



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS



UNIVERSITAT  
DE VALÈNCIA

Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria ETSE-UV 

# TRABAJO FIN DE MASTER

---

Estudio de la planificación y la gestión de los  
recursos hídricos para la mejora ambiental del  
Marjal dels Moros, ubicada en los tt.mm. de Puzol y  
Sagunto (Valencia)

---

*Presentado por*

Montalbán Martínez, Yolanda

---

Máster Universitario en Ingeniería Ambiental

*Curso: 2017/2018*

*Fecha: Junio de 2018*

*Tutor: López Porta, Evaristo Manuel*

*Cotutor: Eguibar Galán, Miguel Ángel*

*Cotutor Externo: Urios Pardo, Gerardo*



A mis tutores, por ayudarme a desarrollar algo bonito.

A mi familia y amigos, por ser y estar.

A mí, porque también he aportado mi granito de arena.

*“La única forma, si vamos a mejorar la calidad del  
Medio Ambiente, es involucrar a todo el mundo”.*

*Richard Rogers*



**ESTUDIO DE LA PLANIFICACIÓN Y LA  
GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS PARA  
LA MEJORA AMBIENTAL DEL MARJAL DELS  
MOROS, UBICADA ENTRE LOS TT.MM. DE  
PUZOL Y SAGUNTO (VALENCIA)**



## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	3
2.	OBJETIVOS .....	8
3.	LOCALIZACIÓN .....	9
4.	MARCO LEGAL.....	12
4.1.	LEGISLACIÓN .....	12
4.2.	AFECCIONES LEGALES .....	14
4.2.1.	CATÁLOGO DE ZONAS HÚMEDAS .....	14
4.2.2.	PLAN DE ACCIÓN TERRITORIAL SOBRE PREVENCIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA C.V (PATRICOVA) .....	17
5.	MEDIO FÍSICO DEL MARJAL DELS MOROS .....	19
5.1.	MEDIO GEOFÍSICO .....	19
5.1.1.	CLIMA.....	19
5.1.2.	HIDROLOGÍA SUPERFICIAL.....	20
5.1.3.	HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA .....	28
5.1.4.	FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL MARJAL.....	42
5.1.5.	GEOMORFOLOGÍA .....	45
5.1.6.	EROSIÓN .....	47
5.2.	MEDIO BIÓTICO .....	52
5.2.1.	FLORA Y VEGETACIÓN .....	52
5.2.2.	FAUNA.....	54
5.2.3.	HÁBITATS NATURALES DE INTERÉS COMUNITARIO .....	57
6.	AFECCIONES AL HUMEDAL .....	62
6.1.	FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE AGUAS RESIDUALES Y PLUVIALES DE PARC SAGUNT 62	
6.2.	PROYECTO BY PASS REAL ACEQUIA DE MONCADA .....	66
7.	IMPACTOS EN EL MEDIO .....	67
8.	ANÁLISIS HIDROLÓGICO .....	69
8.1.	OBJETIVOS DE GESTIÓN .....	70
8.2.	CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DEL HUMEDAL.....	72
8.2.1.	USO DE IMÁGENES SATELITALES .....	75
8.2.2.	CARACTERÍSTICAS DE LAS LAGUNAS.....	79
8.2.3.	EVALUACIÓN DE VOLÚMENES.....	86



8.3.	CUENCA VERTIENTE .....	87
8.4.	CAUDAL DE AVENIDA.....	93
8.4.1.	MÉTODO RACIONAL MODIFICADO DE TEMEZ .....	96
8.4.2.	MODELIZACIÓN CON HEC-HMS .....	111
9.	PROPUESTA DE ACTUACIONES .....	126
9.1.	GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS.....	126
9.1.1.	GESTIÓN DEL AGUA DE RIEGO.....	126
9.1.2.	GESTIÓN DEL AGUA DE ESCORRENTÍA.....	127
9.1.3.	GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS.....	129
9.2.	NECESIDADES DE MEJORA DE LA INFRAESTRUCTURA HÍDRICA.....	145
9.3.	ADECUACIÓN DE LAS LAGUNAS .....	165
10.	CONCLUSIONES .....	168
11.	BIBLIOGRAFIA Y WEBGRAFÍA .....	171

#### ANEJO 1. FOTOGRÁFICO

#### ANEJO 2. PLANOS

PLANO 01. LOCALIZACIÓN

PLANO 02. RED DE ACEQUIAS EXISTENTE

PLANO 03. ESTADO DE LA RED DE ACEQUIAS PROPUESTA

PLANO 04. LAGUNAS

PLANO 05. ACTUACIONES PROPUESTAS

# 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El *Marjal dels Moros* es un humedal situado entre los términos municipales de Sagunto y Puzol, declarado Zona Húmeda Catalogada por el artículo 31 de la Ley 11/1994, de 27 de diciembre, de la Generalitat, de Espacios Naturales Protegidos. Se trata de un espacio constituido por un Lugar de Interés Comunitario (LIC) y una Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA), dando lugar a su inclusión en la Red Natura 2000.

En el año 2015, mediante el *Decreto 127/2015, de 31 de julio, del Consell, por el que se declaran como zonas especiales de conservación (ZEC) los lugares de importancia comunitaria (LIC) Lavajos de Sinarcas, Marjal de Nules y Marjal dels Moros, y se aprueban las normas de gestión para dichos LIC y para la Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) Marjal dels Moros*, se declaró el presente marjal Zona de Especial Conservación (ZEC) y, además, se aprobaron las normas de gestión de este espacio.

Se trata de un medio muy antropizado que fue modificado con el objetivo de generar tierras para el cultivo. Concretamente, y según los datos publicados en *La Marjal dels Moros, Sistema Natural y Producto Antrópico* (Ferri, M.; Sanchis, C.) (<http://bit.ly/2IDEI6T>), hay actuaciones puntuales datadas en los siglos XIII y XIV, realizadas por Jaume I y Jaume II. Dichos actuaciones estaban dirigidas a colonizar los humedales de todo el litoral valenciano, y se construyeron una serie de infraestructuras para el regadío que fueron abandonadas entre los siglos XIV y XVIII, tras las limitaciones para el cultivo de arroz.

En el año 1610 la mayor parte de las tierras se mantenían anegadas e inundadas, y la antigua red de drenaje se encontraba inutilizada. Pero años más tarde, durante el siglo XVIII, el ayuntamiento de Morvedre favoreció la transformación de estas tierras mediante la concesión de parcelas a particulares para su establecimiento.

Al tratarse de un humedal, para poder cultivar las tierras era necesario desecarlo mediante acciones colectivas, pero dada la complejidad de estas acciones y la falta de medios de los particulares, las tierras lograron mantenerse vírgenes en parte.

Según la documentación de finales del siglo XVIII, el marjal estaba llena de manantiales, pero durante el último cuarto del siglo XIX, propietarios vecinos de Sagunto, con el fin de obtener mayor rentabilidad a las parcelas, encargaron un proyecto de “saneamiento” del marjal. Estas parcelas habían estado más de un siglo establecidas, pero apenas habían dado algún beneficio.

En 1883, Diego Gordillo concluyó este proyecto de desecación del marjal, que consistía en la construcción de seis nuevos canales: cuatro de ellos perpendiculares a la línea de costa y uno paralelo.

A partir de 1894, cuando se concluyeron estas obras, las tierras se comenzaron a cultivar, sobretodo de arroz, siendo el cultivo mayoritario en las tierras mejor “saneadas” (desecadas) el hortícola, frutal y cultivos frutales.

A todas estas modificaciones se les sumó el relleno de las parcelas para elevar la cota del terreno, aumentando el porcentaje de suelo disponible para la agricultura.

A finales del siglo XIX, el empresario Ramón de la Sota decidió construir un embarcadero y un ferrocarril minero en el litoral mediterráneo con el fin de exportar el mineral de hierro desde Ojos Negros al resto del mundo, dando lugar a la construcción del puerto en 1907. Esta nueva infraestructura supuso la alteración de la alimentación del tramo costero en la zona Sur de Sagunto, provocando la acumulación de sedimentos al norte del puerto y la erosión al sur.

Con la actividad minera, Sota se dio cuenta que durante el transporte en tolvas descubiertas se perdía gran cantidad de mineral de hierro dado su carácter pulverulento, por lo que se hacía necesario someterlo a un proceso de aglomeración. Esto conllevó la llegada de los Altos Hornos del Mediterráneo a Sagunto en el año 1917.

En 1923, con el objetivo de frenar el retroceso de la línea de costa, se comenzaron a verter las escorias de la fundición a lo largo de todo el litoral del marjal, que acabaron cementando tras entrar en contacto sus minerales con el agua del mar.



Figura 1. Ortofoto del año 1956 de la zona del *Marjal dels Moros*. Fuente: *Institut Cartogràfic Valencià*



Figura 2. Ortofoto del año 2000 de la zona del *Marjal dels Moros*. Fuente: *Institut Cartogràfic Valencià*

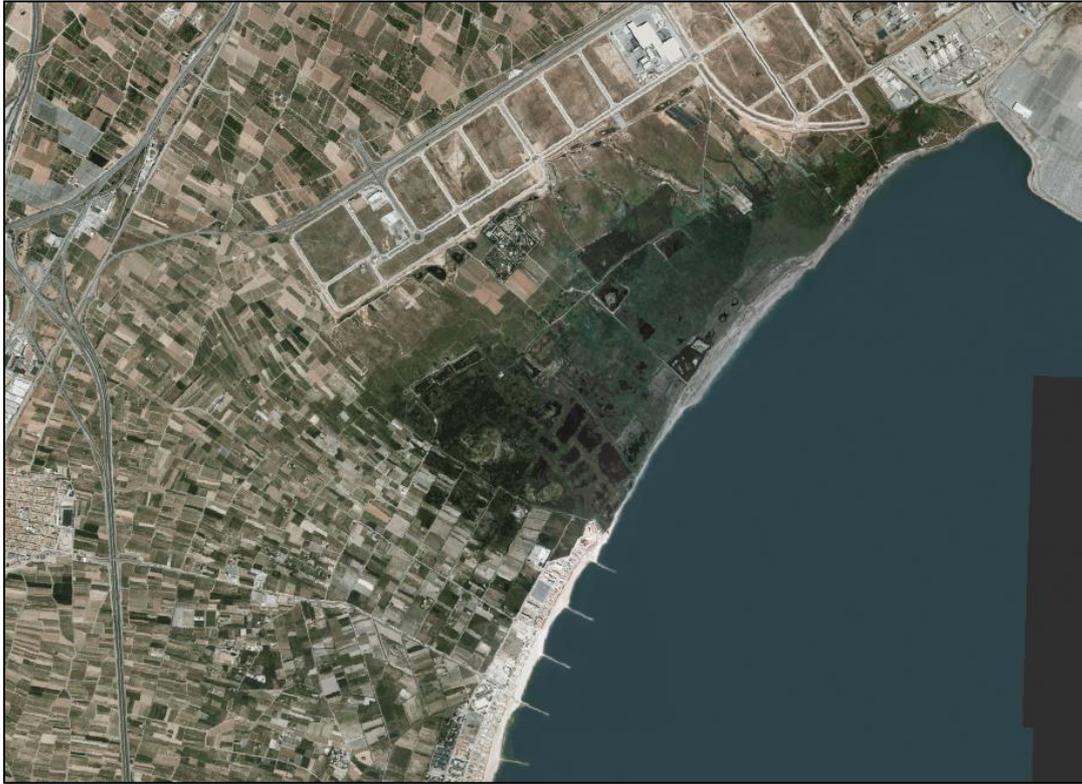


Figura 3. Ortofoto del año 2017 de la zona del *Marjal dels Moros*. Fuente: *Institut Cartogràfic Valencià*

En las décadas de los sesenta y setenta, la mayor parte del humedal, que se localizaba entre los ríos Palancia y Turia, fue objeto del desarrollo industrial y urbanístico, desapareciendo gran parte de estos espacios. Concretamente, en el *Marjal dels Moros* se iba a llevar a cabo una ampliación de la industria siderúrgica en tres fases, aunque se paralizó antes de comenzar la segunda y a pesar de que los terrenos habían sido expropiados. Esta situación llevó al abandono de los cultivos, la eliminación de los cultivos en las áreas en las que se iba a construir, el vertido de escombros y otros residuos y el relleno de los *ullals* con cemento. A pesar de ello, este espacio natural fue regenerándose con el paso de los años y las láminas de agua volvieron a aparecer, así como los pastizales y las comunidades de carrizos y junciales.

Las zonas más elevadas permitieron el desarrollo de vegetación palustre, conformando matas de formas poligonales.

Dada la riqueza de cada uno de sus ambientes desde el punto de vista medioambiental y su capacidad de albergar ricas comunidades de flora y fauna, a pesar del elevado grado de transformación que ha sufrido, se redacta el presente *Estudio de la Planificación y la Gestión de los Recursos Hídricos para la Mejora Ambiental del Marjal dels Moros, Ubicada en los tt.mm. de*



*Puzol y Sagunto (Valencia)*, con el objetivo de mejorar los ambientes acuáticos mediante la gestión y la planificación hídrica.

Al tratarse de un humedal, gran parte de sus ambientes y especies, tanto de fauna como de flora, dependen de la existencia de una lámina de agua, permanente o temporal, por lo que una buena gestión de este recurso puede suponer el mantenimiento y recuperación de la flora y la fauna autóctona, así como la acogida de aves durante sus periodos de migración y/o reproducción.

Así mismo, este espacio se encarga de almacenar gran parte de la escorrentía generada en su cuenca hidrográfica, pero, además, con una buena planificación podría ayudar a prevenir el riesgo de inundación de la zona de Puzol playa, “amenazada” por la presencia próxima de los barrancos del Puig y la Calderona.

## 2. OBJETIVOS

Tal y como se ha expuesto con anterioridad, se trata de un área con elevada capacidad de albergar ricas comunidades de fauna y flora, a pesar de que ha sufrido una fuerte transformación a lo largo de la historia, alcanzando el grado de antropización actual.

Puesto que el objetivo de todas y cada una de las actuaciones que se llevaron a cabo fue el de desecar el humedal, para conseguir una recuperación basada en el aumento de las aportaciones hídricas es necesario llevar a cabo una serie de actuaciones que permitan reducir la contaminación del agua y aumentar los aportes hídricos.

De esta manera, el objetivo del presente Estudio es la recuperación hídrica de este espacio natural que ha sido modificado a lo largo de los años, con el fin de devolverle, en la medida de lo posible, la calidad ambiental que poseía previamente a todas las actuaciones. Esto, además, favorecerá al correcto desarrollo de las especies de fauna y flora que allí habitan o que simplemente acuden para nidificar, y se garantizará, en cierta medida, una óptima conservación de los hábitats.

Para ello se analizarán las potenciales entradas de agua del humedal, así como las salidas, modificando si cabe la infraestructura existente o haciendo una nueva con tal de aprovechar mejor los recursos hídricos disponibles en la zona de estudio.

Así pues, los objetivos se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Análisis del medio geofísico y biótico
- Estudio de las afecciones al humedal
- Impactos presentes en el medio
- Análisis hidrológico: objetivos de gestión, capacidad de almacenamiento de agua del humedal, cuenca vertiente y caudal de avenida.
- Gestión de los recursos hídricos (del agua de riego y de escorrentía)
- Mejora de la calidad del agua
- Mejoras en la infraestructura hídrica
- Adecuación de las lagunas

### 3. LOCALIZACIÓN

El *Marjal dels Moros* se encuentra al noreste de la provincia de Valencia, en los términos municipales de Puzol y Sagunto, ocupando una superficie de 620 hectáreas, como puede verse en la siguiente figura.

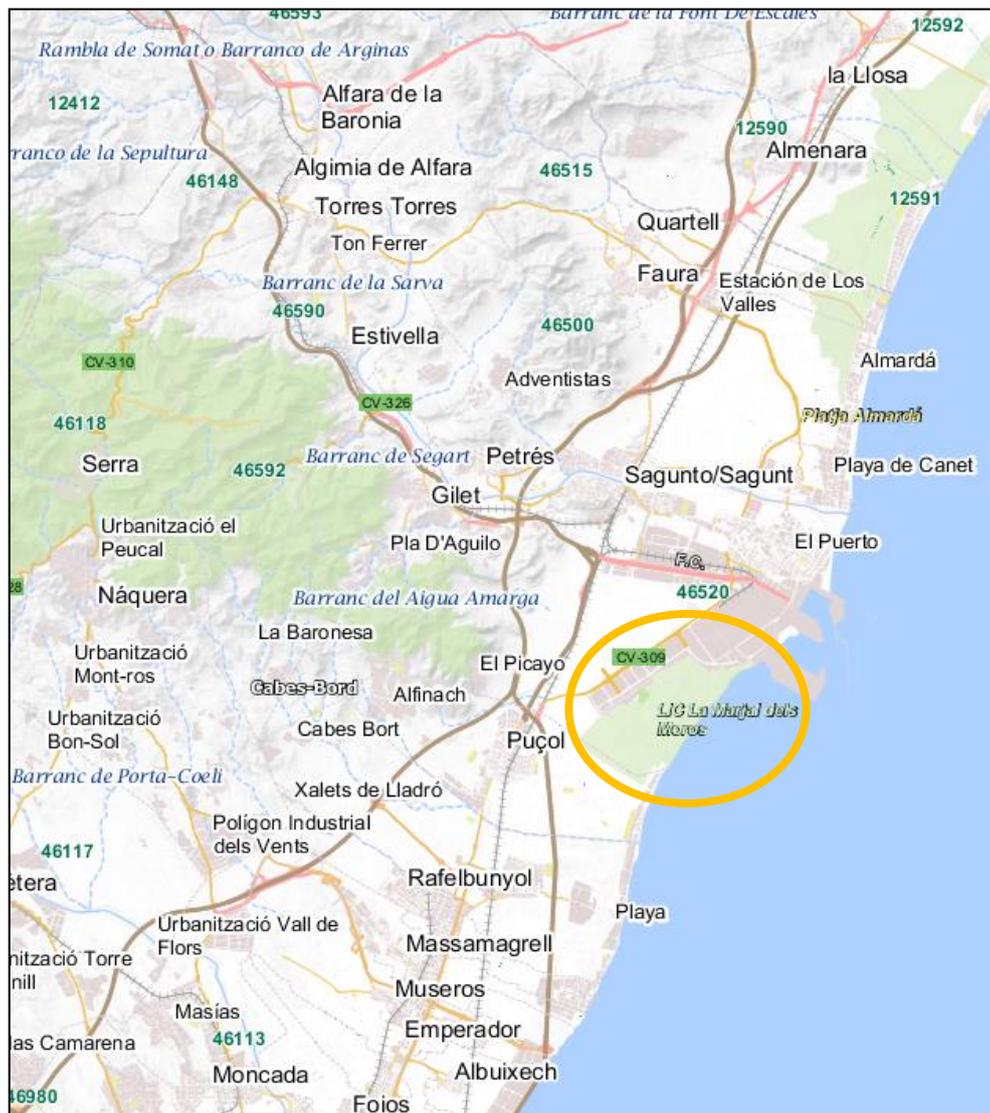


Figura 4. Localización del *Marjal dels Moros* (Sagunto)

En la actualidad, el *Marjal dels Moros* cuenta con cuatro accesos principales, que son:

1.- Acceso Oeste. Desde la V-21 se llega a la CV-309, que conecta con el Puerto de Sagunto a través de *Parc Sagunt*. Mediante el desvío hacia el Centro de Educación Ambiental de la Comunidad Valenciana (CEACV) y siguiendo las señales hacia este centro, se accede por un camino pavimentado al CEACV, localizado en *L'Alqueria dels Frares*.

A este mismo punto de entrada a la ZEC es posible llegar desde el núcleo urbano de Sagunto, siguiendo un camino asfaltado que discurre a través de campos de naranjos.

2.- Acceso Norte. Desde el sureste del núcleo residencial del Puerto de Sagunto, cruzando las instalaciones industriales por la Avenida de los Altos Hornos, se llega al extremo norte de *Parc Sagunt*, y desde él se accede por un camino pavimentado al *Grau Vell*, al norte del marjal.

3.- Acceso Sur-Playa. Desde el núcleo urbano de la playa de Puzol, cruzando la *Gola de l'Estany*, se accede al camino que recorre el límite entre el marjal y la playa.

4.- Acceso Sur-Oeste. Desde el núcleo urbano de Puzol, transitando por el *Camí de la Mar* en dirección a Puzol-Playa, hay un desvío 1,3 km después de cruzar la autovía V-21 por los caminos agrícolas del oeste y cruzando el *Camí de l'Assagador*, en paralelo a los tramos finales de la Acequia de Moncada.

Una variante de esta ruta se inicia al norte del núcleo de Puçol, desde donde se debe alcanzar el *Camí de l'Assagador* por el denominado Paso de los Tubos, bajo la V21, a partir del cual se sigue el mismo recorrido anteriormente descrito.

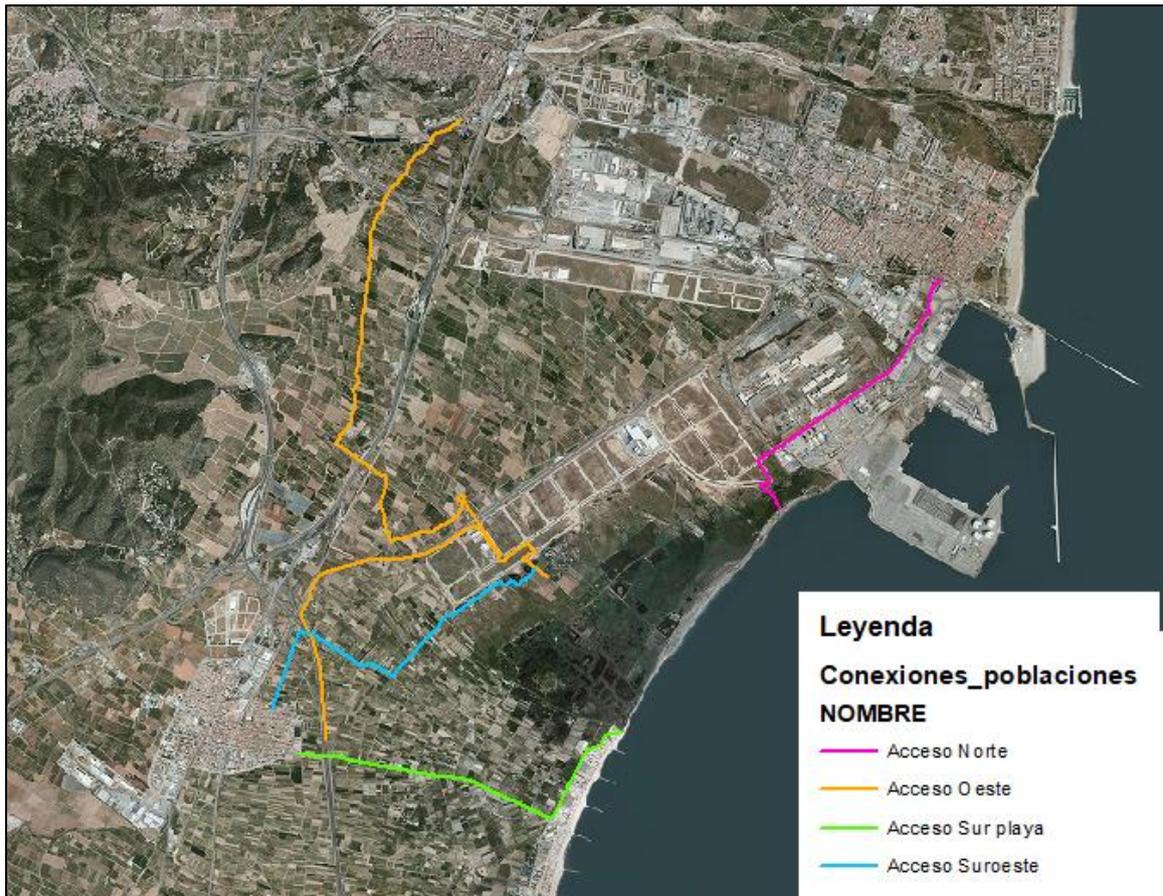


Figura 5. Accesos al Marjal dels Morosi

## 4. MARCO LEGAL

El marco legal viene establecido por una serie de leyes y por otras afecciones legales que, en este caso, son dos: el Catálogo de Zonas Húmedas y el Plan de Acción Territorial Sobre Prevención del Riesgo de Inundación de la C.V.

### 4.1. LEGISLACIÓN

Forman parte del marco legislativo que regula el espacio natural del *Marjal dels Moros* y que, por lo tanto, deben ser tenidas en cuenta para la redacción del presente Estudio las siguientes normativas:

- Acuerdo del 10 de julio de 2001, en virtud de la Directiva 92/43CEE, del Consejo, de 21 de mayo, relativa a la conservación de hábitats naturales y de la flora y fauna silvestre por el que se incluye el LIC *Marjal dels Moros* a la lista que posteriormente fue ratificada por la Comisión Europea en 2006 asignando el código ES0000148 y una superficie de 620 hectáreas.
- Decreto 127/2015, de 31 de julio, del Consell, por el que se declaran como zonas especiales de conservación (ZEC) los lugares de importancia comunitaria (LIC) Lavajos de Sinarcas, Marjal de Nules y *Marjal dels Moros*, y se aprueban las normas de gestión
- Afectado parcialmente por la ZEPA *Marjal dels Moros* (ES0000470), aprobado por el Acuerdo de 5 de junio de 2009, del Consell, de ampliación de la Red de Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) de la Comunitat Valenciana.
- Zona Húmeda Catalogada *Marjal dels Moros*, declarada por el Acuerdo de 10 de septiembre de 2002, del Gobierno Valenciano, de aprobación del Catálogo Valenciano de Zona Húmedas de la Comunidad Valenciana.
- Zona de Reserva de la Anguila, de acuerdo con el Decreto 35/2013, de 22 de febrero, del Consell, por el que se regula el aprovechamiento sostenible de la anguila europea (*Anguilla anguilla*) en el ámbito de la Comunitat Valenciana.
- Reserva de Fauna “Els Cucs”, aprobada por el Decreto 265/2004, de 3 de diciembre, del Consell de la Generalitat, por el que se aprueba el Plan de Recuperación del Samaruc en la Comunitat Valenciana.

- Reserva de Fauna “Balsa Rampetes”, aprobada por la Orden de 23 de noviembre de 2006 de la Consellería de Territorio y Vivienda por la que se declaran seis reservas de fauna en la Comunitat Valenciana.
- Refugio de caza “Refugio de caza *Marjal dels Moros*”, aprobado por Resolución el 9 de septiembre de 1998, de la Dirección General de Desarrollo Sostenible, por la que se prorroga el régimen de caza controlada y declara un refugio de caza en la Marjal del Moro, en Sagunto (Valencia).
- Microrreservas “Camino de Rampetes” y “Llacuna del Fartet”, aprobadas por la Orden de 24 de octubre de 2003, de la Consellería de Territorio y Vivienda, por la que se declaran 12 microrreservas vegetales en la provincia de Valencia.
- Microrreservas “Marjals dels Moros-A” y “Marjals dels Moros-B”, aprobadas por la Orden de 4 de mayo de 1999, de la Consellería de Medio Ambiente, por la que se declaran 33 microrreservas vegetales en la provincia de Alicante y 29 microrreservas vegetales en la provincia de Valencia.
- Afectada parcialmente por el Plan de Recuperación del Fartet, aprobado por el Decreto 9/2007, de 19 de enero, del Consell, por el que se aprueba el Plan de Recuperación del Fartet en la Comunitat Valenciana.
- Afectada parcialmente por el Plan de Recuperación del Samaruc, aprobado por el Decreto 265/2004, de 3 de diciembre, del Consell de la Generalitat, por el que se aprueba el Plan de Recuperación del Samaruc en la Comunitat Valenciana.

## 4.2. AFECCIONES LEGALES

### 4.2.1. CATÁLOGO DE ZONAS HÚMEDAS

El Acuerdo de 10 de septiembre de 2002, del Gobierno Valenciano, de aprobación del Catálogo de Zonas Húmedas de la Comunidad Valenciana, integra el Marjal dels Moros en el Catálogo de Zonas Húmedas, coincidiendo casi en su totalidad con la ZEC Marjal dels Moros.

La Zona Húmeda abarca 620,46 hectáreas, en las que los usos del suelo predominantes son de humedal y cultivos abandonados. Su recuperación ha sido reciente tras haber sido influenciada por distintos usos, tanto industriales como agrícolas y residenciales.

Este área engloba el conjunto de los espacios más sensibles del Marjal, como son las zonas de saladares, lagunas y la mota litoral, pero existen algunas diferencias con respecto a la ZEC, siendo la más relevante la no inclusión del *Grau Vell* en la catalogación como Zona Húmeda.

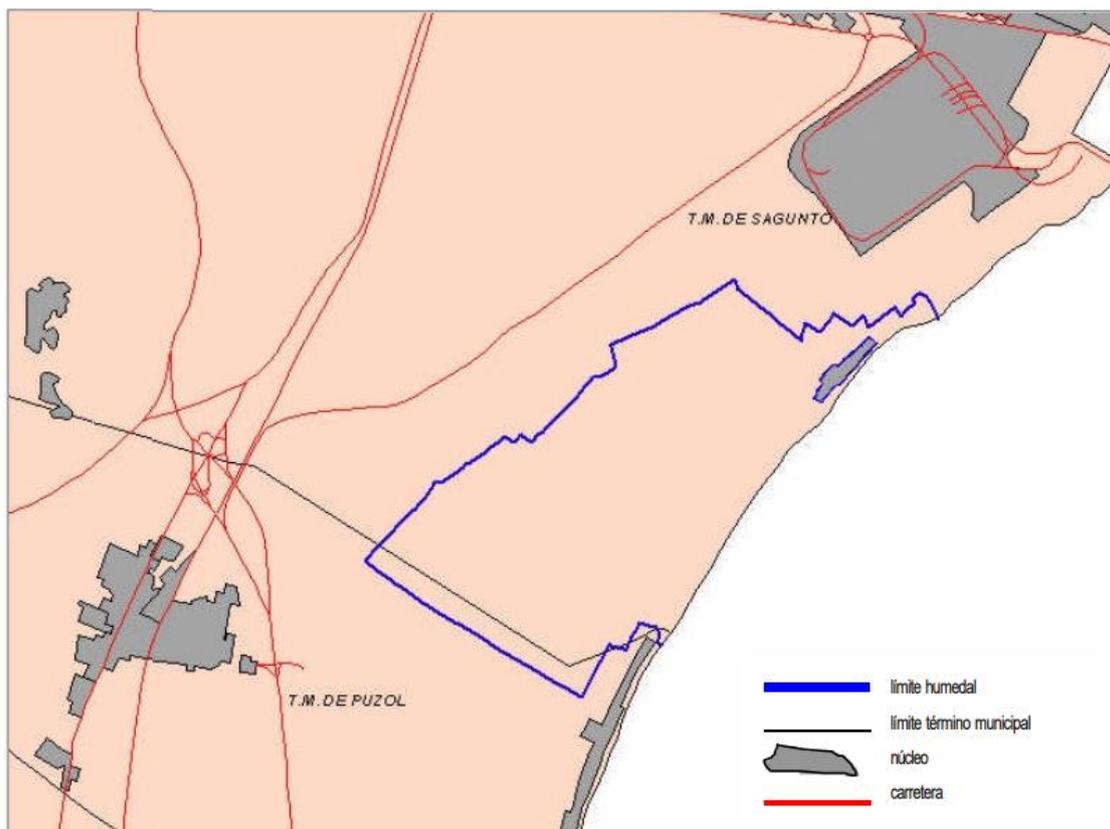


Figura 6. Delimitación de la Zona Húmeda catalogada. Fuente: Generalitat Valenciana, Conselleria de Medi Ambient

Además de la Zona Húmeda incluida en el Catálogo, se extiende una zona perimetral de afección de 500 metros en torno a los límites, que alcanza la Playa de Puzol y, parcialmente, *Parc Sagunt* y las instalaciones portuarias.

La Regulación del Catálogo de Zonas Húmedas se recoge en la siguiente ley:

*Ley 11/1994, de 27 de diciembre, de Espacios Naturales Protegidos de la Comunitat Valenciana.*

*“Artículo quince. Zonas húmedas*

*1. Se entenderá por zonas húmedas, a efectos de la presente ley, las marismas, marjales, turberas o aguas rasas, ya sean permanentes o temporales, de aguas estancadas o corrientes, dulces, salobres o salinas, naturales o artificiales.*

*2. Las zonas húmedas deberán ser preservadas de actividades susceptibles de provocar su recesión y degradación, a cuyo fin los terrenos incluidos en las mismas serán clasificados en todo caso como suelo no urbanizable sujeto a especial protección, de conformidad con lo dispuesto en la Ley 4/1992, de 5 de junio, sobre Suelo No Urbanizable. La clasificación de suelo se mantendrá aún en el supuesto de desecación por cualquier causa de la zona húmeda o parte de la misma.*

*3. En el supuesto de actividades consolidadas en el entorno de las zonas húmedas que puedan tener influencia en la calidad de sus aguas, estas instalaciones adecuarán sus vertidos a los criterios de calidad establecidos por la Conselleria de Medio Ambiente.*

*4. El Gobierno valenciano, a propuesta de la Conselleria de Medio Ambiente, aprobará mediante acuerdo un catálogo de zonas húmedas en el que se incluya la delimitación de dichas zonas y las cuencas en que el planeamiento urbanístico deberá adoptar especiales precauciones con el fin de garantizar su conservación y donde la planificación hidrológica habrá de prever las necesidades y requisitos para la restauración y conservación de la zona húmeda en la que viertan y las actuaciones hidrológicas en el ámbito de las competencias*

*autonómicas deberán prever las necesidades y requisitos para la restauración y conservación de la zona húmeda a la que afecten”.*



Figura 7. Zonas húmedas presentes en la ZEC. En azul las Zonas Húmedas, y la línea perimetral la Zona de Protección de las Zonas Húmedas

#### 4.2.2. PLAN DE ACCIÓN TERRITORIAL SOBRE PREVENCIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIÓN EN LA C.V (PATRICOVA)

En la Comunitat Valenciana, las inundaciones son el fenómeno natural e inducido que mayor daño ha causado a lo largo de la historia, tanto en vidas humanas como en bienes materiales. De esta manera, el Consell elaboró y aprobó por el *Acuerdo de 28 de enero de 2003, del Consell*, un Plan de Acción Territorial sobre Prevención del Riesgo de Inundación en la Comunitat Valenciana (PATRICOVA).

Este instrumento ha sido y sigue siendo un instrumento básico e indispensable para la ordenación del territorio, puesto que permite hacer un análisis de las características específicas del riesgo y de su impacto sobre las personas, los bienes económicos y el medio ambiente.

La *Directiva 2007/60/CE*, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación, y su transposición a la legislación estatal mediante el *Real Decreto 903/2010, de 9 de julio*, supuso la matización de determinados conceptos y metodologías relacionadas con el tratamiento del riesgo, que fueron adoptados por el PATRICOVA.

Tanto en la *Ley 5/2014, de 25 de julio, de la Generalitat, de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje, de la Comunitat Valenciana*, como en la Estrategia Territorial de la Comunitat Valenciana, aprobada por el *Decreto 1/2011, de 13 de enero, del Consell*, el tratamiento de los riesgos naturales e inducidos es una de las prioridades.

Posteriormente, en el año 2015 se procedió a la revisión del PATRICOVA con cinco objetivos: dos relacionados con el nuevo marco estatal y comunitario, y tres relacionados con las competencias exclusivas que tiene la Generalitat en materia de ordenación del territorio, urbanismo y paisaje.



Figura 8. Peligrosidad por Inundación y Peligrosidad Geomorfológica en el entorno del *Marjal dels Moros*, Sagunto.

Fuente: PATRICOVA

## 5. MEDIO FÍSICO DEL MARJAL DELS MOROS

### 5.1. MEDIO GEOFÍSICO

#### 5.1.1. CLIMA

El *Marjal dels Moros*, localizado al noreste de la provincia de Valencia, presenta una temperatura media anual de 17°C. La temperatura en los meses de más fríos, en invierno, está en torno a los 5°C y los 6°C, presentando una amplitud térmica de 10°C. En verano, cuando la amplitud térmica alcanza los 12°C, se llegan a sobrepasar los 30°C.

Las heladas en la Comunidad Valenciana son poco frecuentes, siendo el número medio anual de heladas de entre 10 y 20 días, donde las temperaturas mínimas que producen estas heladas no superan los -2 °C, por lo que son consideradas de carácter débil.

Las precipitaciones son irregulares y torrenciales, siendo la media anual de 465 mm. Otoño es la estación con mayor media, alcanzando valores que oscilan entre los 59,3 mm y los 60,2 mm mensuales, seguido del invierno, cuando la precipitación media es de entre 24,7 mm y 41,3 mm al mes.

A partir de estos datos pluviométricos, se desprende que el régimen estacional es propio de la zona media del Mediterráneo, caracterizado por un máximo de precipitación otoñal y un mínimo estival, con estiaje moderado.

La humedad relativa media de la zona se ha estimado en el 68 %, tanto en los meses de invierno como los de verano, así como la evapotranspiración potencial, que se estima en 874,3 mm de media anual.

Respecto a los vientos, según los datos obtenidos de la estación Meteorológica de Valencia-Els Vivers, hay un predominio en los vientos procedentes del oeste en otoño e invierno y de los procedentes del este en primavera.

### 5.1.2. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

En cuanto a la hidrología superficial, el *Marjal dels Moros* carece de red fluvial, pero se localizan una serie de lagunas, de golas y una extensa red de acequias, tal y como se puede observar en la figura siguiente.



Figura 9. Red de aguas superficiales.

#### 5.1.2.1. RED DE ACEQUIAS

La red de acequias está compuesta por una serie de canalizaciones, tanto excavadas en tierra como de hormigón, que se han ido construyendo con el paso de los años. En un primer momento el objetivo de las acequias era la desecación del humedal, fin que derivó en la aparición de las golas. Una vez se alcanzó este objetivo, se instaló la agricultura en este espacio, por lo que fue desarrollándose la red en función de los intereses privados de los propietarios. De esta manera, en la actualidad queda una maraña de canalizaciones, la mayoría de las cuales presenta un estado deficiente, ya que han ido abandonándose y deteriorándose hasta el punto de desaparecer en parte (véase Plano 02). Por ello, en el apartado 9.2 se recogerán sólo aquellas acequias de cierto interés, las que son relevantes para la recuperación de este marjal.

En general, esta red no es funcional, aunque algunas, como la Acequia del Rey, todavía transportan agua ocasionalmente. Esta acequia se sitúa próxima y paralela a la línea de costa, y también es una de las principales del *Marjal dels Moros*. En este caso, se trata de una acequia excavada en el terreno, por lo que su lecho es de tierra. Históricamente, fue una acequia dedicada al drenaje de las aguas del marjal.

Otra de las acequias más importantes es la *Sèquia de L'Arrif*, cuyo origen se localiza en el límite del término municipal de Puzol-Sagunto, en la esquina suroeste del *Marjal dels Moros* (véase Planos 02 y 03). Presenta un evidente estado de abandono, consecuencia del desuso derivado de la decadencia de la agricultura, pese a que su continuidad, según el "Proyecto de *Parc Sagunt I*", se ha mantenido tras sus obras de urbanización. Esta acequia es una continuación de la Acequia de Moncada, si bien, ésta última sí que se utiliza para regadío (una vez por semana lleva agua).

Cabe destacar que la Real Acequia de Moncada, después de recorrer toda *L'Horta Nord*, vierte sus aguas sobrantes al mar a través de *La Gola del Estany*, en lugar de introducirla al humedal, lo que supondría una buena fuente para su mejora hídrica.



Figura 10. Acequias del Marjal dels Moros. De izquierda a derecha, Acequia de l'Arrif y Acequia de Salvadanys.

De forma paralela a la del Rey y a la de *L'Arrif*, en medio de ambas, se encuentra la *Sèquia de Salvadanys*. Ésta recoge el agua de la Acequia de la Raya, que es un ramal de la Acequia de Moncada, y la introduce al interior del Marjal.

Finalmente, las acequias que dirigen el agua de oeste a este son, principalmente: el *Primer Braçal de L'Arrif*, la *Sèquia de Llobarros*, la *Sèquia de Rampetes*, *L'Escorridor del Pas de les Egües* y el *Segon Sifó de La Sèquia de Salvadanys*.

### 5.1.2.2. GOLAS

Por su parte, existen cinco golas que desembocan o desembocaban agua al mar, puesto que su función era la de desecar el Marjal. De norte a sur se encuentran: la *Gola de Colomer*, *l'Escorridor*, la *Gola de Bernat*, la *Gola del Pas de les Egües* y, finalmente, la *Gola de l'Estany*, tal y como se observa en la siguiente figura.



Figura 11. Golas del *Marjal dels Moros*

Las golas han dejado de funcionar y se encuentran cegadas total o parcialmente por los aportes de materiales realizados por el mar (bolos, escorias) y la natural colmatación que sufren durante los periodos de avenida.

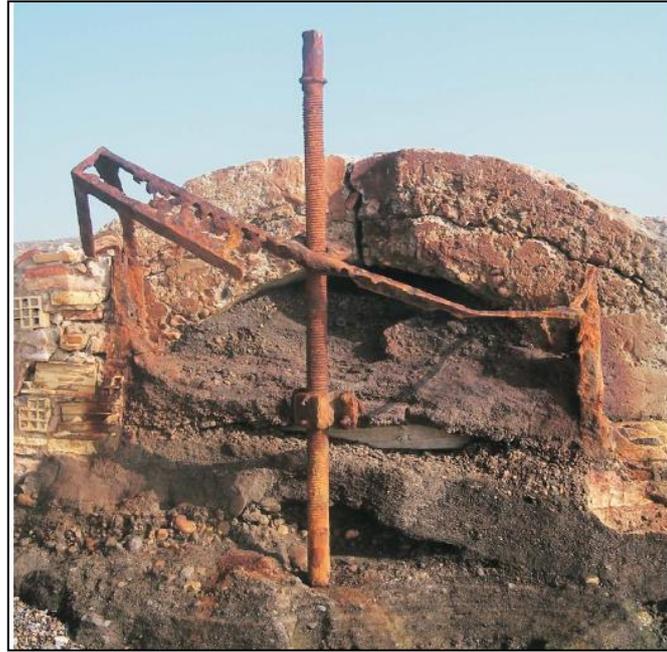


Figura 12. Gola del Pas de les Egües. Fuente: Estado actual de "Les Goles" del Refugio de fauna de la Marjal dels Moros de Sagunt (Valencia), marzo de 2006.

