el balance hídrico de la laguna, considerándola como un sistema abierto, se parte de las siguientes hipótesis:

- No existen flujos superficiales de entrada ni de salida
- Respecto a los flujos subterráneos de entrada y salida, dado que el nivel freático se encuentra a una profundidad de 12 m, se consideran únicamente pérdidas por infiltración.
- Los únicos aportes considerados serán la precipitación directa y la recarga a través del humedal construido.
- Se plantea el balance en condiciones estacionarias, es decir, el almacenamiento será cero.

De este modo, para mantener el nivel constante el caudal a aportar será:

$$0 = \text{Entradas} - \text{Salidas}$$

$$0 = (Af + P) - (E + I + S)$$

Agrupando se deja en segundo término el balance entre aportaciones y salidas debidas a factores climatológicos en la laguna:

$$0 = (Af - S) + (P - E - I)$$

Siendo:

Af: afluente procedente del humedal construido

P: precipitación

I: infiltración

S: salida desagüe

Para la estimación de la **evaporación**, el United States Weather Bureau desarrolló, un nomograma basado en la ecuación de Penman para láminas de agua (1948) que estima la evaporación únicamente a partir de variables ambientales:

$$E = \frac{Rn / \left(\lambda \cdot \frac{\Delta}{\gamma} + Ea \right)}{\frac{\Delta}{\gamma} + 1}$$

Donde:

E: evaporación por unidad de superficie

Δ : pendiente de la curva de presión de saturación de vapor

λ : calor latente de vaporización

Rn: radiación neta

Ea: Componente aerodinámica

Para la estimación de la tasa de evaporación diaria en masas de agua superficiales a partir de los siguientes datos meteorológicos:

- Temperatura media diaria (°F)
- Radiación solar diaria (Langley)
- Media diaria del punto de rocío(°F)
- Velocidad media diaria del viento (millas/día)

A partir de los datos meteorológicos recopilados en el apartado 5.4 y aplicando las oportunas transformaciones de unidades se ha obtenido la evaporación mensual acumulada:

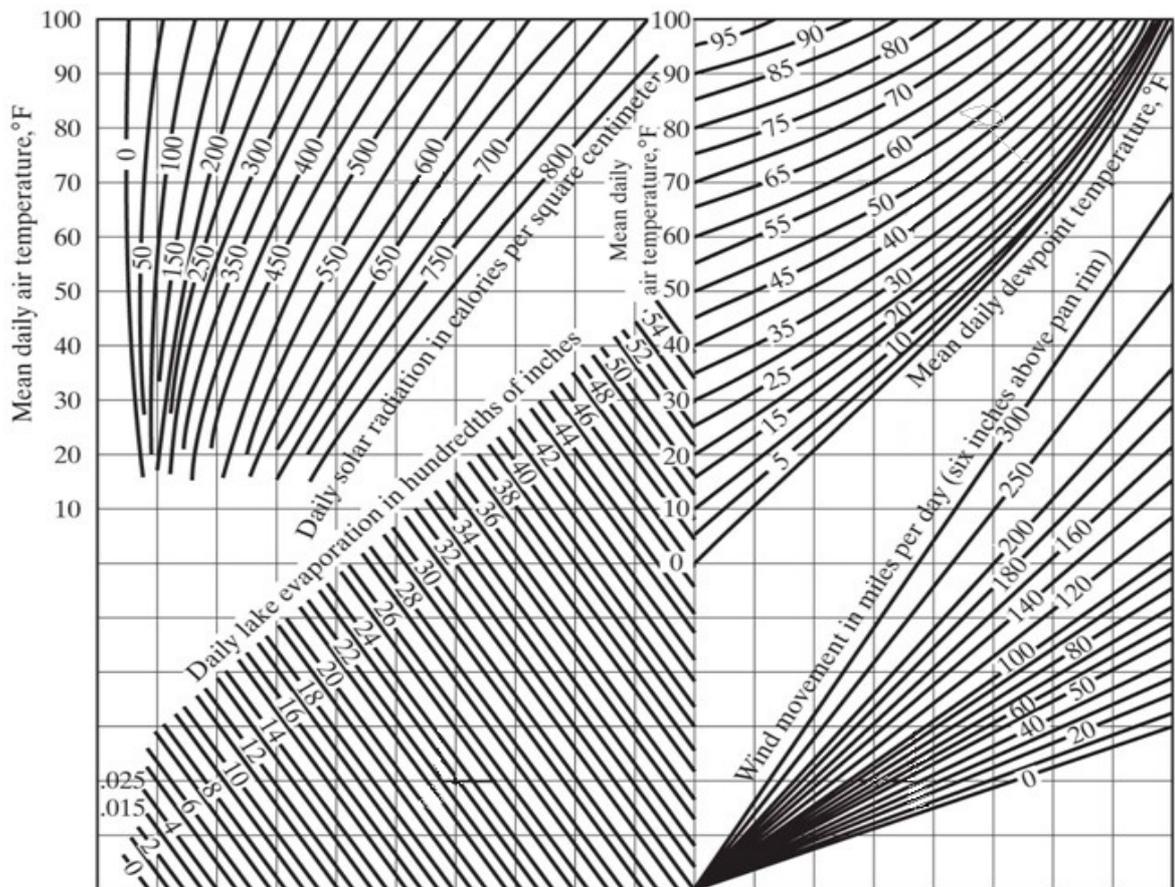


Fig. 40. Nomograma para la estimación de la evaporación en lagunas superficiales (Watson, 1993)