### 5.1.2.3. LAGUNAS

En la zona central del marjal se localizan las lagunas principales: la Laguna de las Fochas, la Laguna del Pas de les Egües y la Laguna de los Charranes, además de la Laguna de Villa Marisa y la Laguna de la Gola de Bernat, tal y como se observa en la siguiente figura.



Figura 13. Hidrología superficial: Lagunas existentes

Más al sur, en la zona más próxima al litoral, se localizan la Laguna de la Pardilla, el Saladar de Rampete y el Sistema Lagunar Sur; y en la zona del interior, la Laguna del *Camí de Magraners*, la Laguna de Fanega, *Els Cucu 1*, *Els Cucu 2*, *Els Cucu 3*, la Laguna de limícolas y las dos lagunas Rampete (Véase Plano 04).

#### 5.1.2.4. MOTORES

Cabe destacar la existencia de varios motores que proporcionan agua del acuífero a las acequias, localizados tal y como muestra la figura siguiente, pero que presentan un gran deterioro:

- *Motor dels Cucs* (1)
- Motor Central (2)
- Motor del Pino (3)
- Motor del Vivero (4)
- Motor de Valero (5)



Figura 14. Localización de los motores

#### 5.1.2.5. CALIDAD DE LAS AGUAS SUPERFICIALES

La calidad de las aguas superficiales las hace aptas para la agricultura, aunque presentan problemas de contaminación y salinidad según el estudio realizado por el IGME (Instituto Geológico y Minero de España), proviniendo la contaminación de diversas fuentes:

- Intrusión marina en la zona litoral por cloruros y clasificada como contaminación de grado alto.
- Contaminación por nitratos procedentes de la agricultura, clasificada como grado alto.
- Contaminación por nitritos de origen urbano, clasificada como grado bajo.
- Contaminación de origen industrial por plomo, clasificada como de grado bajo.

Las aguas procedentes de la Real Acequia de Moncada, que eventualmente pueden llegar al marjal, son aguas de calidad deficiente, pues aparentemente recoge aguas fecales sin depurar de parte de la población de Puzol (véase apartado 6.2).

Atendiendo al anejo 8 del Plan Hidrológico (Objetivos Medioambientales y Exenciones), el *Marjal dels Moros* incumple los indicadores biológicos de fitoplancton e invertebrados bentónicos y químicos por plomo. Para esta masa, además de su inclusión dentro del programa de investigación, se plantea el análisis de medidas a adoptar para la reducción de compuestos químicos según las NCA más limitantes, entre ellas la del plomo, de la Directiva 2013/39/UE, que queda traspuesta al derecho español con la aprobación del Real Decreto 817/2015.

Tabla 1. Masas de agua superficial, categoría lagos. Fuente: Plan Hidrológico

Código Masa Superficial	Nombre de la masa	Horizonte previsto buen estado Ecológico	Exención aplicada (art. DMA) al alcance del buen estado ecológico	Horizonte previsto buen estado Químico	Exención aplicada(art. DMA) al alcance del buen estado químico	Horizonte Global
L03	Marjal dels Moros	2027	4(4) Viabilidad técnica	2027	4(4) Viabilidad técnica	2027

### 5.1.3. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

El *Marjal dels Moros* se localiza sobre la unidad hidrogeológica Plana de Sagunto (con código del IGME 08.21), que cuenta con una llanura costera de 125 km<sup>2</sup>, situada en el límite de las provincias de Valencia y Castellón, entre Almenara y Puzol, donde las actividades económicas principales son la industria y la agricultura.

La Plana consta de una población de 80.000 habitantes, siendo la densidad de 40hab/km<sup>2</sup>, muy por encima de la media nacional y de la de la Comunidad Valenciana, donde el núcleo más poblado es Sagunto, seguido de Puzol.

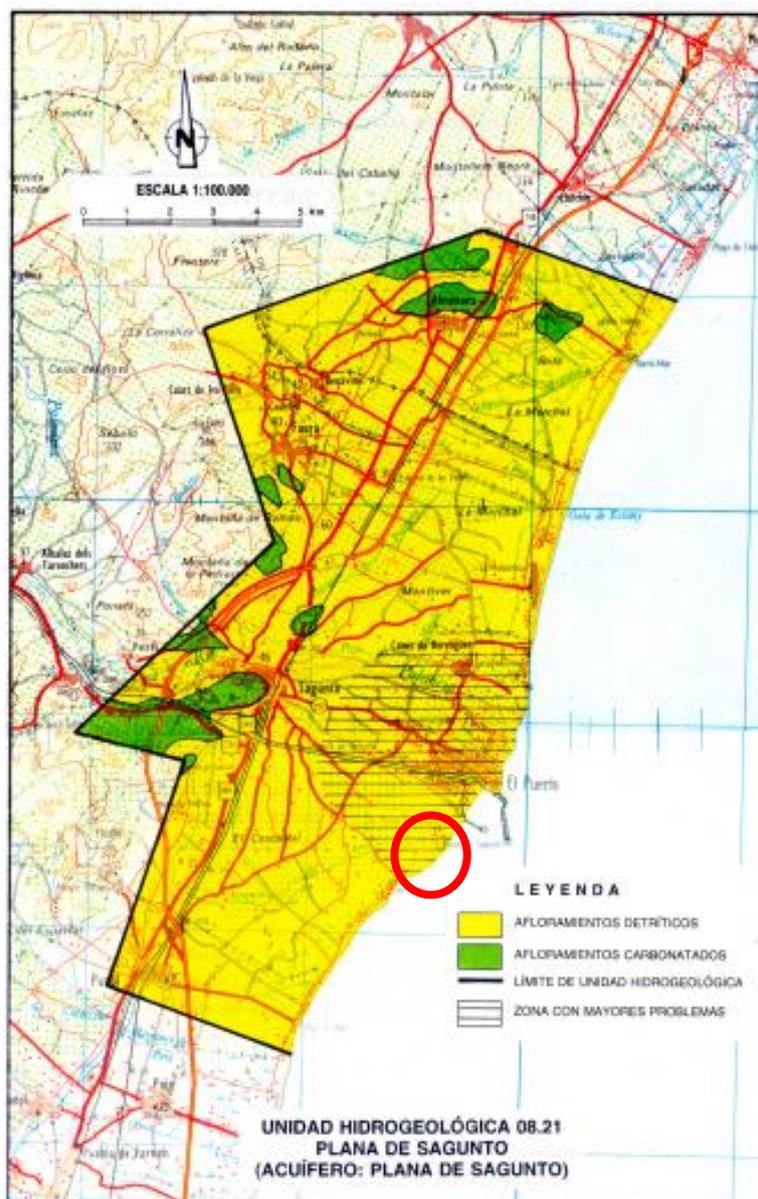


Figura 15. Unidad hidrogeológica 08.21. Plana de Sagunto

Según datos del Instituto Geológico y Minero de España (IGME), el subsistema acuífero de la plana de Sagunto está formado por la alternancia de gravas, arenas y conglomerados, frecuentemente encostrados, y son susceptibles de presentar una carstificación importante. Se localizan en una formación pliocuaternaria, generalmente limo-arcillosa, sobre un estrato arcilloso, y su espesor es creciente hacia el mar.

Por debajo de esta formación existen materiales mesozóicos, normalmente Muschelkalk, presentando un escalonamiento hacia la costa. En las inmediaciones del río Palancia, se sitúa en su máximo desarrollo el acuífero detrítico, que presenta 140 m de espesor. Existe un predominio de niveles detríticos de grano grueso en los primeros 50 m desde la superficie, aumentando la arcillosidad a profundidades superiores. De tal forma que la transmisividad puede alcanzar valores superiores a  $7.000 \text{ m}^2/\text{d}$ , siendo los valores del coeficiente de almacenamiento de 10 a 12%.

En la zona de estudio, la superficie piezométrica no suele ser superior a 2 m.s.n.m, siendo la morfología de la capa muy variable dependiendo de la época del año. Se caracteriza por la existencia de tres depresiones piezométricas al suroeste del puerto de Sagunto y Puzol y al sureste de Faura.

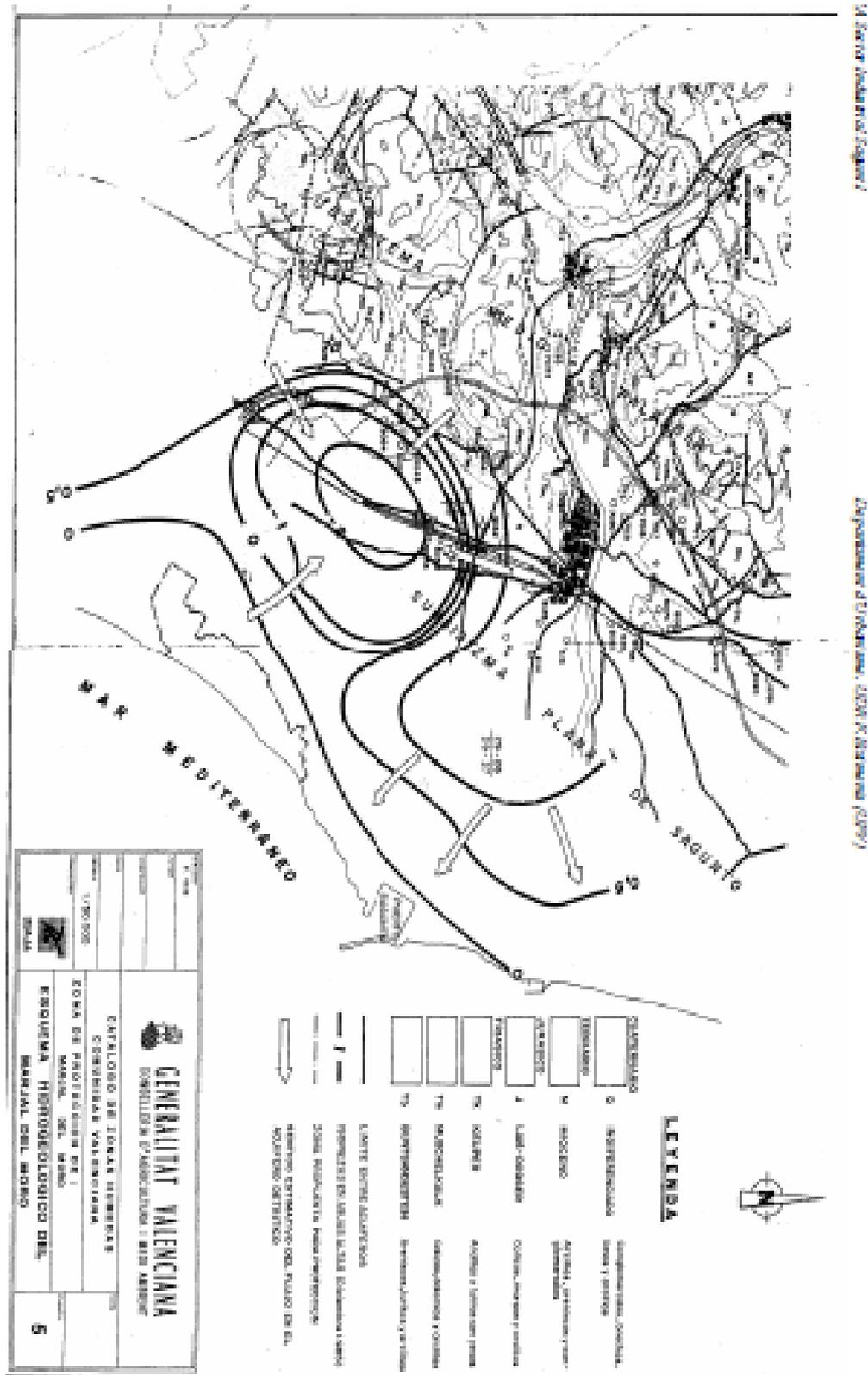


Figura 16. Situación de las Isopezias en la Plana de Sagunto. Fuente: TEYGE S.A

En la siguiente figura, se observa la distribución de los diferentes materiales a lo largo de la Plana de Sagunto.

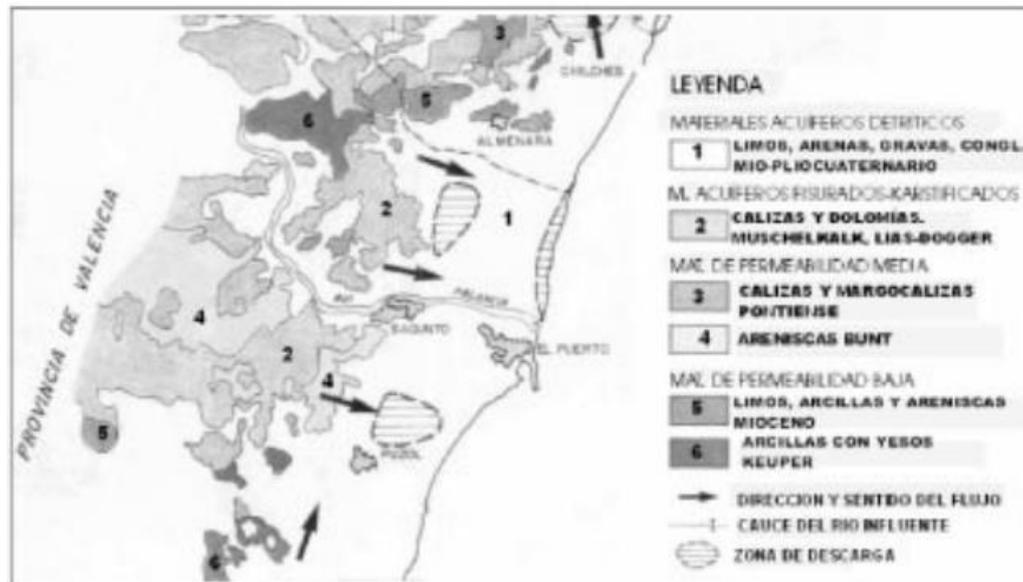


Figura 17. Materiales presentes y permeabilidad. Fuente: ITGE, 1990

#### 5.1.3.1. ESTADO CUANTITATIVO DEL ACUÍFERO

Según los datos publicados en el SIA Júcar (Sistema de Información del Agua de la Confederación Hidrográfica del Júcar), el acuífero sobre el que se asienta el *Marjal dels Moros*, presenta un estado cuantitativo malo.

Para el año 2012, las entradas a la Plana de Sagunto estimadas fueron:

- Recarga de lluvia: 7,9 hm<sup>3</sup>
- Pérdidas del río: 3,7 hm<sup>3</sup>
- Entradas laterales: 10,5hm<sup>3</sup>
- Retorno agrícola: 12 hm<sup>3</sup>
- Retorno urbano: 0 hm<sup>3</sup>

Sin embargo, las pérdidas o salidas de agua subterránea fueron:

- Bombeo agrario: 20,1 hm<sup>3</sup>
- Bombeo urbano: 1,9 hm<sup>3</sup>
- Bombeo industrial: 2,9 hm<sup>3</sup>
- Bombeo recreativo: 0 hm<sup>3</sup>
- Salidas al humedal: 3 hm<sup>3</sup>
- Salidas al río: 0 hm<sup>3</sup>
- Salidas al mar: 8,3 hm<sup>3</sup>

Cabe destacar que las tres últimas salidas (al humedal, al río y al mar) son restricciones ambientales impuestas por la Confederación. El objetivo de estas restricciones es el de proporcionar condiciones de hábitat adecuadas para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas. Ofrece un patrón temporal de los caudales que permite la existencia de cambios leves en la estructura y composición de los ecosistemas acuáticos y hábitats asociados.

Esto hace que el recurso renovable sea de 34,1 hm<sup>3</sup>, siendo 22,8 hm<sup>3</sup> el recurso disponible como consecuencia de las restricciones, y el bombeo total de 24,9 hm<sup>3</sup>. Por tanto, hay un déficit de 2,1 hm<sup>3</sup>.

A la vista de los datos, la explotación que se hacía para el año 2012 era insostenible, y por ello, suponiendo que esta situación se haya extendido hasta la actualidad, deberían tomarse medidas destinadas a la explotación sostenible de este recurso.

En la *Memoria-Anejo 8 Objetivos medioambientales y exenciones, del Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar*, se proponen una serie de medidas para alcanzar los objetivos medioambientales. Concretamente, en la Plana de Sagunto, se prevé la sustitución de las extracciones subterráneas urbanas por agua procedente de las desalinizadoras de Sagunto y de Moncofar, así como la sustitución de los bombeos agrícolas por agua procedente de la EDAR de Sagunto. Por último, se propone la modernización de los regadíos de Fuente de Quart y Fuente La Llosa, lo que supondrá una reducción de las pérdidas, y por tanto, una reducción en las extracciones subterráneas agrícolas.

Se hicieron diferentes test (SIA Júcar) para evaluar el estado cuantitativo, arrojando el siguiente resultado:

- Test de balance hídrico: malo
- Test ecosistemas: bueno
- Test intrusión: malo
- Estado cuantitativo: malo
- Descenso piezométrico: no
- K mayor que 1: sí
- Presión extracción: sí
- Porcentaje salidas al río: no hay salidas
- LIC asociado: sí

- ZEPA asociado: sí
- Natura asociado: sí
- Cloruros: sí

La evolución piezométrica, medida en el pozo de Talars (figuras 18 y 9), con código 08.21.005 y coordenadas ETRS89, X: 735.559, Y:4.399.402, cota 17 m.s.n.m., elegido por su proximidad a la zona de estudio y por su representatividad, es la siguiente:

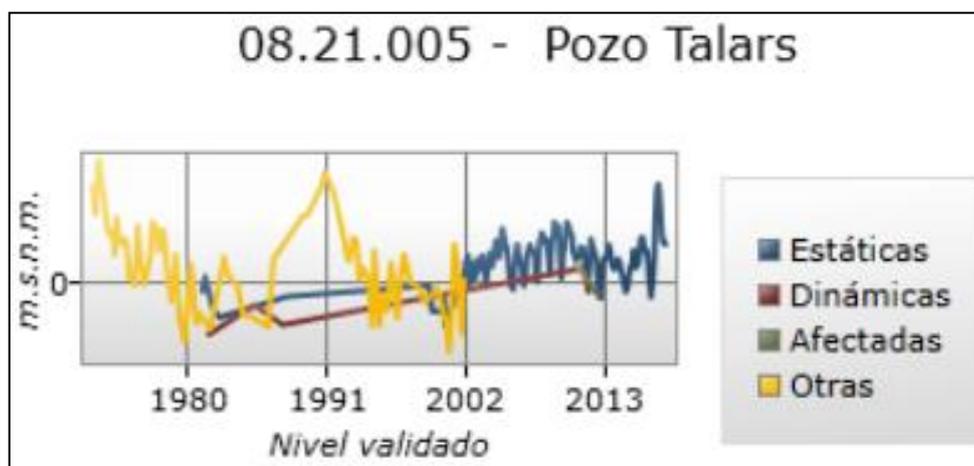


Figura 18. –Nivel piezométrico Pozo Talars medido en metros sobre el nivel del mar. Fuente: SIA Júcar

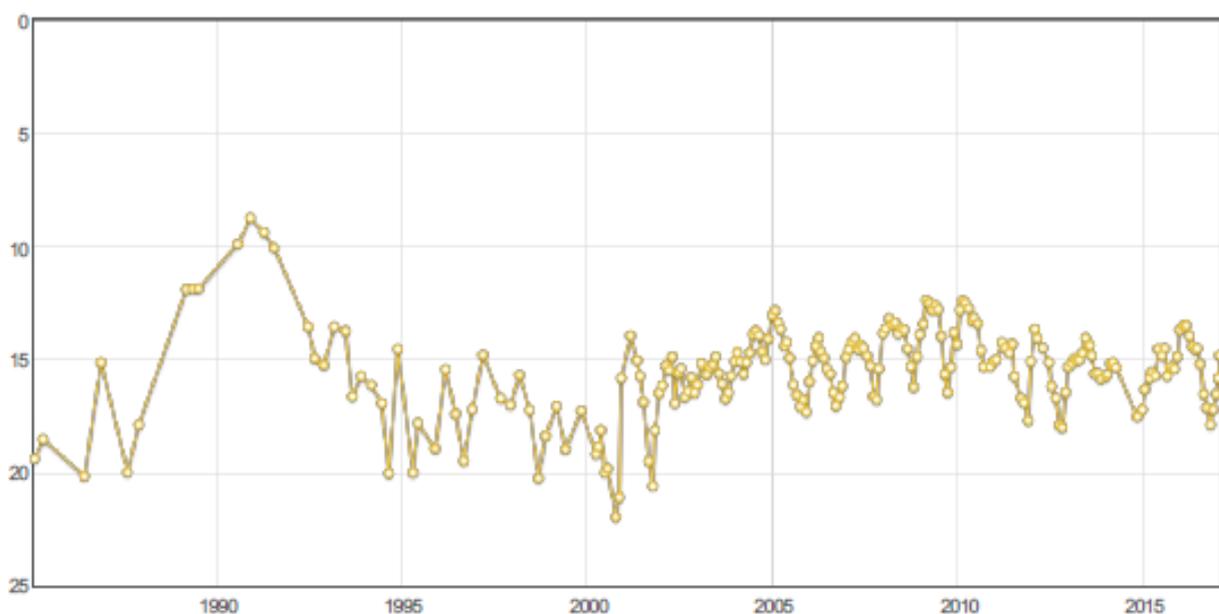


Figura 19. Nivel piezométrico Pozo Talars medido en profundidad. Fuente: Redes de seguimiento MAPAMA

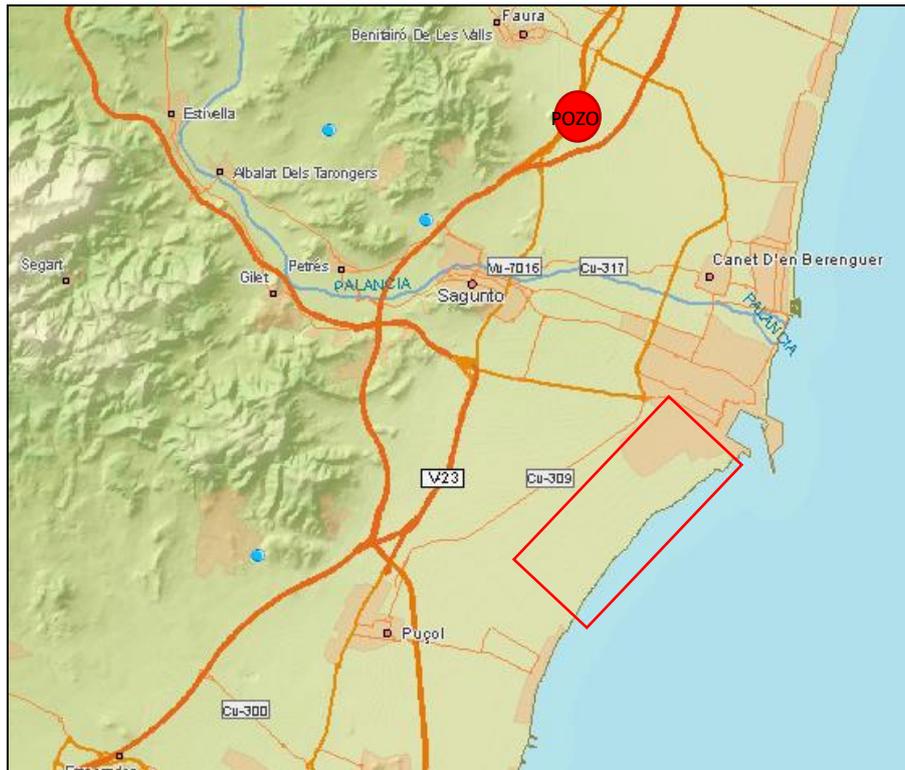


Figura 20. Localización del pozo Talars

Se observan grandes fluctuaciones en el nivel piezométrico, siendo la tendencia en el nivel piezométrico ascendente en los meses de otoño y al principio del invierno, y descendente en los meses de verano, coincidiendo en el primer caso con la gota fría y los meses de más fríos, y en el segundo caso, con los meses más cálidos y secos. Sin embargo, desde el año 2002, a pesar de las fluctuaciones, la tendencia general es a estabilizarse en torno a los 15,5 m de profundidad.

### 5.1.3.2. ESTADO CUALITATIVO DEL ACUÍFERO

Según los datos publicados por el SIA Júcar, el estado químico del acuífero es malo y los contaminantes causantes del mal estado son los nitratos, pero no los plaguicidas.

En la siguiente figura se observan los niveles de nitratos desde el año 2009 hasta el 2017. Han sido medidos por tres puntos de muestreo (figura 22) de la Red de Control de Seguimiento del Estado Químico (08.128.CA014, 08.128.CA002, 08.128.CA190), que han funcionado durante el año 2016 y 2017 (a excepción de la estación 08.128.CA014, que no ha podido ser muestreada durante el 2017).

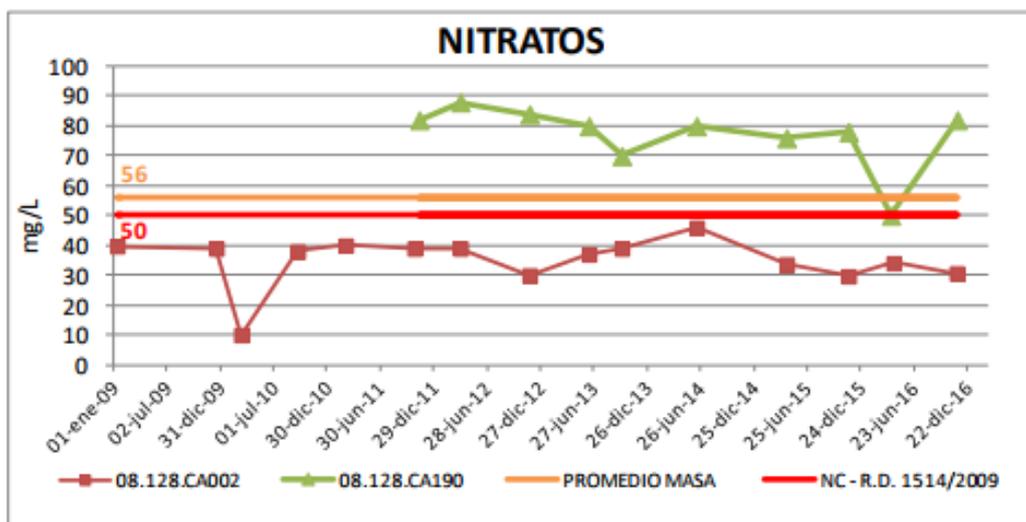


Figura 21. Niveles de Nitratos. Fuente: CHJ

El Real Decreto 1514/2009, de 2 de octubre, por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro, establece una concentración máxima de nitratos de 50 mg/l, concentración rebasada continuamente en el muestreo de 08.128.CA190, que llega a alcanzar casi los 90 mg/l en el año 2011-2012. Sin embargo, en la estación 08.128.CA002 no se ha incumplido la concentración máxima de nitratos establecida en este Real Decreto.

Cabe destacar que, tal y como se observa en las siguientes figuras, las estaciones muestreadas están localizadas en zonas de uso agrario, más concretamente de cítricos, y de permeabilidad considerable.

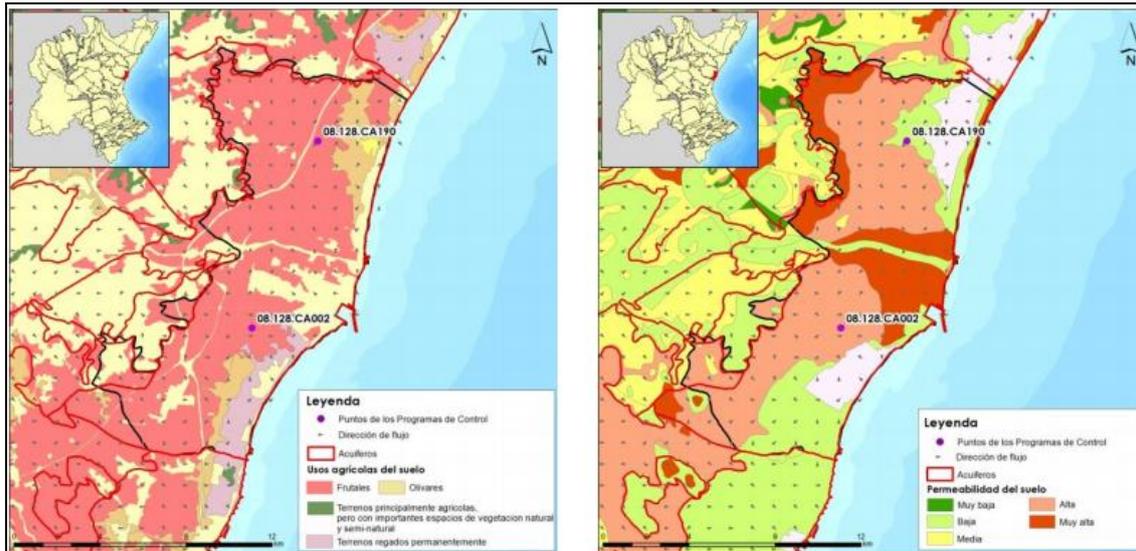


Figura 22. Localización de los puntos de la masa 080.128, direcciones de flujo, distribución de acuíferos, uso y permeabilidad del suelo.

Respecto a la intrusión marina, se ha utilizado para su evaluación la concentración de cloruros existente, por ser el parámetro más característico y abundante en el agua de mar, además de ser el ion mayoritario que posee mayor estabilidad química.

Según los datos obtenidos de las redes del ITGE, en los meses de mayo y octubre de 1999, las concentraciones máximas de cloruros eran de 700 mg/l entre Puzol y Puerto de Sagunto, y de 450 mg/l al norte del río Palancia, superando en casi todo el acuífero los 300 mg/l, valor umbral establecido para esta masa (masa con código 080.128) en la *Normativa del Ciclo de Planificación Hidrológica 2015-2021*, de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, que se encuentra en Fase de Consulta Pública.

La mejor calidad, en cuanto a concentración de cloruros, se observa en el extremo noroccidental del acuífero, zona de mayor aportación de aguas subterráneas. Además, entre los núcleos de Sagunto y el Puerto de Sagunto, hay una zona de concentraciones menores a 300 mg/l, consecuencia de la circulación preferente a través de paleocauces, que separa las áreas más afectadas por la intrusión marina, tal y como se observa en la figura siguiente.

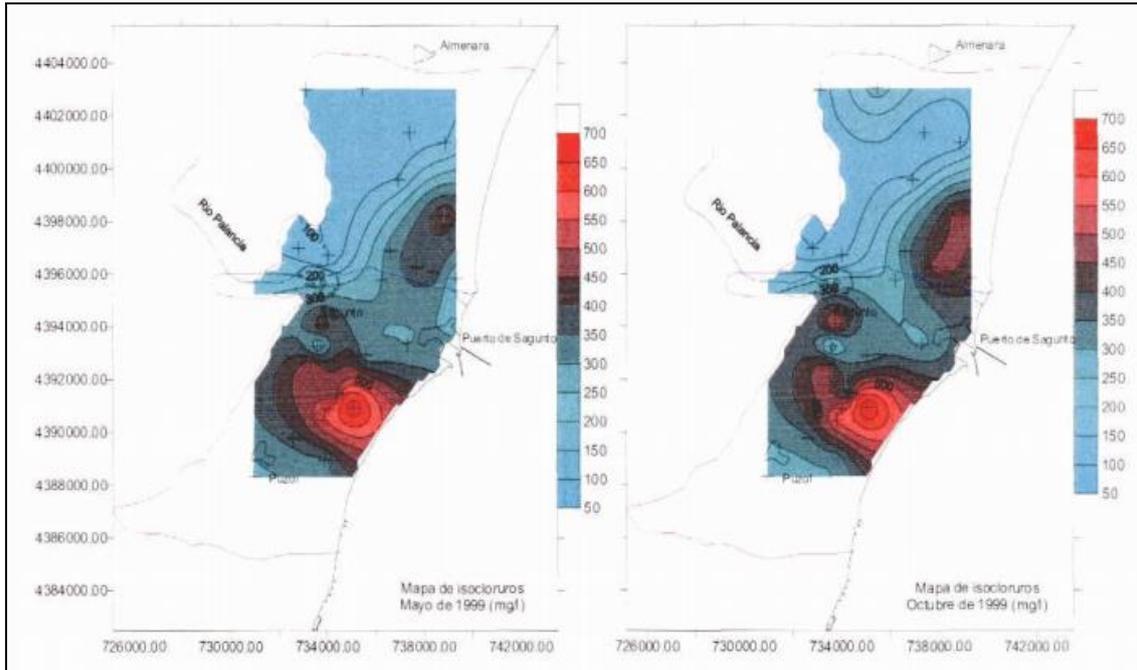


Figura 23. Concentración de cloruros entre mayo y octubre de 1999. Fuente: *Estado de la Intrusión de Agua de Mar en los Acuíferos Costeros Españoles, año 2000.*

En los últimos años, tal y como se puede ver en la siguiente figura, los niveles de cloruros han ido descendiendo desde el año 2010, de los 600 mg/l hasta prácticamente los 300 mg/l, alcanzando así el valor umbral. Por el contrario, en el año 2001 se llegaron a alcanzar los 2000 mg/l, según fuentes de la Confederación Hidrográfica del Júcar.

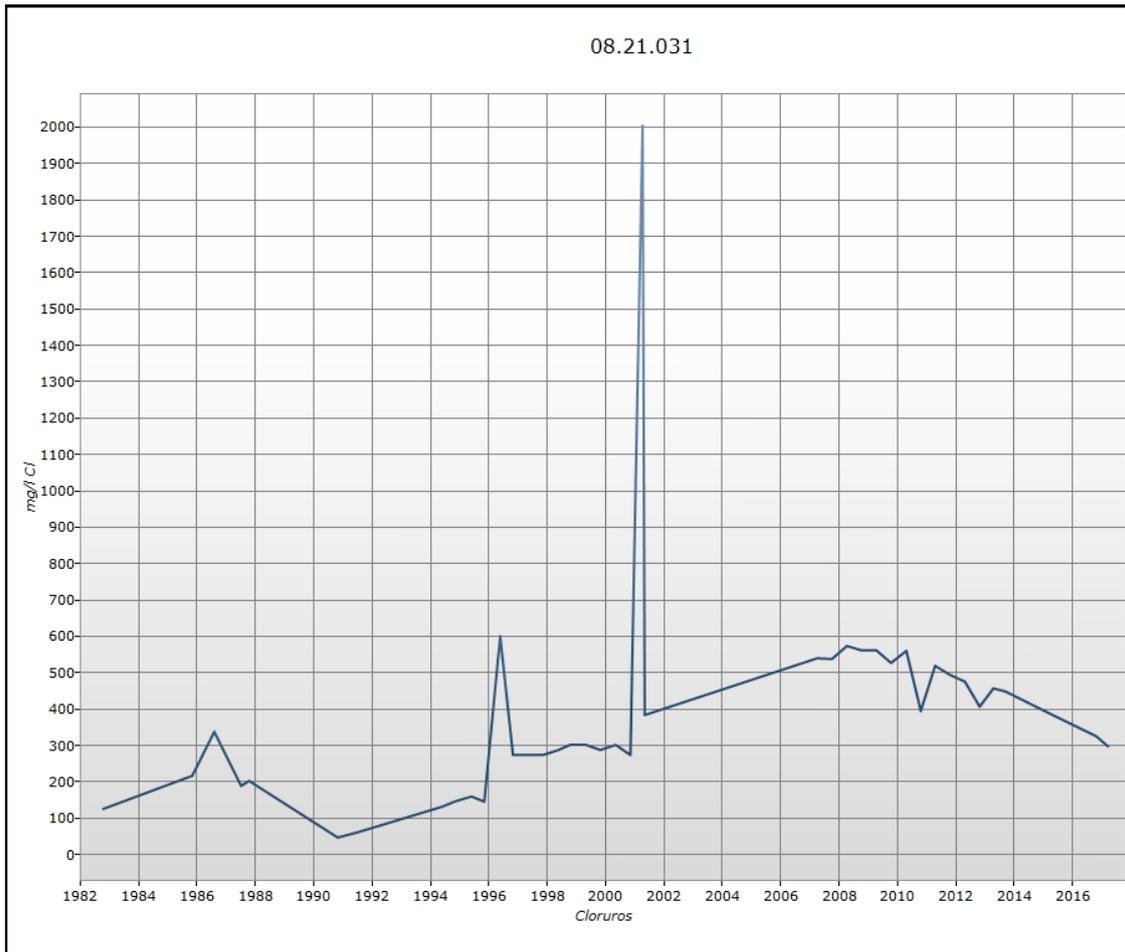


Figura 24. Evolución de los niveles de Cloruros desde el año 1982 al 2016. Fuente: SIA Júcar

La causa principal de esta contaminación por aguas salinas es la sobreexplotación de las aguas subterráneas para uso agrícola e industrial (Casas et al., 1988), por lo que es necesario aplicar el concepto de sostenibilidad al uso de este recurso hídrico. Para ello, la Confederación Hidrográfica del Júcar, tal y como se ha explicado en el apartado anterior, propone cubrir la demanda urbana con aguas procedentes de la desalinización y no del acuífero, así como la utilización de los efluentes de la EDAR de Sagunto para la agricultura, si bien estas actuaciones todavía no se han llevado a cabo.

Por otro lado, y a petición de Parque Empresarial de Sagunto, S.L., desde mayo de 2010 hasta mayo de 2012 se realizaron tomas de muestras puntuales de agua subterránea y sus correspondientes analíticas mediante piezómetros ubicados en el *Marjal dels Moros*.

Tanto las muestras como las analíticas se llevaron a cabo en el laboratorio Intercontrol Levante, S.A.

Desde mayo de 2010 hasta marzo de 2011 se analizaron los siguientes parámetros:

- Cloruros
- Conductividad eléctrica
- DBO<sub>5</sub>
- DQO
- Fósforo total
- Nitrógeno total
- pH
- Sólidos en suspensión
- Sulfatos
- Sólidos gruesos

Además, en las muestras realizadas desde julio de 2011 hasta mayo de 2012 los parámetros analizados fueron:

- Amonio
- Cloro libre residual
- Cobre disuelto
- DBO<sub>5</sub>
- Nitritos
- Oxígeno disuelto
- pH
- Sólidos en suspensión
- Zinc total

Los puntos de toma de muestras están ubicados en cinco piezómetros identificados como nº 1 (en la rotonda más grande de la zona sur de *Parc Sagunt*), nº 2, nº 3, nº 4 y nº 6 (todos ubicados en plena marjal).

Las cotas de profundidad varían entre los -5.00 metros del nº 1 y los -0.60 metros del resto de piezómetros.

El valor del parámetro del pH se mantiene en todas las analíticas en torno a 7.00, sin bajar de 6.00 ni sobrepasar los 8.00.

La demanda biológica de oxígeno se mantiene con valores bajos, salvo alguna excepción. La más grave fue cuando se alcanzaron los 1050 mg/l en el punto nº 1 durante la primera toma. En esta misma analítica se observa también un valor alto (1830 mg/l) en la DQO, acorde con el resultado de la DBO.



Figura 25. Ubicación de los piezómetros

Respecto a la conductividad eléctrica, en general presenta valores altos, que rondan los 5.000 o 20.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . En varias analíticas se llegan a superar los 100.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

Los valores de los cloruros y los sulfatos son generalmente del orden de 5.000-6.000 mg/l y 1.000-2.000 mg/l respectivamente.

Se observa la presencia de fósforo, cobre y cinc. Estos dos últimos, en analíticas puntuales.

#### 5.1.4. FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO DEL MARJAL

Atendiendo a los últimos trabajos disponibles (Teyge, 1992), previos a la ejecución de *Parc Sagunt*, el funcionamiento del marjal no es bien conocido. En éstos se indicaba que la profundidad del nivel freático podía estar entre los 0,2 y 0,1 m.s.n.m. No obstante, la tendencia observada en los piezómetros de la red de control del IGME ha puesto de manifiesto un descenso en los niveles del acuífero.

Este hecho se justifica con los datos obtenidos en campo para el *Plan Director del Marjal dels Moros* mediante técnicas GPS RTK. Con ellas se determinó que el nivel freático se localizaba entre los 0.20-0.30 m.s.n.m, tal y como se observa en la siguiente figura.

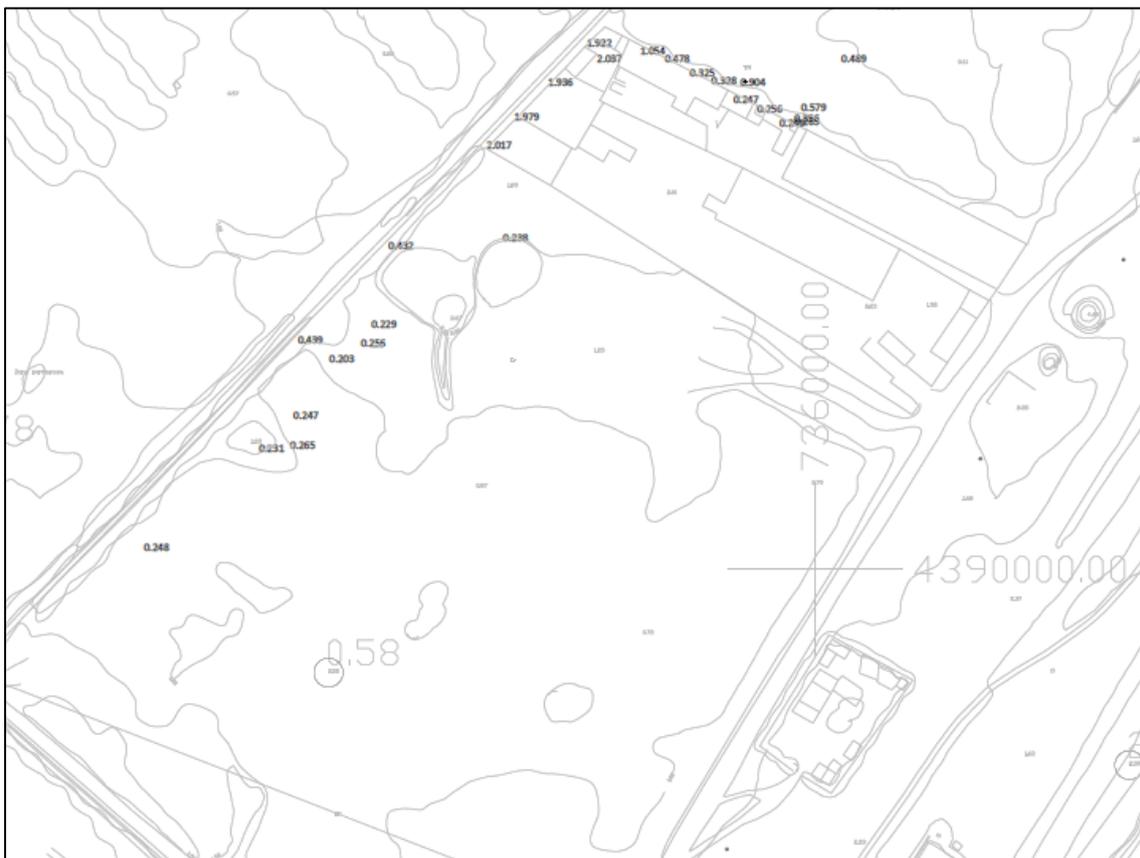


Figura 26. Mediciones del nivel freático mediante técnicas GPS RTK

En el acuífero detrítico se alternan materiales (gravas, arenas y limos) de constitución limo-arcillosa. El estrato impermeable, formado por arcillas, presenta un espesor creciente hacia el mar, mientras que los permeables son muy heterogéneos, favoreciendo la contaminación y las captaciones de agua.