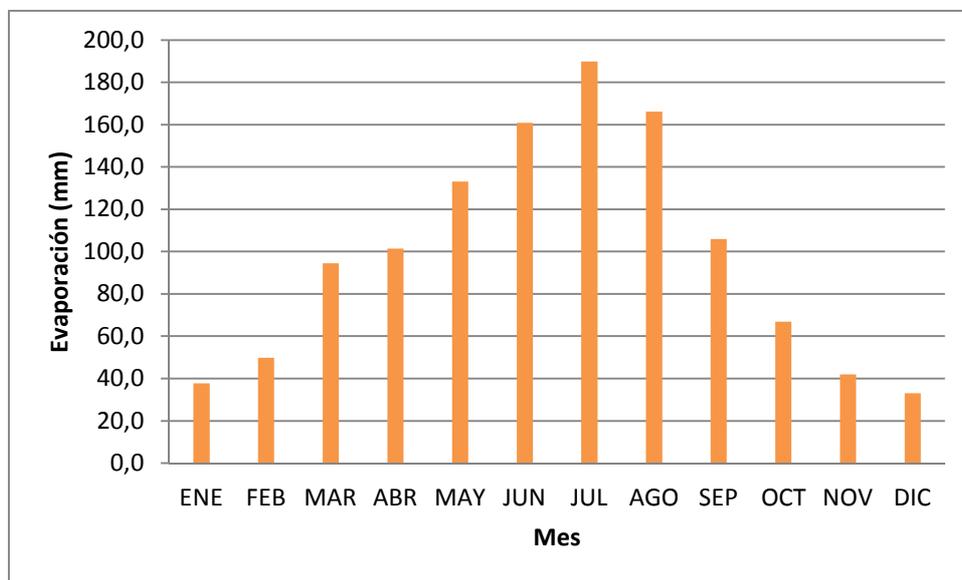


Fig. 41. Pérdidas por evaporación calculadas en mm/m²

Para la estimación de la tasa de **infiltración** se supone flujo vertical y condiciones de saturación en todo el subsuelo, se busca la tasa de infiltración constante a largo plazo según el modelo de Horton, una vez la laguna permanece inundada.

El flujo vertical en el terreno en condiciones de saturación se describe mediante la Ley de Darcy:

$$q = K \cdot grad h$$

Donde:

q: caudal unitario ($m^3/s/m^2$)

K: permeabilidad del terreno (m/s)

grad h: gradiente del potencial hidráulico

El potencial hidráulico viene definido por:

$$h = z + \frac{u}{\gamma_w}$$

Siendo:

z: profundidad geométrica

u: presión intersticial

Y la estimación del gradiente será:

$$grad h = -\frac{\Delta h}{\Delta l} = -\frac{12}{12} + \frac{0.4}{12} = 1,03$$

Se ha calculado el gradiente entre la superficie del terreno (fondo de la laguna) y el nivel freático. Para la determinación del gradiente se han asumido las siguientes simplificaciones: flujo vertical hacia abajo, altura constante de la laguna de 0.4 metros y presión intersticial nula en el nivel freático situado a 12 m de profundidad, también a nivel constante.

Por otro lado, Dupré *et al*, 1996. aporta datos estratigráficos y de textura del suelo de un sondeo realizado en la laguna de 24 metros de potencia. Por lo que respecta a los primeros 12 metros de profundidad, se constata un dominio de los sedimentos finos con predominancia de arcillas ($\approx 80\%$) y el porcentaje restante niveles intercalados de arenas encostradas. A partir de estos datos, se toma un coeficiente de permeabilidad $k=10^{-8}$ m/s. Aplicando la ley de Darcy, se obtiene el caudal unitario que se pierde por infiltración. Se adjunta a continuación las pérdidas por infiltración mensuales en mm/m^2 calculadas:

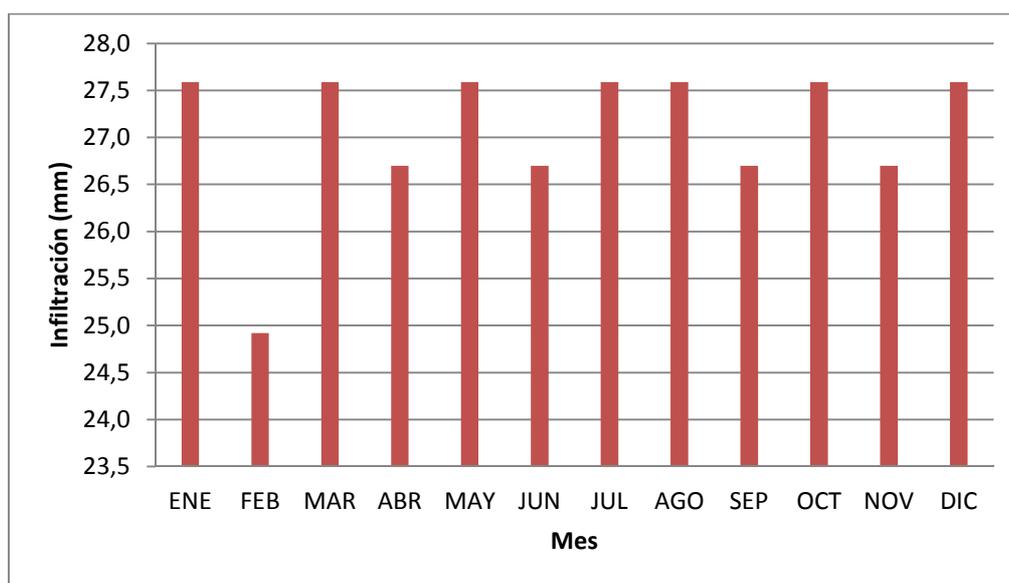


Fig. 42 Pérdidas por infiltración calculadas en mm/m^2

Por último, aplicando el **balance hídrico** se obtiene el déficit, que corresponde al volumen de agua que se pierde mensualmente en la laguna expresado en mm/m^2

Tabla 24. Balance hídrico mensual calculado para la laguna en mm/m^2

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
PRECIPITACIÓN (mm)	20,0	22,2	34,9	42,3	40,4	22,9	10,4	18,4	46,7	33,0	42,7	23,0
EVAPORACIÓN (mm)	37,8	49,8	94,5	101,3	133,1	160,8	189,8	166,1	105,9	66,9	41,9	33,1
INFILTRACIÓN (mm)	27,6	24,9	27,6	26,7	27,6	26,7	27,6	27,6	26,7	27,6	26,7	27,6
P-E-I (mm)	-45,3	-52,6	-87,2	-85,7	-120,3	-164,6	-207,0	-175,4	-86,0	-61,5	-25,9	-37,7

Humedal construido

De la misma manera, se aplica el balance para el humedal construido, considerándolo también como un sistema abierto, se parte de las siguientes hipótesis:

- El humedal está impermeabilizado por una capa de EPDM con el objetivo de que el volumen de agua contenido permanezca aislado del terreno, con lo que la infiltración es nula. No existen flujos entre el humedal y el terreno.
- El consumo de agua en el crecimiento y desarrollo de la biomasa se considera despreciable
- En este caso se tiene en cuenta como salida tanto la evaporación a través del sustrato como la transpiración por la biomasa, esto es, la evapotranspiración
- Se plantea el balance en condiciones estacionarias, es decir, el almacenamiento será cero.

Al igual que en el caso anterior, considerando el humedal construido como un sistema abierto, se establecen las entradas y salidas de la siguiente manera:

$$0 = \text{Entradas} - \text{Salidas}$$

$$0 = (B + P) - (ET + Ef)$$

Agrupando se deja en segundo término el balance entre aportaciones y salidas debidas a factores climatológicos en la laguna:

$$0 = (B - Ef) + (P - ET)$$

Siendo:

B: aportación mediante bombeo desde la EDAR

P: precipitación

I: Infiltración

ET: Evapotranspiración

Ef: Efluente hacia la laguna

En el apartado 5.4. Climatología, se recogen los datos obtenidos para la estación de Almansa procedentes del Servicio Integral de asesoramiento al regante de Castilla-La Mancha. Se aportan datos de evapotranspiración de referencia (ET_o). Se ha estimado según el método de FAO Penman-Monteith recomendado como el método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia.

La evapotranspiración real (ET) adaptada a las características particulares de cada caso se obtiene aplicando el denominado coeficiente de cultivo a la ET_o.

$$ET = k_c \cdot ET_o$$

En este caso, los valores para K_c han obtenido de la Guía para la Determinación de los Requerimientos de Agua en Cultivos, editada por la Food and Agriculture Organization of the United Nations. El valor promedio temporal para vegetación tipo carrizo, enea y junco con altura máxima de 1 metro completamente desarrollado, velocidad de la racha media >2 m/s y condiciones semiáridas. Los valores se recogen en la Tabla 25.

Por último, aplicando el **balance hídrico** se obtiene el déficit, que corresponde al volumen de agua que se pierde mensualmente en el humedal construido expresado en mm/m²:

Tabla 25. Balance hídrico mensual calculado para el humedal construido en mm/m²

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
P (mm)	20,0	22,2	34,9	42,3	40,4	22,9	10,4	18,4	46,7	33,0	42,7	23,0
ET_o (mm)	44,1	56,9	91,9	114,9	142,8	174,0	194,3	179,4	120,0	79,8	48,7	36,5
K_c	1,0	1,0	1,2	1,3	1,7	1,9	2,0	2,0	1,7	1,3	1,1	1,0
ET (mm)	44,1	56,9	110,3	149,3	242,7	330,5	388,7	358,9	204,0	103,8	53,6	36,5
P-ET (mm)	-24,0	-34,8	-75,4	-107,0	-202,4	-307,6	-378,3	-340,5	-157,4	-70,7	-10,9	-13,5

Anexo 2: Selección de la vegetación

Humedal construido

Como criterio general se escogerán las especies mejor adaptadas a la climatología de la zona, las especies presentes en hábitats similares en zonas próximas generalmente resultan las más adecuadas. Resulta fundamental la tolerancia a la carga contaminante del influente, así como a su posible salinidad. Especies colonizadoras de rápido desarrollo resultan más convenientes. Respecto a los condicionantes particulares a la hora de seleccionar el tipo de vegetación en este caso son:

- Tipo de humedal: HSSF
- Temperatura: Media anual de 14°C, media mensual máxima 32,7°C, media mensual mínima -0,2°C
- Superficie del humedal: 4258,1 m²
- Profundidad de la instalación: 0,3 m
- Tipo de influente: Tratamiento terciario o afino
- Evolución de los rizomas
- Necesidad de recolección periódica
- Tipo de sustrato: Gravas finas

Para un humedal tipo HSSF se emplean **macrófitas emergentes** o helófitas:

Son plantas vivaces cuyas hojas se secan en invierno, rebrotando en primavera a partir de órganos subterráneos como los rizomas, que persisten durante el periodo frío, pueden llegar hasta alturas de 2 o 3 m.