No obstante, el nivel de colmatación previsible, consecuencia de la existencia de una capa limo-arcillosa, podría reducir la permeabilidad en el fondo del marjal, favoreciendo la acumulación de agua en la superficie de forma diferencial.

### ENTRADAS DE AGUA:

Los aportes hídricos actuales del marjal son principalmente los siguientes:

1) La escorrentía superficial procedente de la cuenca del marjal, detallada en el apartado 8.4.

2) La escorrentía subterránea procedente de la descarga del acuífero detrítico, analizada en el apartado 5.1.3.

3) Los excedentes de riego procedentes del río Turia y conducidos por la Real Acequia de Moncada.

No se dispone de los volúmenes de riego, si bien se han identificado qué acequias son las más caudalosas y susceptibles de aportar más agua al marjal (véase apartado 9.2).

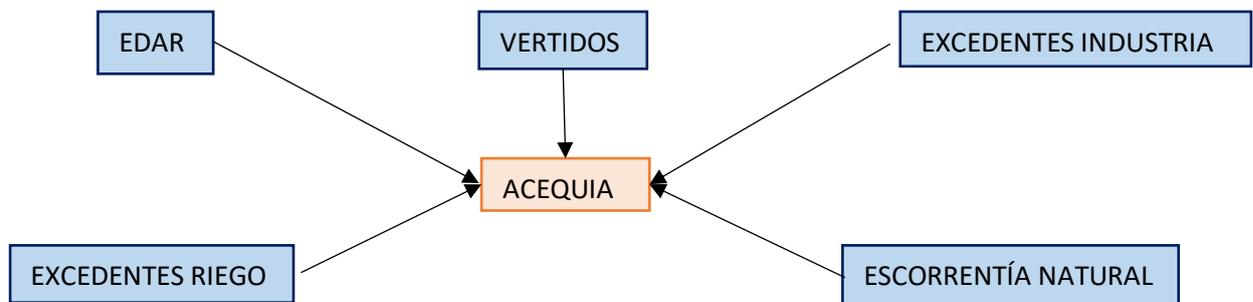


Figura 27. Esquema conceptual de los posibles afluentes de una acequia

4) Los efluentes de las aguas pluviales y residuales procedentes de *Parc Sagunt*, detallados en el apartado 6.1.

5) Vertidos no depurados domésticos e industriales de parte del casco urbano de Puzol que se incorporan a la Real Acequia de Moncada sin depuración previa, véase apartado 6.2.

## SALIDAS DE AGUA:

Las principales salidas de agua son:

- *Gola de Bernat*
- *Gola del Pas de les Egües*
- *Gola del Colomer*
- *L'Escorridor*
- *Gola de L'Estany*
- Evapotranspiración en las propias láminas de agua
- Infiltración
- Regadío

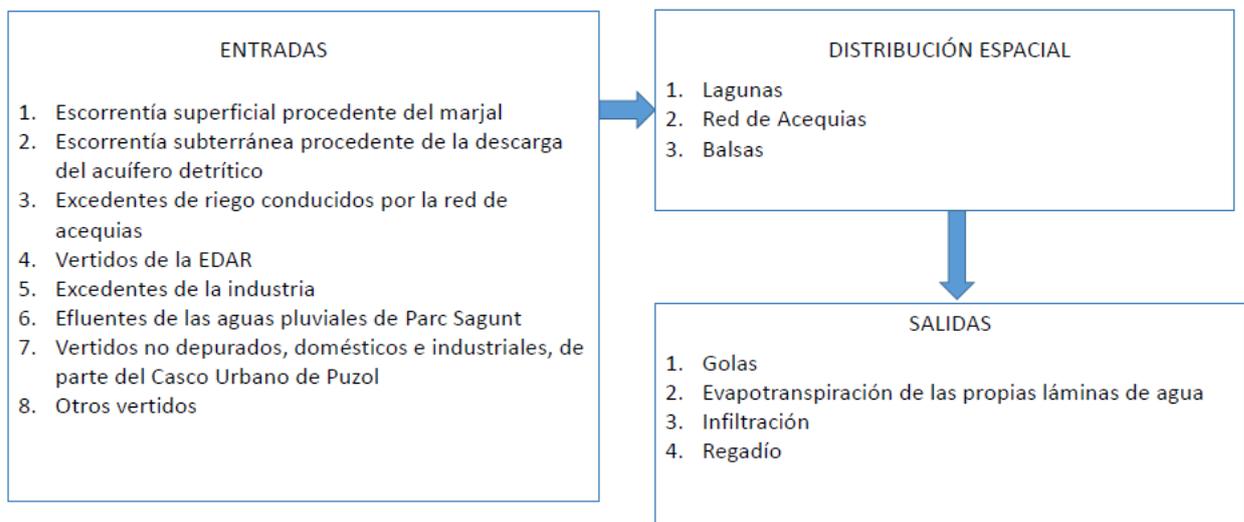


Figura 28. Esquema conceptual del funcionamiento hídrico del marjal

### 5.1.5. GEOMORFOLOGÍA

Se distinguen dos zonas claramente diferenciadas en función de la morfología del terreno: la llanura adyacente a la costa, sensiblemente horizontal, localizada entre el nivel del mar y la cota de 20 metros, abarcando la marjalería de Chilches-Almenara; y una rampa de erosión que se prolonga hasta la base de los relieves montañosos circundantes, alcanzando en la zona de Los Valles los 90 m.s.n.m.

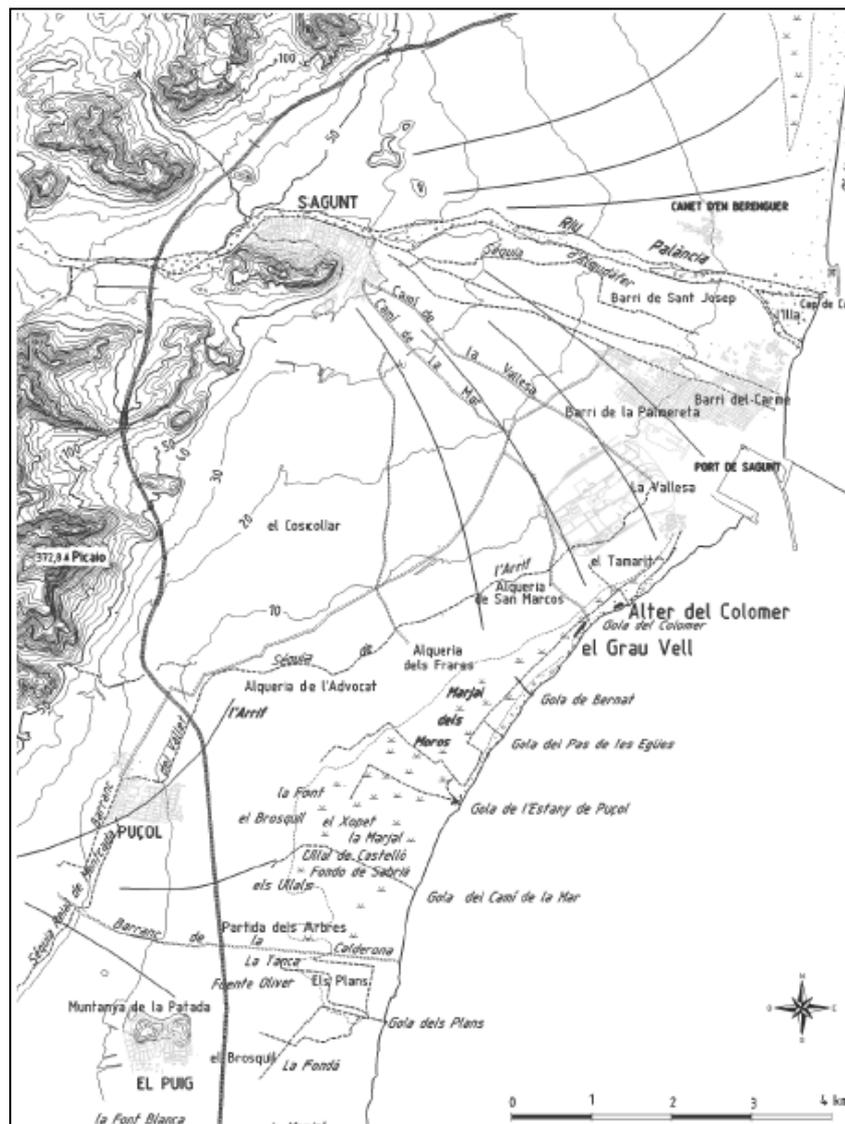


Figura 29. Geomorfología general del abanico del Palancia, Marjal dels Moros y litoral. Fuente: El humedal del puerto de Arse-Saguntum. Estudio geomorfológico y sedimentológico (2005).

El *Marjal dels Moros* tiene sus orígenes en el abanico fluvial del Palancia, al norte del humedal, que formó desde Canet hacia el sur una restinga litoral de cantos, gravas y arenas,

generando desde el río Palancia hasta el Túria un paisaje litoral constituido por diferentes marjales y albuferas, la mayoría de ellas actualmente colmatadas y desaparecidas.

En un principio el *Marjal dels Moros* abarcaba hasta El Puig, donde tenía su máxima extensión y se mantenía gracias a los manantiales existentes en la zona. En el norte, junto a Grau Vell, el marjal disminuía su tamaño debido, en parte, a la presencia del cono aluvial del río Palancia, además de varias golas, como son la del Pas de les Egües, *L'Estany* y el Colomer, que drenaban las aguas acumuladas.

Actualmente, la línea de costa se considera estabilizada debido a la cementación de las escorias vertidas durante la actividad siderúrgica. Como consecuencia, se ha formado un pequeño acantilado, de 1,5 metros máximo en la zona de Grau Vell.

Los distintos ambientes morfológicos identificados en el entorno del *Marjal dels Moros* son los siguientes:

- Glacis y abanicos pleistocenos. Se trataba de una amplia superficie comprendida entre la orla de relieves de la Sierra Calderona (desde Rafelbuñol a Marines Nuevo) y el desaparecido marjal, formada con el concurso de diversos barrancos.

- Restinga litoral. Constituida por una franja de arenas en su tramo septentrional y meridional, encontrándose cantos y gravas en la parte central. Tenía 16 km de longitud y una anchura de 100 a 200 metros que arrancaba en la desembocadura del abanico del Palancia para concluir en la desembocadura del Carraixet, al sur. Su génesis estaba relacionada con el crecimiento de una barra submarina.

- El marjal. Se trataba de un espacio palustre prácticamente colmatado y transformado en su totalidad salvo en su sector norte, Marjal del Moro.

- La llanura aluvial del Carraixet. Estaba constituida por limos de inundación pertenecientes al pleistoceno superior. El drenaje de este espacio se efectuaba mediante golas como la de Puçol y la de la Torre, posiblemente de origen natural.

### 5.1.6. EROSIÓN

El *Marjal dels Moros* se localiza en la playa Sur de Sagunto, y según los datos publicados por el Ministerio de Medio Ambiente, presenta una superficie total de 18,31 hectáreas y una longitud de 3.242,41 metros, siendo la anchura media de 55,82 metros, la máxima de 120,88 metros y la mínima de 11,29 metros, dando lugar a una pendiente del 0,98%, tal y como se observa en la figura siguiente.

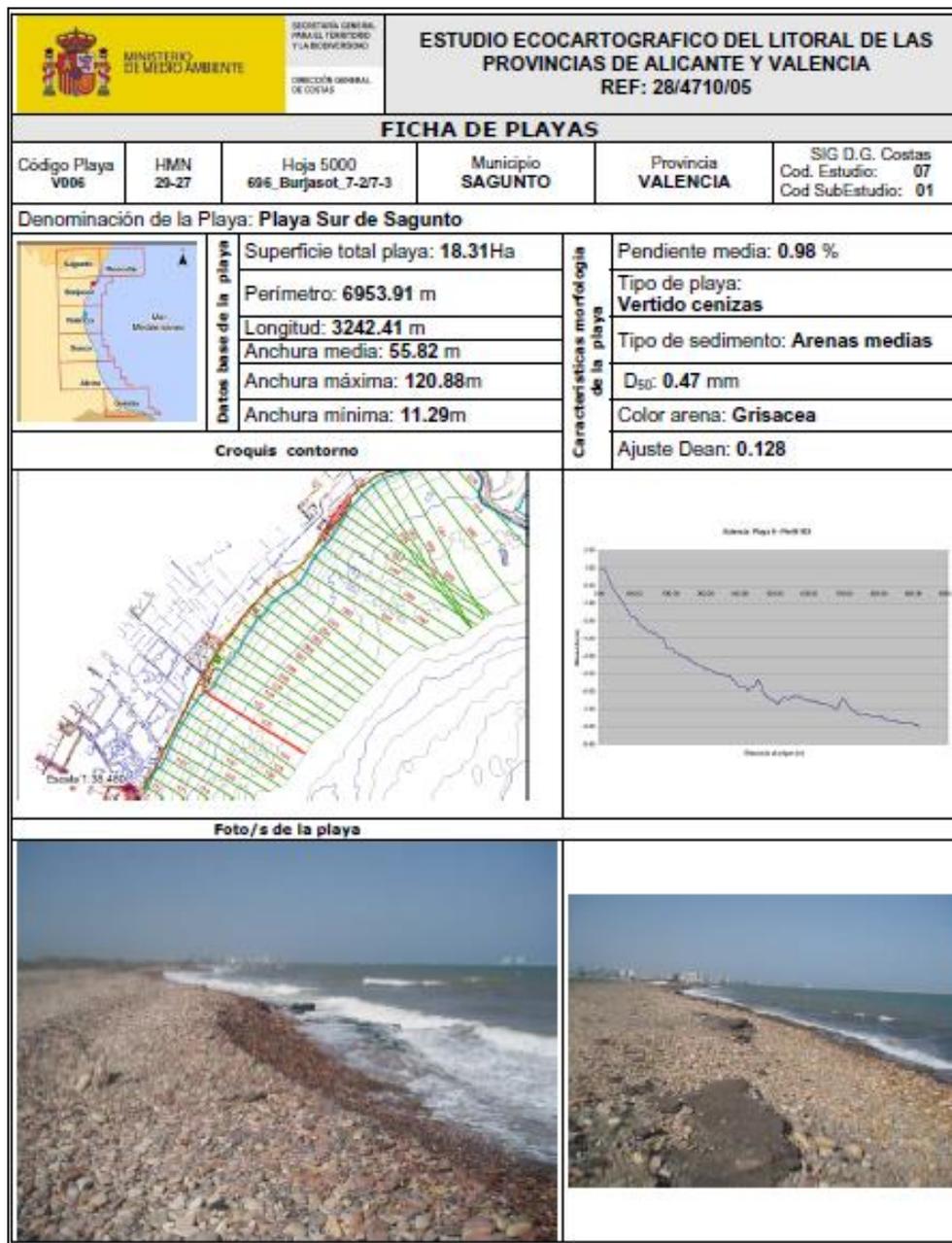


Figura 30. Características de la playa del Grau Vell. Fuente: MAPAMA

Esta playa se formó en parte por el vertido de cenizas (arena de color gris) procedentes de la actividad siderúrgica de los años 90, siendo las arenas medias (D50: 0,47 mm), tal y como se observa en la siguiente figura.



Figura 31. Arena de la playa del Grau Vell de Sagunt

Existe una fuerte erosión litoral en el extremo sur del marjal, que debe ser controlada, y que es consecuencia de la construcción de las infraestructuras portuarias y de la planta gasificadora del Puerto de Sagunto, así como de una fuerte reducción del transporte de sedimentos litoral. Ambas actuaciones producen una alteración de las corrientes marinas litorales, afectando así a los patrones de carga y depósito de sedimentos costeros, y produciendo una fuerte regresión litoral que amenaza con provocar la entrada del mar en el saladar del *Marjal dels Moros*, tal como se observa en las figuras siguientes.



Figura 32. Evolución histórica de la playa. De izquierda a derecha, vuelo del 73-86, y 2003.

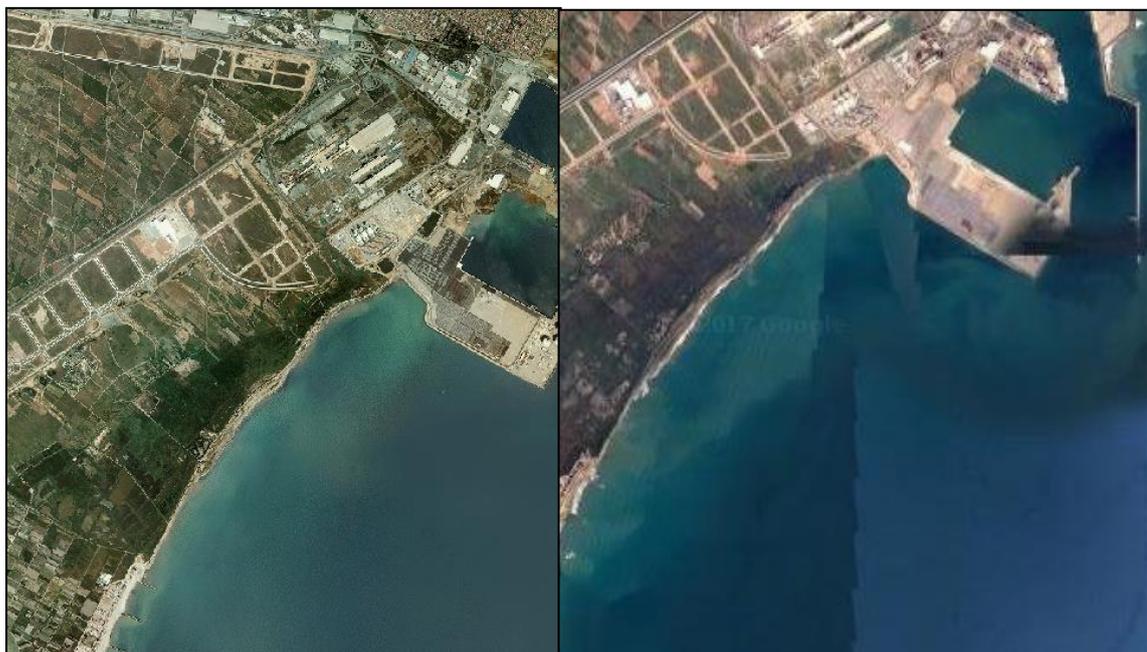


Figura 33. Evolución histórica de la playa. De izquierda a derecha, vuelo del año 2008, y 2018.



Figura 34. Erosión en la línea de costa en la playa de la ZEC

Respecto a la erosión del propio marjal, según los datos del Mapa de Riesgos de Erosión, el riesgo actual es Muy Bajo (7 Tm/ha/año), mientras que el riesgo de erosión potencial es Bajo (pérdidas de suelo entre 7 y 15 Tm/ha/año), tal y como se puede ver en las figuras siguientes.

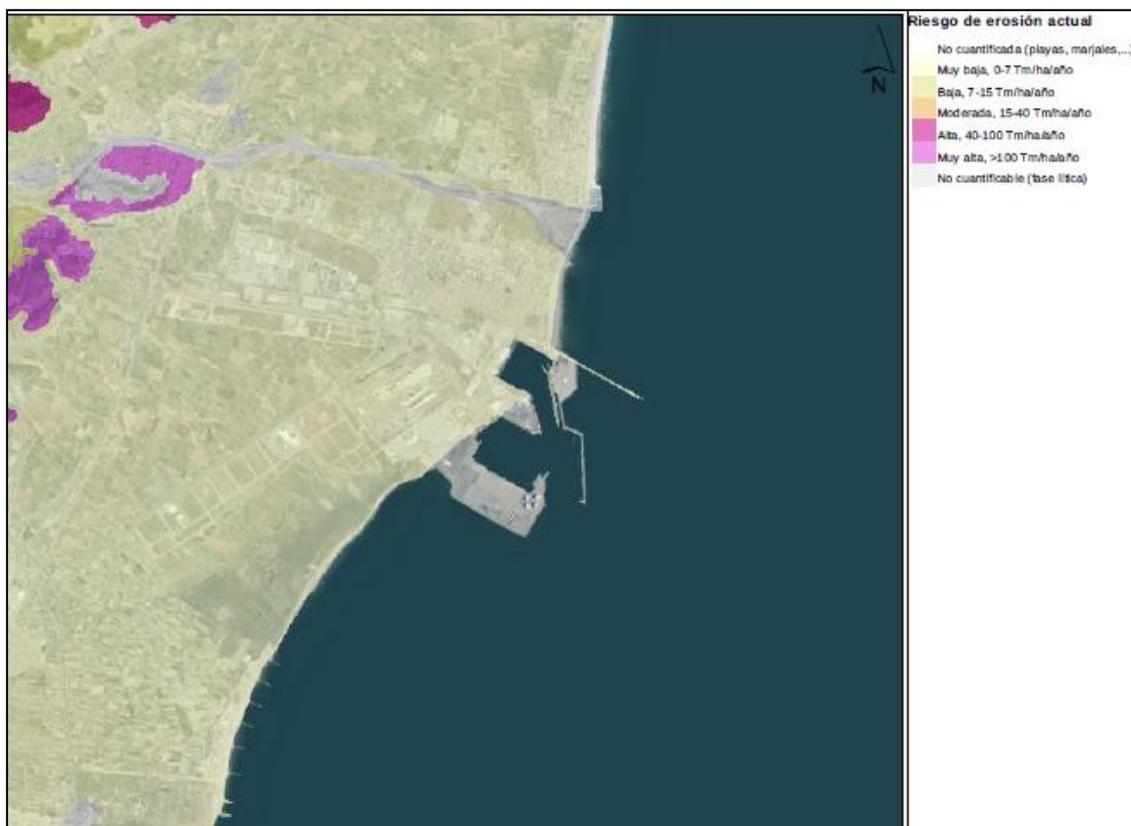


Figura 35. Riesgo de erosión actual. Fuente: Institut Cartogràfic Valencià

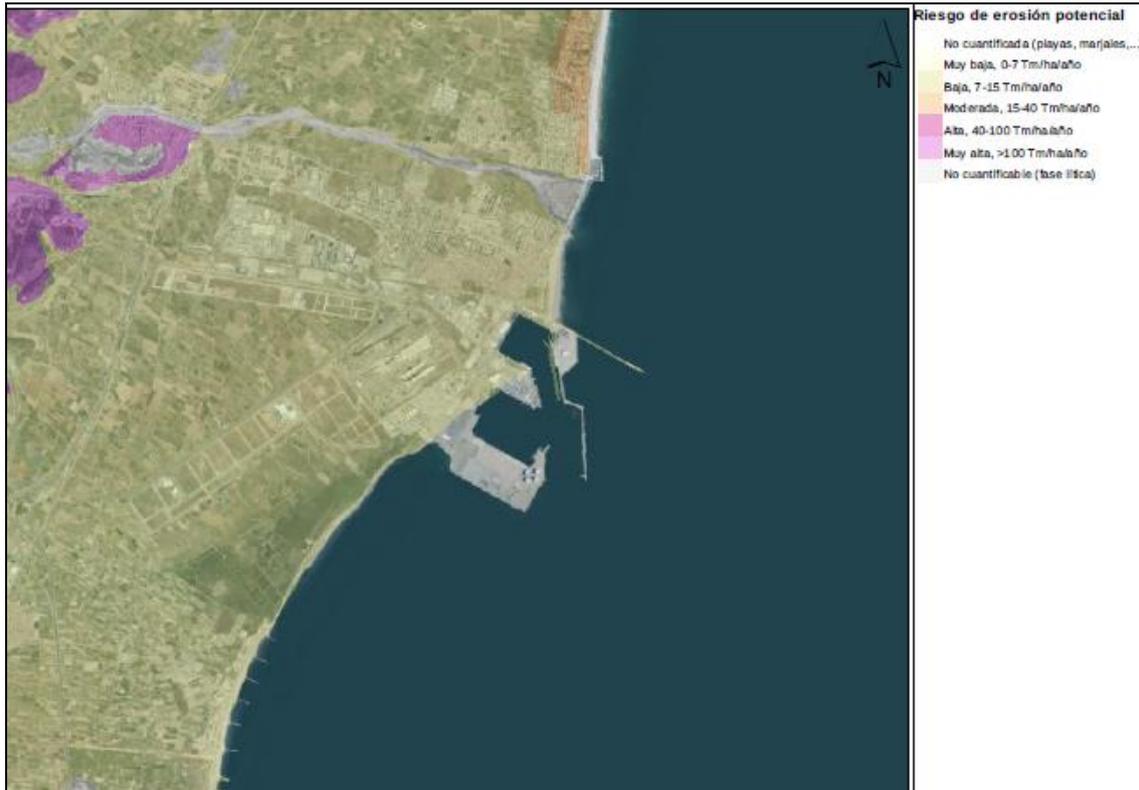


Figura 36. Riesgo de erosión potencial. Fuente: Institut Cartogràfic Valencià

## 5.2. MEDIO BIÓTICO

### 5.2.1. FLORA Y VEGETACIÓN

En el *Marjal dels Moros* existen poblaciones de especies de gran interés botánico, siendo las especies más importantes las recogidas en el anexo II de la Directiva 92/43/CEE son:

- *Limonium dufourii*, cuyo nivel de protección es de peligro de extinción.
- *Odontites kaliformis* (*Odontites valentinus*), con protección de vulnerable.
- *Thalictrum maritimum*, cuya condición es vulnerable.

En los márgenes de las acequias se desarrolla una vegetación de tipo nitrófila en la que aparecen densos céspedes de especies perennes: *Paspalum distichum* y *Polygonon viridis*, ambas pertenecientes a la asociación *Paspalo-Polygonetum semiverticillati*.

En las lagunas del humedal, las comunidades palustres (*Thypha*, *Phragmites*, *Tamarix*) dominan sobre todas las demás, constituyendo formaciones mono específicas de escaso valor ambiental. Son especies que viven emergidas, pero sus raíces se desarrollan sobre suelos saturados de agua, por lo que ocupan los bordes de las lagunas, las acequias, etc. Estas formaciones incluyen especies de distribución cosmopolita incluidas en la clase *Phragmitetea*: comunidades de grandes helófitos, propios de zonas pantanosas, lodos húmedos y otras estaciones hidrófilas más o menos permanentes. Esta clase está formada por dos tipos de comunidades básicas: *Pragmitetalia*, en agua dulce, y *Scirpetalia compacti*, en agua salobre.

Por otra parte, las zonas de cultivo de regadío están invadidas por especies triviales que necesitan aportes regulares de agua, además de estar consideradas como nitrófilas. Entre los cultivos o caminos pueden encontrarse especies de carácter ruderal. Son especies banales, entre las que se encuentran: la *Inula viscosa*, el *Foeniculum vulgare*, el *Chenopodium album*, el *Mercurialis annua*, la *Capsella bursa-pastoris*, la *Brassica oleracea*, el *Onopordum acanthium*, el *Echium vulgare*, el *Cychorium intybus*, *Lobularia maritima*, *Anacyclus valentinus*, *Sonchus tenerrimus*, *Bromus madritensis*, *Avena barbata*, etc.

Sobre suelos más secos y compactos aparecen especies como el *Cynodon dactylon*, que constituye la formación *Trifolio-Cynodontetum*.

En el año 2010, según se indica en el *Proyecto de Plan Rector de Uso y Gestión (PRUG) del Paraje Natural del Marjal dels Moros (Sagunt)*, en el marjal había diferentes tipos de comunidades vegetales asociadas a cada uno de los ambientes que en él se localizan: comunidades de playas de arena y gravas, comunidades de matorral mediterráneo, comunidades de saladar, comunidades de juncales halófilos, comunidades de juncales higrófilos, comunidades palustres (halófitos), comunidades nitrófilas (cultivos hortícolas), comunidades nitrófilas (cítricos y frutales), comunidades nitrófilas (cultivos abandonados, pastos) y comunidades nitrófilas (marjal transformado), como se puede observar en la siguiente figura.

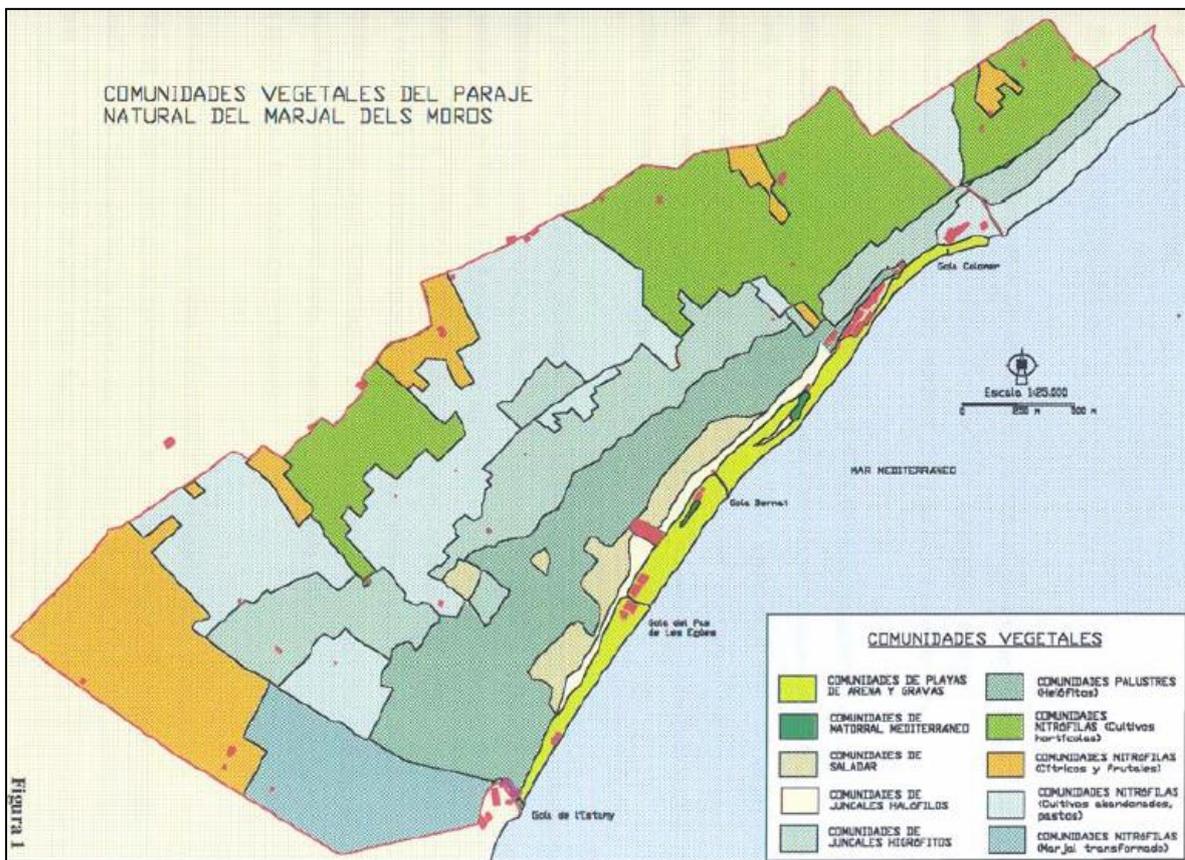


Figura 37. Comunidades vegetales (Bosco Dies, 2000)

### 5.2.2. FAUNA

El *Marjal dels Moros* es un humedal de gran irrelevancia para la fauna acuática, destacando sus poblaciones de samaruc (*Valencia hispanica*), fartet (*Aphanius iberus*) y de galápago europeo (*Emys orbicularis*).

También destaca su importancia para las aves acuáticas, de gran riqueza y variedad. Así en el marjal se presentan numerosas especies propias de ambientes acuáticos como: *Ardea purpurea*, *Chlidonias hybridus*, *Circus aeruginosus*, *Circus pygargus*, *Glareola pratincola*, *Himantopus himantopus*, *Marmaronetta angustirostris*, *Porphyrio porphyrio*, *Plegadis falcinellus*, etc.

Destaca también la presencia de la cerceta pardilla (*Marmaronetta angustirostris*) y el calamón (*Porphyrio porphyrio*), especies incluidas en la Directiva sobre Conservación de las Aves Silvestres.

Como especies de fauna de interés comunitario se seleccionan en el anexo II de la Directiva 92/43/CEE las siguientes:

- 1191: *Emys orbicularis* (Galápago europeo)
- 1221: *Mauremys leprosa* (Galápago leproso)
- 1153: *Valencia hispánica* (Samaruc)
- 1151: *Aphanius Iberus* (Fartet)
- 5302: *Cobitis palúdica* (Colmilleja)

En el anexo I de la Directiva de Aves de presencia regular en la ZEPA, nidificantes o invernantes, se recogen un total de 25 especies: Carricerín real, de tipo sedentaria (entre 40 y 75 especies); Martín pescador común, de tipo sedentaria, de la que se desconoce la cantidad de especies; Garza imperial, de tipo reproductora (entre 4 y 12 especies); Garcilla cangrejera, de tipo reproductora (2 especies); Chorlitejo patinegro, de tipo reproductora de 6 a 15 especies; Fumarel cariblanco, de tipo reproductora, de 40 a 200 especies; Aguilucho lagunero occidental, de tipo invernante, de 0 a 9 especies; Aguilucho cenizo; Garceta grande, de tipo invernante, de 0 a 1 especie; Garceta común, de tipo invernante, de 3 a 50 especies; Focha moruna, de tipo

reproductora e invernante, entre 0 y 1 especies y entre 0 y 5 especies respectivamente; Canastera común, de tipo reproductora, de 38 a 100 especies; Cigüeñuela común, de tipo reproductora e invernante, de 16 a 48 especies y de 0 a 2 especies respectivamente; Avetorillo común, de tipo reproductora (de 19 a 52 especies); Aguja colipinta, de tipo invernante, de 0 a 21 especies; Cerceta pardilla, de tipo reproductora, de 0 a 2 especies; Malvasía cabeciblanca, de tipo reproductora, de 0 a 2 especies; Flamenco común, de tipo invernante (de 0 a 30 especies); Morito común; Chorlito dorado europeo, de tipo invernante, de 0 a 158 especies; Calamón común, de tipo sedentaria e invernante, de 29 a 58 especies y de 14 a 73 especies respectivamente; Avoceta común, de tipo invernante y reproductora, de 0 a 2 especies y de 2 a 4 especies respectivamente; Charrancito común, de tipo reproductora (de 60 a 163 especies); Charrán común, de tipo reproductora (de 50 a 200 especies); y Charrán patinegro, de tipo inverntante y de presencia escasa.

En la siguiente figura se ha representado gráficamente la evolución en los últimos 10 años de las especies de avifauna nidificantes recogidas en el anexo I de la Directiva de Aves Silvestres. En ella se observa cómo en los últimos años la especie con mayor presencia ha sido la *Sterna Hirundo*. Sin embargo, el número de especies ha ido reduciéndose desde el año 2009.

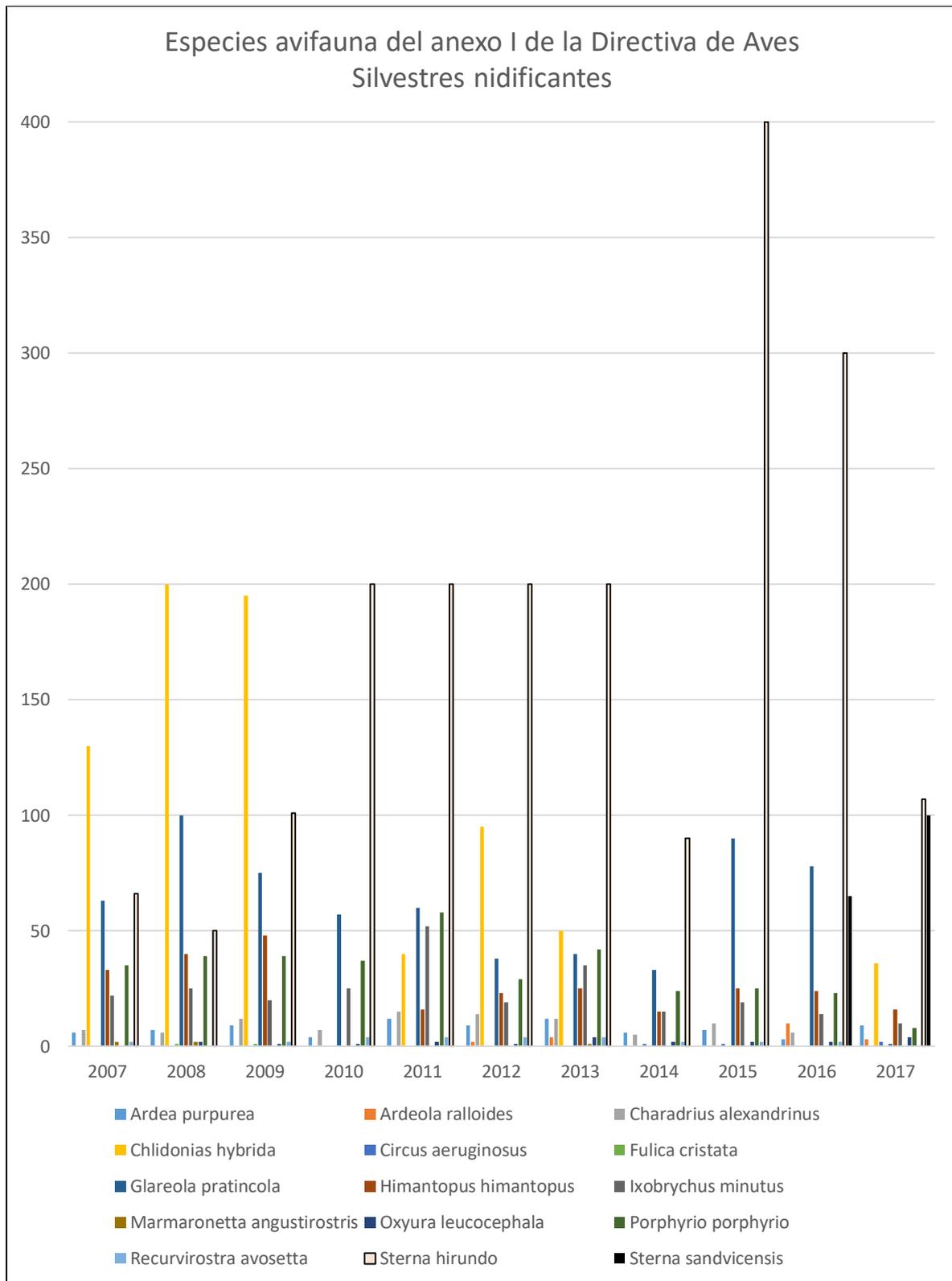


Figura 38. Representación gráfica del número de especies de avifauna del anexo I de la Directiva de Aves Silvestres nidificantes.

### 5.2.3. HÁBITATS NATURALES DE INTERÉS COMUNITARIO

El organismo de cuenca está obligado a establecer y mantener actualizado un Registro de Zonas Protegidas en cada una de las demarcaciones, cumpliendo con el artículo 6 de la Directiva 2000/60/CE, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Directiva marco de aguas - DMA) y al artículo 99 bis del texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA), Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio.

El Plan Hidrológico De La Demarcación Hidrográfica Del Júcar (Ciclo de planificación hidrológica 2015 – 2021) incorpora una Memoria- Anejo 4 con el Registro De Zonas Protegidas entre las cuales se encuentra el Marjal del Moros.

Tabla 2. ZEPA de la DHJ con hábitat o especie vinculada al medio hídrico y masa de agua asociada

Código ZEPA	Nombre ZEPA	Hábitat*	Especies *	Otras especies ***
ES0000469	SIERRA CALDERONA	x	x	
ES0000470	MARJAL DELS MOROS	x	x	
ES0000471	L'ALBUFERA	x	x	
ES0000472	HOCES DEL CABRIEL	x	x	x
ES0000474	FONT ROJA - MARIOLA	x	x	
ES0000508	ESPACIO MARINO DE TABARCA-CABO DE PALOS	x	x	
ES0000512	ESPACIO MARINO DEL DELTA DE L'EBRE-ILLES COLUMBRETES	x	x	
ES0000538	ESPACIO MARINO DE IFAC (ZEPA)	x	x	
ES5140005	SERRA DE MONTSIÀ	x	x	
ES5140011	SISTEMA PRELITORAL MERIDIONAL	x	x	
ES5212005	L'ALMADRAVA	x	x	x
ES5213018	PENYA-SEGATS DE LA MARINA	x	x	
ES5213024	ILLA DE TABARCA	x	x	
ES5233044	SERRA DE MALACARA	x	x	
ESZZ16007	ESPACIO MARINO DE LA MARINA ALTA	x	x	

\* Hábitats ligados al medio hídrico.  
 \*\* Especies de fauna vinculadas al medio acuático y de flora considerada hidrófila del anexo II de la Directiva 92/43 del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres y del artículo 9 de la Directiva 2009/147 del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de noviembre de 2009 relativa a la conservación de las aves silvestres.  
 \*\*\* Especies de fauna estrechamente vinculadas al medio acuático y de flora considerada hidrófila que no figuran en los listados del apartado anterior pero sí en Listado de Especies Silvestres en Régimen de Protección Especial y en el Catálogo Español de Especies Amenazadas.

Tabla 20. ZEPA de la DHJ con hábitat o especie vinculada al medio hídrico y masa de agua asociada

Por otro lado, la Instrucción de Planificación Hidrológica 4 recoge: “*El plan hidrológico comprenderá un resumen del registro de zonas protegidas que incluirá mapas indicativos de la ubicación de cada zona, información ambiental y estado de conservación, en su caso, y una descripción de la legislación comunitaria, nacional o local con arreglo a la cual haya sido designada*”.