Son altamente productivas en comparación con las sumergidas, esto puede ser atribuido a los factores asociados con su hábitat y al biotipo. La parte fotosintética es aérea. Su zona basal está enraizada en un sustrato saturado por lo que estas plantas no sufren nunca una limitación por agua. Además, están adaptadas a tolerar las condiciones anaerobias que se producen normalmente en suelos encharcados ya que poseen un parénquima tubular-poroso (aerénquima) que se extiende desde las hojas hasta las partes sumergidas y que facilita la difusión de O₂ a las raíces. Este aporte de oxígeno en la rizosfera incrementa el

potencial redox del sustrato, siendo éste más favorable para el crecimiento de la raíz y permitiendo que iones tóxicos como el manganeso puedan ser reoxidados y precipitados en el suelo. De esta forma, se produce un tratamiento bacteriano mixto ya que se origina una coexistencia de zonas aerobias, en la proximidad de los rizomas y raíces, con zonas anóxicas, lo que favorece la eliminación de nitrógeno por nitrificación / desnitrificación. La generación de nitrato en las zonas aerobias y su consumo en las partes anaerobias origina un gradiente de concentración de este elemento que da lugar a la eliminación global de N mediante el proceso de nitrificación-desnitrificación. Existen tres macrófitas que han sido ampliamente utilizadas en la construcción de humedales, por su vigoroso crecimiento, por el hábito de arraigamiento y sobre todo por su extendida disponibilidad:

Espadaña (*Typha sp.*)

Tiene un vigoroso crecimiento, siendo capaces de prosperar bajo diversas condiciones ambientales y fáciles de propagar. Los rizomas pueden ser recogidos y plantados y



producirán plantones en un período de crecimiento. La Typha no suele profundizar sus raíces más allá de 30 cm. Este hecho provoca que no sean tan eficaces como los juncos en la oxigenación de lechos de grava más profundos.

Juncos (*Scirpus lacustris*)

También crecen en un rango amplio tanto en aguas costeras como en interiores, aunque no son tan vigorosas ni están tan extendidas como la espadaña. Son muy eficientes en la eliminación de nitrógeno y toleran un amplio rango de pH. Sus raíces son capaces de penetrar a una profundidad de 70 cm. A 1 m o más, y son, por ese motivo, muy útiles en la oxigenación de las zonas más profundas del lecho de grava (de un flujo subsuperficial). Son plantas capaces de vivir en condiciones inusuales de inundación.



Carrizo (*Phragmites australis*)

Son plantas anuales altas con raíces rizomatosas perennes que normalmente penetran a una profundidad de 45 cm. Su rango de altura esta entre 1,8 y 4 m., presentando flores en espiguilla de Julio a Octubre. El carrizo ha sido ampliamente utilizado en Europa siendo plantas muy efectivas en la transferencia de oxígeno debido a la profundidad de penetración de las raíces. El aprovechamiento del carrizo es muy variado y se puede utilizar para techados, cercados, como material aislante en construcción y recibiendo un cierto procesamiento como fibra de papel y compost.



En primer lugar, para un humedal de tipo HSSF, se opta por una plantación monoespecífica, ya que la eficiencia no se ve afectada por el número de especies

De entre las anteriores, tanto el carrizo como la espadaña son especies autóctonas y se encuentran de forma natural en humedales, albardinales y lagunas endorreicas de la Mancha Oriental. El carrizo predomina en aguas someras y salobres mientras que el junco es más dominante en aguas más permanentes y menos salinas, como es el caso del humedal artificial. Por tanto ambas se adaptarán perfectamente los condicionantes climáticos.

El segundo factor decisivo es la profundización de la raíces. Si, como es el caso, se pretende que el sistema radicular actúe como medio de transferencia de oxígeno para posibilitar la nitrificación, resulta fundamental que la profundización potencial de las raíces se adapte a la profundidad de diseño. En el gráfico siguiente se presentan profundidades radiculares asociadas a cada especie y calidad del efluente obtenido para el mismo influente. en una planta piloto en Santee (EEUU).

Bed Type	Root Depth, m	Final Effluent Quality, mg/L ^a		
		BOD ₅	TSS	N H ₃
Bulrush, <i>Scirpus</i>	0.8	5	4	2
Reeds, <i>Phragmites</i>	0.6	22	8	5
Cattails, <i>Typha</i>	0.3	30	6	18
No Vegetation	0.0	36	6	22

a. Primary effluent input (BOD₅ = 118 mg/L, SS = 57 mg/L, NH₃ = 25 mg/L)

Fig. 43. Penetración de raíces y rendimiento asociado a celdas HSSF con distintas especies y sin vegetación.

Fuente: EPA

A la vista de lo anterior la especie que mejor se adapta a la profundidad de diseño (0,3 m), apta para el sustrato elegido, los condicionantes climáticos y aguas permanentes y poco salinas resulta la **Espadaña (*Typha Sp.*)**. La densidad de plantación será de 3 ejemplares/m² previamente cultivadas en vivero.

Laguna de San Benito

En primer lugar se ha consultado la Cartografía de la vegetación de los humedales incluidos en el LIFE "Humedales de La Mancha", que recoge un análisis pormenorizado de los tipos de macrófitos que caracterizan estos ecosistemas, entre los que se incluye la Laguna de San Benito: lagunas someras situadas en climas semiáridos y formadas en enclaves de topografía prácticamente llana.

Esta vegetación abarca grupos tan distintos como plantas vasculares acuáticas, briófitos, carófitos y algas filamentosas.

Desde el punto de vista de su utilización como indicador biológico, se consideran buenos referentes de la calidad del agua. Son sensibles a variaciones físico-químicas e hidromorfológicas en las masas de agua, como por ejemplo la concentración salina, la eutrofización, el régimen de inundación, etc.

Desde un punto de vista funcional pueden clasificarse en:

- Hidrófitos o macrófitos acuáticos en sentido estricto: aquellas plantas que tienen todas sus estructuras vegetativas sumergidas o flotantes. Se incluyen en este grupo a plantas vasculares, algunos géneros de briófitos y las algas carófitas y filamentosas. Se encuentran enraizados al sustrato o flotan libremente en el agua. Son los mejores indicadores del estado de su hábitat. Ejemplos: espigas de agua (todas las especies de *Potamogeton*), miriofilo (*Myriophyllum spicatum*), lentejas de agua (especies del género *Lemna*), nenúfares (*Nymphaea alba* y *Nuphar luteum*), etc.
- Helófitos: plantas acuáticas de lugares encharcados con la mayor parte de su aparato vegetativo (hojas, tallos y flores) emergente. Se localizan en la zona perilagunar. Suelen presentar un sistema de rizomas que permite la expansión subterránea de los individuos, que pueden colonizar rápidamente las áreas donde viven. Ejemplos: carrizo (*Phragmites australis*), enea (*Typha sp.*), junco de laguna (*Schoenoplectus lacustris*), castañuela (*Boloschoenus maritimus*), junco florido (*Butomus umbellatus*), etc.
- Higrófitos o plantas de borde: plantas que se sitúan sobre suelos húmedos en los bordes de los humedales, y que suelen acompañar a los helófitos. Ejemplos: apio borde (*Apium nodiflorum*), berro (*Rorippa nasturtium-aquaticum*), etc.

En un ecosistema bien conservado existen tanto plantas acuáticas como emergentes, según las características ecológicas de los ecosistemas. En una laguna estacional, se encuentran plantas diferentes a las que pueden colonizar una laguna permanente debido a las condiciones cambiantes de humedad y el alto grado de salinidad.

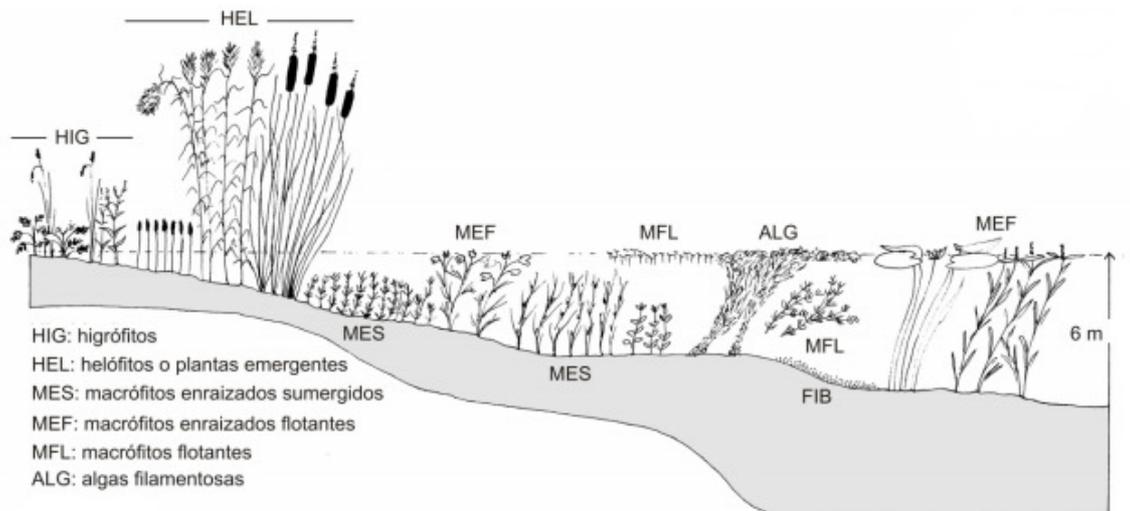


Fig. 44. Sucesión de los distintos tipos de macrófitos en el perfil de un humedal permanente bien conservado (EPA)

En la fase inicial de la restauración ambiental de la Laguna se plantea únicamente la plantación de la vegetación perilagunar y emergente, esto es: helófitos e higrófitos. Se deja para fases posteriores de gestión la actuación sobre la vegetación sumergida o flotante en función de la dinámica natural a medio plazo del humedal restaurado.

Maldonado y Molina, 2013 identifican las siguientes comunidades vegetales en la zona perilagunar de humedales someros de la zona:

Asociación *Typho-Schoenoplectetum glauci*

Carrizales y espadañales densos, de hasta 2-3,5 m de altura, dominados generalmente por el carrizo (*Phragmites australis*) en aguas someras y salobres, por la espadaña (*Typha domingensis*) en aguas más permanentes y menos salinas, o por la mezcla de ambas especies.

Asociación *Scirpetum compacti*

Formaciones vegetales caracterizadas por la dominancia de la castañuela (*Bolboschoenus maritimus*) que se sitúan, por lo general, en los bordes de los humedales salinos o en las propias cubetas si la permanencia de la inundación lo permite. Se encuentran en aguas más someras que el *Typho-Schoenoplectetum glauci*.