Tabla 3. Características del humedal

Nombre humedal	Código zona protegida	Provincia	Código masa agua superficial	Código masa agua subterránea	Superficie (km <sup>2</sup> )
<b>Marjal dels Moros</b>	0811200044	Valencia	L03	080.128	6,2

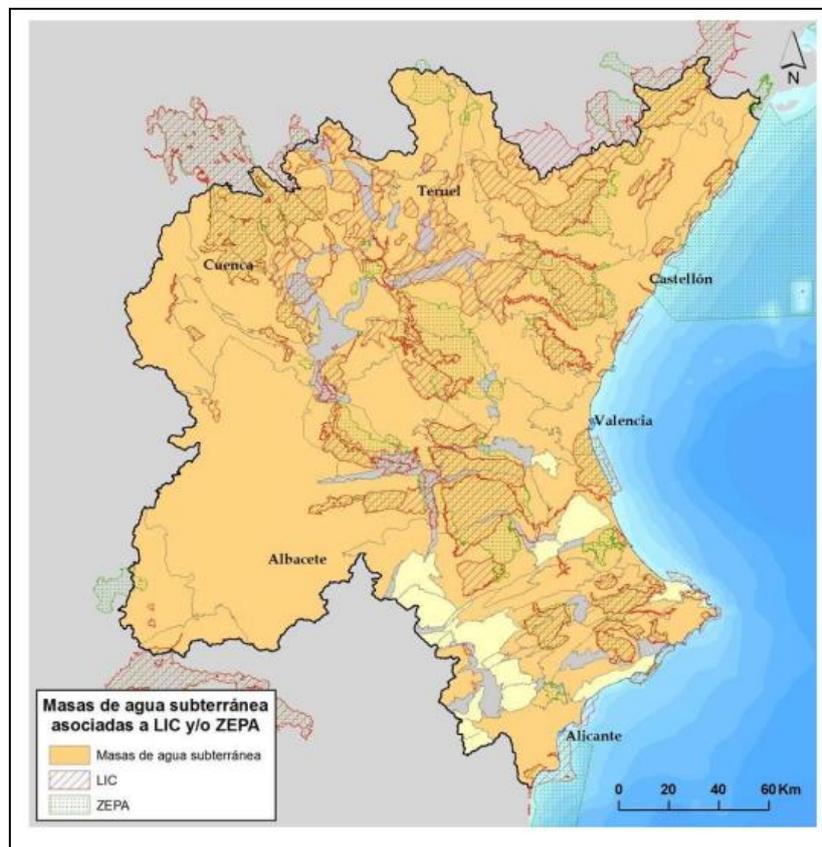


Figura 39. Masas de agua subterránea asociadas a zonas protegidas LIC y/o ZEPA

En el caso del *Marjal dels Moros*, los hábitats más importantes son aquellos asociados a la zona húmeda litoral: matorrales halófilos, estanques temporales mediterráneos, estepas salinas mediterráneas, pastizales salinos mediterráneos, vegetación anual sobre desechos marinos acumulados, tuberías bajas alcalinas, prados húmedos mediterráneos, así como dunas de guijarros, etc.

Los hábitats definidos en el anexo I de la Directiva 92/43/CEE presentes en el *Marjal dels Moros* son:

- 1150\*: Lagunas costeras, con una superficie de 79,74 hectáreas
- 1210: Vegetación anual sobre desechos marinos acumulados, con un área de 24,34 hectáreas.
- 1410: Pastizales salinos mediterráneos (*Juncetalia maritimi*), cuya superficie es de 46,49 hectáreas.
- 1420: Matorrales halófilos mediterráneos y termoatlánticos (*Sarcocornetea fruticosae*), con una superficie de 27,25 hectáreas.
- 1510\*: Estepas salinas mediterráneas (*Limonietalia*), con una extensión de 4,82 hectáreas.
- 5330: Matorrales termomediterráneos y pre-estépicos, con 0,35 hectáreas de superficie.
- 6420: Prados húmedos mediterráneos de hierbas altas de *Molinion-Holoschoenion*, cuya área es de 0,37 hectáreas.
- 7210\*: Tuberías calcáreas de *Cladium mariscus* y con especies del *Caricion davallianae*, con una extensión de 133,60 hectáreas.

Tabla 4. Hábitats presentes en el Marjal dels Moros

	Hàbitat	Superfície ocupada (ha)	Cobertura (%)
1150*	Lagunas costeras	79,74	12,9
1210	Vegetación anual sobre desechos marinos acumulados	24,34	3,9
1410	Pastizales salinos mediterráneos	46,49	7,5
1420	Matorrales halófilos mediterráneos y termoatlánticos ( <i>Sarcocometea fruticosae</i> )	27,25	4,4
1510*	Estepas salinas mediterráneas	4,82	0,8
5330	Matorrales termomediterráneos y pre-estépicos	0,35	0,06
6420	Prados húmedos mediterráneos de hierbas altas del <i>Molinion- Holoschoenion</i>	0,37	0,06
7210*	Turberas calcáreas de <i>Cladium mariscus</i> y con especies del <i>Caricion davallianae</i>	133,60	21,6

Tabla 5. Especies presentes en el Marjal dels Moros

Especie	Grupo taxonómico	Población
Galápago europeo	Reptiles	119
Galápago leproso	Reptiles	R
Samaruc	Peces	R
Fartet	Peces	R
Colmilleja	Peces	R

En el Decreto 127/2015, de 31 de julio, del Consell, por el que se declaran como zonas especiales de conservación (ZEC) los lugares de importancia comunitaria (LIC) Lavajos de Sinarcas, Marjal de Nules y Marjal dels Moros, y se aprueban las normas de gestión para dichos LIC y para la Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA) Marjal dels Moros, se han establecido los estados de conservación de los diferentes hábitats. Habiendo evaluado cada uno de los hábitats según su rango, la superficie ocupada, la estructura y sus funciones específicas, además de las perspectivas de futuro, se ha concluido en que el estado global de conservación de todas ellas es favorable, a excepción del hábitat 1210. *Vegetación anual sobre desechos marinos acumulados*, que presenta un estado desfavorable-inadecuado, tal y como se observa en la tabla siguiente.

Tabla 6. Estado de conservación de los hábitats naturales de interés comunitario de la ZEC Marjal dels Moros.

Fuente: Decreto 127/2015, de 31 de julio

<i>Estado de conservación de los hábitats naturales de interés comunitario de la ZEC Marjal dels Moros</i>						
<i>Código hábitat</i>	<i>Hábitat</i>	<i>Rango</i>	<i>Superficie ocupada</i>	<i>Estructura y funciones específicas</i>	<i>Perspectivas de futuro</i>	<i>Evaluación global del estado de conservación</i>
1150*	Lagunas costeras	F	F	F	F	F
1210	Vegetación anual sobre desechos marinos acumulados	DI	DI	DI	F	DI
1410	Pastizales salinos mediterráneos ( <i>Juncetalia maritimi</i> )	F	F	F	F	F
1420	Matorrales halófilos mediterráneos y termoatlánticos ( <i>Sarcocornetea fruticosae</i> )	F	F	F	F	F
1510 *	Estepas salinas mediterráneas ( <i>Limnietalia</i> )	F	F	F	F	F
5330	Matorrales termomediterráneos y pre-estépicos	F	F	F	F	F
6420	Prados húmedos mediterráneos de hierbas altas del <i>Molinion-Holoschoenion</i>	F	F	F	F	F
7210*	Turberas calcáreas de <i>Cladium mariscus</i> y con especies del <i>Caricion davallianae</i>	F	F	F	F	F

\*Hábitat prioritario

Estado de conservación para todos los parámetros: F, favorable (verde); DI, desfavorable-inadecuado (ámbar); DM, desfavorable-malo (rojo); D, desconocido (insuficiente información para realizar una asignación; blanco).

Se asume que los hábitats presenta un estado favorable si manteniendo o mejorando los valores de los parámetros de evaluación alcanzarán dicho estado, mientras que presentan un estado desfavorable-inadecuado aquellos que alcanzarían el estado favorable si se mejorara la situación de los bloques de evaluación que hayan motivado este estado en la evaluación global.

## 6. AFECCIONES AL HUMEDAL

### 6.1. FUNCIONAMIENTO DE LA RED DE AGUAS RESIDUALES Y PLUVIALES DE PARC SAGUNT

En el Proyecto de *Urbanización del Parque Empresarial Sagunt I (Parc Sagunt,)* redactado por las empresas Ingeniería Valenciana y P& T, S.A, se diseñó una red de saneamiento separativa, dando lugar dos colectores: uno para la evacuación de aguas residuales, tanto sanitarias como industriales, y otro para la evacuación de las aguas de escorrentía.

- Aguas residuales sanitarias: Generadas en el interior de las naves industriales, consecuencia de la existencia de trabajadores en las naves.
- Aguas residuales Industriales: Aguas generadas durante los procesos industriales llevados a cabo en las propias naves.
- Aguas pluviales en calzadas y aceras: Son todas las aguas de escorrentía generadas en los viales, con un elevado grado de contaminación por la presencia de aceites, grasas, polvo y otros residuos contaminantes.

La red de aguas pluviales está diseñada, según el Proyecto de urbanización, para recoger la lluvia caída en el interior de las parcelas, es decir, sobre la cubierta de las naves industriales, así como las aguas transferidas desde la red de aguas negras a través de los aliviaderos.

La función que tienen estos aliviaderos es evitar el colapso de la red de aguas negras cuando se producen lluvias intensas, puesto que los imbornales vierten el agua de lluvia caída sobre los viales a la red de aguas negras.

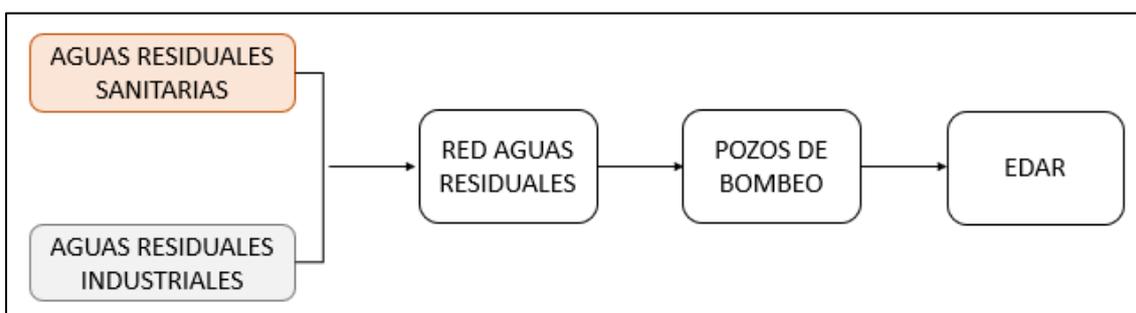


Figura 40. Funcionamiento de la red de saneamiento en tiempo seco.

Tal y como se observa en el esquema anterior, en tiempo seco todas las aguas residuales son tratadas en la estación depuradora.

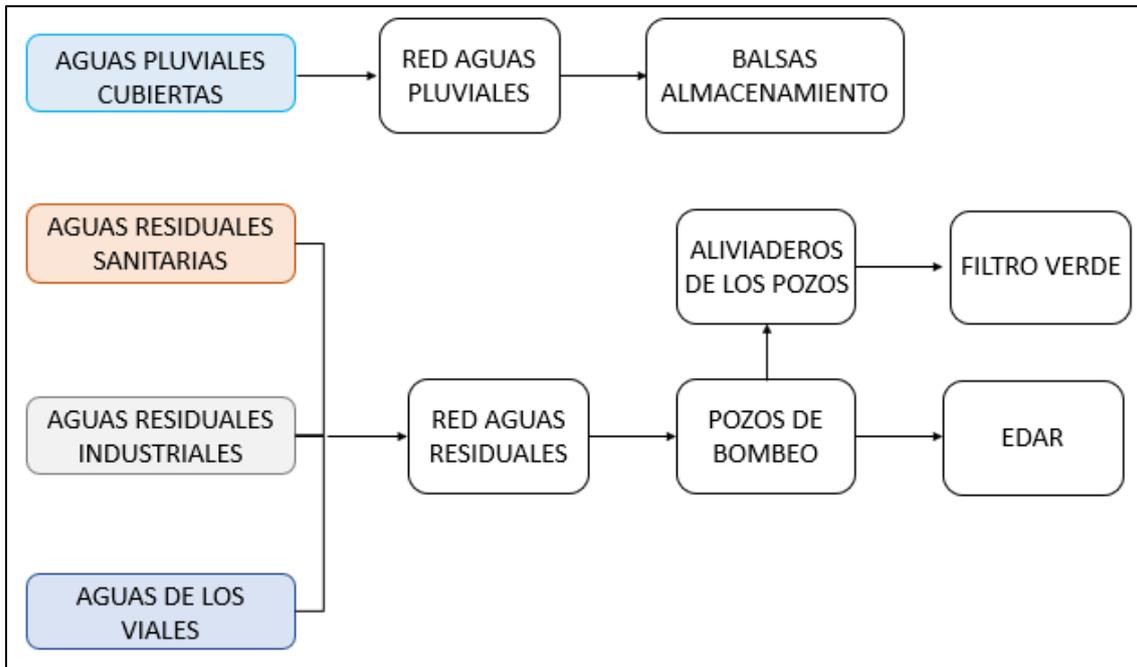


Figura 41. Funcionamiento red de pluviales en las primeras lluvias.

Por el contrario, durante las primeras lluvias no todas las aguas residuales son tratadas previamente al vertido al medio natural. Se puede observar en la figura siguiente cómo el agua recogida en los viales, junto con las residuales, es recogida por la red de aguas negras, desde donde se derivan a la EDAR o al “filtro verde” perimetral a las balsas de almacenamiento excavadas por *Parc Sagunt* (figura 41), Por otro lado, la red de pluviales, que recoge la escorrentía de las cubiertas, deriva estas aguas directamente a las balsas.

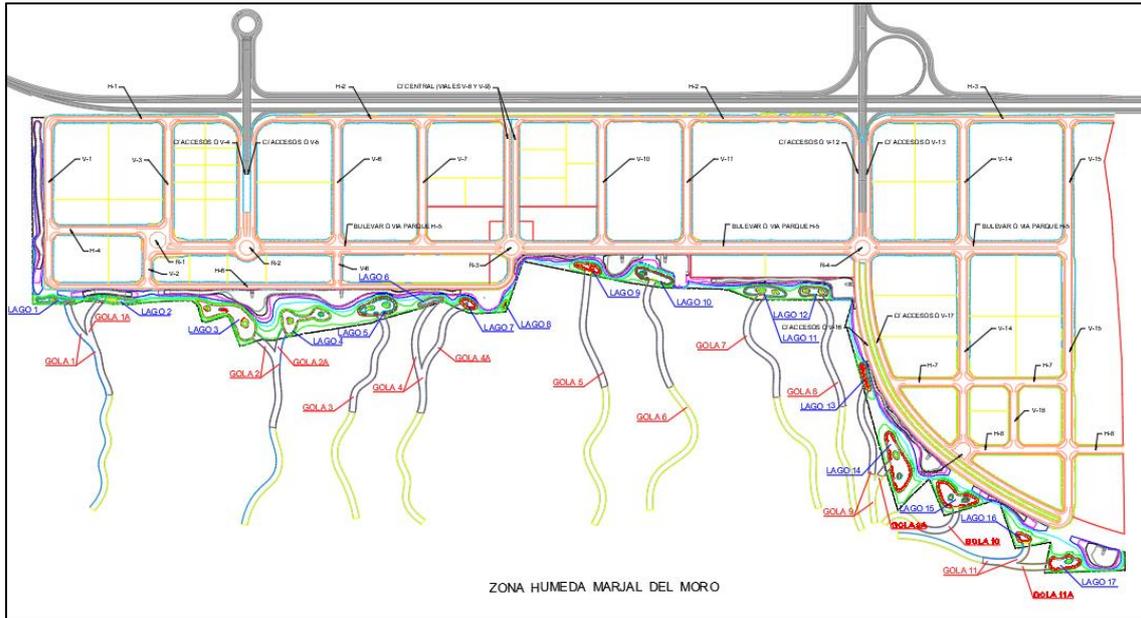


Figura 42. Lagunas proyectadas y ejecutadas por Parc Sagunt.

Durante las lluvias intensas, parte de las aguas residuales, junto con la escorrentía de los viales, pueden llegar al marjal sin haber sido depuradas previamente por la falta de capacidad de los colectores de la red de saneamiento. Dado que se trata de aguas residuales mezcladas con las aguas pluviales de los viales (figura 43), y que, además, se mezclan con las aguas pluviales de las cubiertas, el grado de dilución calculado es de cinco veces el caudal de aguas negras.

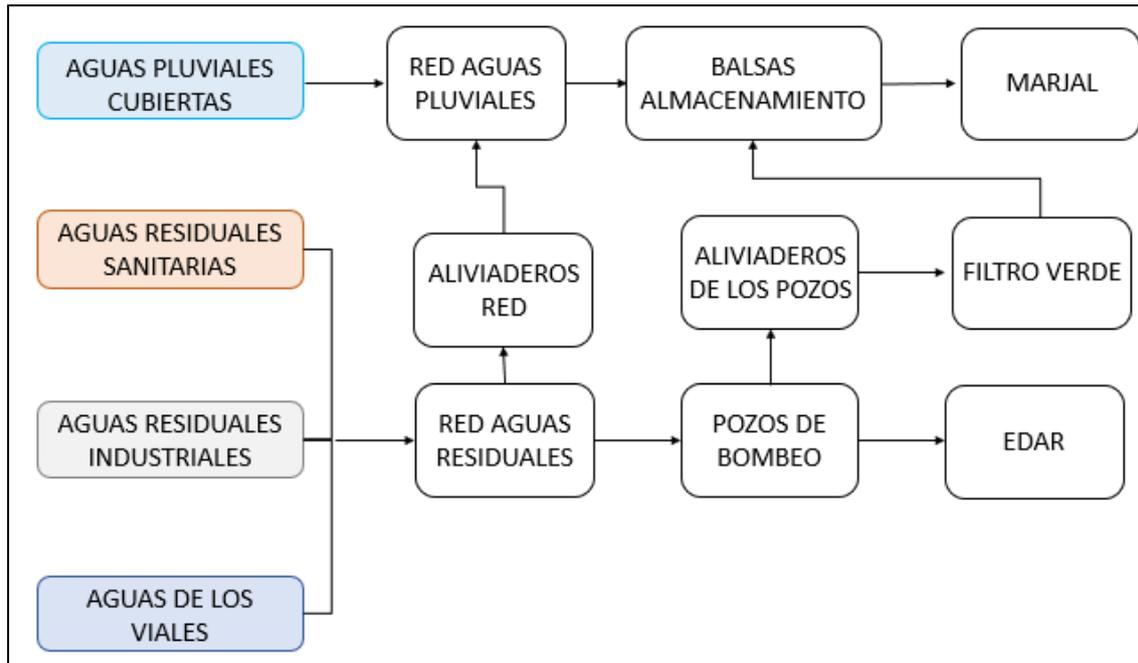


Figura 43. Funcionamiento de la red de pluviales en lluvias intensas.

De todo ello se desprende que las aguas que entran al marjal procedentes de *Parc Sagunt*, aunque están diluidas contienen contaminantes, algunos de ellos peligrosos, y que, a pesar de que pasan por el denominado “filtro verde”, no son tratadas de forma adecuada, pudiendo contaminar el humedal, tanto los suelos como las aguas superficiales y subterráneas.

## 6.2. PROYECTO BY PASS REAL ACEQUIA DE MONCADA

A lo largo de la historia las aguas residuales procedentes de alquerías o pequeños núcleos urbanos han sido vertidas a la red de acequias. A pesar de que en la actualidad la mayoría de estas aguas han sido reconducidas y tratadas cumpliendo con la legislación vigente, una pequeña parte del casco urbano de Puzol continúa vertiéndolas en la Real Acequia de Moncada.

Aunque en el año 2006 se amplió la EDAR de la Pobra de Farnals, mejorando su capacidad para tratar todas las aguas residuales procedentes de Albuixech, Empredador, La Pobra de Farnals, Massalfassar, Massamagrell, Museros, Puçol, El Puig y Rafelbunyol, no se tiene constancia de que se hayan captado todas las aguas residuales del núcleo de Puzol para su posterior tratamiento. Este hecho se hace patente al analizar el último tramo de la Real Acequia de Moncada tras su paso por el casco urbano, ya que hay un elevado número de toallitas y otros restos propios de las aguas residuales. De esta manera, M.S. Ingenieros, S.L redactó en el año 2001 el *Proyecto de by Pass de la Acequia de Moncada*, con el objetivo de evitar su entrada al medio natural sin haber sido tratadas con anterioridad, y mejorar así la calidad del agua de entrada del humedal.

## 7. IMPACTOS EN EL MEDIO

De las visitas de campo y de la información obtenida a través de artículos de investigación y otros proyectos de la zona (reflejados en la bibliografía) se desprenden los siguientes impactos relacionados con la hidrología del Marjal:

- Hay una sobreexplotación del acuífero, como consecuencia de los bombeos y de la reducción de las infiltraciones, en parte por el aumento del sellado del suelo. Como consecuencia, el problema de la salinización se ha visto agravado, lo que provoca cambios en los hábitats existentes en el humedal, conllevando cambios en las poblaciones de fauna y de flora de este medio. Los núcleos urbanos establecidos sobre la Plana de Sagunto crecen, lo que supone un desarrollo urbanístico y dotacional (aumento de carreteras, calles, edificaciones, etc) en el que pocas veces se tiene en cuenta el retorno del agua de escorrentía al medio natural mediante procesos de infiltración o su recuperación para otros usos.

- Se produce la colmatación de las lagunas y las acequias existentes en el humedal, asociado en parte a la disminución de las zonas encharcadas de forma permanente, favoreciendo así actuaciones antrópicas, y al proceso de colmatación asociado a aguas sin corrientes. Las corrientes de agua erosionan y arrastran sedimentos, perdiéndolos y acumulándolos según el agua pierde velocidad. Esto hace que, tras la llegada a las lagunas, parte de los sedimentos que habían sido arrastrados se acumulen en el fondo, colmatando tanto lagunas como acequias. Asimismo, a lo largo de los años se han venido utilizando los espacios desecados del humedal para la agricultura u otros usos, llegando a hacer aportes de tierras con el objetivo de aumentar la cota de la superficie terrestre, favoreciendo así a la colmatación.

- Mala calidad de las aguas subterráneas y mala calidad del agua transportada por la Real Acequia de Moncada tras su paso por el núcleo urbano de Puzol, desde donde se vierten aguas sin depurar directamente a esta acequia. Las aguas subterráneas se encuentran contaminadas por la actividad agrícola y por la intrusión marina, dándose valores muy altos de cloruro en la zona del marjal (estimación de la salinidad). Respecto a las aguas superficiales, las que llegan al humedal a través de la Real Acequia de Moncada, la principal y única entrada posible actualmente, recoge aguas residuales procedentes del núcleo urbano de Puzol, transportando así la contaminación hasta el espacio natural.

- Teniendo en cuenta los datos del proyecto de *Urbanización del Parque Empresarial Sagunt I (Parc Sagunt)*, mala calidad de las aguas pluviales procedentes de la escorrentía de *Parc Sagunt*, vertidas al humedal a través de las lagunas situadas en el límite entre el marjal y la zona industrial. Las aguas de escorrentía de *Parc Sagunt* vertidas a las lagunas a través de la red de pluviales pueden contener contaminantes propios de una zona industrial como son metales pesados y/o grasas y aceites, que pueden acabar acumulándose en el espacio natural. Además, con precipitaciones más o menos intensas la red de aguas residuales fecales/industriales pueden acabar en la red de pluviales, con todo lo que conlleva, tal y como se ha explicado en el apartado 6.1. Teniendo en cuenta que todavía queda la segunda fase de *Parc Sagunt* por construir, si el diseño de captación de aguas pluviales se hace de la misma forma que en *Parc Sagunt I*, esta situación podría empeorar, dado que podría aumentar considerablemente la contaminación de las aguas transportadas en la red de pluviales, que a su vez puede llegar al humedal.

- Deterioro de la red de acequias por el abandono de los cultivos y, por lo tanto, del regadío, y por la falta de mantenimiento. Actualmente, la mayor parte del terreno del humedal pertenece a la administración pública, dando lugar al abandono de la actividad agrícola para la que se estableció la red de acequias según necesidades. Este hecho conllevó el abandono de esta infraestructura, puesto que ya no era necesaria, y tampoco se realizó ningún tipo de mantenimiento, lo que provocó su deterioro hasta llegar a desaparecer en parte.

## 8. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El funcionamiento del ecosistema del *Marjal dels Moros* depende de la hidrología y la hidrogeología en gran medida. Es por ello, que debe hacerse una gestión hídrica adecuada, con el objetivo de mantener un estado óptimo de las láminas de agua.

En la actualidad su alimentación se lleva a cabo mediante las precipitaciones y con las aguas subterráneas, pero también, aunque en menor medida, con los retornos del regadío.

Por el contrario, las salidas del marjal se producen a través de las golgas, a las que llega el agua a través de las acequias, por infiltración al subsuelo y por evapotranspiración, tal y como se ha expuesto con anterioridad en el apartado 5.1.4.

Así mismo, existen potenciales fuentes de entrada de agua al marjal que, adecuadamente gestionadas, pueden proporcionar una gran cantidad de agua que ayude a alcanzar un estado óptimo del humedal, incluso en los periodos de mayor sequía, como es la escorrentía y los excedentes de riego procedentes de la acequia de Moncada. Con este objetivo, se debe desarrollar una infraestructura hidráulica adecuada a través de optimizar y restaurar la ya existente.

De esta manera, se deben establecer los objetivos de gestión, además de realizar un análisis de la capacidad de almacenamiento del humedal para determinar los volúmenes necesarios para alcanzar el estado óptimo, y del caudal de avenida, una importante fuente de alimentación.

## 8.1. OBJETIVOS DE GESTIÓN

En el presente Estudio se han establecido dos niveles de inundación, óptimo y subóptimo, con tal de definir unos objetivos de gestión de los recursos hídricos para la recuperación y mejora del estado del marjal claros. Para ello se ha tenido en cuenta la legislación vigente referente a los hábitats presentes, así como las necesidades hídricas de las diferentes especies características de este espacio.

En el *Decreto 127/2015, de 31 de julio*, relativo a los hábitats de interés comunitario, se establecen los objetivos de conservación y de gestión relativos a los hábitats de interés comunitario, a las especies y al conjunto del espacio, algunos de los cuales hacen referencia a la gestión del agua.

En referencia a los hábitats de interés comunitario, se establece el objetivo de *“promover la coordinación con la planificación hidrológica (Confederación Hidrográfica del Júcar) y costera (Demarcación de Costas), al objeto de procurar la conservación de los hábitat naturales de interés comunitario asociados a las masas de agua y corregir el proceso de intrusión salina y el proceso de erosión litoral”*.

Referente a las especies, se indica que se deben *“mantener los hábitats de las especies mediante la eliminación de los factores que están afectando el estado de conservación de las especies”*, así como *“crear nuevas zonas de expansión de las especies en el ámbito de la Norma mediante la restauración del hábitat”* y *“promover la coordinación con la planificación hidrológica (Confederación Hidrográfica del Júcar) y costera (Demarcación de Costas), al objeto de procurar la conservación de las especies de interés comunitario asociadas a las masas de agua y al cordón litoral”*.

Para la definición de los niveles de inundación, se ha tenido en cuenta la función de las masas de agua, si constituyen reservas de fauna o lagunas que, por su generación reciente, alberguen hábitats naturales o de interés y/o especies de fauna:

- Nivel óptimo: Es el nivel idóneo, fuera de la temporada de cría, para evitar la colonización de especies de vegetación invasoras, que permita el posterior establecimiento de colonias y/o mantenimiento de refugios acuáticos. Cabe destacar que en este estudio se equipara al nivel de inundación alcanzado en diciembre de 2016/enero

de 2017, una de las épocas de mayor calidad ambiental del humedal, y se corresponderá con la cota media calculada con el lidar.

- Nivel subóptimo: Se corresponde a la mínima cota de agua que debería tener la laguna durante los meses más húmedos, permitiendo la desecación en los meses de verano para simular un ciclo natural con largos periodos de estiaje. Permitiría el asentamiento temporal de determinadas especies, pero no el mantenimiento de refugios acuáticos. Se corresponderá al 80% del nivel óptimo.

Más adelante, en el apartado 8.4. *Características de las lagunas*, se definirán los niveles óptimos y subóptimos de cada una de las lagunas.

## 8.2. CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DEL HUMEDAL

Para el análisis de la capacidad de almacenamiento de agua del marjal se han utilizado imágenes procedentes del satélite Sentinel-2. Tras analizar las ortofotos de diferentes épocas y años y consultar la opinión de los expertos con conocimiento de este humedal, se concluyó que una de las mejores épocas del marjal, en cuanto a acumulación de agua, fue en diciembre de 2016- enero de 2017. A partir de este dato, se procede al análisis del humedal mediante imágenes satelitales.



Figura 44. Estado del humedal en enero de 2017

Los Sentinel son una nueva flota de satélites diseñada para proporcionar los abundantes datos e imágenes de que se nutre el programa Copernicus, de la Comisión Europea. Sentinel 2 es una misión de observación terrestre, desarrollada por la ESA (*European Space Agency*). Lleva una cámara multispectral innovadora de alta resolución, con 13 bandas espectrales, lo que permite captar información útil para las prácticas agrícolas y forestales, y para gestionar la seguridad alimentaria.

Está compuesto por dos satélites idénticos: Sentinel-2A y Sentinel-2B, con las siguientes características:

- Imagen multispectral
- Cobertura global sistemática de las capas de la tierra, de las aguas costeras y de todo el Mar Mediterráneo.
- Revisa cada cinco días las zonas, manteniendo los ángulos de visión.
- Amplio campo de visión: 290 km.
- Sigue una política de datos libres y en abierto.

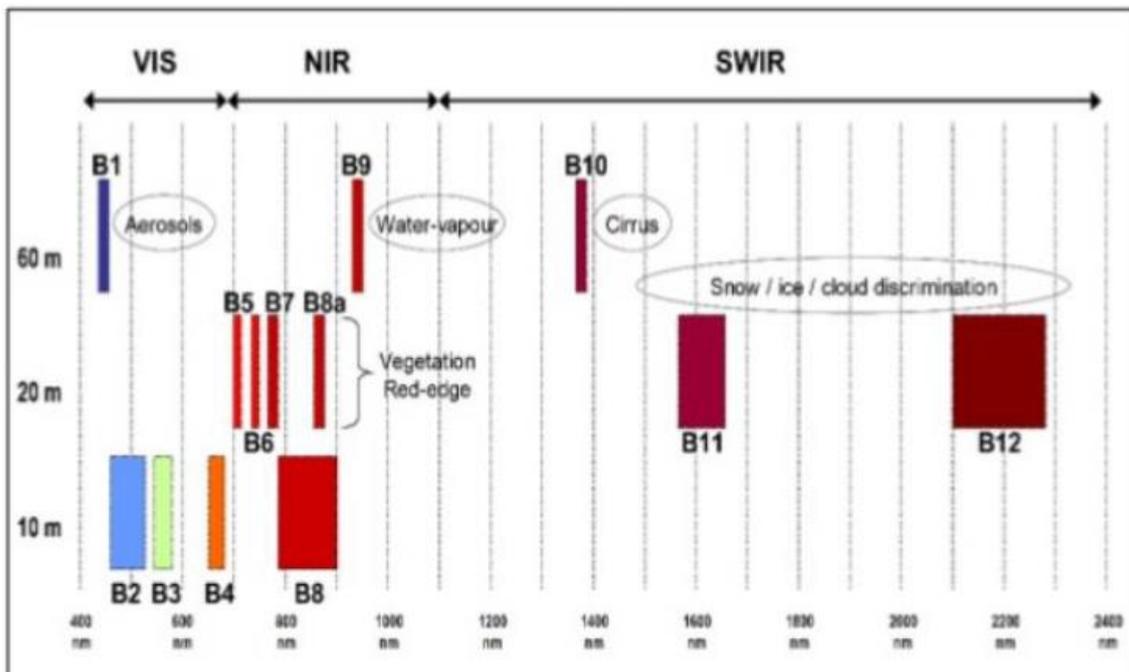


Figura 45. Resolución espacial y radiométrica del sensor Sentinel-2

La Resolución Espacial, que es la unidad mínima del territorio que emite o refleja la radiación, es dependiente de la banda espectral en particular:

- Resolución 10 metros (Banda 2, Banda 3, Banda 4 y Banda 8)
- Resolución 20 metros (Banda 5, Banda 6, Banda 7, Banda 8<sup>a</sup>, Banda 11 y Banda 12).
- Resolución 60 metros (Banda 1, Banda 9 y Banda 10).

Respecto a la Resolución Radiométrica, definida como la capacidad del instrumento para distinguir diferencias en la intensidad de la luz o la reflectancia, el Sentinel-2 adquiere datos en 13 bandas espectrales en la VNIR y SWIR, cuyas características se recogen en la siguiente tabla.

Tabla 7. Detalles espaciales y espectrales del Sentinel-2

<b>Bandas</b>	<b>Resolución Espacial (m)</b>	<b>Resolución Espectral (nm)</b>
<b>Banda 1 (Aerosol)</b>	<b>60</b>	<b>443</b>
<b>Banda 2 (Azul)</b>	<b>10</b>	<b>490</b>
<b>Banda 3 (Verde)</b>	<b>10</b>	<b>560</b>
<b>Banda 4 (Rojo)</b>	<b>10</b>	<b>665</b>
<b>Banda 5 (NIR)</b>	<b>20</b>	<b>705</b>
<b>Banda 6 (NIR)</b>	<b>20</b>	<b>740</b>
<b>Banda 7 (NIR)</b>	<b>20</b>	<b>783</b>
<b>Banda 8 (NIR)</b>	<b>10</b>	<b>842</b>
<b>Banda 8a (NIR)</b>	<b>20</b>	<b>865</b>
<b>Banda 9 (Vapor de Agua)</b>	<b>60</b>	<b>9945</b>
<b>Banda 10 (Cirrus)</b>	<b>60</b>	<b>1375</b>
<b>Banda 11 (SWIR)</b>	<b>20</b>	<b>1610</b>
<b>Banda 12 (SWIR)</b>	<b>20</b>	<b>2190</b>

La resolución radiométrica se expresa habitualmente como un número de bits (entre 8 y 16 bits normalmente).

### 8.2.1. USO DE IMÁGENES SATELITALES

Teniendo en cuenta las características del Sentinel-2, se procede al cálculo del Índice Diferencial de Agua Normalizado (NDWI) para la identificación de las masas de agua y los suelos de elevada saturación (humedad) mediante el análisis de imágenes satélite.

En este caso, para el análisis en base a la combinación de bandas multiespectrales, se utilizarán las bandas 3 (NIR-Verde) y 8 (NIR-SWIR):

$$NDVI = (BANDA 3 - BANDA 8) / (BANDA 3 + BANDA 8)$$

Entre diciembre de 2016 y enero de 2017 se produjo una de las mayores inundaciones en el humedal, alcanzando la lámina de agua unos valores que se supondrán óptimos para la valoración del volumen de agua necesario para alcanzar el buen estado del marjal.

Con las imágenes captadas por el satélite Sentinel 2, se puede observar la elevada humedad del suelo el 5 de febrero de 2017, siendo las lagunas las áreas más destacables.



Figura 46. Imagen captada por la banda 3 del Sentinel-2A



Figura 47. Imagen captada por la banda 8 del Sentinel-2A



Figura 48. Cálculo del índice NDWI con las bandas 3 y 8

Las imágenes se representan en una escala de blanco a negro, siendo el negro el agua y el blanco las zonas más secas. De tal forma que se procede a la reclasificación del suelo en función de la reflectancia, clasificando las áreas en función de la humedad del suelo.

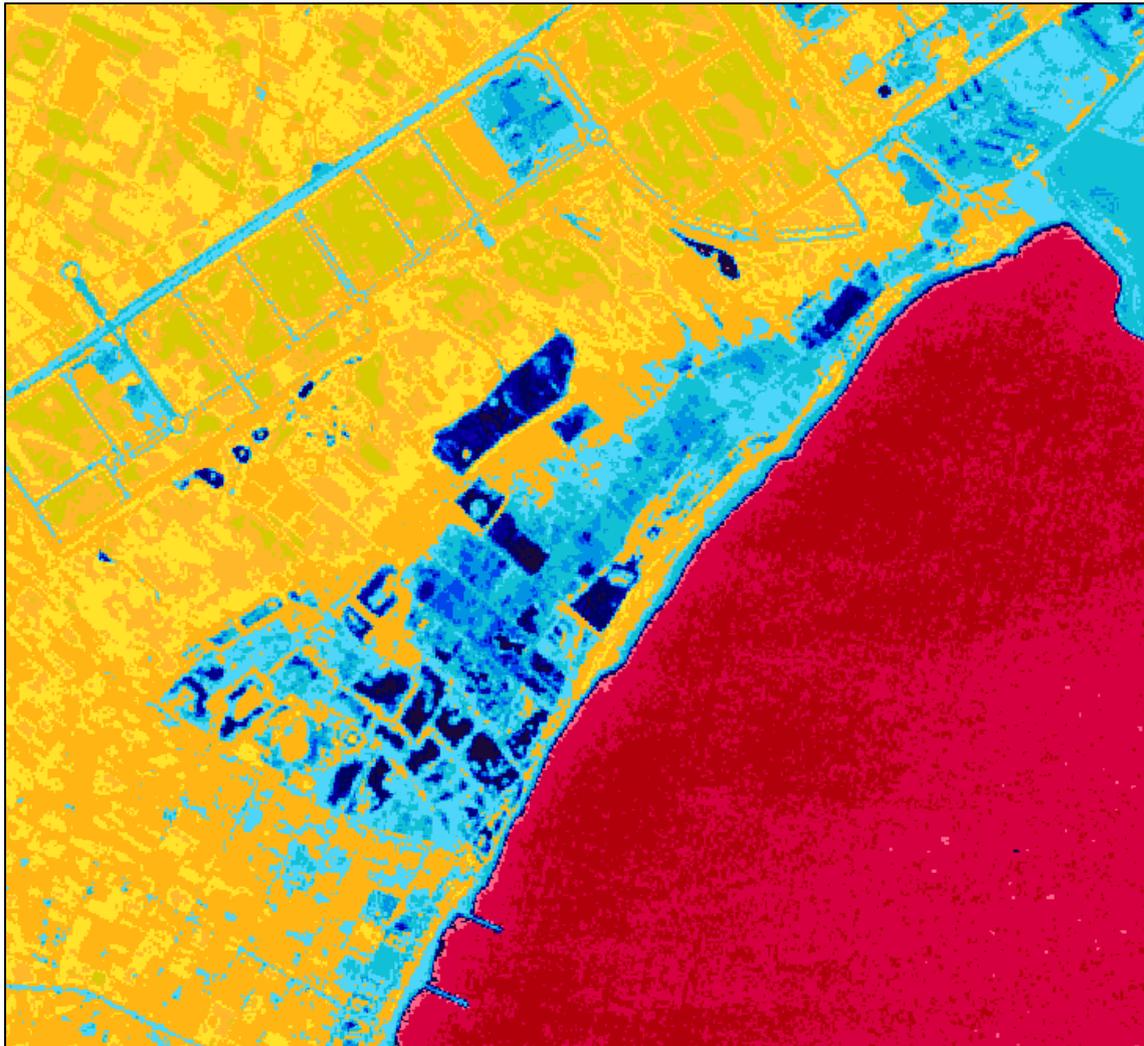


Figura 49. Clasificación de la humedad del suelo

### 8.2.2. CARACTERÍSTICAS DE LAS LAGUNAS

Las lagunas pueden definirse como las superficies en las que mayor acumulación de agua se produce. Se observa en la imagen siguiente, obtenida de la reclasificación de las imágenes satelitales, como es en la zona sur del marjal donde hay mayor concentración de lagunas, aunque la de mayor superficie se localiza en la zona central.



Figura 50. Lagunas del Marjal dels Moros

Para la determinación de las características de las lagunas se ha empleado la superficie obtenida a través de las imágenes del Sentinel-2A (figura 48) y el LIDAR de 0,5 puntos por metro cuadrado de la Comunidad Valenciana. Todos estos datos espaciales son tratados con la herramienta ArcGis.