Asociación *Scirpetum compacto-litoralis*

Formaciones caracterizadas por la dominancia del bayunco o junco de laguna (*Schoenoplectus litoralis*) especie de reciente introducción en La Mancha, que ha colonizado desde humedales salobres hasta lagunas de agua dulce, instalándose inicialmente en zonas libres de vegetación emergente o en lagunas creadas por el hombre.

Asociación *Schoeno nigricantis-Plantaginetum maritimae*

Juncales densos, de aproximadamente 1 m de altura, que se distinguen en el paisaje por el color pardo oscuro o negruzco de las inflorescencias del almorchín o juncia morisca (*Schoenus nigricans*). Estas formaciones, ahora bastante escasas y localizadas puntualmente en las lagunas manchegas, eran antes más abundantes, pero han sido quemadas de forma tradicional para favorecer el pastizal.

Selección de especies:

- -Teniendo en cuenta todo lo anterior, las especies para la plantación de las orillas serán las incluidas en la asociación *Typho-Schoenoplectetum glauci*. Con dominancia de *Typha latifolia* y *Typha angustifolia* seguida de *Phragmites australis*.
- -El resto de la zona de las bermas será ocupado por *Scirpus lacustris* y *Schoenus nigricans* conformando una pradera de hierbas altas.
- -Por último, y tomando como ejemplo lo realizado en las actuaciones de los Aigüamolls de L'Empordá, la coronación de la berma o mota estará formada por especies de mayor porte, en este caso *Tamarix Gallica*

Anexo 3: Presupuesto básico

CAPÍTULO 1: INSTALACIONES DE BOMBEO Y DISTRIBUCIÓN				
Descripción	Ud.	M.	Precio	Total
Excavación mecánica en zanja y vaciado en terreno compacto. Medida sobre perfil, con acopio de tierra a pie de máquina y carga, sin transporte. Incluido sostenimiento y agotamiento.	m ³	8949,51	6,71	60.051,21
Relleno de zanjas y trasdós de obras de fábrica con material seleccionado procedente de la propia excavación. Incluso extendido y compactado hasta rasante de explanada.	m ³	5774,75	3,40	19.634,15
Transporte de materiales sueltos a instalación autorizada o lugar de reutilización a una distancia menor de 15 Km de recorrido de carga, incluyendo vuelta en vacío. Incluido canon de vertido.	m ³	3174,85	4,27	13.524,93
Partida alzada correspondiente a instalación eléctrica. Incluyendo cuadros de control, cuadro de protección, cuenta horas, voltímetro y manómetro, conexión a la red existente y cableado de alimentación a motores e instrumentos y controles.	m ³	1	9.138,43	3.138,43
Ejecución pozo de bombeo de dimensiones interiores 2 x 2 x 3 m y 30 cm de espesor de hormigón armado. Incluida formación de agujeros para conexiones, cámara de valvulería y elementos auxiliares para colocación de las bombas.	U.	1	3.800,75	3.800,75
Partida alzada correspondiente a conexión a tubería de vertido actual, incluido aliviadero en cámara tranquilizadora del pozo de bombeo.	U.	1	1.325,72	1.325,72
Bomba centrífuga sumergible para aguas residuales XFP101G VX con capacidad hasta 750 m ³ /h y altura de elevación máxima 74 m.	U.	4	12.696,38	187.832,00
Calderería acero inoxidable correspondiente a pieza de pantalón, conexiones y elementos auxiliares.	U.	1	926,14	926,14
Válvula de cierre compuerta DN 125 mm	U.	4	326,00	326,14
Válvula retención clapeta DN 125 mm	U.	4	197,35	789,40
Válvula cierre compuerta DN 250 mm	U.	16	917,00	14.672,00
Ventosas DN 250 mm	U.	8	1.335,00	10.680,00
Válvula de cierre DN 100 mm	U.	12	235,00	2.820,00
Medidor caudal ultrasónico DN 250 mm	U.	1	3.744,07	3.744,07
Colector DN 125 mm de acero inoxidable en pozo de bombeo y cámara de válvulas. Incluso parte proporcional de piezas especiales: reducciones, codos y bridas.	m	24	86,40	2.073,60
Canalización realizada con tubo para DN	ml	10.493,96	28,10	294.880,27

250,200,150 o 100 mm de fundición dúctil colocado en fondo de zanja, debidamente compactada y nivelada, y completamente montado Colocado sobre cama de arena de 10 cm y relleno lateral y superior hasta 10 cm. Incluso parte proporcional de accesorios.				
Arqueta registrable prefabricada de hormigón en masa, de 70x70x60 cm de dimensiones interiores, sobre solera de hormigón de 10 cm de espesor. Formación de agujeros para conexiones de tubos. Incluso parte proporcional de accesorios.	U.	7	101,32	709,24
Arqueta registrable prefabricada de hormigón en masa, de 150x150x108 cm de dimensiones interiores, sobre solera de hormigón de 10 cm de espesor. Formación de agujeros para conexiones de tubos. Incluso parte proporcional de accesorios.	U	1	553,56	553,56
TOTAL CAPÍTULO 1 INSTALACIONES DE BOMBEO Y DISTRIBUCIÓN				621.481,61
CAPÍTULO 2: HUMEDAL CONSTRUIDO Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL				
<i>Descripción</i>	<i>Ud.</i>	<i>M.</i>	<i>Precio</i>	<i>Total</i>
Despeje, desbroce y refino de terrenos hasta 0,25 cm de profundidad, con vegetación de hasta 2 m de altura, sin incluir carga y transporte.	m ²	351.097	0,68	238.745,96
Excavación mecánica en zanja y vaciado a cielo abierto en terreno compacto. Medida sobre perfil, con acopio de tierra a pie de máquina y carga, sin transporte. Incluido sostenimiento y agotamiento.	m ³	43.644,60	4,03	175.887,73
Relleno de zanjas y trasdós de obras de fábrica con material seleccionado procedente de la propia excavación. Incluso extendido y compactado hasta rasante de explanada.	m ³	137,5	3,40	467,50
Transporte de materiales sueltos a instalación autorizada o lugar de reutilización a una distancia menor de 15 Km de recorrido de carga, incluyendo vuelta en vacío. Incluido canon de vertido.	m ³	40.500,35	4,27	172.936,49
Formación de mota perimetral mediante extendido y compactación de suelo tolerable de la propia excavación. Con una densidad no inferior al proctor normal.	m ³	3.006,75	7,43	22.340,15
Suministro y colocación de geotextil no tejido de fibra corta de poliéster punzonado, de masa 150 gr/m ² para uso como capa separadora antipunzonante, incluso solape y alineación.	m ²	55.563,00	1,72	95.568,36
Suministro y colocación de membrana de densidad superficial 1,8 kg/m ² y grueso 1,5 mm, de una lámina de EPDM, colocada no adherida para uso como capa impermeabilizante, incluso solape y alineación	m ²	55.563,00	3,41	189.469,83
Suministro y colocación grava procedente de cantera a una distancia menor de 15 km, de granulometría	t	1826,89	7,18	14.268,05

50-150 mm				
Suministro y colocación grava procedente de cantera a una distancia menor de 15 km, de granulometría 5-15 mm	t	19878,86	9,23	183.481,91
Sistema de reparto de caudal de entrada formado por canal prefabricado de hormigón de 40 cm. de ancho interior sobre solera de 10 cm de espesor de 58 m de longitud. Incluido vertedero longitudinal tipo Thompson, conexiones y cubierta por cordón metálico y planchas desmontables.	U.	12	1.247,58	14.970,96
Sistema de recogida de aguas formado por tubería de PEAD DN 100 mm perforada en 360°. Instalada en fondo del humedal, de 58 m de longitud incluidas partes auxiliares y conexión a arqueta de salida.	U.	12	,724,71	9.416,56
Arqueta registrable prefabricada de hormigón en masa, de 70x70x60 cm de dimensiones interiores, sobre solera de hormigón de 10 cm de espesor. Formación de agujeros para conexiones de tubos. Incluso parte proporcional de accesorios.	U.	12	101,32	1.215,84
Replanteo, distribución y plantación en masa de macrófitas emergentes, o vivaces o arbustivas con una densidad de entre 2 o 3 ejemplares por m ² con aporte de tierra fertilizada.	m ²	12.027	3,02	36.321,51
Suministro de macrófitas emergentes, vivaces o arbustivas procedentes de vivero, en contenedor.	U.	2.4054,00	0,75	18.040,50
Canalización realizada con tubo de DN 250 y 100 mm PEAD colocado en fondo de zanja, debidamente compactada y nivelada, y completamente montado Colocado sobre cama de arena de 10 cm y relleno lateral y superior hasta 10 cm. Incluso parte proporcional de accesorios.	ml	346	11,22	3.882,12
Instalación desagüe de fondo provisto de embocadura con filtro metálico troquelado para captación de aguas subterráneas y tubería de DN 250 y PEAD. Incluido dado de anclaje de hormigón y conducción en zanja hasta compuerta de regulación.	U.	1	5.427,12	5.427,12
Válvula cierre compuerta DN 250 mm	U.	1	917,00	917,00
Medidor caudal ultrasónico DN 250 mm	U.	1	3.744,07	3.744,07
Arqueta registrable prefabricada de hormigón en masa, de 150x150x108 cm de dimensiones interiores, sobre solera de hormigón de 10 cm de espesor. Formación de agujeros para conexiones de tubos. Incluso parte proporcional de accesorios.	U.	1	553,56	553,56
TOTAL CAPÍTULO 2 HUMEDAL CONSTRUÍDO Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL				1.186.738,22
TOTAL				1.808.219,83

Expropiaciones

Para valorar el coste de la adquisición de los terrenos correspondientes a la actuación propuesta se ha recurrido a la base de datos elaborada por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, en su publicación Encuesta sobre precios de la tierra 2014.

En ella se recogen los precios medios nacionales y por comunidades de los terrenos en función del tipo de cultivo-aprovechamiento, para los años 2013 y 2014.

Para los terrenos afectados (Tierras de labor en regadío) la valoración corresponde a 13.400 Euros/ha.