Se han obtenido los perfiles de las principales lagunas, que son los representados en las siguientes figuras:



Figura 51. Perfiles de las lagunas

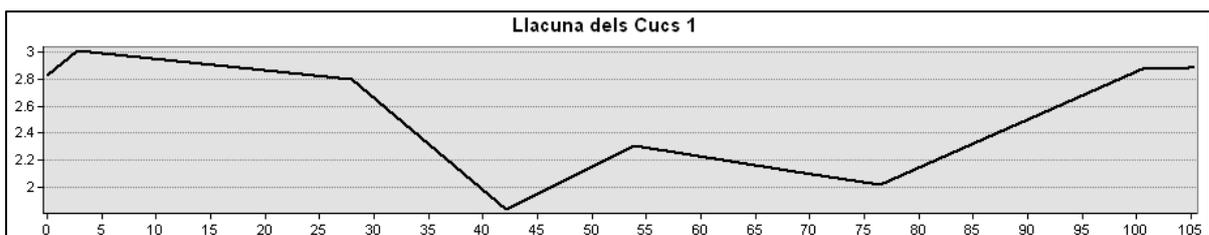


Figura 52. Perfil de la Llacuna dels Cucs 1 (1)

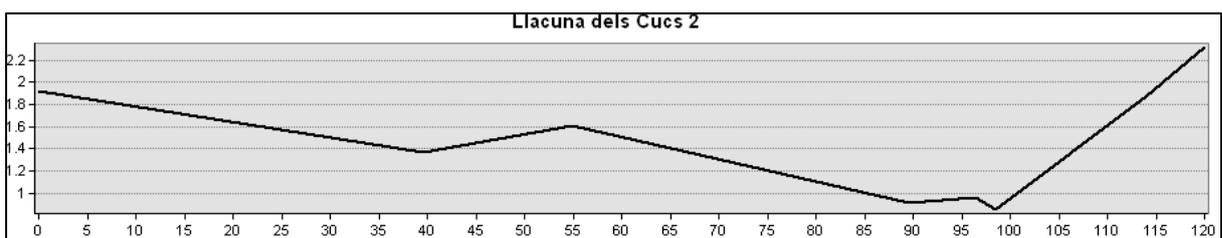


Figura 53. Perfil de la Llacuna dels Cucs 2 (2)

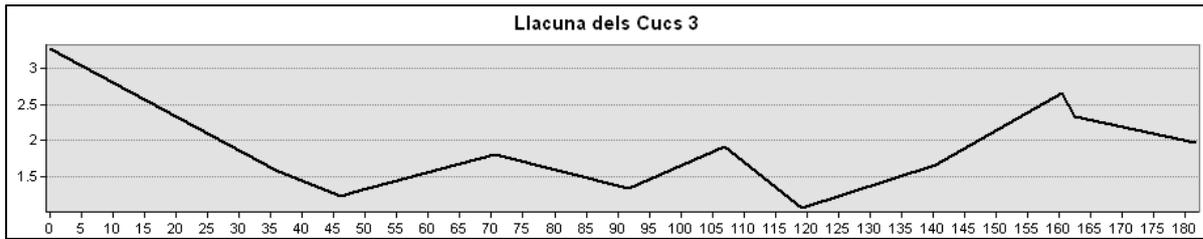


Figura 54. Perfil de la Llacuna dels Cucs 3 (3)

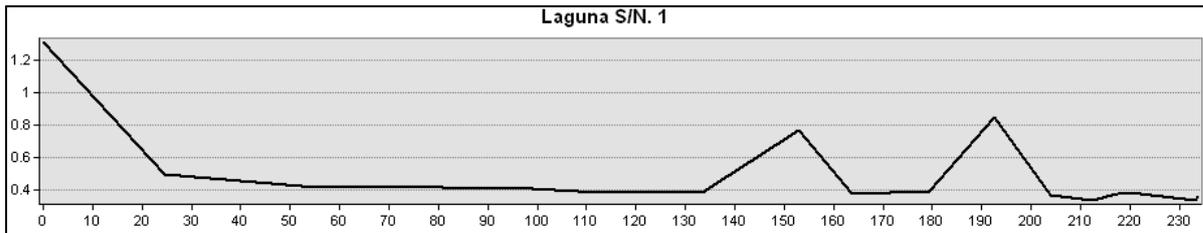


Figura 55. Perfil de la Laguna S/N. 1 (4)

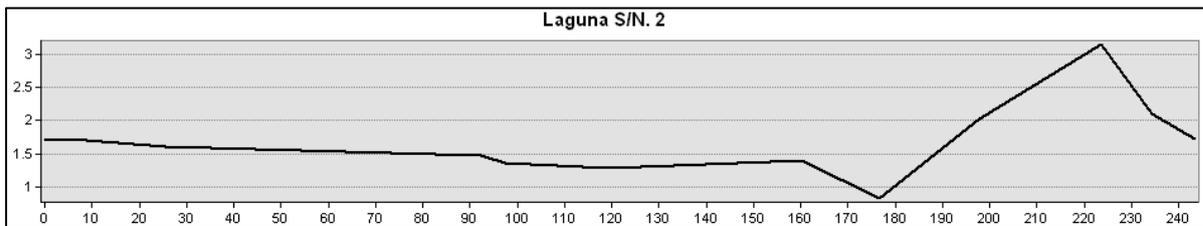


Figura 56. Perfil de la Laguna S/N. 2 (5)

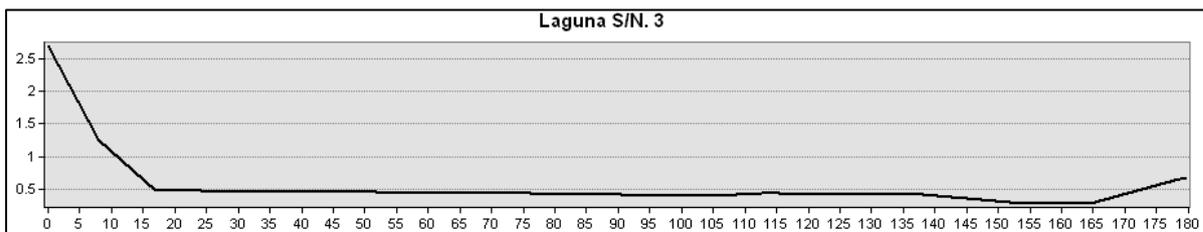


Figura 57. Perfil de la Laguna S/N. 3 (6)

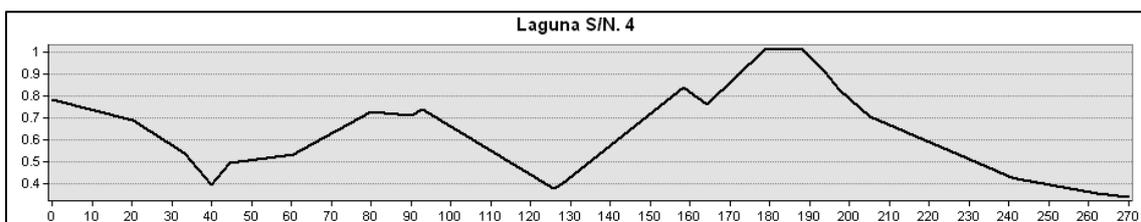


Figura 58. Perfil de la Laguna S/N. 4 (7)

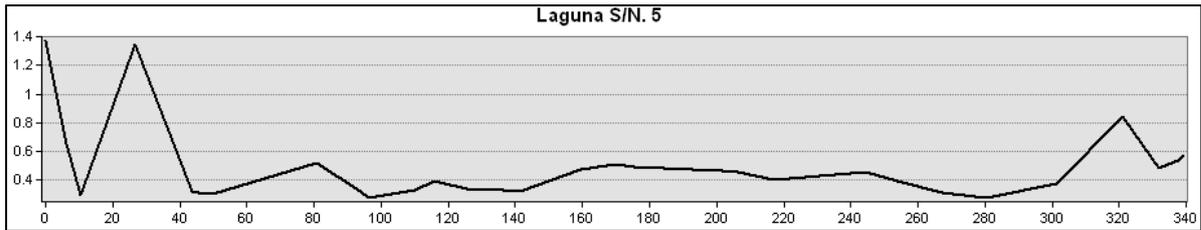


Figura 59. Perfil de la Laguna S/N. 5 (8)

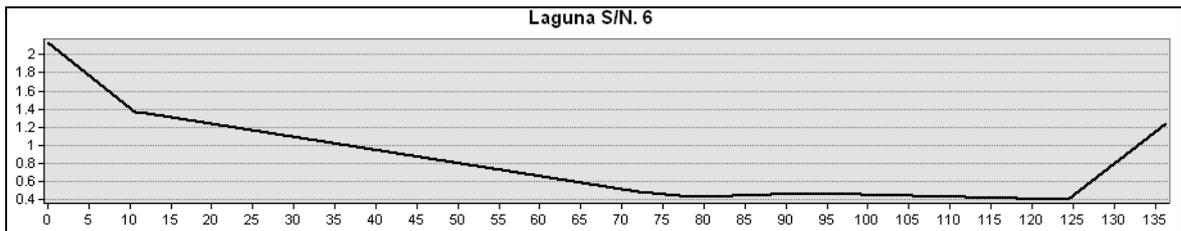


Figura 60. Perfil de la Laguna S/N. 6 (9)

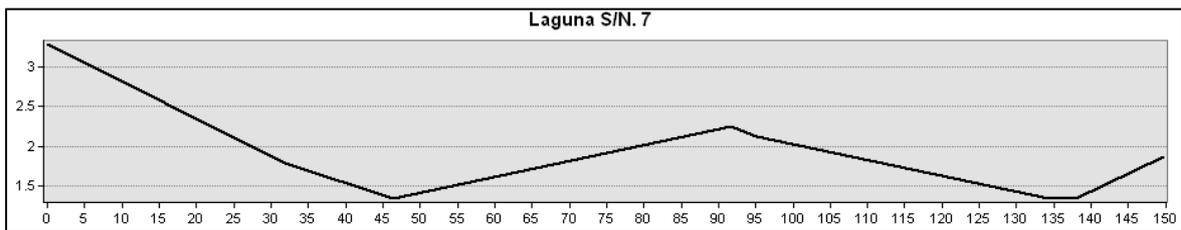


Figura 61. Perfil de la Laguna S/N. 7 (10)

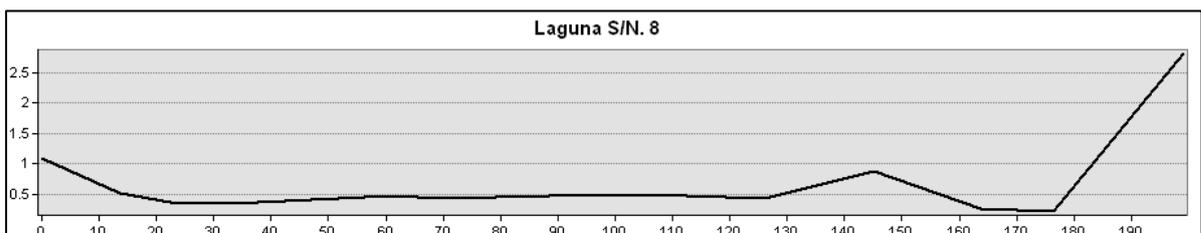


Figura 62. Perfil de la Laguna S/N. 8 (11)

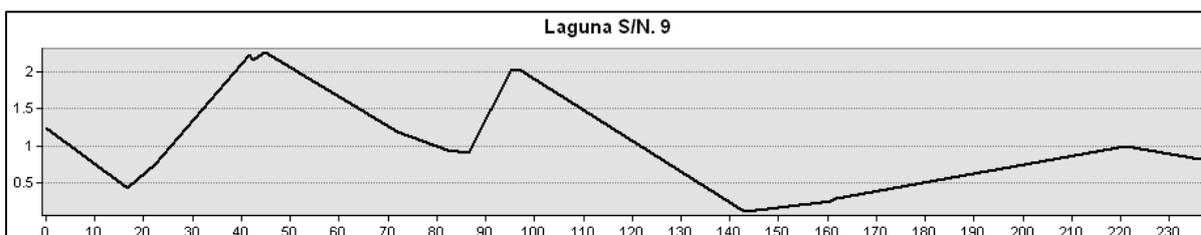


Figura 63. Perfil de la Laguna S/N. 9 (12)

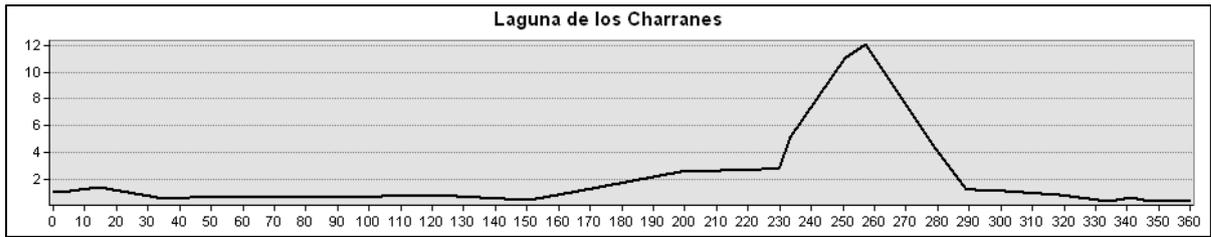


Figura 64. Perfil de la Laguna de los Charranes (13)

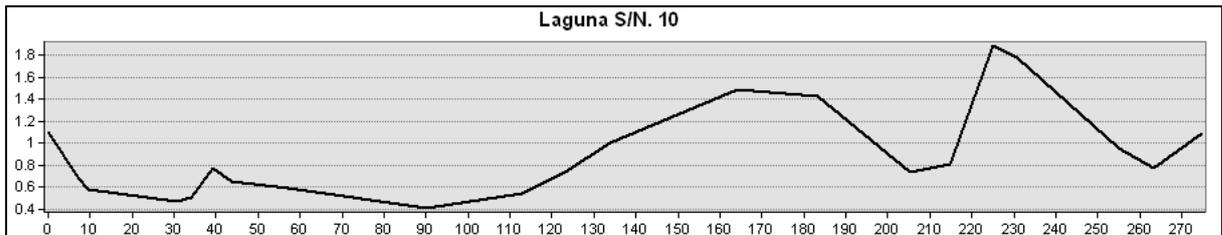


Figura 65. Perfil de la Laguna S/N. 10 (14)

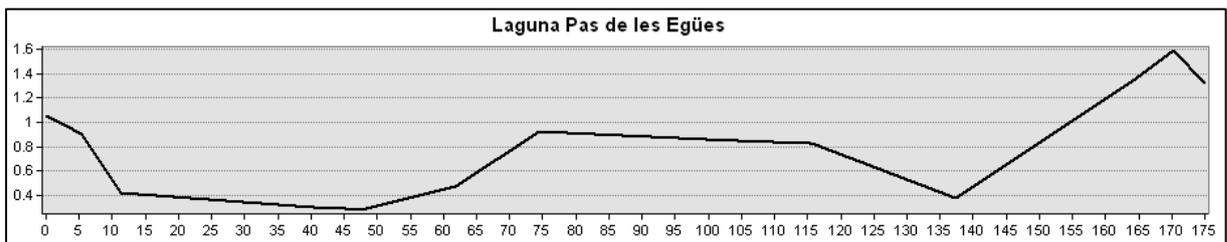


Figura 66. Perfil de la Laguna Pas de les Egües (15)

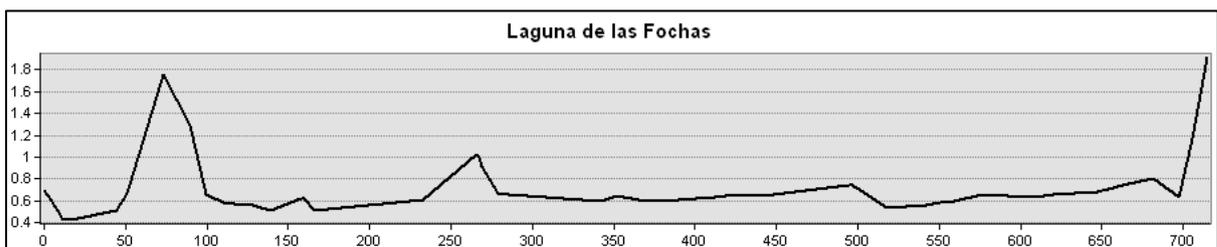


Figura 67. Perfil de la Laguna de las Fochas (16)

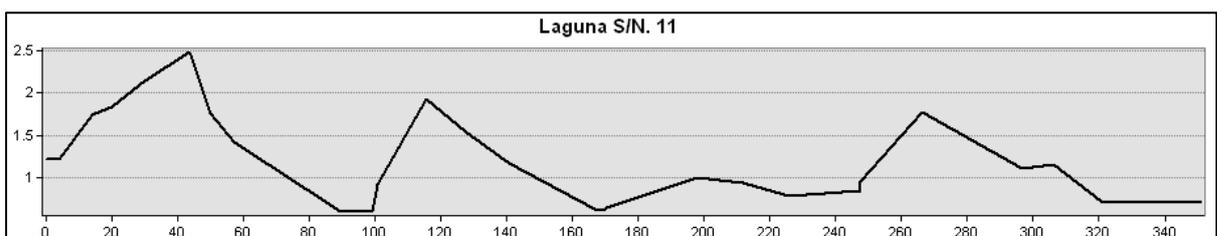


Figura 68. Perfil de la Laguna S/N. 11 (17)

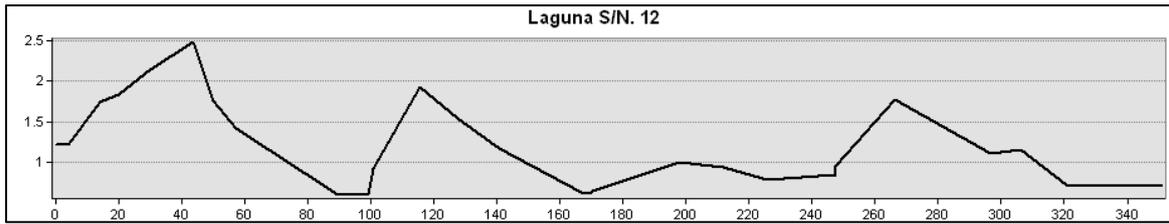


Figura 69. Perfil de la Laguna S/N. 12 (18)

Una vez obtenidos los perfiles, se ha procedido a obtener las características de las principales lagunas: la cota de la lámina de agua de los niveles óptimos y subóptimos, la superficie y el volumen de cada una de ellas.

Para ello ha sido necesario interpolar el perímetro de las lagunas con la red irregular de triángulos (TIN) generada a partir del lidar, para posteriormente obtener todas y cada una de las características mediante las herramientas proporcionadas en ArcGis (calculadora geométrica y volumen de polígonos). Todas ellas quedan recogidas en la siguiente tabla.

Tabla 8. Características de las principales lagunas

Nº	Nombre	Nivel óptimo (m)	Nivel subóptimo (m)	Superficie (m <sup>2</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )
01	Llacuna dels Cucs 1	2,4	1,9	565,3	164,6
02	Llacuna dels Cucs 2	1,9	1,5	4.554,3	1.815,2
03	Llacuna dels Cucs 3	2,6	2,0	4.049,1	2.817,5
04	Laguna S/N. 1	1,0	0,8	11.969,5	6.590,3
05	Laguna S/N. 2	1,9	1,5	7.551,4	3.865,6
06	Laguna S/N. 3	1,0	0,8	9.505,6	5.700,2
07	Laguna S/N. 4	2,1	1,7	19.735,9	27.699,7
08	Laguna S/N. 5	1,6	1,3	20.173,2	22.173,6
09	Laguna S/N. 6	2,0	1,6	12.692,5	17.322,4
10	Laguna S/N. 7	2,4	1,9	23.048,3	27.591,4
11	Laguna S/N. 8	1,6	1,3	9.223,6	7.879,2
12	Laguna S/N. 9	1,6	1,3	10.835,4	10.103,7
13	Laguna de les Charranes	5,7	4,6	34.522,1	155.756,6
14	Laguna S/N. 10	1,1	0,9	19.227,3	6.621,9
15	Laguna del Pas de les Egües	1,1	0,9	11.594,9	6.773,6
16	Laguna de las Fochas	1,8	1,4	107.145,9	110.338,6
17	Laguna S/N. 11	1,3	1	10.170,3	8.151,2
18	Laguna S/N. 12	2,0	1,6	26.120,6	22.187,1
	Otras			152.525,1	99.942,7
<b>TOTAL</b>				<b>495.210</b>	<b>543.495</b>

De los datos anteriores se desprende que el volumen total necesario para mantener las lagunas en un estado óptimo es de 0,55 hm<sup>3</sup>, a sabiendas de que la entrada de agua a través de las diferentes fuentes (acequias, escorrentía, precipitación) debería ser superior dadas las pérdidas que se producen por infiltración y evapotranspiración entre otros.

### 8.2.3. EVALUACIÓN DE VOLÚMENES

A pesar de que las lagunas actúan de depósitos de agua, puesto que permiten almacenar grandes volúmenes de agua en pequeñas superficies, el marjal es capaz de almacenar agua en toda su extensión. Así pues, la determinación y el cálculo del volumen de agua necesario para alcanzar el buen estado del humedal, se debe tener en cuenta una extensión mayor que la de las propias lagunas. Ésta se delimitará con las imágenes procedentes del Sentinel 2, según la metodología explicada en el apartado 8.3.1, dando lugar a la extensión que se muestra en la siguiente figura.

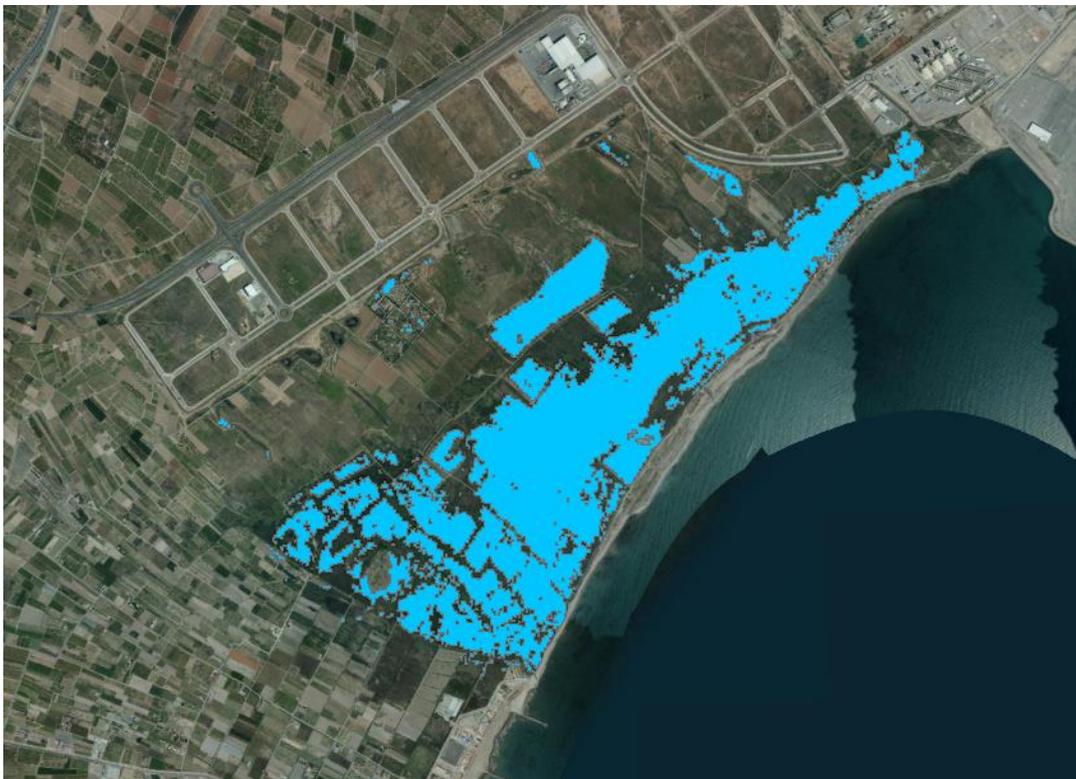


Figura 70. Extensión de la lámina de agua en el *Marjal dels Moros*

Siguiendo la misma metodología que con las lagunas, se ha calculado el volumen que almacenó el humedal durante el periodo de mayor esplendor en los últimos años (diciembre 2016-enero 2017), obteniéndose 2 hm<sup>3</sup>.

Debe tenerse en cuenta, al igual que en el caso anterior, que el volumen que debería ser capaz de captar el marjal para alcanzar el estado óptimo tendría que ser superior a su capacidad (2 hm<sup>3</sup>), puesto que se producen pérdidas como consecuencia de la infiltración y la evapotranspiración, entre otros.

### 8.3. CUENCA VERTIENTE

La delimitación de la cuenca vertiente se ha obtenido mediante ArcGis a partir del Modelo Digital del Terreno (MDT) del *Insitut Cartogràfic Valencià*, con resolución 5 metros (5 metros de píxel), creado a partir de los puntos clasificados como suelo del vuelo LIDAR de 0,5 puntos por metro cuadrado.

Las herramientas de ArcGis utilizadas se encuentran clasificadas en la ArcToolbox como Herramientas de *Spatial Analyst*, Hidrología. El procedimiento que se ha seguido es el siguiente:



Figura 71. Pasos para el cálculo de la cuenca hidrográfica con ArcGis

Previamente al relleno se calculó la dirección de flujo y se comprobó que había sumideros (figura 72). Un sumidero se corresponde a un área de drenaje interno, o lo que es lo mismo, se corresponde a un conjunto de celdas conectadas espacialmente a cuya dirección de flujo no se le puede asignar ninguno de los valores. Esto se da cuando todas las celdas vecinas son mayores que la celda de procesamiento o cuando dos celdas fluyen entre sí, creando un bucle de dos

celdas. De esta manera, se procedió a su corrección mediante la herramienta de relleno, según el gráfico anterior.



Figura 72. Sumideros

Con la herramienta de relleno, se eliminan las pequeñas imperfecciones de los datos, puesto que, como su nombre indica, se encarga de rellenar los sumideros.

A partir del ráster rellenado, con la herramienta dirección del flujo se crea un ráster de dirección de flujo desde cada celda hasta su vecina con la pendiente descendente más empinada (línea de máxima pendiente), dando lugar al siguiente ráster.

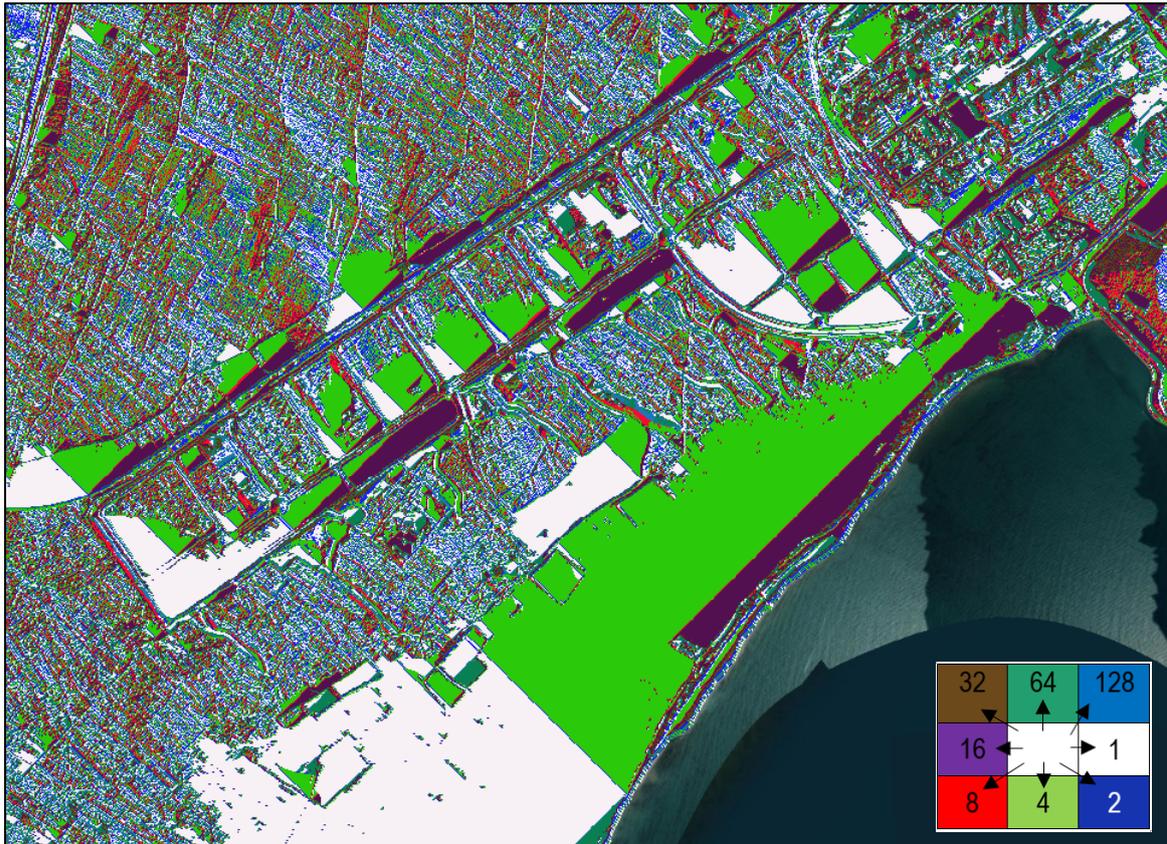


Figura 73. Dirección del flujo

Según los datos obtenidos de la función de dirección del flujo, mediante la herramienta de acumulación de flujo, se crea un ráster de flujo acumulado para cada celda, obteniéndose este ráster:

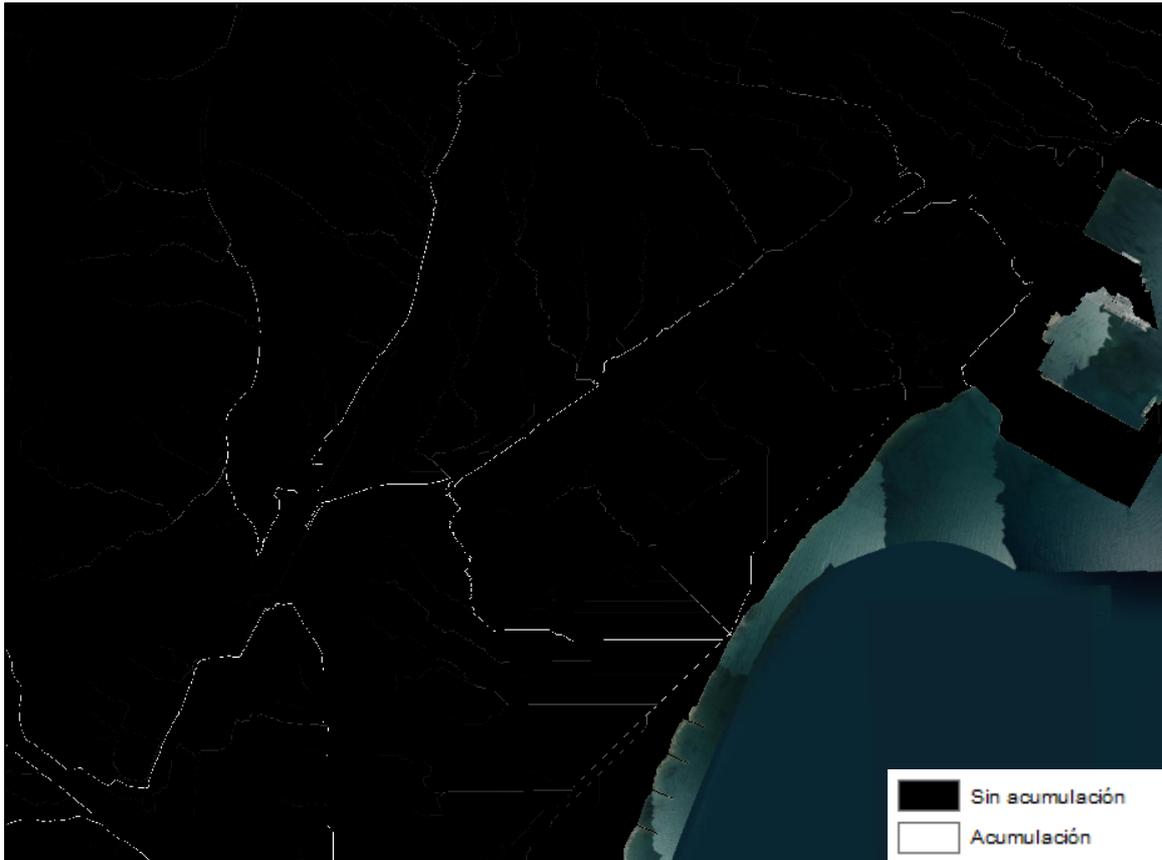


Figura 74. Acumulación de flujo

Finalmente, la cuenca hidrográfica, o el área de contribución sobre un conjunto de celdas de un ráster, para el punto de vertido obtenido con la acumulación de flujo es la siguiente:



Figura 75. Cuenca hidrográfica y punto de desagüe

La cuenca obtenida presenta las siguientes características:

- Área de la cuenca: 42,5 km<sup>2</sup>
- Cota máxima de la cuenca: 384 m.s.n.m
- Cota mínima de la cuenca: 0 m.s.n.m
- Longitud del curso principal: 10,13 km
- Pendiente media del cauce: 2,5 m/m
- Cota máxima del cauce principal: 26,5 m.s.n.m
- Cota mínima del cauce principal: 1,5 m.s.n.m

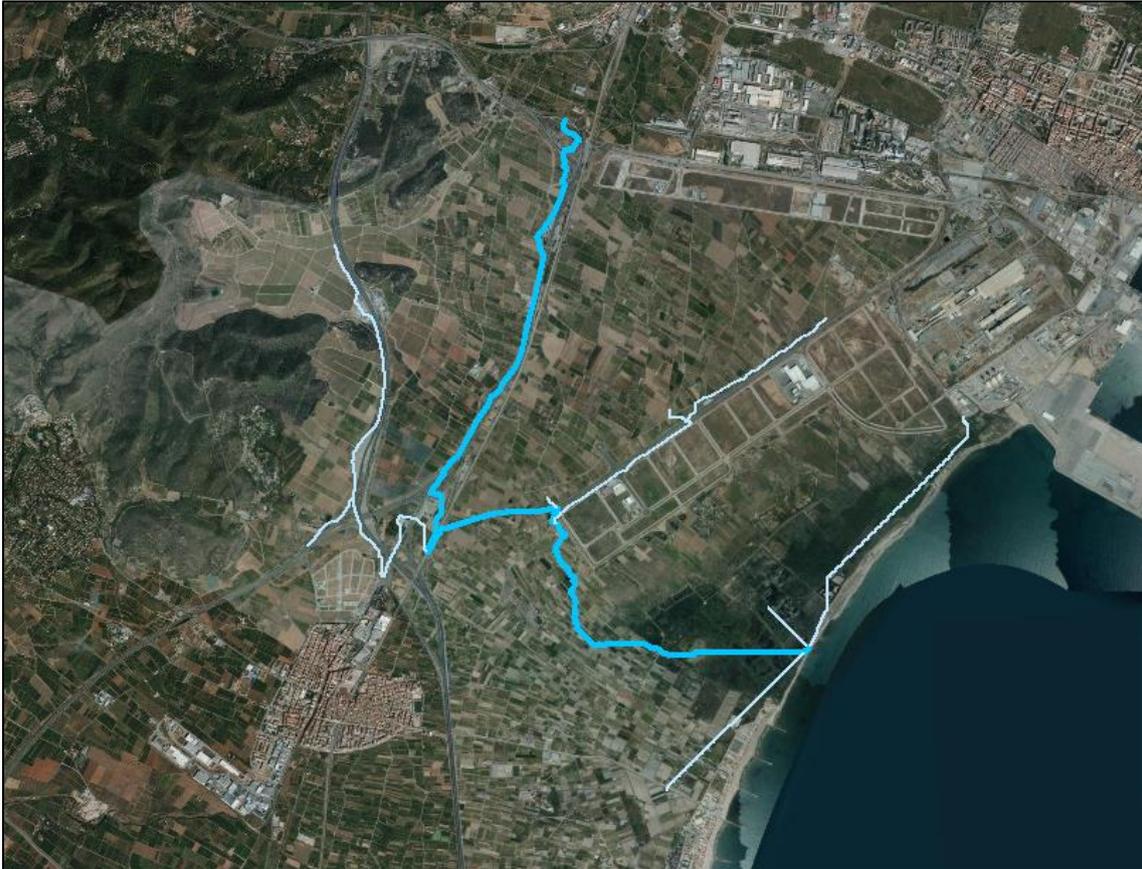


Figura 76. Distribución de la escorrentía en la cuenca hidrográfica del área de estudio. En azul aparece el río principal y en blanco sus afluentes.

## 8.4. CAUDAL DE AVENIDA

Previamente al cálculo del caudal de avenida es necesario obtener la precipitación diaria correspondiente a un período de retorno específico. Ésta se obtendrá con la metodología publicada en el documento oficial “*Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*” (Ministerio de Fomento, 1999).

La estimación de los cuantiles locales  $X_t$  ( $P_T$  en el “Mapa para el Cálculo de Máximas Precipitaciones Diarias en la España Peninsular” de 1997) en un punto determinado se realiza reescalando los cuantiles regionales  $Y_t$ , o Factores de Amplificación  $K_T$ , con la media local  $P$  según la siguiente fórmula:

$$X_t = Y_t \cdot \bar{P}$$

Para la determinación del factor de amplificación se utiliza la siguiente imagen, donde se indican el coeficiente de variación  $C_v$ , y la tabla, en la que se indican los  $K_T$  en función de los  $C_v$ :

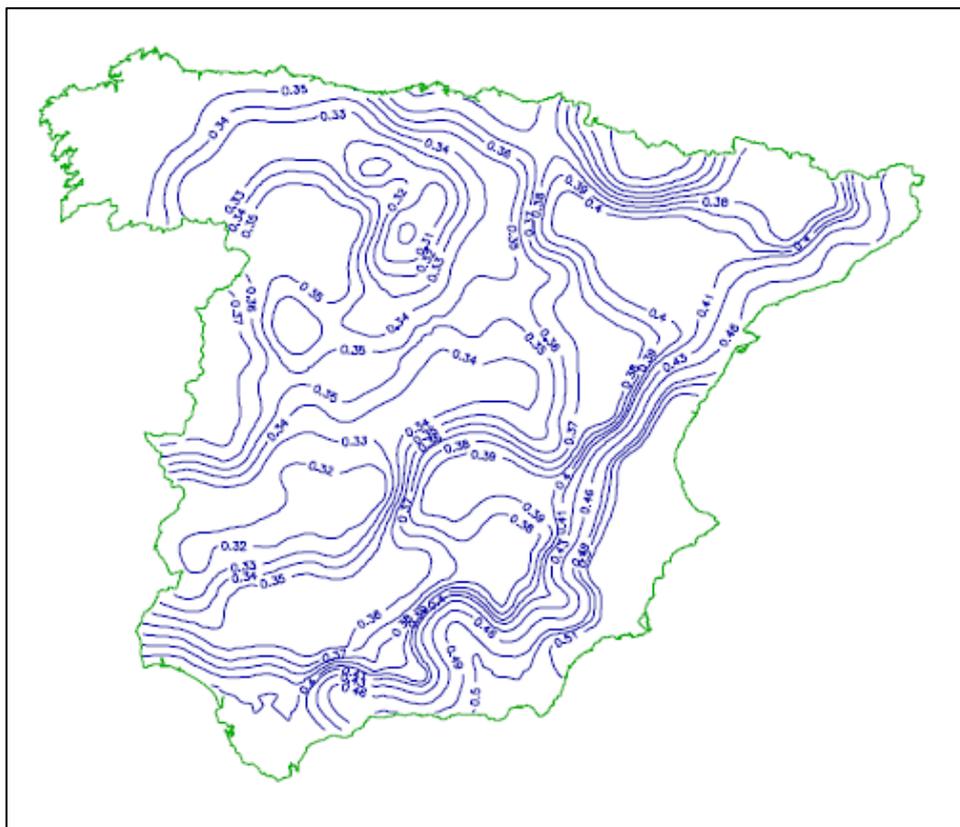


Figura 77. Isótopas del valor regional del coeficiente de variación  $C_v$ . Fuente: *Máximas lluvias diarias en la España Peninsular*

Tabla 9. Cuantiles  $Y_t$  de la Ley SQRT-ET max, también denominados Factores de Amplificación KT en el “Mapa para el Cálculo de Máximas Prcipitaciones Diarias en la España Peninsular” (1997). Fuente: *Máximas luvias diarias en la España Peninsular*

$C_v$	PERIODO DE RETORNO EN AÑOS (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	500
0.30	0.935	1.194	1.377	1.625	1.823	2.022	2.251	2.541
0.31	0.932	1.198	1.385	1.640	1.854	2.068	2.296	2.602
0.32	0.929	1.202	1.400	1.671	1.884	2.098	2.342	2.663
0.33	0.927	1.209	1.415	1.686	1.915	2.144	2.388	2.724
0.34	0.924	1.213	1.423	1.717	1.930	2.174	2.434	2.785
0.35	0.921	1.217	1.438	1.732	1.961	2.220	2.480	2.831
0.36	0.919	1.225	1.446	1.747	1.991	2.251	2.525	2.892
0.37	0.917	1.232	1.461	1.778	2.022	2.281	2.571	2.953
0.38	0.914	1.240	1.469	1.793	2.052	2.327	2.617	3.014
0.39	0.912	1.243	1.484	1.808	2.083	2.357	2.663	3.067
0.40	0.909	1.247	1.492	1.839	2.113	2.403	2.708	3.128
0.41	0.906	1.255	1.507	1.854	2.144	2.434	2.754	3.189
0.42	0.904	1.259	1.514	1.884	2.174	2.480	2.800	3.250
0.43	0.901	1.263	1.534	1.900	2.205	2.510	2.846	3.311
0.44	0.898	1.270	1.541	1.915	2.220	2.556	2.892	3.372
0.45	0.896	1.274	1.549	1.945	2.251	2.586	2.937	3.433
0.46	0.894	1.278	1.564	1.961	2.281	2.632	2.983	3.494
0.47	0.892	1.286	1.579	1.991	2.312	2.663	3.044	3.555
0.48	0.890	1.289	1.595	2.007	2.342	2.708	3.098	3.616
0.49	0.887	1.293	1.603	2.022	2.373	2.739	3.128	3.677
0.50	0.885	1.297	1.610	2.052	2.403	2.785	3.189	3.738
0.51	0.883	1.301	1.625	2.068	2.434	2.815	3.220	3.799
0.52	0.881	1.308	1.640	2.098	2.464	2.861	3.281	3.860

Por otro lado, el valor medio de la máxima precipitación diaria anual  $\bar{P}$  se obtiene del mapa de isólinas moradas siguiente.

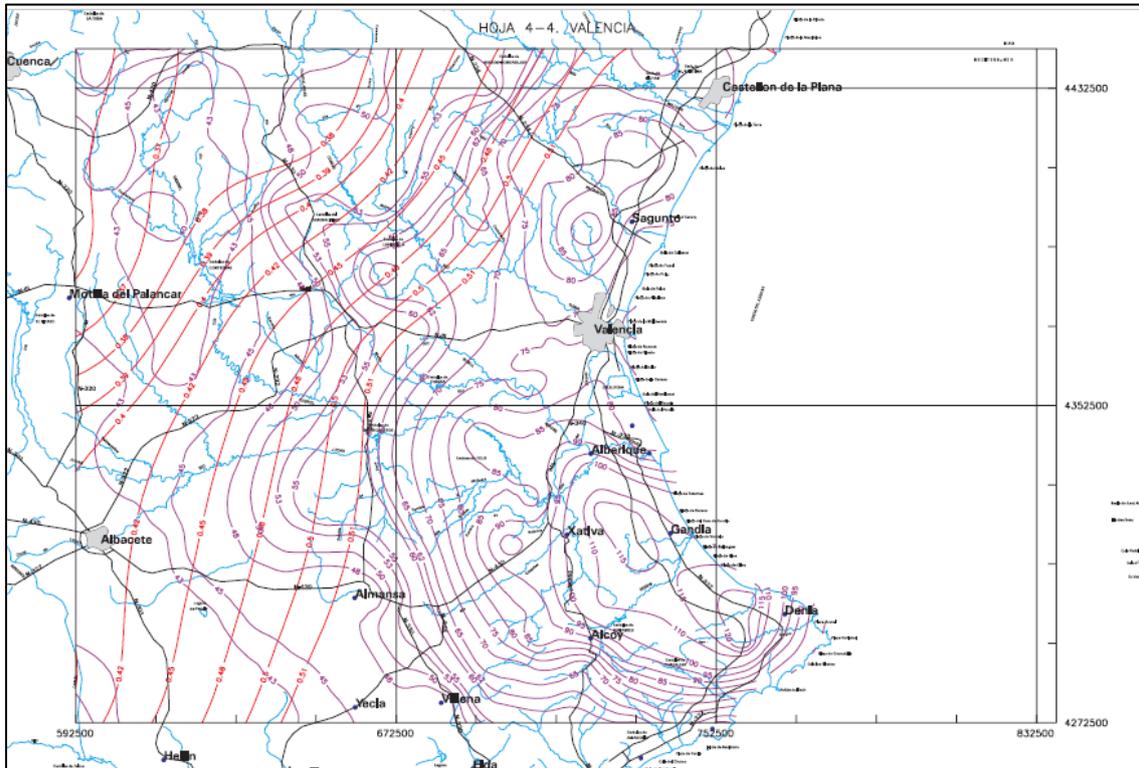


Figura 78. Mapa de isólinas de  $\bar{P}$  y  $C_v$ . Fuente: *Máximas luvias diarias en la España Peninsular*

Previamente a los cálculos se ha definido en periodo de retorno ( $T$ ), que es el periodo de tiempo expresado en años para el cual el caudal máximo anual tiene una probabilidad de ser excedido igual a  $1/T$ . En este caso, al no estar dirigido este cálculo a corregir una situación de riesgo, sino que es una estimación del caudal que podría aportarse al marjal, se han realizado los cálculos con un periodo de retorno de 2 años.

Siguiendo la metodología anteriormente expuesta se obtiene el dato de precipitación máxima diaria para un periodo de retorno igual a 2 años de 66,1 mm/día:

- $C_v = 0,52$
- $Y_t = 0,881$
- $\bar{P} = 75 \text{ mm/día}$

$$X_T = P_T = Y_T \cdot \bar{P} = 0,881 \cdot 75 = 66,1 \text{ mm/día}$$

#### 8.4.1. MÉTODO RACIONAL MODIFICADO DE TEMEZ

Para el cálculo del caudal de avenida se ha tenido en cuenta la *Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero, por la que se aprueba la norma 5.2-IC drenaje superficial de la Instrucción de Carreteras*, en la que se desarrolla el Método racional, con el objetivo de “establecer reglas generales y definir prescripciones para proyectar, construir y conservar adecuadamente las obras, elementos y sistemas de drenaje superficial de la Red de Carreteras del Estado”.

Siguiendo el método racional, el **caudal máximo anual  $Q_T$**  correspondiente a un período de retorno T se calcula mediante la fórmula:

$$Q_T = \frac{I(T, t_c) \cdot C \cdot A \cdot K_t}{3,6}$$

Donde:

- $Q_T$  (m<sup>3</sup>/s) es el caudal máximo anual correspondiente al período de retorno T, en el punto de desagüe de la cuenca.
- $I(T, t_c)$  (mm/h) es la intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno considerado T, para una duración del aguacero igual al tiempo de concentración  $t_c$ , de la cuenca.
- C (adimensional) es el coeficiente medio de escorrentía de la cuenca o superficie considerada.
- A (km<sup>2</sup>) es el área de la cuenca o superficie considerada.
- $K_t$  (adimensional) es el coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación.

La **intensidad de precipitación  $I(T, t_c)$**  se calcula mediante la Curva IDF de Témez:

$$i(t_c)_T = \frac{P(d)_T^*}{24} \cdot \alpha^{\frac{28^{0,1} - t_c^{0,1}}{28^{0,1} - 1}}$$

Donde:

- $I(T, t_c)$  (mm/h) es la intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno considerado  $T$ , para una duración del aguacero igual al tiempo de concentración  $t_c$ , de la cuenca.
- $P(d)_T^*$  (mm) es la precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno  $T$  con reducción areal.
- $\alpha$  (adimensional) es el índice de torrencialidad, obtenido de la siguiente figura.
- $t_c$  (horas) es el tiempo de concentración

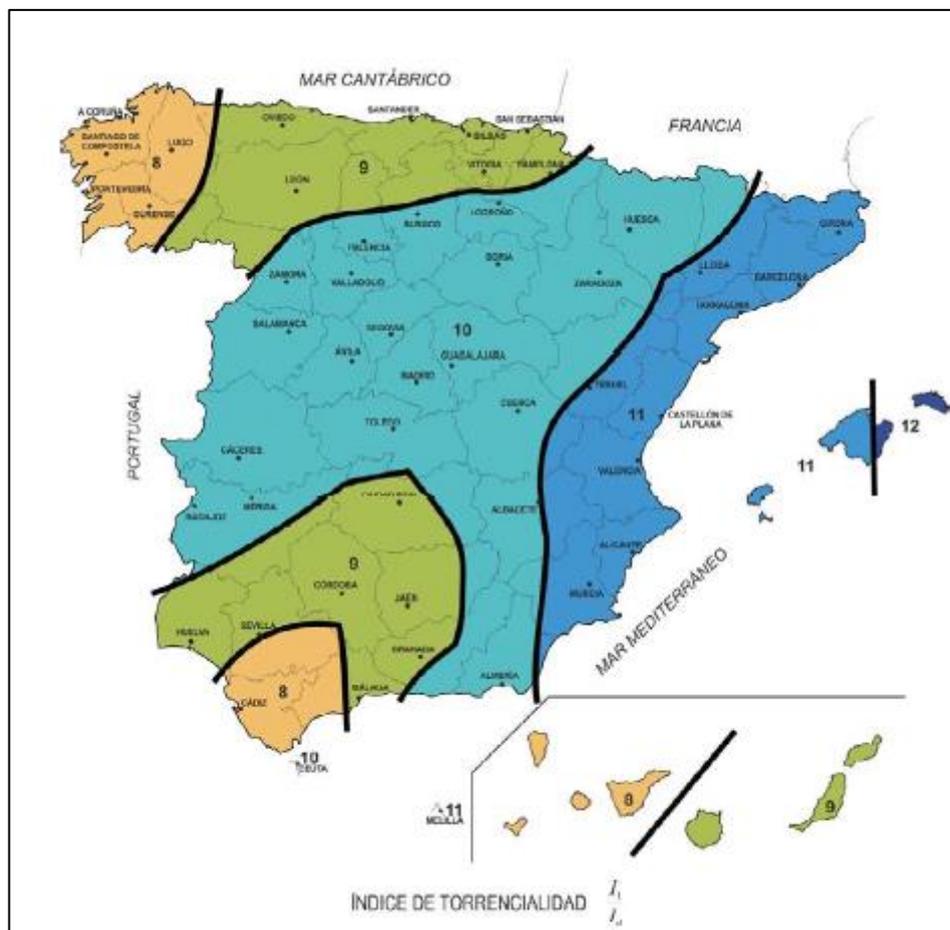


Figura 79. Índice de torrencialidad. Fuente: Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero

La precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno  $T$  con reducción areal  $P(d)_T^*$  se calcula de la siguiente forma:

$$P(d)_T^* = P(d)_T \cdot K_A$$

Donde:

- $P(d)_T^*$  (mm) es la precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno T con reducción areal
- $P(d)_T$  (mm) es la precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno T
- $K_A$  (adimensional) es el factor reductor de la precipitación por área de cuenca:

$$\text{Si } A < 1 \text{ km}^2$$

$$K_A = 1$$

$$\text{Si } A \geq 1 \text{ km}^2$$

$$K_A = 1 - \frac{\log_{10} A}{15}$$

El **tiempo de concentración**  $t_c$  es el tiempo mínimo necesario desde el comienzo del aguacero para que toda la superficie de la cuenca esté aportando escurrimiento al punto de desagüe. Se obtiene de la siguiente forma:

$$t_c = 0,3 \cdot L_c^{0,76} \cdot J_c^{-0,19}$$

Donde:

- $t_c$  (horas) es el tiempo de concentración
- $L_c$  (km) es la longitud del cauce
- $J_c$  (adimensional) es la pendiente media del cauce

El **coeficiente de escurrimiento**  $C$ , define la parte de la precipitación de intensidad I (T,  $t_c$ ) que genera caudal de avenida en el punto de desagüe de la cuenca, siendo la fórmula para su cálculo la siguiente:

$$\text{Si } P_d \cdot K_A > P_0 \quad C = \frac{\left( \frac{P_d \cdot K_A}{P_0} - 1 \right) \left( \frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 23 \right)}{\left( \frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 11 \right)^2}$$
$$\text{Si } P_d \cdot K_A \leq P_0 \quad C = 0$$

Donde:

- C (adimensional) es el coeficiente de escorrentia
- $P_d$  (mm) es la precipitaci3n diaria correspondiente al periodo de retorno T considerado
- $K_A$  (adimensional) es el factor reductor de la precipitaci3n por el 1rea de la cuenca
- $P_0$  (mm) es el umbral de escorrentia

El **umbral de escorrentia  $P_0$**  representa la precipitaci3n m3nima que debe caer sobre la cuenca para que se inicie la generaci3n de escorrentia:

$$P_0 = P_0^i \cdot \beta$$

Donde:

- $P_0$  (mm) es el umbral de escorrentia
- $P_0^i$  (mm) es el valor inicial del umbral de escorrentia
- $\beta$  (adimensional) es el coeficiente corrector del umbral de escorrentia

El valor inicial del umbral de escorrentia  $P_0^i$  se determina a partir de la tipolog3a de suelo mediante las siguientes tablas:

Tabla 10. Grupos hidrol3gicos de suelo a efectos de la determinaci3n del valor inicial del umbral de escorrentia.

Fuente: Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero

Grupo	Infiltraci3n (cuando est1n muy h3medos)	Potencia	Textura	Drenaje
A	R1pida	Grande	Arenosa Areno-limosa	Perfecto
B	Moderada	Media a grande	Franco-arenosa Franca Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa	Bueno a moderado
C	Lenta	Media a peque1a	Franco-arcillosa Franco-arcillo-limosa Arcillo-arenosa	Imperfecto
D	Muy lenta	Peque1o (litosuelo) u horizontes de arcilla	Arcillosa	Pobre o muy pobre

Nota: Los terrenos con nivel fre1tico alto se incluir1n en el Grupo D.

Tabla 11. Valor inicial del umbral de escorrentia  $P_{0j}$  (mm). Fuente: Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero

Código	Uso de suelo	Práctica de cultivo	Pendiente (%)	Grupo de suelo			
				A	B	C	D
11100	Tejido urbano continuo			1	1	1	1
11200	Tejido urbano discontinuo			24	14	8	6
11200	Urbanizaciones			24	14	8	6
11210	Estructura urbana abierta			24	14	8	6
11220	Urbanizaciones exentas y/o ajardinadas			24	14	8	6
12100	Zonas industriales y comerciales			6	4	3	3
12100	Granjas agrícolas			24	14	8	6
12110	Zonas industriales			12	7	5	4
12120	Grandes superficies de equipamiento y servicios			6	4	3	3
12200	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados			1	1	1	1
12210	Autopistas, autovías y terrenos asociados			1	1	1	1
12220	Complejos ferroviarios			12	7	5	4
12300	Zonas portuarias			1	1	1	1
12400	Aeropuertos			24	14	8	6
13100	Zonas de extracción minera			16	9	6	5
13200	Escombreras y vertederos			20	11	8	6
13300	Zonas de construcción			24	14	8	6
14100	Zonas verdes urbanas			53	23	14	10
14200	Instalaciones deportivas y recreativas			79	32	18	13
14210	Campos de golf			79	32	18	13
14220	Resto de instalaciones deportivas y recreativas			53	23	14	10
21100	Tierras de labor en secano (cereales)	R	$\geq 3$	29	17	10	8
21100	Tierras de labor en secano (cereales)	N	$\geq 3$	32	19	12	10
21100	Tierras de labor en secano (cereales)	R/N	$< 3$	34	21	14	12
21100	Tierras de labor en secano (viveros)			0	0	0	0
21100	Tierras de labor en secano (hortalizas)	R	$\geq 3$	23	13	8	6
21100	Tierras de labor en secano (hortalizas)	N	$\geq 3$	25	16	11	8
21100	Tierras de labor en secano (hortalizas)	R/N	$< 3$	29	19	14	11
21100	Tierras abandonadas		$\geq 3$	16	10	7	5
21100	Tierras abandonadas		$< 3$	20	14	11	8
21200	Terrenos regados permanentemente	R	$\geq 3$	37	20	12	9
21200	Terrenos regados permanentemente	N	$\geq 3$	42	23	14	11
21200	Terrenos regados permanentemente	R/N	$< 3$	47	25	16	13
21210	Cultivos herbáceos en regadío	R	$\geq 3$	37	20	12	9
21210	Cultivos herbáceos en regadío	N	$\geq 3$	42	23	14	11
21210	Cultivos herbáceos en regadío	R/N	$< 3$	47	25	16	13
21220	Otras zonas de irrigación			0	0	0	0
21300	Arrozales			47	25	16	13
22100	Viveros		$\geq 3$	62	28	15	10
22100	Viveros		$< 3$	75	34	19	14
22110	Viveros en secano		$\geq 3$	62	28	15	10

Código	Uso de suelo	Práctica de cultivo	Pendiente (%)	Grupo de suelo			
				A	B	C	D
22110	Viñedos en secano		< 3	75	34	19	14
22120	Viñedos en regadío		≥ 3	62	28	15	10
22120	Viñedos en regadío		< 3	75	34	19	14
22200	Frutales y plantaciones de bayas		≥ 3	80	34	19	14
22200	Frutales y plantaciones de bayas		< 3	95	42	22	15
22210	Frutales en secano		≥ 3	62	28	15	10
22210	Frutales en secano		< 3	75	34	19	14
22220	Frutales en regadío		≥ 3	80	34	19	14
22220	Frutales en regadío		< 3	95	42	22	15
22221	Citricos		≥ 3	80	34	19	14
22221	Citricos		< 3	95	42	22	15
22222	Frutales tropicales		≥ 3	80	34	19	14
22222	Frutales tropicales		< 3	95	42	22	15
22223	Otros frutales en regadío		≥ 3	80	34	19	14
22223	Otros frutales en regadío		< 3	95	42	22	15
22300	Olivares		≥ 3	62	28	15	10
22300	Olivares		< 3	75	34	19	14
22310	Olivares en secano		≥ 3	62	28	15	10
22310	Olivares en secano		< 3	75	34	19	14
22320	Olivares en regadío		≥ 3	62	28	15	10
22320	Olivares en regadío		< 3	75	34	19	14
23100	Prados y praderas		≥ 3	70	33	18	13
23100	Prados y praderas		< 3	120	55	22	14
23100	Pastos en tierras abandonadas		≥ 3	24	14	8	6
23100	Pastos en tierras abandonadas		< 3	58	25	12	7
23100	Prados arbolados		≥ 3	70	33	18	13
23100	Prados arbolados		< 3	120	55	22	14
24110	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en secano		≥ 3	39	20	12	8
24110	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en secano		< 3	66	29	15	10
24120	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en regadío		≥ 3	75	33	18	14
24120	Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes en regadío		< 3	106	48	22	15
24211	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en secano	R	≥ 3	26	15	9	6
24211	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en secano	N	≥ 3	28	17	11	8
24211	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en secano	R/N	< 3	30	19	13	10
24212	Mosaico de cultivos permanentes en secano		≥ 3	62	28	15	10
24212	Mosaico de cultivos permanentes en secano		< 3	75	34	19	14
24213	Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes en secano		≥ 3	39	20	12	8
24213	Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes en secano		< 3	66	29	15	10

Código	Uso de suelo	Práctica de cultivo	Pendiente (%)	Grupo de suelo			
				A	B	C	D
24221	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en regadío	R	≥ 3	37	20	12	9
24221	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en regadío	N	≥ 3	42	23	14	11
24221	Mosaico de cultivos anuales con prados o praderas en regadío	R/N	< 3	47	25	16	13
24222	Mosaico de cultivos permanentes en regadío		≥ 3	80	34	19	14
24222	Mosaico de cultivos permanentes en regadío		< 3	95	42	22	15
24223	Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes en regadío		≥ 3	75	33	18	14
24223	Mosaico de cultivos anuales con cultivos permanentes en regadío		< 3	106	48	22	15
24230	Mosaico de cultivos mixtos en secano y regadío	R	≥ 3	31	17	10	8
24230	Mosaico de cultivos mixtos en secano y regadío	N	≥ 3	34	20	13	10
24230	Mosaico de cultivos mixtos en secano y regadío	R/N	< 3	37	22	14	11
24310	Mosaico de cultivos agrícolas en secano con espacios significativos de vegetación natural y seminatural	R	≥ 3	26	15	9	6
24310	Mosaico de cultivos agrícolas en secano con espacios significativos de vegetación natural y seminatural	N	≥ 3	28	17	11	8
24310	Mosaico de cultivos agrícolas en secano con espacios significativos de vegetación natural y seminatural	R/N	< 3	30	19	13	10
24320	Mosaico de cultivos agrícolas en regadío con espacios significativos de vegetación natural y seminatural	R	≥ 3	37	20	12	9
24320	Mosaico de cultivos agrícolas en regadío con espacios significativos de vegetación natural y seminatural	N	≥ 3	42	23	14	11
24320	Mosaico de cultivos agrícolas en regadío con espacios significativos de vegetación natural y seminatural	R/N	< 3	47	25	16	13
24330	Mosaico de prados o praderas con espacios significativos de vegetación natural y seminatural		≥ 3	70	33	18	13
24330	Mosaico de prados o praderas con espacios significativos de vegetación natural y seminatural		< 3	120	55	22	14
24400	Sistemas agroforestales		≥ 3	53	23	14	9
24400	Sistemas agroforestales		< 3	80	35	17	10
24410	Pasizales, prados o praderas con arbolado adherado		≥ 3	53	23	14	9
24410	Pasizales, prados o praderas con arbolado adherado		< 3	80	35	17	10
24420	Cultivos agrícolas con arbolado adherado		≥ 3	53	23	14	9
24420	Cultivos agrícolas con arbolado adherado		< 3	80	35	17	10
31100	Frondosas			90	47	31	23
31110	Perennifolias			90	47	31	23
31120	Caducifolias y marcescentes			90	47	31	23
31130	Otras frondosas de plantación		≥ 3	79	34	19	14
31130	Otras frondosas de plantación		< 3	94	42	22	15
31140	Mezclas de frondosas			90	47	31	23

Código	Uso de suelo	Práctica de cultivo	Pendiente (%)	Grupo de suelo			
				A	B	C	D
31150	Bosques de ribera			76	34	22	16
31160	Laurisilva macaronésica			90	47	31	23
31200	Bosques de coníferas			90	47	31	23
31210	Bosques de coníferas de hojas aciculares			90	47	31	23
31220	Bosques de coníferas de hojas tipo cupresáceo			90	47	31	23
31300	Bosque mixto			90	47	31	23
32100	Pastizales naturales		≥ 3	53	23	14	9
32100	Pastizales naturales		< 3	80	35	17	10
32100	Prados alpinos		≥ 3	70	33	18	13
32100	Prados alpinos		< 3	120	55	22	14
32100	Formaciones herbáceas de llanuras aluviales inundadas y llanuras costeras, tierras bajas		≥ 3	70	33	18	13
32100	Formaciones herbáceas de llanuras aluviales inundadas y llanuras costeras, tierras bajas		< 3	120	55	22	14
32110	Pastizales supraforestales		≥ 3	70	33	18	13
32110	Pastizales supraforestales		< 3	120	55	22	14
32111	Pastizales supraforestales templado-oceánicos, pirenaicos y orocantábricos		≥ 3	70	33	18	13
32111	Pastizales supraforestales templado-oceánicos, pirenaicos y orocantábricos		< 3	120	55	22	14
32112	Pastizales supraforestales mediterráneos		≥ 3	24	14	8	6
32112	Pastizales supraforestales mediterráneos		< 3	57	25	12	7
32121	Otros pastizales templado oceánicos		≥ 3	53	23	14	9
32121	Otros pastizales templado oceánicos		< 3	79	35	17	10
32122	Otros pastizales mediterráneos		≥ 3	24	14	8	6
32122	Otros pastizales mediterráneos		< 3	57	25	12	7
32200	Landas y matorrales mesófilas			76	34	22	16
32210	Landas y matorrales en climas húmedos. Vegetación mesófila			76	34	22	16
32220	Fayal-brezal macaronésico			60	24	14	10
32300	Vegetación esclerófila			60	24	14	10
32311	Grandes formaciones de matorral denso o medianamente denso			75	34	22	16
32312	Matorrales subarborescentes o arbustivos muy poco densos			60	24	14	10
32320	Matorrales xerófilos macaronésicos			40	17	8	5
32400	Matorral boscoso de transición			75	34	22	16
32400	Cierras de bosques			40	17	8	5
32400	Zonas empantanadas fijas o en transición			60	24	14	10
32410	Matorral boscoso de frondosas			75	34	22	16
32420	Matorral boscoso de coníferas			75	34	22	16
32430	Matorral boscoso de bosque mixto			75	34	22	16
33110	Playas y dunas			152	152	152	152
33120	Rambias con poca o sin vegetación			15	8	6	4
33200	Roquedo			2	2	2	2
33210	Rocas desnudas con fuerte pendiente			2	2	2	2

Código	Uso de suelo	Práctica de cultivo	Pendiente (%)	Grupo de suelo			
				A	B	C	D
33220	Afloramientos rocosos y canchales		≥ 3	2	2	2	2
33220	Afloramientos rocosos y canchales		< 3	4	4	4	4
33230	Coladas lávicas cuaternarias		≥ 3	3	3	3	3
33230	Coladas lávicas cuaternarias		< 3	5	5	5	5
33300	Espacios con vegetación escasa		≥ 3	24	14	8	6
33300	Espacios con vegetación escasa		< 3	58	25	12	7
33310	Xeroestepa subdesértica		≥ 3	24	14	8	6
33310	Xeroestepa subdesértica		< 3	58	25	12	7
33320	Cárcavas y/o zonas en proceso de erosión			15	8	6	4
33330	Espacios orófilos altitudinales con vegetación escasa		≥ 3	24	14	8	6
33330	Espacios orófilos altitudinales con vegetación escasa		< 3	58	25	12	7
33400	Zonas quemadas			15	8	6	4
33500	Glaciares y nieves permanentes			0	0	0	0
41100	Humedales y zonas pantanosas			2	2	2	2
41200	Turberas y prados turbosos			248	99	25	16
42100	Marismas			2	2	2	2
42200	Salinas			5	5	5	5
42300	Zonas llanas intermareales			0	0	0	0
51100	Cursos de agua			0	0	0	0
51110	Ríos y cauces naturales			0	0	0	0
51120	Canales artificiales			0	0	0	0
51210	Lagos y lagunas			0	0	0	0
51210	Lagos y lagunas (almacenamiento de agua)			0	0	0	0
51120	Embalses			0	0	0	0
51120	Embalses (almacenamiento de agua)			0	0	0	0
52100	Lagunas costeras			0	0	0	0
52200	Estuarios			0	0	0	0
52300	Mares y océanos			0	0	0	0

**Notas:**  
 La codificación de los tipos del suelo corresponde al proyecto europeo Corine Land Cover 2000  
 N: Denota cultivo según las curvas de nivel.  
 R: Denota cultivo según la línea de máxima pendiente.

El coeficiente corrector del umbral de escorrentía  $\beta$  se obtiene a partir de la figura y la tabla siguiente:



*Figura 80.* Regiones consideradas para la caracterización del coeficiente corrector del umbral de escorrentía. Fuente: Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero

Tabla 12. Coeficiente corrector del umbral de escorrentía: valores correspondientes a calibraciones regionales.

Fuente: Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero

Región	Valor medio, $\beta_m$	Desviación respecto al valor medio para el intervalo de confianza del			Período de retorno $T$ (años), $F_T$				
		50% $\Delta_{50}$	67% $\Delta_{67}$	90% $\Delta_{90}$	2	5	25	100	500
11	0,90	0,20	0,30	0,50	0,80	0,90	1,13	1,34	1,59
12	0,95	0,20	0,25	0,45	0,75	0,90	1,14	1,33	1,56
13	0,60	0,15	0,25	0,40	0,74	0,90	1,15	1,34	1,55
21	1,20	0,20	0,35	0,55	0,74	0,88	1,18	1,47	1,90
22	1,50	0,15	0,20	0,35	0,74	0,90	1,12	1,27	1,37
23	0,70	0,20	0,35	0,55	0,77	0,89	1,15	1,44	1,82
24	1,10	0,15	0,20	0,35	0,76	0,90	1,14	1,36	1,63
25	0,60	0,15	0,20	0,35	0,82	0,92	1,12	1,29	1,48
31	0,90	0,20	0,30	0,50	0,87	0,93	1,10	1,26	1,45
32	1,00	0,20	0,30	0,50	0,82	0,91	1,12	1,31	1,54
33	2,15	0,25	0,40	0,65	0,70	0,88	1,15	1,38	1,62
41	1,20	0,20	0,25	0,45	0,91	0,96	1,00	1,00	1,00
42	2,25	0,20	0,35	0,55	0,67	0,86	1,18	1,46	1,78
511	2,15	0,10	0,15	0,20	0,81	0,91	1,12	1,30	1,50
512	0,70	0,20	0,30	0,50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
52	0,95	0,20	0,25	0,45	0,89	0,94	1,09	1,22	1,36
53	2,10	0,25	0,35	0,60	0,68	0,87	1,16	1,38	1,56
61	2,00	0,25	0,35	0,60	0,77	0,91	1,10	1,18	1,17
71	1,20	0,15	0,20	0,35	0,82	0,94	1,00	1,00	1,00
72	2,10	0,30	0,45	0,70	0,67	0,86	1,00	-	-
81	1,30	0,25	0,35	0,60	0,76	0,90	1,14	1,34	1,58
821	1,30	0,35	0,50	0,85	0,82	0,91	1,07	-	-
822	2,40	0,25	0,35	0,60	0,70	0,86	1,16	-	-
83	2,30	0,15	0,25	0,40	0,63	0,85	1,21	1,51	1,85
91	0,85	0,15	0,25	0,40	0,72	0,88	1,19	1,52	1,95
92	1,45	0,30	0,40	0,70	0,82	0,94	1,00	1,00	1,00
93	1,70	0,20	0,25	0,45	0,77	0,92	1,00	1,00	1,00
941	1,80	0,15	0,20	0,35	0,68	0,87	1,17	1,39	1,64
942	1,20	0,15	0,25	0,40	0,77	0,91	1,11	1,24	1,32
951	1,70	0,30	0,40	0,70	0,72	0,88	1,17	1,43	1,78
952	0,85	0,15	0,25	0,40	0,77	0,90	1,13	1,32	1,54
101	1,75	0,30	0,40	0,70	0,76	0,90	1,12	1,27	1,39
1021	1,45	0,15	0,25	0,40	0,79	0,93	1,00	1,00	1,00
1022	2,05	0,15	0,25	0,40	0,79	0,93	1,00	1,00	1,00

En Ceuta y Melilla se adoptarán valores similares a los de la región 61.  
 Pueden obtenerse valores intermedios por interpolación adecuada a partir de los datos de esta tabla  
 En todos los casos  $F_{10}=1,00$

El coeficiente  $K_t$  corrige la falta de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación:

$$K_t = 1 + \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14}$$

Donde:

- $K_t$  (adimensional) es el coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación
- $t_c$  (horas) es el tiempo de concentración de la cuenca

Así pues, siguiendo esta metodología y teniendo en cuenta las características de la cuenca hidrográfica se obtiene:

- Precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno 2 años:

$$P(d)_2 = 66,1 \text{ mm/día}$$

- Factor reductor de la precipitación por área de cuenca:

$$\text{Como } A > 1 \text{ km}^2, \text{ entonces: } K_A = 1 - \frac{\log_{10} \cdot A}{15} = 0,89$$

- Precipitación diaria correspondiente al periodo de retorno 2 años con reducción areal:

$$P(d)_T^* = P(d)_T \cdot K_A = 61,1 \cdot 0,89 = 58,9 \text{ mm/día}$$

- Índice de torrencialidad:

$$\alpha = 11$$

- Longitud del cauce:

$$L_C = 10,13 \text{ km}$$

- Pendiente media del cauce:

$$J_C = 2,5 \text{ m/m}$$

- Tiempo de concentración:

$$t_c = 0,3 \cdot L_c^{0,76} \cdot J_c^{-0,19} = 0,3 \cdot 10,13^{0,76} \cdot 2,5^{-0,19} = 1,5 \text{ h}$$

- Intensidad de precipitación:

$$I(t_c)_T = \frac{P(d)_T^*}{24} \cdot \alpha \frac{28^{0,1} - t_c^{0,1}}{28^{0,1} - 1} = \frac{58,9}{24} \cdot 11 \frac{28^{0,1} - 1,5^{0,1}}{28^{0,1} - 1} = 21,32 \text{ mm/h}$$

- Valor inicial del umbral de escorrentía. Se ha obtenido promediando los valores de la tabla 10 y 11 seleccionados según la información de la cuenca:

$$P_0^i = 10,1 \text{ mm}$$

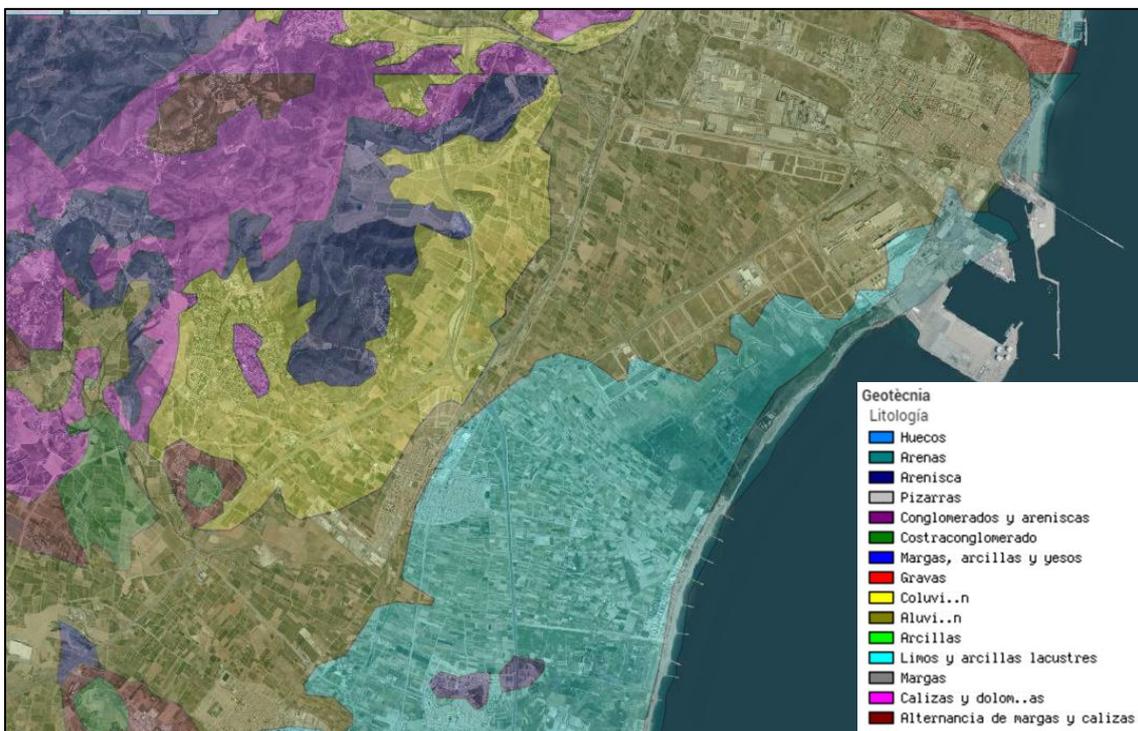


Figura 81. Litología de la zona de estudio. Fuente: Institut Cartogràfic Valencià

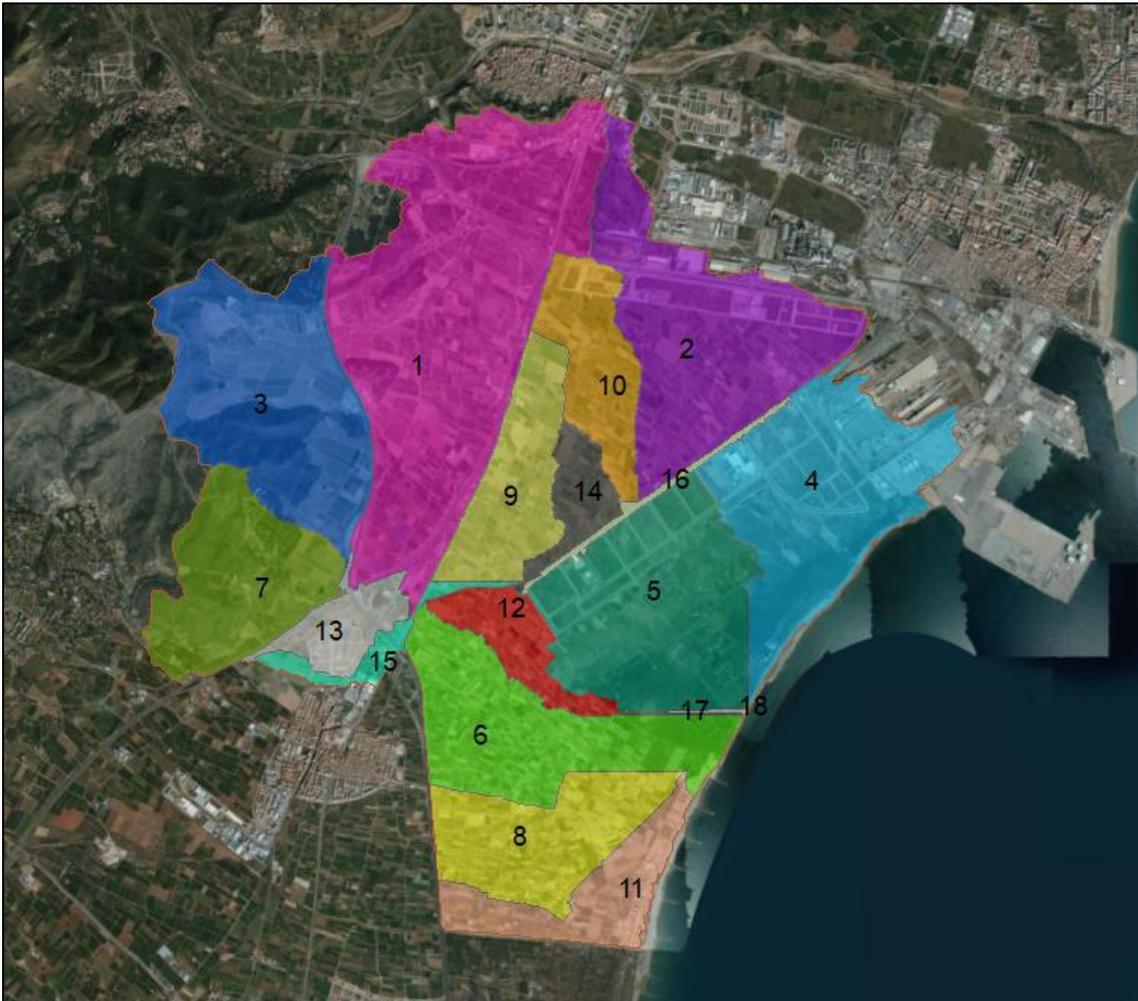


Figura 82. Delimitación de las subcuencas.

- Coeficiente corrector del umbral de escorrentía. Se ha obtenido de la tabla 12, teniendo en cuenta que el marjal se localiza en la región 822.

$$\beta = 2,4$$

- Umbral de escorrentía:

$$P_0 = P_0^i \cdot \beta = 10,1 \cdot 2,4 = 24,3 \text{ mm}$$

- Coeficiente de escorrentía:

Como  $P_d \cdot K_A > P_0$ , entonces:

$$C = \frac{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} - 1\right) \cdot \left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 23\right)}{\left(\frac{P_d \cdot K_A}{P_0} + 11\right)^2}$$
$$= \frac{\left(\frac{66,1 \cdot 0,89}{24,3} - 1\right) \cdot \left(\frac{66,1 \cdot 0,89}{24,3} + 23\right)}{\left(\frac{66,1 \cdot 0,89}{24,3} + 11\right)^2} = 0,15$$

- Coeficiente de uniformidad en la distribución temporal de la precipitación:

$$K_t = 1 + \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14} = 1 + \frac{1,5^{1,25}}{1,5^{1,25} + 14} = 1,1$$

- Caudal máximo anual correspondiente a un período de retorno de 2 años:

$$Q_2 = \frac{I(2, t_c) \cdot C \cdot A \cdot K_t}{3,6} = \frac{21,32 \cdot 0,15 \cdot 42,48 \cdot 1,1}{3,6} = 40,8 \text{ m}^3/\text{s}$$

Como en este caso la duración del aguacero estimado es la misma que el tiempo de concentración ( $t = t_c$ ), el volumen que llega al punto de vertido es:

$$V = A \cdot I(T, t) \cdot C_e = 42.480.000 \cdot 21,32 \cdot 0,35 = 318.335 \text{ m}^3$$

Donde:

- $C_e$ : Coeficiente de escorrentía medio. En este caso 0,35
- $A$  ( $\text{m}^2$ ) es el área de la cuenca
- $I(T, t)$  (mm/h) es la intensidad de precipitación correspondiente al período de retorno considerado  $T$ , para una duración del aguacero igual al tiempo de concentración  $t_c$ , de la cuenca.

#### 8.4.2. MODELIZACIÓN CON HEC-HMS

Este programa informático ha sido desarrollado por el centro de ingeniería hidrológica de los Estados Unidos. Está diseñado para simular el proceso de precipitación-escorrimento en cuencas, y por esta razón, se ha utilizado para el cálculo del caudal y del volumen de la esorrentía.

Una vez que se ha obtenido la cuenca hidrológica de la zona de estudio (apartado 8.3) mediante ArcGis, se extraen las subcuencas según las líneas de corriente, obteniéndose la siguiente información:

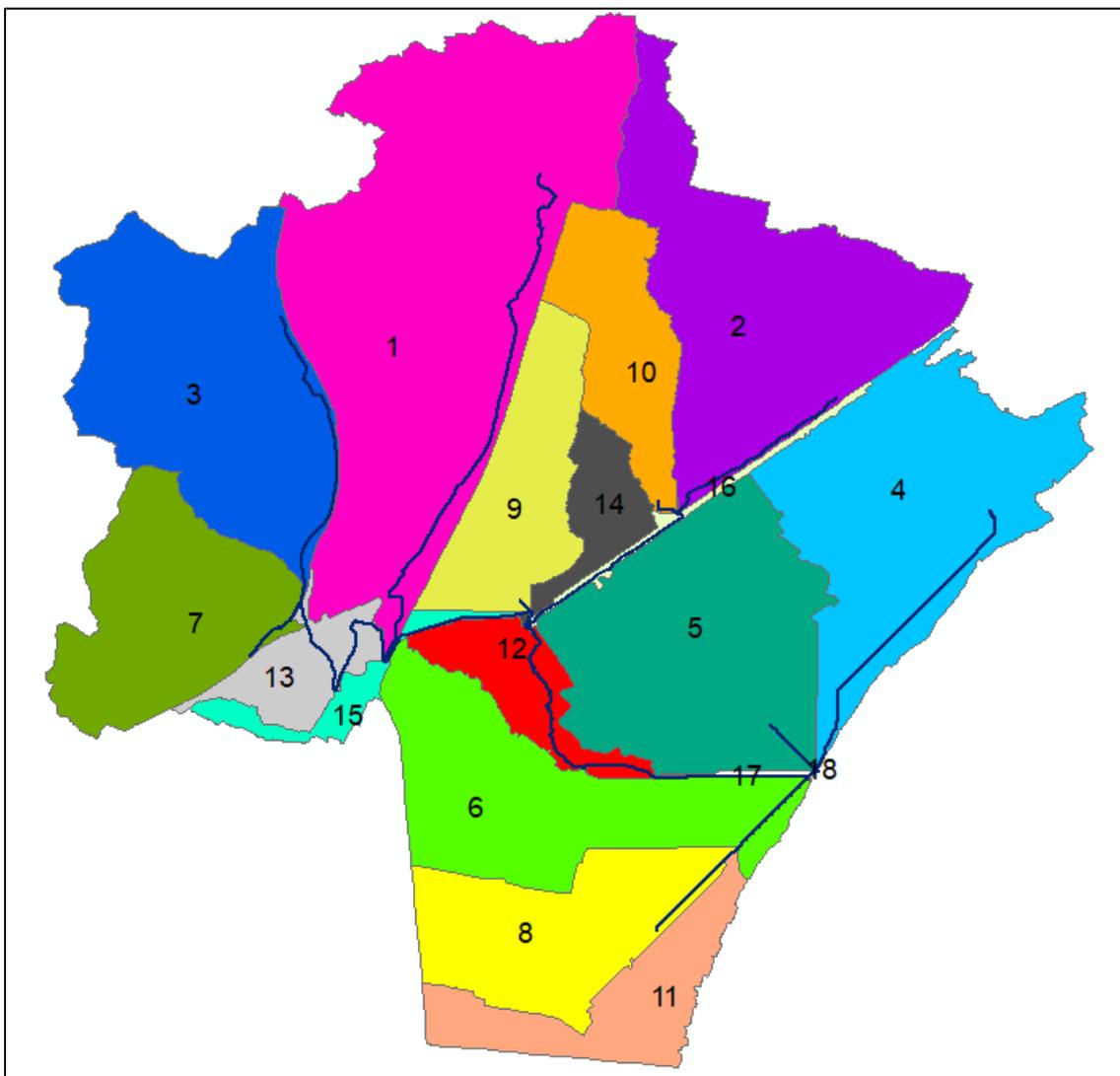


Figura 83. Generación de subcuencas con ArcGis.

Así pues, se han extraído 18 subcuencas, a partir de las cuales se diseña el modelo de la cuenca (Figura 84). Cabe destacar que al tratarse de una cuenca muy pequeña y prácticamente

llana se asume que hay propagación agregada, pero no hay necesidad de calcular la propagación de la onda de avenida.