La superficie afectada por las actuaciones (Ver figura 45) se estima en 56,16 ha. Por lo que el coste estimado de la adquisición de terrenos asciende a:

$$\text{Expropiaciones} = 13400 \frac{\text{€}}{\text{ha}} \cdot 56,16 \text{ ha} = 752544 \text{ €}$$

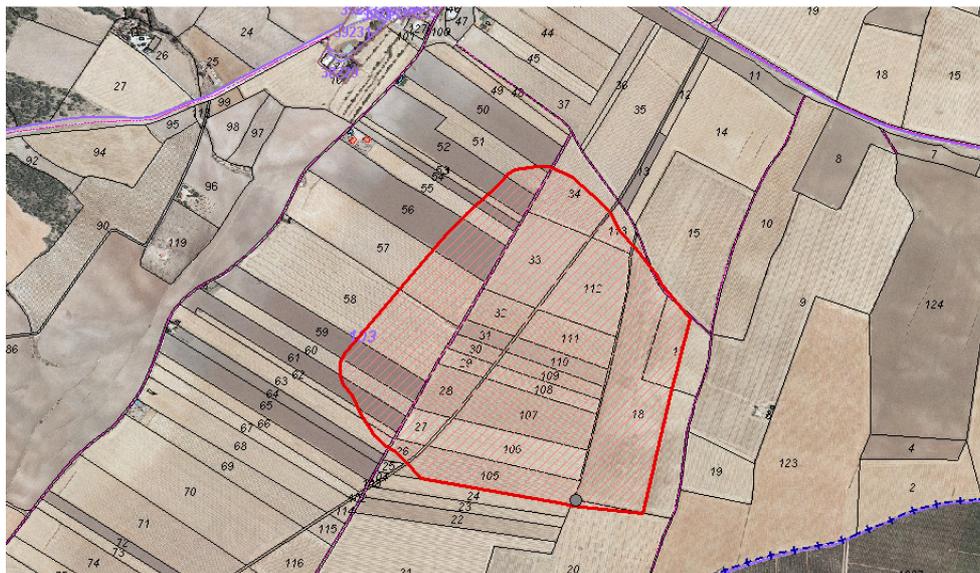


Fig. 45. Parcelas catastrales afectadas por las actuaciones

Anexo 4: Listado de coordenadas

Se adjunta a continuación el listado de coordenadas correspondiente a la envolvente de la zona inundada en proyección UTM, Datum ETRS 89, Huso 30 N:



Fig. 46. Envolvente de la lámina de agua y vértices

Vértice	X	Y
1	664366,67	4311718,66
2	664392,93	4311690,52
3	664458,60	4311632,36
4	664488,61	4311581,71
5	664496,12	4311531,06
6	664492,37	4311480,40
7	664482,98	4311427,87
8	664477,36	4311379,09
9	664469,85	4311345,32
10	664452,97	4311305,93
11	664443,59	4311277,78
12	664422,95	4311253,40
13	664394,81	4311230,88
14	664364,79	4311204,62
15	664327,27	4311185,86
16	664287,87	4311176,48
17	664255,98	4311163,34
18	664210,95	4311142,71
19	664173,43	4311120,19
20	664130,28	4311116,44

21	664085,25	4311108,94
22	664032,72	4311110,81
23	663980,19	4311110,81
24	663944,55	4311112,69
25	663897,65	4311114,56
26	663863,88	4311127,70
27	663822,60	4311165,22
28	663781,33	4311183,98
29	663766,32	4311202,74
30	663762,57	4311232,76
31	663770,07	4311255,27
32	663783,20	4311272,16
33	663850,05	4311355,54
34	663908,21	4311404,31
35	663938,22	4311451,22
36	663975,75	4311494,37
37	664032,03	4311563,78
38	664086,44	4311601,30
39	664154,67	4311664,26
40	664179,06	4311703,66
41	664197,82	4311731,80
42	664229,71	4311744,93
43	664265,36	4311754,31
44	664304,76	4311752,43
45	664342,28	4311731,80
46	664366,67	4311718,66

Anexo 5: Reportaje fotográfico

Se incluyen a continuación una serie de imágenes tomadas durante la visita a campo realizada en Febrero de 2016 para evaluar el estado actual de la zona así como la Estación Depuradora de Aguas Residuales de Almansa:

Fotos 1 a 3: Vista general de la zona desde la CV-436 dirección, Al fondo la Sierra del Mugrón y la aldea de San Benito. La plataforma de la CV-436 constituye el límite norte de la zona inundable.



Foto 1



Foto 2



Foto 3

Fotos 4 a 8: Vista de la zona desde el Camino de Almansa (dirección norte-sur). Discurre paralelo a las faldas de la Sierra del Mugrón y constituye el límite oeste de la zona inundable.



Foto4: Uno de los numerosos pozos de riego existentes y balsa de regulación



Foto 5: Al fondo estribaciones de la Sierra de Almansa



Foto 6: Línea de Baja Tensión que discurre paralela al camino



Foto 7: Vallado de una de las varias casas de labor a lo largo del camino. Al fondo San Benito



Foto 8: Vista general, se aprecia la extremadamente suavizada depresión de la zona inundable

Fotos 9 a 11: Vista general desde la pista que constituye el límite provincial entre Valencia y Albacete, (dirección este-oeste)



Foto 9: Vista de la zona denominada como Charco de la Cizaña



Foto 10: Tierras de labor dedicadas en su mayoría a maíz, remolacha y cereal, cosechadas en el momento de la visita a campo.



Foto 11: Casa del Mojón y Pozo de San Benito.



Foto 12: Punto previsto de ubicación de la salida del bombeo procedente la EDAR.



Foto 13: Vista de la zona inundable desde el límite sur-este. Puede apreciarse la instalación de sistema de riego por aspersores situados en todo el Paraje del Hondo y línea de Media Tensión que lo atraviesa.

Fotos 14 a16: Vistas EDAR de Almansa



Foto 14: Vista de la Acequia del Saladar y conducción paralela que recoge las aguas residuales de Almansa en dirección a la estación depuradora



Foto 15: EDAR de Almansa, en primer plano el decantador primario y caseta de control



Foto 16: Punto de vertido del efluente de la EDAR en la Acequia del Saladar

Anexo 6: Planos