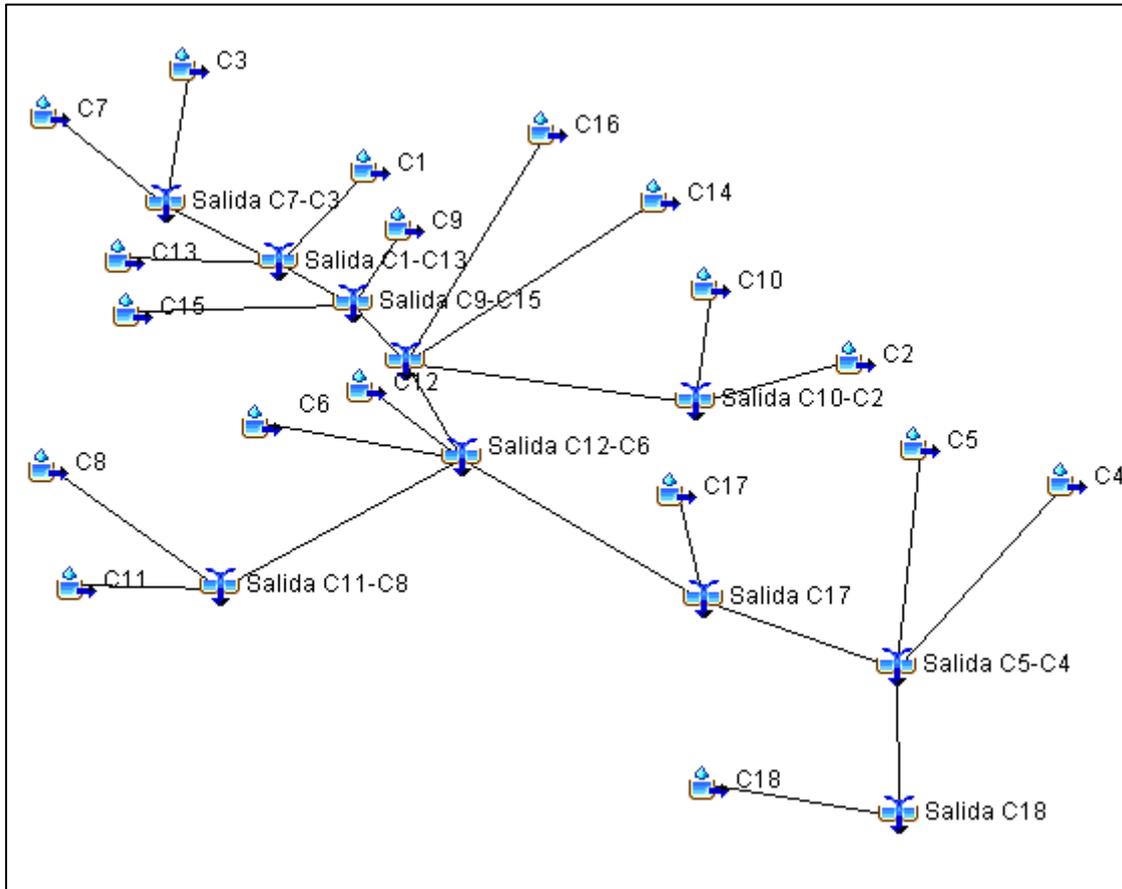


Figura 84. Esquema de la cuenca

Para poder ejecutar la modelización se deben obtener una serie de parámetros como es el área de cada una de las subcuencas, así como el parámetro del modelo de propagación agregada, el número de curva y el porcentaje de suelo impermeable (tabla 13).

Tabla 13. Características de las subcuencas

Subcuenca	Área (Km <sup>2</sup> )	Tc (h)	PA (min)	CN (mm)	Suelo impermeable (%)
1	8,5	2,87	86	11,7	5,4
2	4,5	1,48	44,3	11	12,7
3	4,5	1,45	43,4	14,1	0,4
4	4,3	3,39	101,8	10,5	21,9
5	4	9,58	287,3	6,3	7,3
6	3,3	1,8	54,3	12	0,7
7	2,7	0,52	15,7	11,7	5
8	2,3	1,83	54,9	14,5	0,2
9	1,9	0,3	9,2	14	2,6
10	1,6	0,28	8,4	12,6	9,2
11	1,5	0,21	6,3	11,6	14,1
12	1	2,38	71,4	14,2	0,4
13	0,8	1,17	35,2	7,8	27,5
14	0,7	0,49	14,7	13,7	0,8
15	0,5	1,38	41,4	10	20,7
16	0,2	1,49	44,8	6,6	15,5
17	0,05	0,82	24,6	1	0
18	0,0002	0,03	1	1	0

El área de cada una de las subcuencas se ha calculado con la herramienta ArcGis, así como los parámetros necesarios para la obtención del parámetro del modelo de propagación agregada (PA), que es entre el 35 -60 % del tiempo de concentración ( $t_c$ ) de cada una de las subcuencas (fórmula en el apartado anterior). En este caso, se ha escogido 50% de  $t_c$ .

El porcentaje de suelo impermeable se ha estimado a partir de los datos de superficie obtenidos mediante ArcGis y las visitas de campo.

Por otro lado, para la obtención del número de la curva se ha empleado la información de la tabla 11, teniendo en cuenta la litología (figura 85) y los usos del suelo (COPUT).

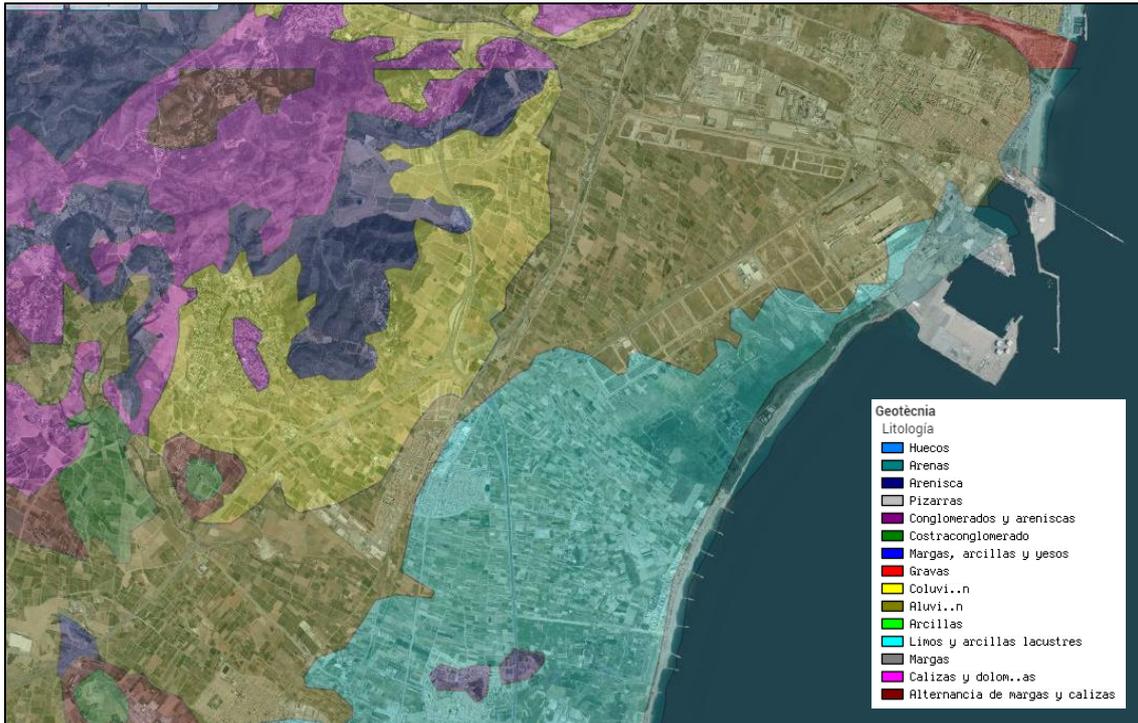


Figura 85. Litología de la zona. Fuente: Institut Cartogràfic Valencià

En este caso, siguiendo con la información disponible en la *Orden FOM/298/2016, de 15 de febrero*, al tratarse de una zona costera, el nivel freático está alto, por lo que estos terrenos se incluyen en el Grupo D: Infiltración muy lenta (tabla 10).

De esta manera, el número de la curva obtenido se recoge en la tabla siguiente:

Tabla 14. Cálculo del número de curva (CN)

SUBC	Uso de suelo	AREA (m2)	AREA (km2)	CN (mm)	CN MEDIO (mm)
1	Tejido urbano continuo	307564.3	0.3	1.0	11.7
	Zonas industriales o comerciales	59737.7	0.1	3.0	
	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	1023480.5	1.0	1.0	
	Frutales	5590266.6	5.6	14.0	
	Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural	533429.9	0.5	6.0	
	Bosques de coníferas	300852.7	0.3	23.0	
	Pastizales naturales	186423.6	0.2	10.0	
	Matorral boscoso de transición	483711.2	0.5	16.0	
2	Zonas industriales o comerciales	553549.1	0.6	3.0	11.0
	Zonas en construcción	934006.4	0.9	6.0	
	Frutales	3035009.5	3.0	14.0	
3	Tejido urbano discontinuo	29607.9	0.0	6.0	14.1
	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	33443.2	0.0	1.0	
	Frutales	2362410.6	2.4	14.0	
	Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural	95038.4	0.1	6.0	
	Bosques de coníferas	744279.8	0.7	23.0	
	Pastizales naturales	1185820.2	1.2	10.0	
4	Matorral boscoso de transición	297.3	0.0	16.0	10.5
	Zonas industriales o comerciales	1064348.7	1.1	1.0	
	Zonas portuarias	9059.7	0.0	1.0	
	Zonas en construcción	1502455.2	1.5	6.0	
	Terrenos regados permanentemente	539460.6	0.5	16.0	
	Frutales	536.5	0.0	14.0	
	Prados	176542.2	0.2	10.0	
	Playas, dunas y arenales	152350.9	0.2	152.0	
	Marismas	780761.8	0.8	2.0	
Lagunas costeras	92327.3	0.1	0.0		
5	Zonas en construcción	1501982.9	1.5	6.0	6.3
	Frutales	371762.6	0.4	14.0	
	Prados	1092015.9	1.1	10.0	
	Marismas	366461.2	0.4	2.0	
	Lagunas costeras	765855.5	0.8	0.0	
6	Tejido urbano discontinuo	52298.4	0.1	6.0	12.0
	Terrenos regados permanentemente	120205.9	0.1	13.0	
	Frutales	2499963.7	2.5	14.0	
	Pastizales naturales	245714.5	0.2	10.0	
	Lagunas costeras	348082.8	0.3	0.0	
7	Tejido urbano discontinuo	293824.7	0.3	6.0	11.3
	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	21099.1	0.0	1.0	
	Frutales	1107299.4	1.1	14.0	
	Bosques de coníferas	21.4	0.0	23.0	
	Pastizales naturales	1190301.9	1.2	10.0	
	Matorral boscoso de transición	87731.1	0.1	16.0	
8	Tejido urbano discontinuo	9064.5	0.0	6.0	14.5
	Terrenos regados permanentemente	509319.5	0.5	13.0	
	Frutales	1796411.3	1.8	15.0	
9	Pastizales naturales	33485.8	0.0	10.0	14.0
	Zonas en construcción	7509.5	0.0	6.0	
10	Frutales	1866830.1	1.9	14.0	12.6
	Zonas industriales o comerciales	213324.3	0.2	3.0	
11	Frutales	1415444.8	1.4	14.0	11.6
	Tejido urbano discontinuo	477705.7	0.5	6.0	
	Terrenos regados permanentemente	449949.8	0.4	13.0	
	Frutales	586118.6	0.6	15.0	
	Mosaico de cultivos	7.3	0.0	6.0	
12	Pastizales naturales	7530.4	0.0	10.0	14.2
	Zonas en construcción	17171.8	0.0	6.0	
	Frutales	908767.9	0.9	15.0	
	Pastizales naturales	6007.0	0.0	10.0	
13	Lagunas costeras	36750.3	0.0	0.0	7.8
	Zonas industriales o comerciales	287964.2	0.3	3.0	
	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	158576.4	0.2	1.0	
14	Frutales	402954.5	0.4	14.0	13.7
	Zonas en construcción	28195.3	0.0	6.0	
15	Frutales	684832.8	0.7	14.0	10.0
	Tejido urbano continuo	325.9	0.0	1.0	
	Zonas industriales o comerciales	124967.5	0.1	3.0	
	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	36990.1	0.0	1.0	
16	Frutales	297036.0	0.3	14.0	6.6
	Zona en construcción	205536.9	0.2	6.0	
17	Frutales	16241.4	0.0	14.0	1.0
	Lagunas costeras	48268.7	0.0	1.0	
18	Lagunas costeras	228.7	0.0	1.0	1.0

Tras completar los datos de cada una de las subcuencas se ejecuta el modelo, obteniéndose el caudal y el volumen de escorrentía generado en los diferentes puntos de la cuenca:

Tabla 15. Resultados generación de escorrentía HEC-HMS

Elemento hidrológico	Área de drenaje (km <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Hora de descarga	Volumen (1000 m <sup>3</sup> )
C7	2.7	7.1	01ene2007, 00:55	19.1
Salida C7-C3	7.2	7.4	01ene2007, 00:55	21.6
C13	0.8	7.6	01ene2007, 01:17	31.1
Salida C1-C13	16.5	15.3	01ene2007, 01:18	118
C9	1.9	3.2	01ene2007, 00:49	7
C15	0.5	3.3	01ene2007, 01:23	14.6
Salida C9-C15	18.9	19.4	01ene2007, 01:18	139.6
C2	4.5	17.2	01ene2007, 01:27	80.8
C10	1.6	9.7	01ene2007, 00:48	20.8
Salida C10-C2	6.1	19.1	01ene2007, 01:23	101.6
C14	0.7	0.3	01ene2007, 00:54	0.8
C16	0.2	1.1	01ene2007, 01:27	5.2
Salida C14-C16	25.9	39.6	01ene2007, 01:22	247.2
C8	2.3	0.1	01ene2007, 01:38	0.6
C11	1.5	14.8	01ene2007, 00:46	29.9
Salida C11-C8	3.8	14.9	01ene2007, 00:46	30.5
C6	3.3	0.6	01ene2007, 01:38	3.3
C12	1	0.1	01ene2007, 01:55	0.5
Salida C12-C6	34	44.3	01ene2007, 00:49	281.5
C17	0.05	0	01ene2007, 00:00	0
Salida C17	34.05	44.3	01ene2007, 00:49	281.5
C4	4.3	15.3	01ene2007, 02:26	133.1
C5	4.1	1.8	01ene2007, 05:31	42.3
Salida C5-C4	42.45	49.5	01ene2007, 01:31	456.8
C18	0.0002	0	01ene2007, 00:00	0
Salida C18	42.4502	49.5	01ene2007, 01:31	456.8

En cada uno de los gráficos siguientes se muestra el hidrograma generado en cada una de las subcuencas y en sus confluencias, generados mediante HEC-HMS.

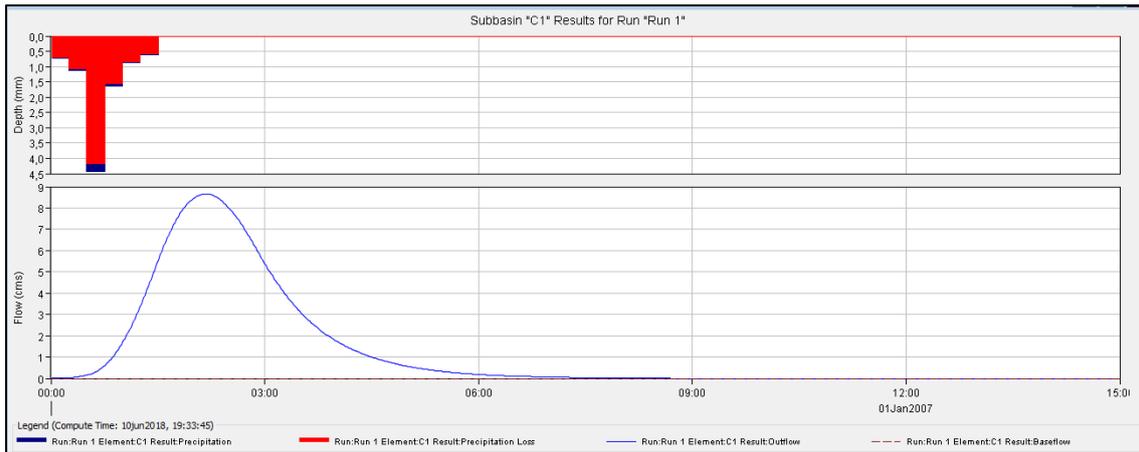


Figura 86. Gráfica de la subcuena 1

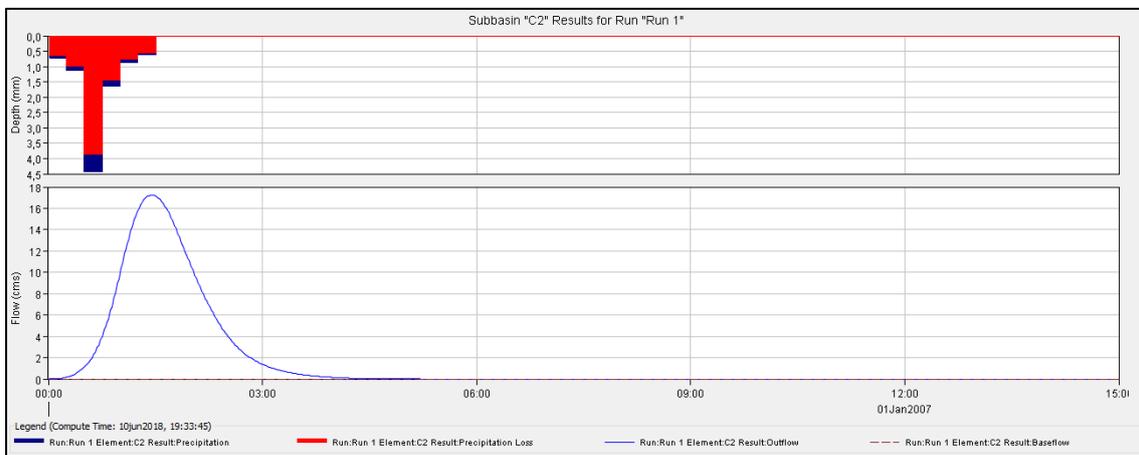


Figura 87. Gráfica de la subcuena 2

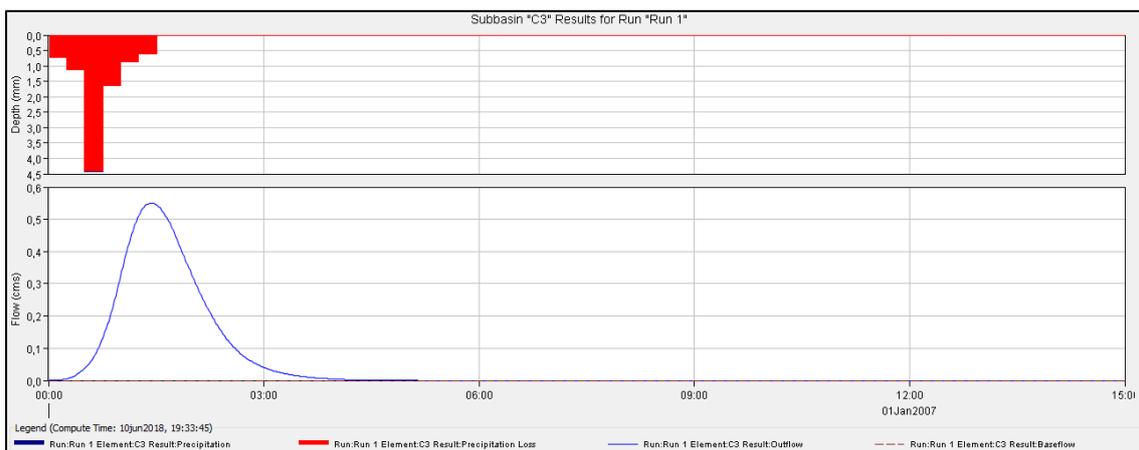


Figura 88. Gráfica de la subcuena 3

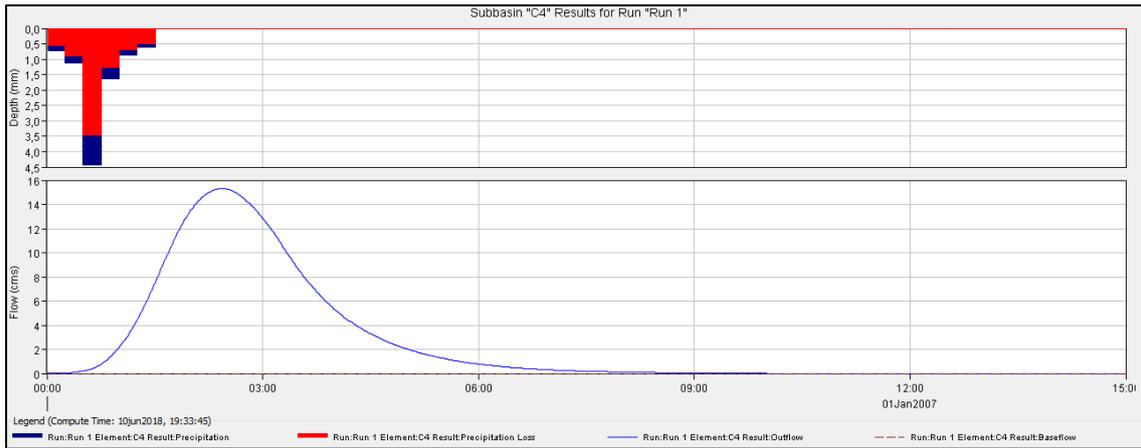


Figura 89. Gráfica de la subcuenca 4

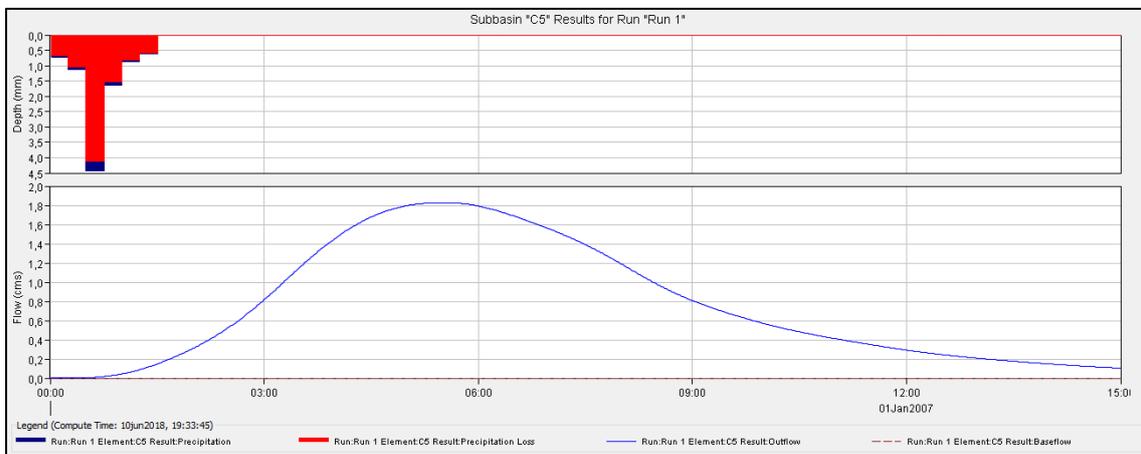


Figura 90. Gráfica de la subcuenca 5

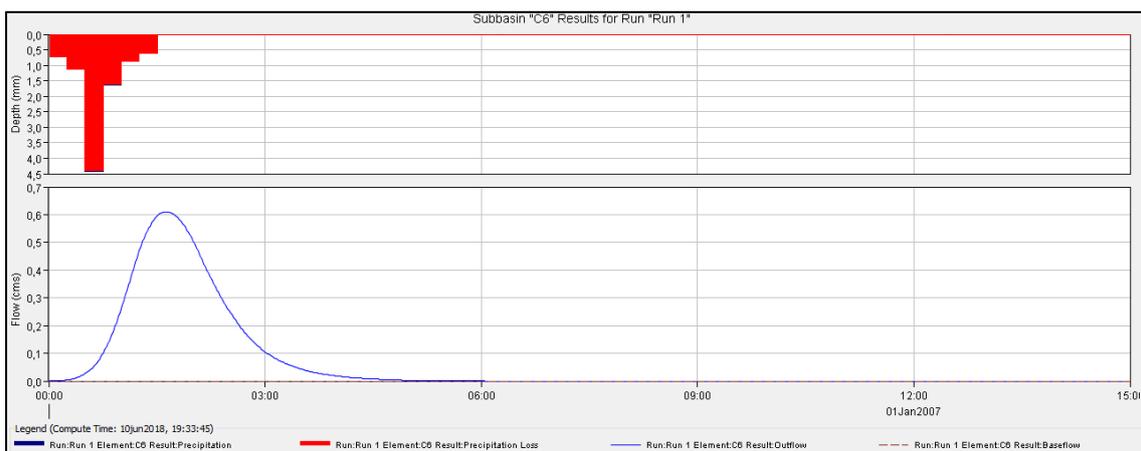


Figura 91. Gráfica de la subcuenca 6

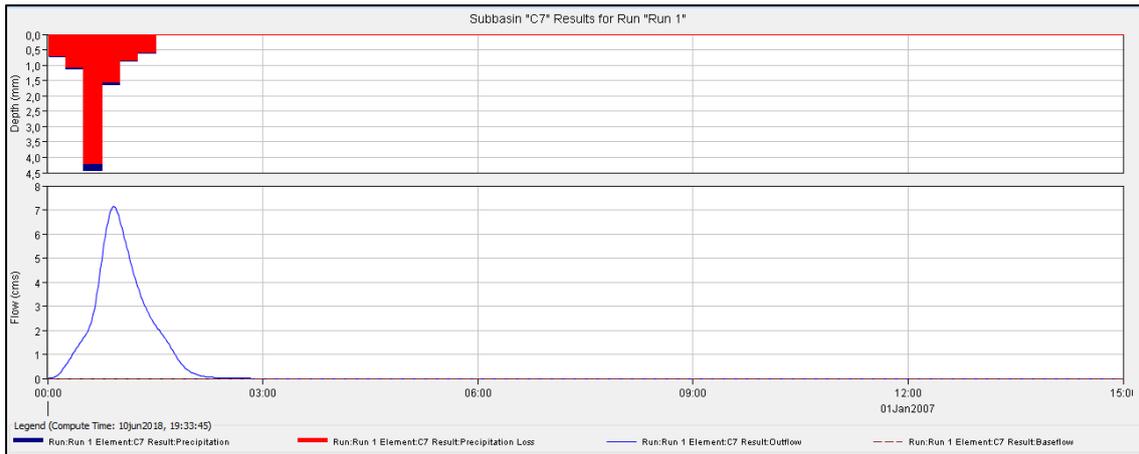


Figura 92. Gráfica de la subcuenca 7

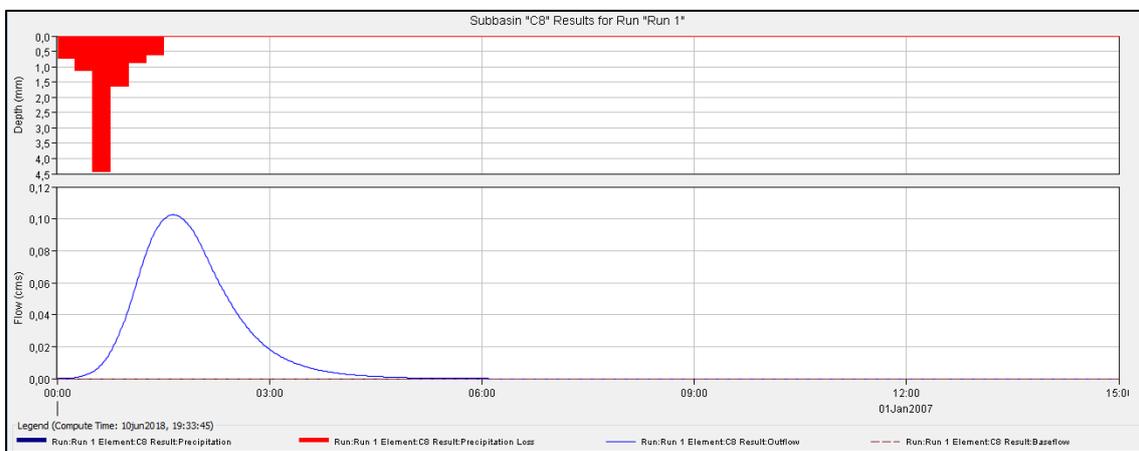


Figura 93. Gráfica de la subcuenca 8

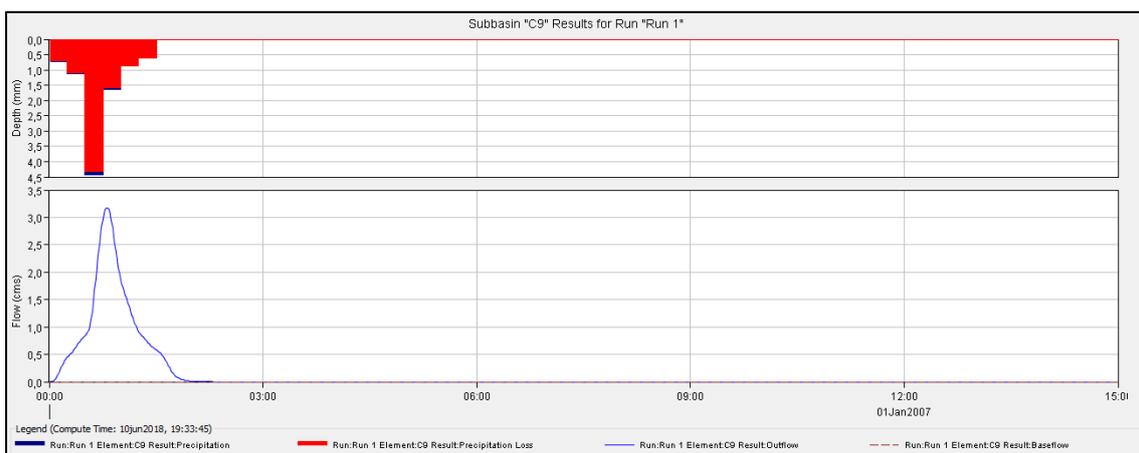


Figura 94. Gráfica de la subcuenca 9

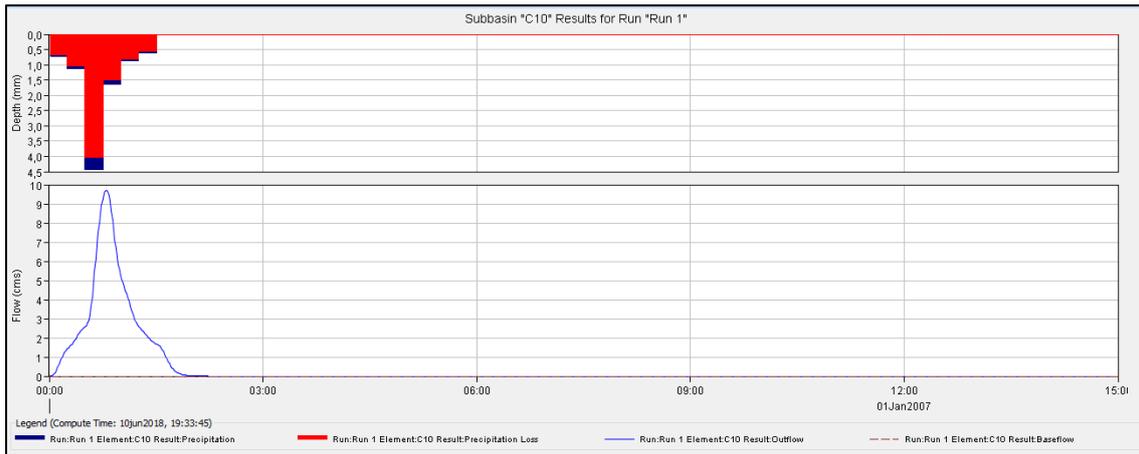


Figura 95. Gráfica de la subcuenca 10

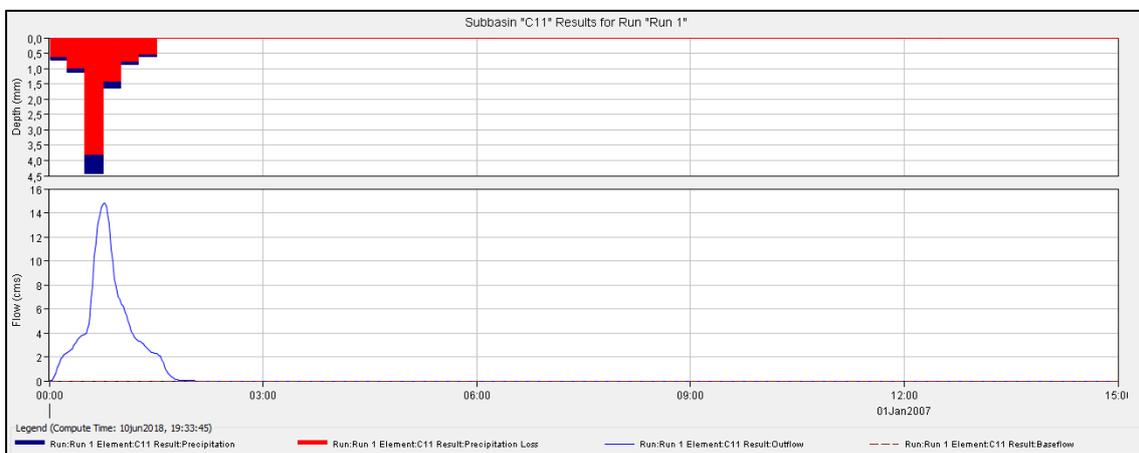


Figura 96. Gráfica de la subcuenca 11

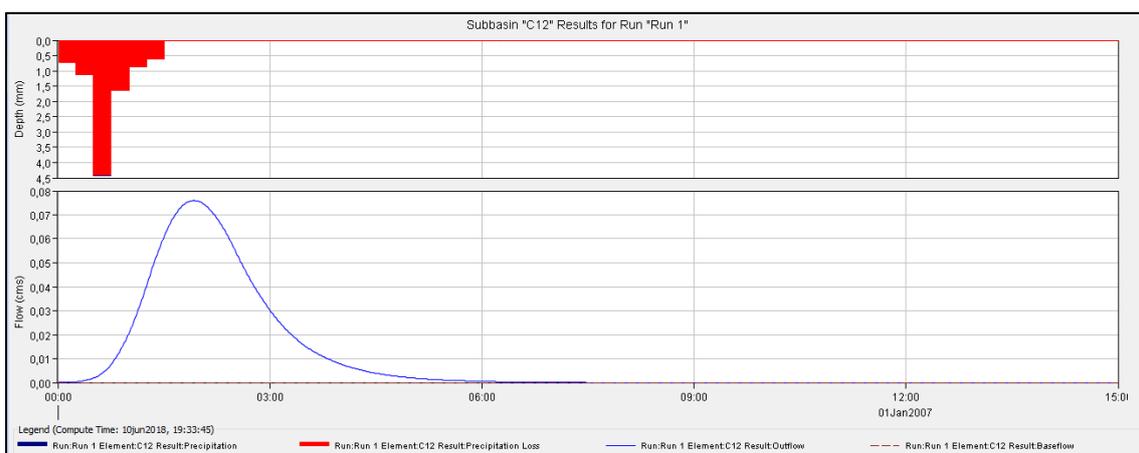


Figura 97. Gráfica de la subcuenca 12

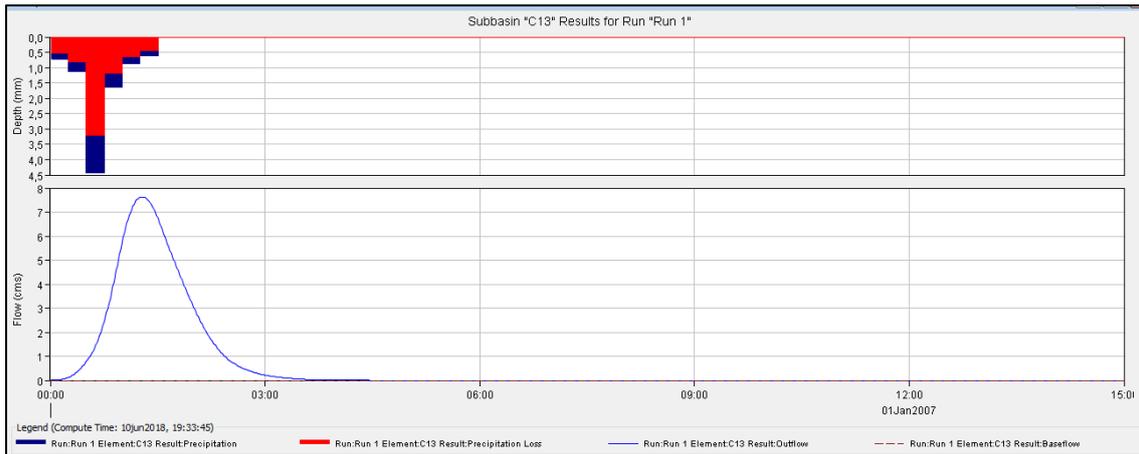


Figura 98. Gráfica de la subcuenca 13

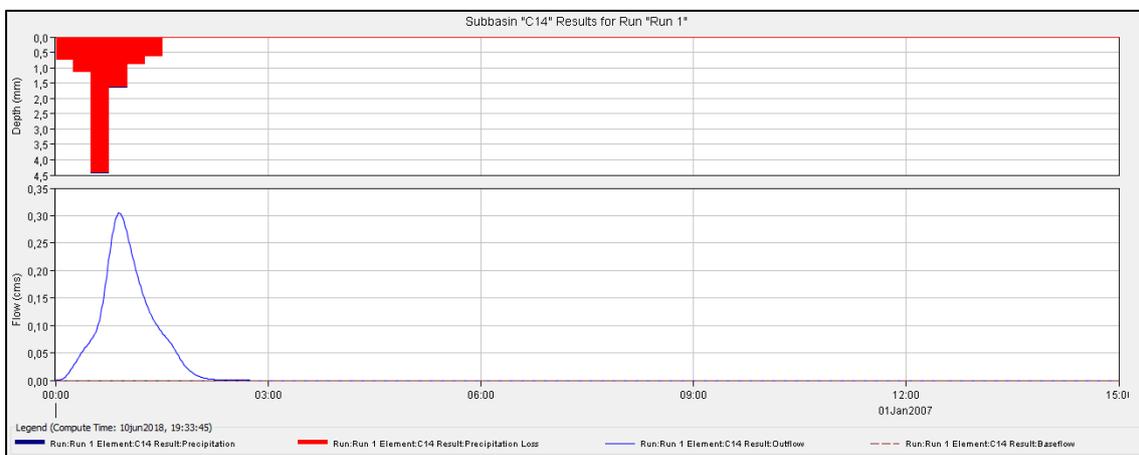


Figura 99. Gráfica de la subcuenca 14

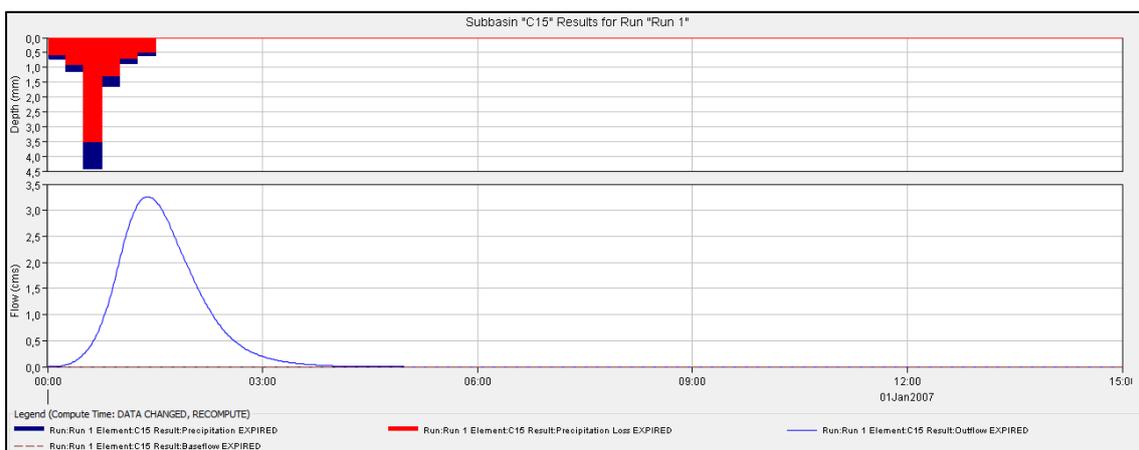


Figura 100. Gráfica de la subcuenca 15

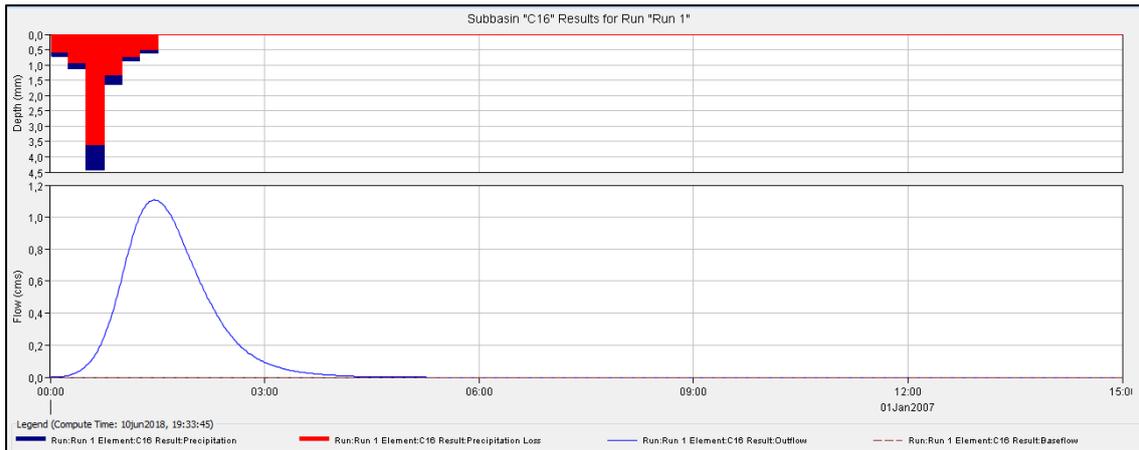


Figura 101. Gráfica de la subcuenca 16

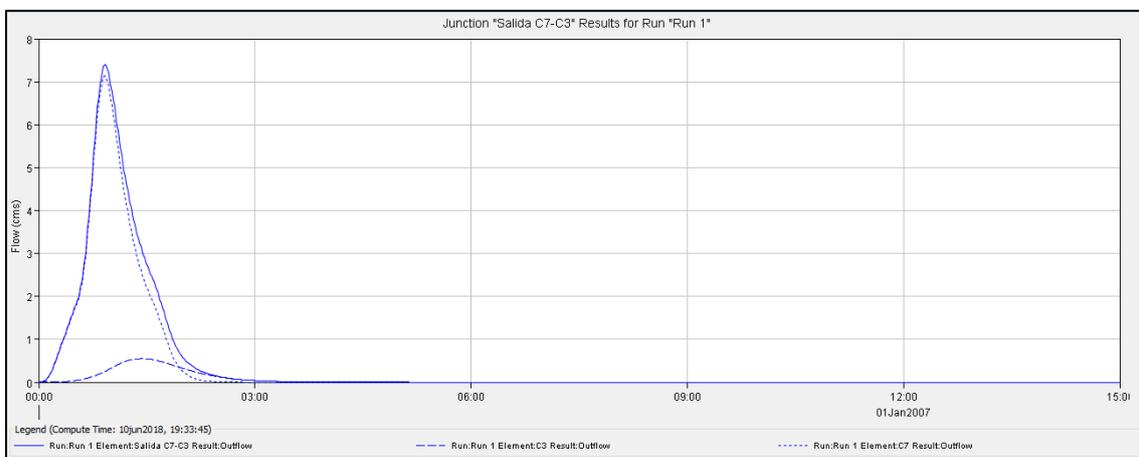


Figura 102. Gráfico del hidrograma de la salida C7-C3

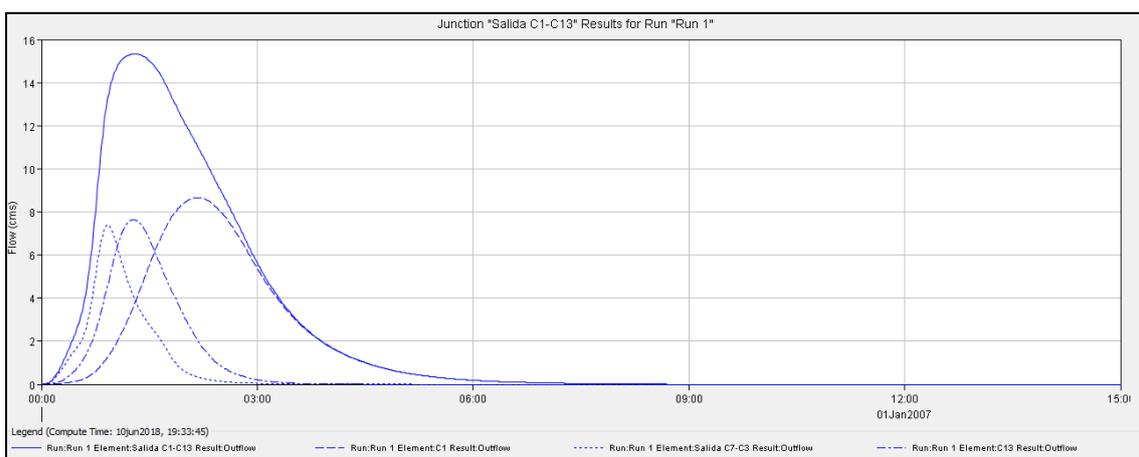


Figura 103. Gráfico del hidrograma de la salida C1-C13

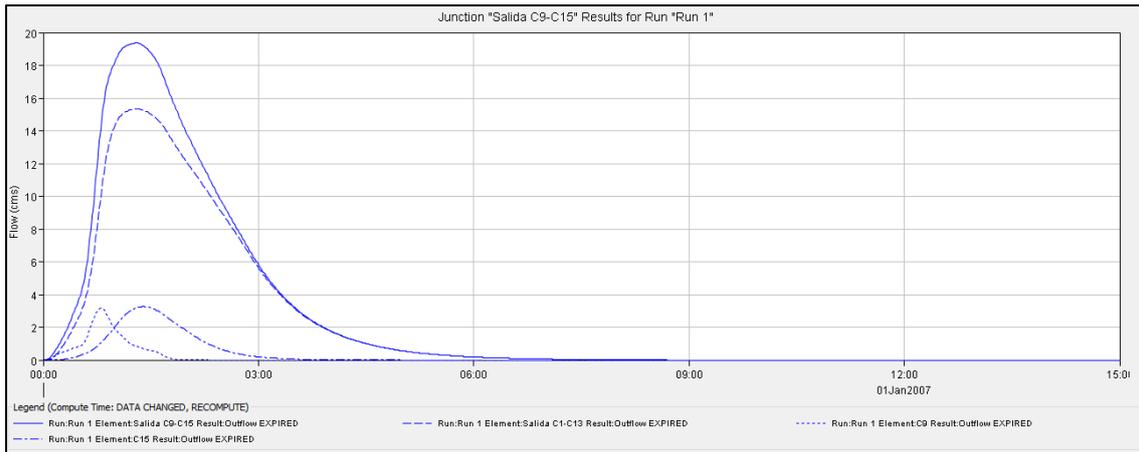


Figura 104. Gráfico del hidrograma de la salida C9-C15

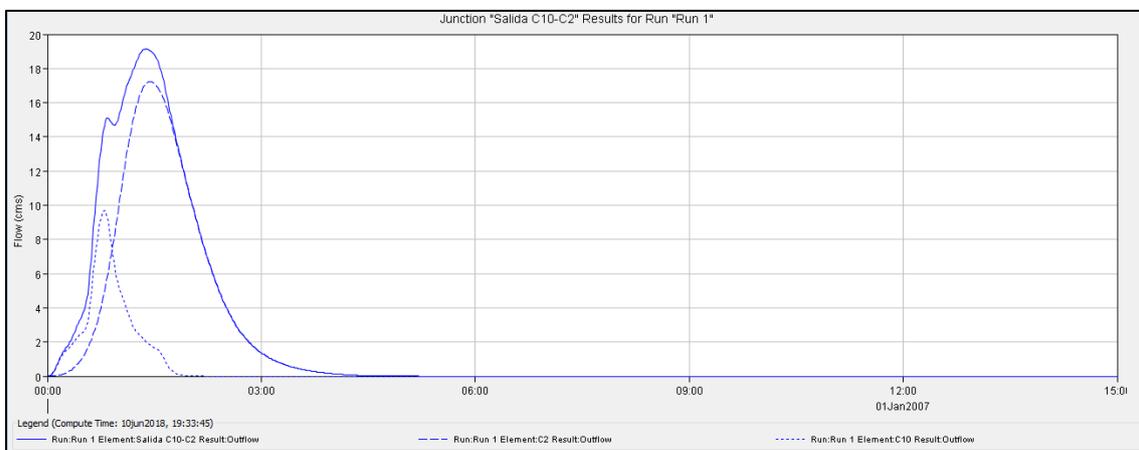


Figura 105. Gráfico del hidrograma de la salida C10-C2

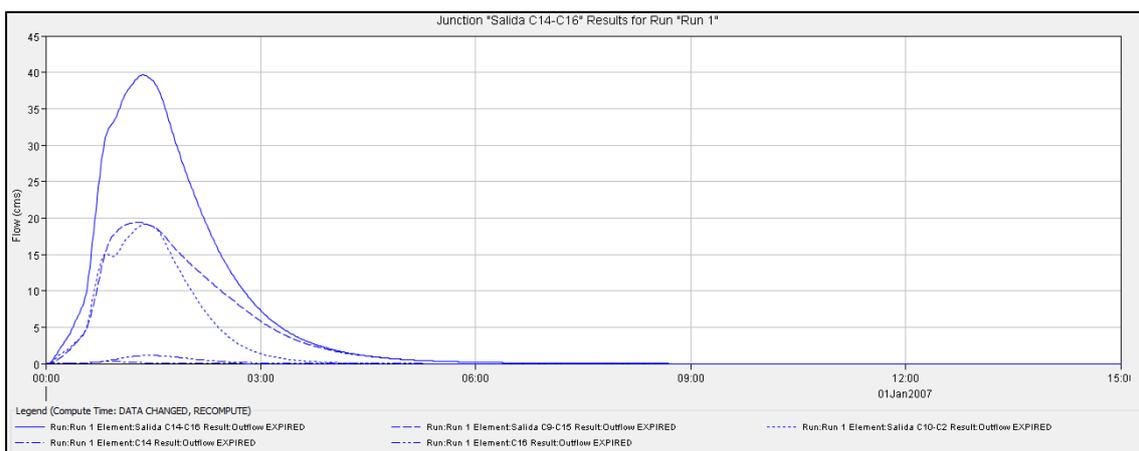


Figura 106. Gráfico del hidrograma de la salida C14-C16

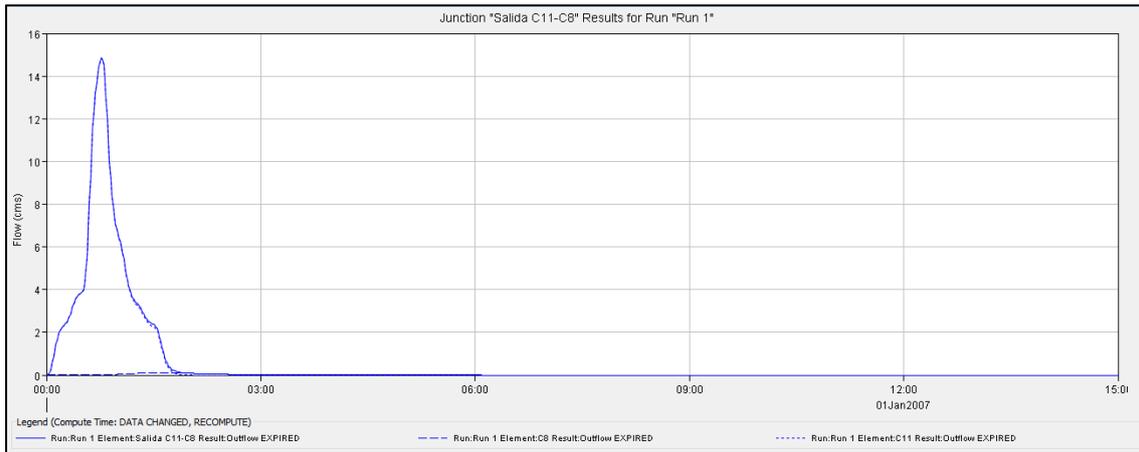


Figura 107. Gráfico del hidrograma de la salida C11-C6

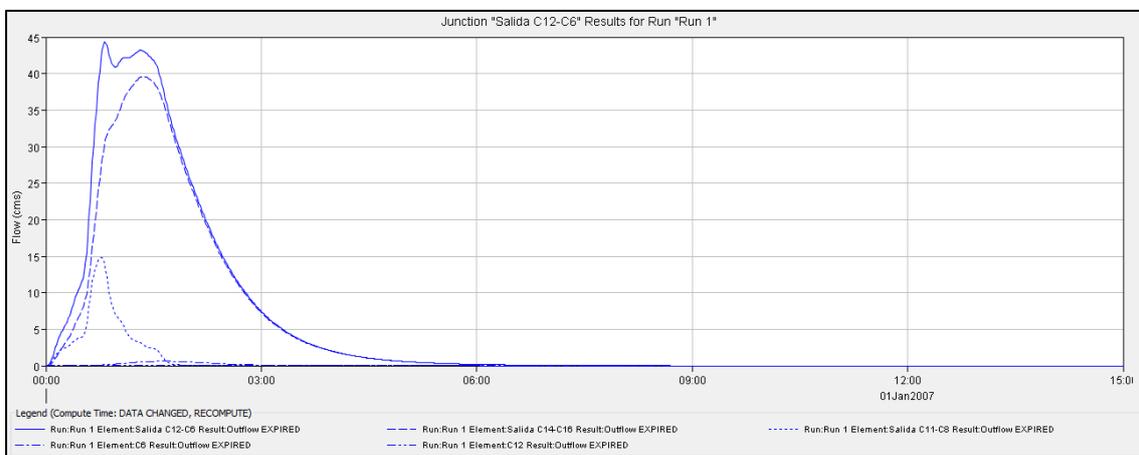


Figura 108. Gráfico del hidrograma de la salida C12-C6

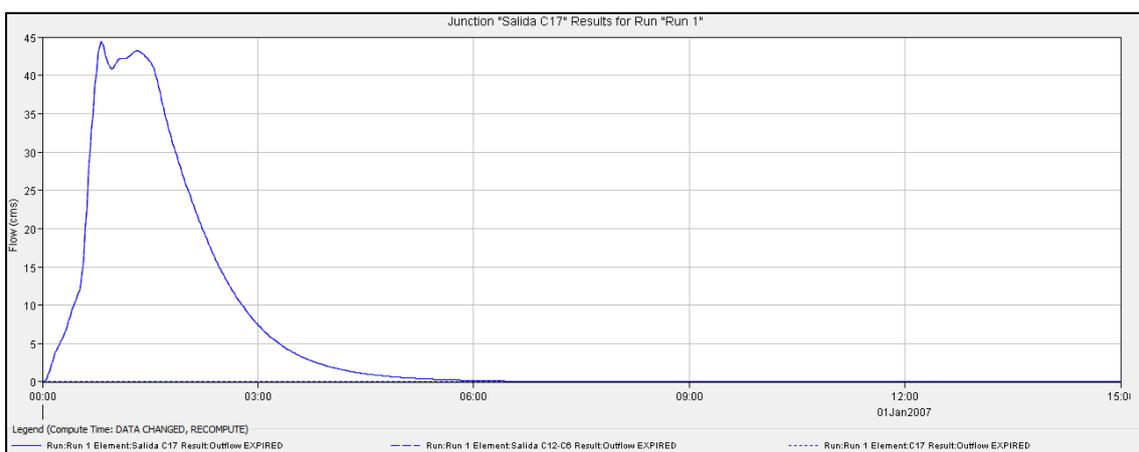


Figura 109. Gráfico del hidrograma de la salida C7-C3

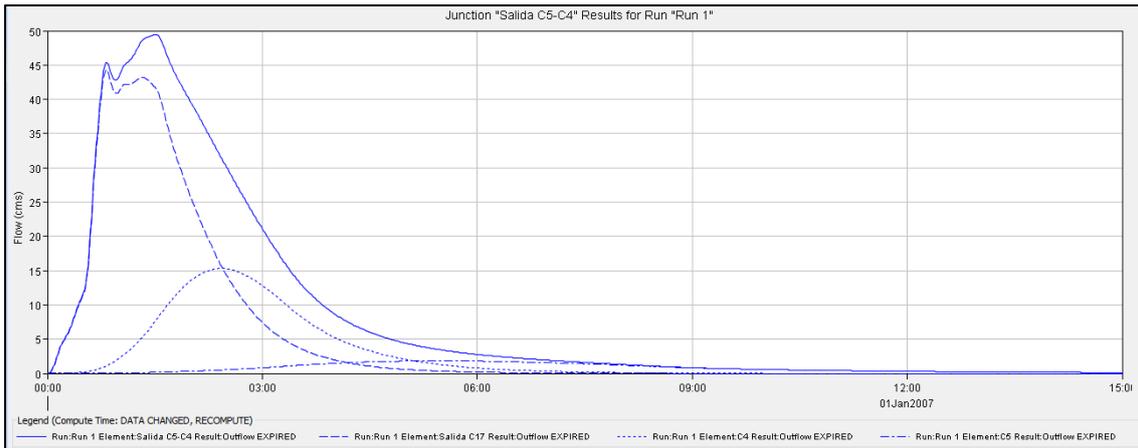


Figura 110. Gráfico del hidrograma de la salida C5-C4

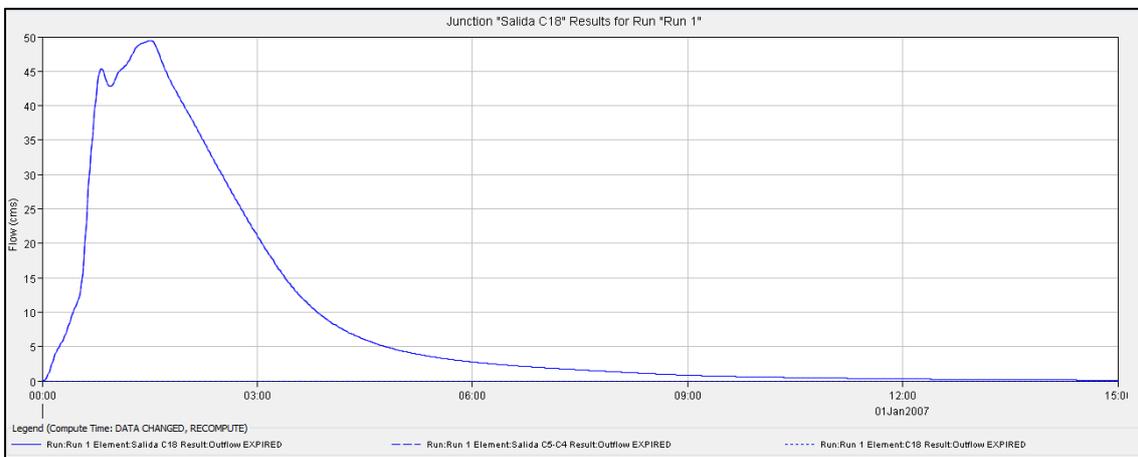


Figura 111. Gráfico del hidrograma de la salida C18

Así pues, se puede observar que el volumen recogido en el punto de desagüe de la cuenca hidrográfica de la zona de estudio (Salida C18) son 456.800 m<sup>3</sup>, casi 140.000 m<sup>3</sup> más que el volumen calculado por el método racional.

## 9. PROPUESTA DE ACTUACIONES

### 9.1. GESTIÓN DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

#### 9.1.1. GESTIÓN DEL AGUA DE RIEGO

Una de las potenciales fuentes de agua del humedal es el agua de riego. la Real Acequia de Moncada transporta agua de riego desde el río Turia hasta el límite del término municipal de Puzol-Sagunto. Es en este punto final donde el agua sobrante del regadío es desviada por la Acequia de la Raya al mar, pudiendo haber sido aprovechada introduciéndola al humedal.

El caudal que suele llegar hasta el límite sur del *Marjal dels Moros* a través de la Real Acequia de Moncada es desconocido, pero podría introducirse en su totalidad al humedal mediante dos acequias: *Sèquia de l'Arrif* y la Acequia de la Raya. Así pues, periódicamente el marjal recibiría agua, pudiendo mejorar su estado ambiental.

Además, de ser necesario, podría introducirse a través de esta infraestructura un caudal ecológico de manera periódica, logrando mantener el estado óptimo de las lagunas principalmente.

Para ello, la red de acequias existente debería modificarse, permitiendo la distribución de este caudal a lo largo y ancho del humedal. (Véase apartado 9.1.4).

### 9.1.2. GESTIÓN DEL AGUA DE ESCORRENTÍA

El agua de escorrentía generada en la cuenca es de 456.800 m<sup>3</sup>, según la modelización con HEC-HMS, y de 318.335 m<sup>3</sup>, obtenido con el método racional (calculado en el apartado 8.4). Al tratarse de un volumen de agua considerable que podría verterse al mar sin darle ningún uso, se propone, previamente a su salida del humedal, su recogida para su posterior introducción al humedal.

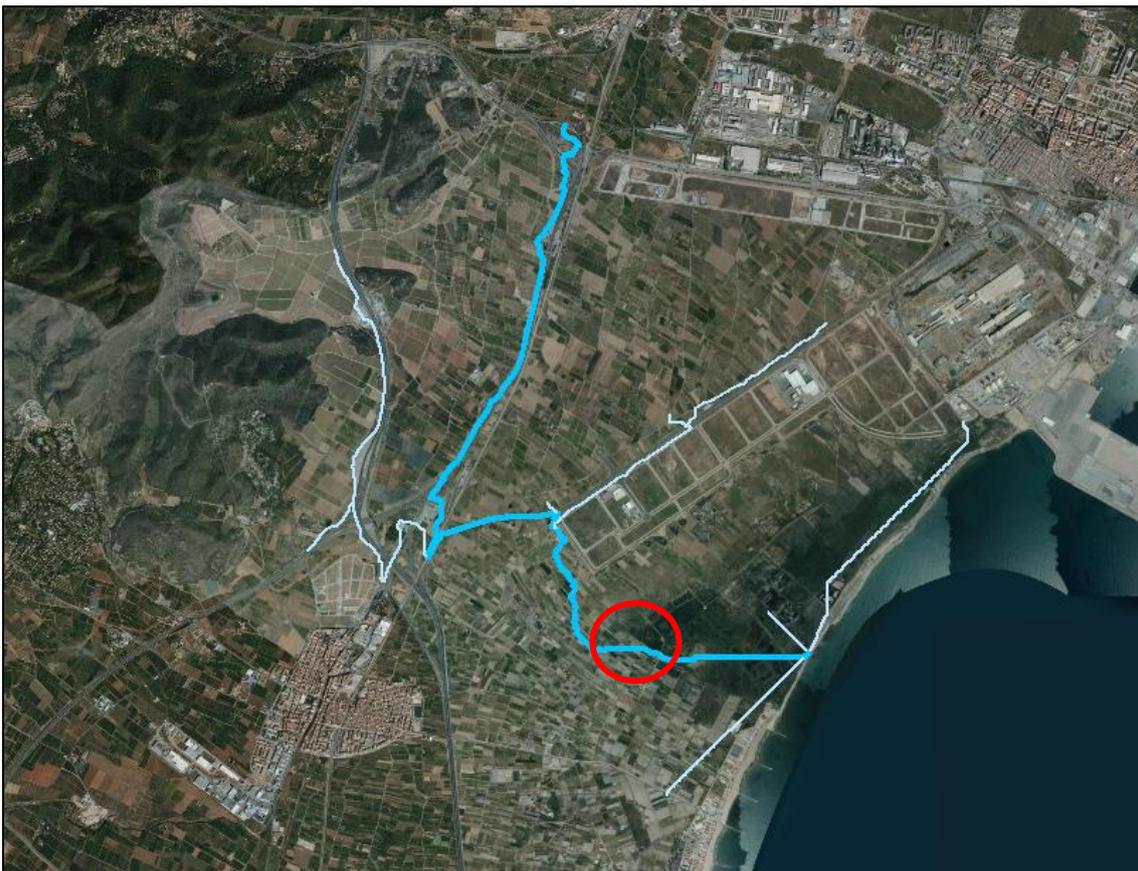


Figura 112. Distribución de la escorrentía en la cuenca hidrográfica de estudio.

De la modelización realizada mediante HEC-HMS (apartado 8.4.2) se desprende que, tras la salida de las subcuencas 14 y 16 y en la subcuenca 12 (punto rojo en la figura 112), el volumen que puede llegar tras una tormenta con periodo de retorno 2 años es de 250.000 m<sup>3</sup>.

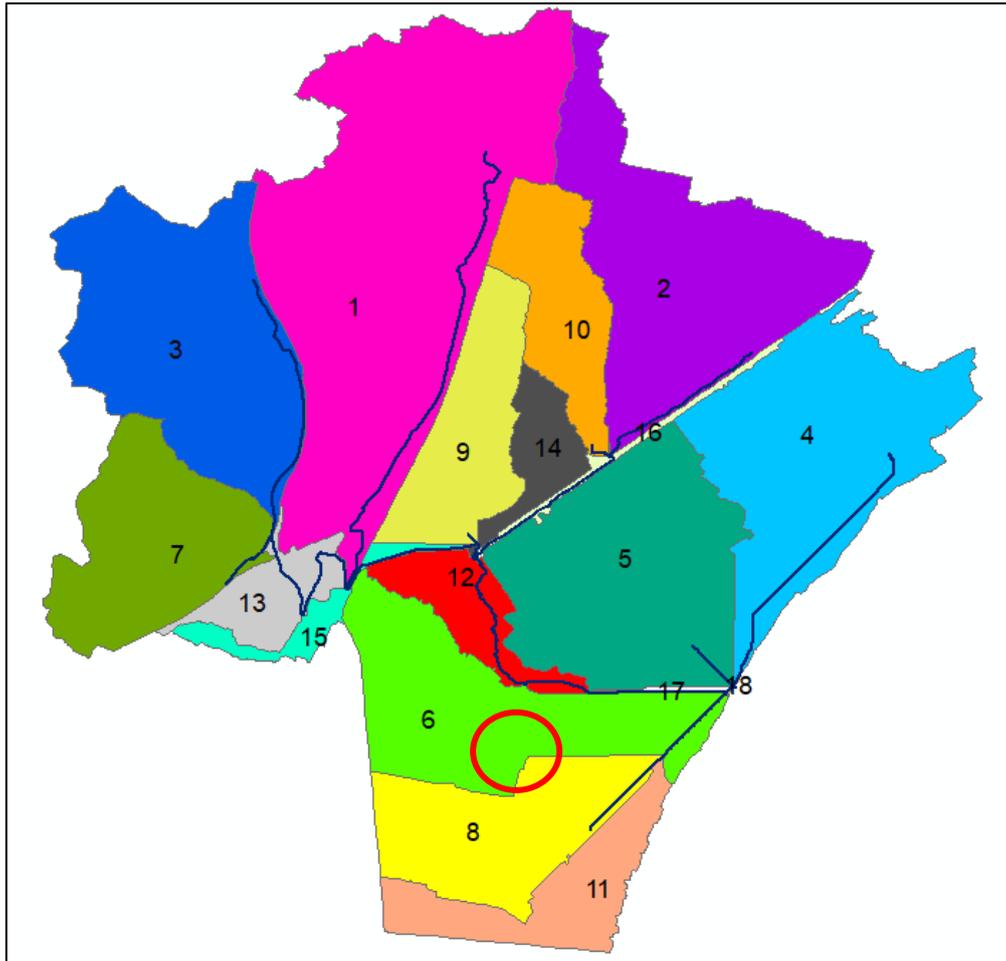


Figura 113. Subcuencas generadas en Arc Gis

Así pues, se propone la canalización del agua de escorrentía en el límite suroeste de la Z.E.C., tal y como se observa en la figura anterior.

Las actuaciones necesarias consistirían en la excavación de una cubeta de retención que permita la laminación del agua a su llegada, para luego ser dirigida a través de un canal al punto de conexión de la *Sèquia de Salvadany*s con la Acequia de la Raya, permitiendo así su introducción al marjal.

Por otro lado, al punto de desagüe llegarían los poco más de 200.000 m<sup>3</sup> restantes, que serán recogidos a través de las lagunas costeras, cortando la salida al mar a través del punto de desagüe.

Con estas actuaciones podrían introducirse al marjal unos 450.000 m<sup>3</sup>, lo que suponen 50.000 m<sup>3</sup> menos de los necesarios para alcanzar el buen estado de las lagunas, siendo por lo tanto un caudal de gran interés.

### 9.1.3. GESTIÓN DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS

Para la mejora ambiental del *Marjal dels Moros* es indispensable que el agua aportada sea de buena calidad, con el fin de evitar la contaminación de los diferentes ambientes y hábitats. Tras haber analizado el funcionamiento del humedal en apartados anteriores, se ha observado que las posibles entradas de contaminantes se dan a través de las aguas pluviales procedentes de *Parc Sagunt*, así como por la Real Acequia de Moncada, o incluso a través de las aguas subterráneas, actualmente contaminadas por intrusión salina (cloruros) y por la actividad agrícola de las zonas próximas (nitrógeno).

La contaminación en la Real Acequia de Moncada se produce por el vertido de aguas negras a esta infraestructura tras su paso por Puzol, donde algunas viviendas todavía tienen la conexión de las aguas residuales a la acequia. Para evitar esta situación, se redactó el *Proyecto de By-pass de la Real Acequia de Moncada*.

Por otro lado, para mejorar la calidad de las aguas subterráneas, la Confederación Hidrográfica del Júcar propone cubrir la demanda urbana de agua con aguas procedentes de la desalinización y no del acuífero, así como la reutilización de los efluentes de la EDAR de Sagunto para la agricultura, tal y como se explicó en el apartado 5.1.3.2, reduciéndose así los bombeos de los acuíferos, y por tanto, evitando la intrusión marina.

Respecto a las aguas pluviales procedentes de *Parc Sagunt*, tal y como se ha explicado en el apartado 6.1, pueden acabar en las cubetas de retención junto con las aguas residuales y, en el peor de los casos, pueden aliviarse a través de las golas llegando hasta el humedal. Estas aguas pueden arrastrar metales pesados, grasas y otros elementos peligrosos procedentes de la esorrentía de los viales, así como los contaminantes propios de las aguas fecales (nitrógeno, fósforo, bacterias, etc). Por ello, es necesario tratar estas aguas previamente a su vertido al marjal, teniendo en cuenta que los “filtros” definidos y ejecutados por *Parc Sagunt* no son funcionales y, por tanto, no cumplen con el objetivo para el que fueron desarrollados.

La entrada de las aguas pluviales, junto con parte de las residuales, se realiza a través de tuberías de hormigón que desembocan en las cubetas de almacenamiento, las cuales están conectadas entre sí formando grupos, tal y como se puede observar en las imágenes siguientes.



Figura 114. Agrupación de lagunas de Parc Sagunt de la zona sur. Fuente: Proyecto de Urbanización del Sector Parque Empresarial Sagunt I (Parc Sagunt I)

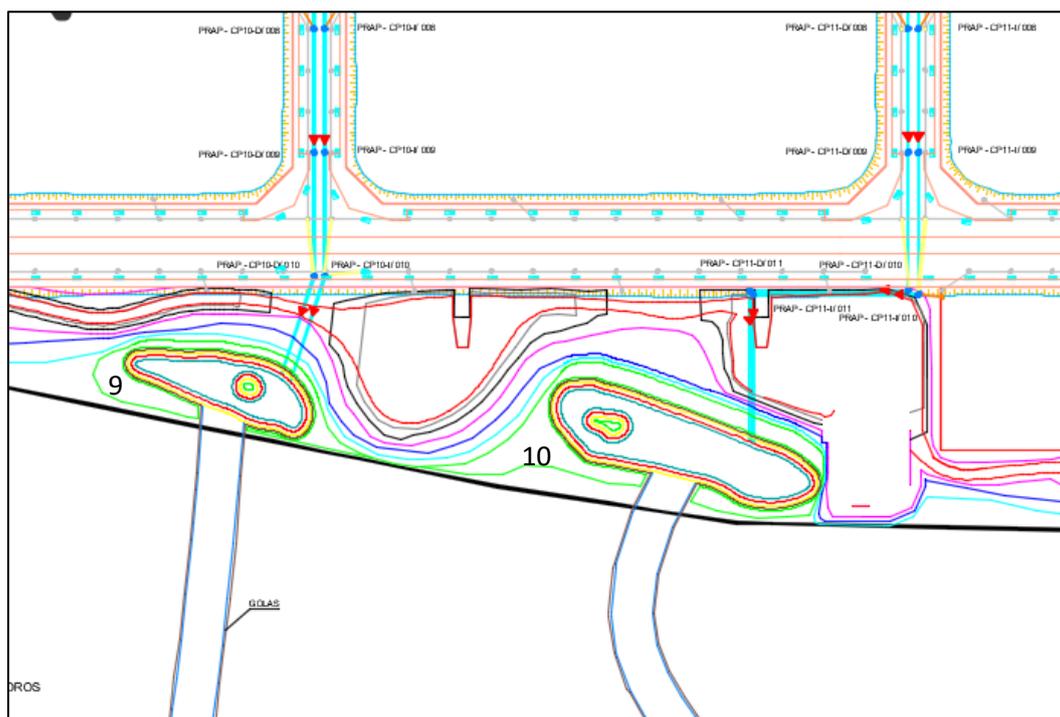


Figura 115. Agrupación de lagunas de Parc Sagunt de la zona central-sur. Fuente: Proyecto de Urbanización del Sector Parque Empresarial Sagunt I (Parc Sagunt I)

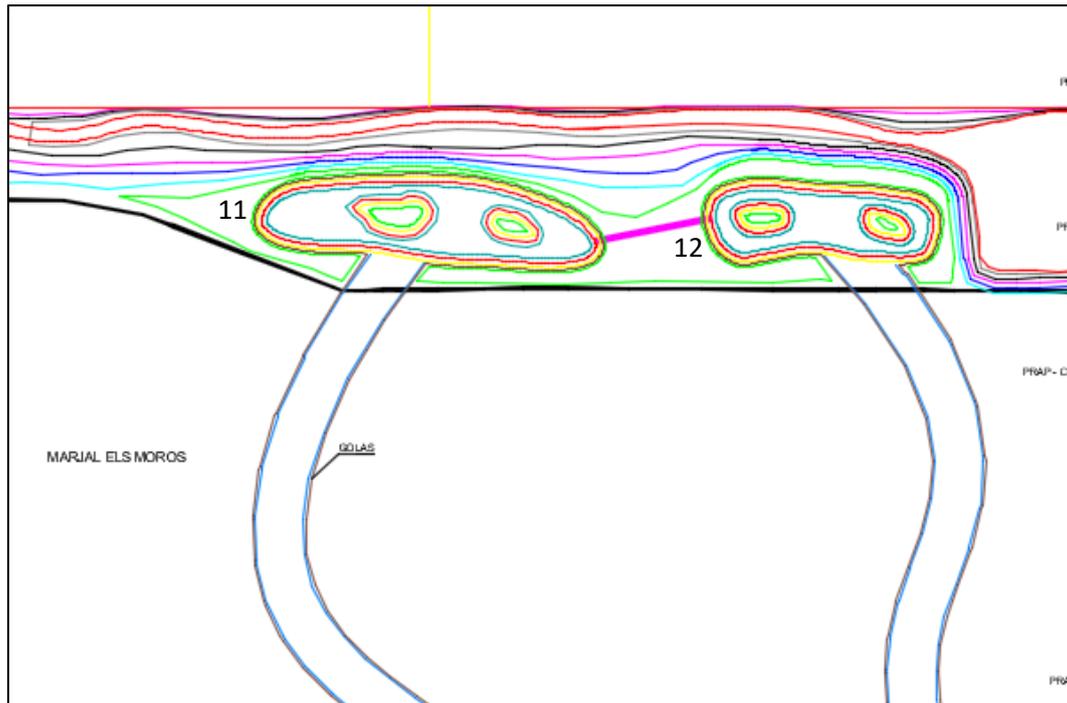


Figura 116. Agrupación de lagunas de Parc Sagunt de la zona central-norte. Fuente: Proyecto de Urbanización del Sector Parque Empresarial Sagunt I (Parc Sagunt I)



Figura 117. Agrupación de lagunas de Parc Sagunt de la zona norte. Fuente: Proyecto de Urbanización del Sector Parque Empresarial Sagunt I (Parc Sagunt I)

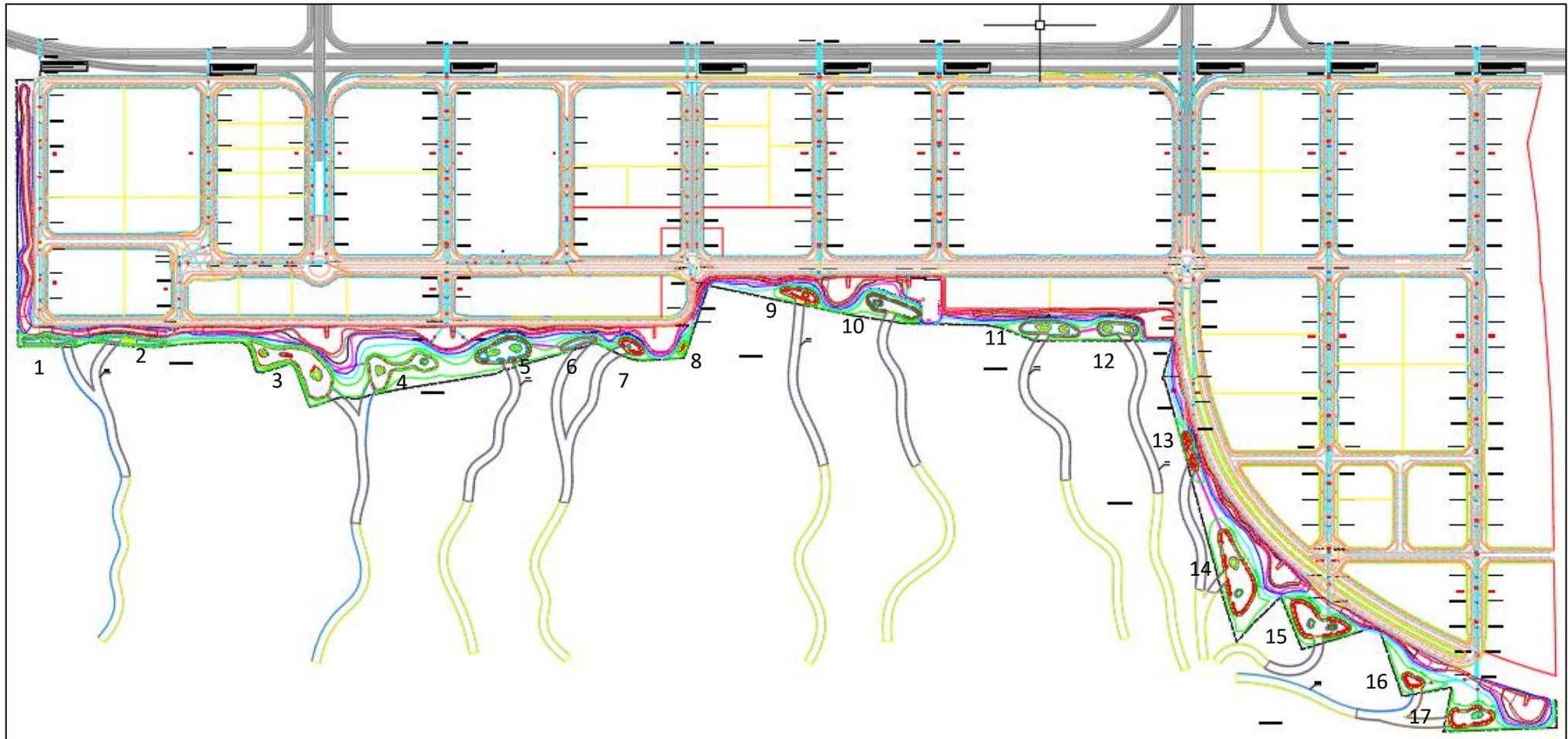


Figura 118. Diseño de lagunas en el Proyecto de Urbanización del Sector Parque Empresarial Parc Sagunt I (Parc Sagunt I)

Teniendo en cuenta el funcionamiento del sistema de evacuación de las aguas pluviales se deberían instalar sistemas de biorretención, capaces de almacenar pequeñas cantidades de agua y de eliminar su contaminación.

Dado el elevado caudal que podría llegar durante largos o fuertes periodos de lluvia, es conveniente combinarlo con algún sistema de retención, como son los estanques de detención, lo que permitiría almacenar el agua que no es capaz de tratar y retener el sistema de biorretención. Así pues, se propone el diseño e implantación de una cadena de tratamiento multi-componente, que consiste en la utilización de diferentes SUDS con el fin de mejorar el tratamiento de la escorrentía.

### 9.1.3.1. SISTEMAS DE BIORRETENCIÓN

Los sistemas de biorretención pueden reducir los volúmenes de escorrentía, además de tratar la contaminación a través de la actividad del suelo y de la vegetación. Presentan un alto potencial de eliminación de sólidos suspendidos totales, de metales pesados, de nutrientes y de sólidos disueltos y en suspensión y un potencial medio de eliminación de microorganismos.

Por ello, estos sistemas son muy efectivos en cuanto a la depuración del agua, pero también son capaces de proporcionar:

- Unas características que hagan más atractivo al paisaje, como es la capacidad de auto irrigación y de fertilización, puesto que la vegetación y los microorganismos característicos de este sistema utilizan los contaminantes que llegan a través de la escorrentía para su buen desarrollo.
- Un hábitat y mayor biodiversidad.
- Mayor capacidad de regulación de la temperatura, ya que ayuda a refrescar el microclima dada la evapotranspiración.

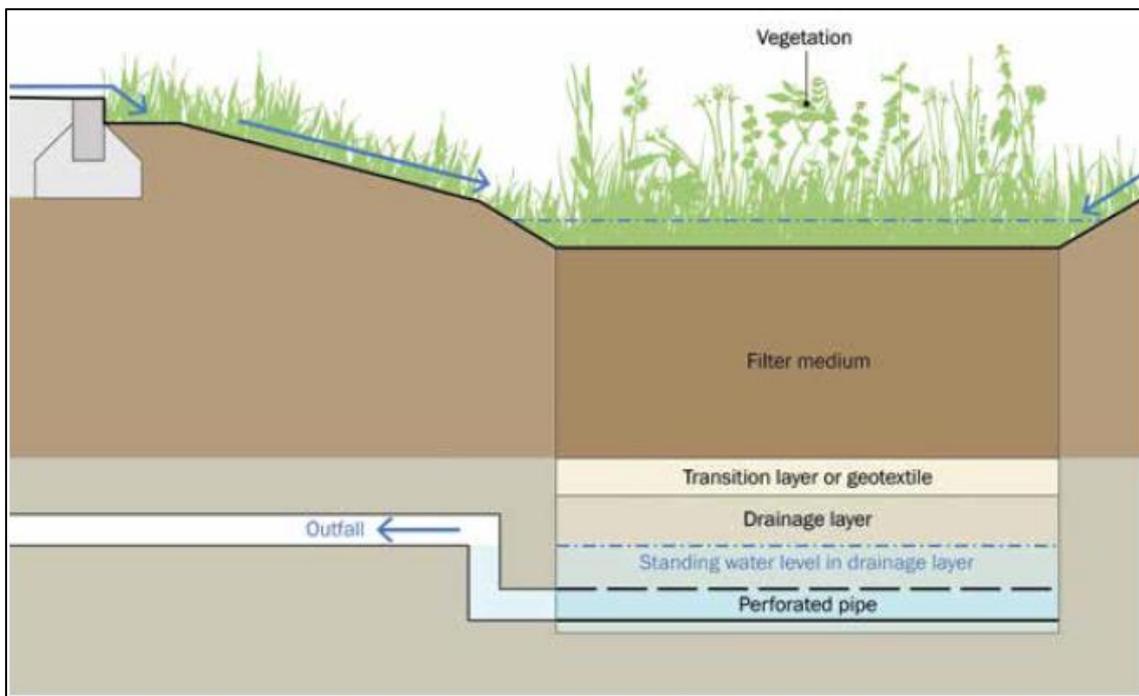


Figura 119. Componentes de un sistema de biorretención. Fuente: CIRIA

Para su adecuado diseño se debe tener en cuenta:

- La entrada debe prevenir la erosión y debe permitir una adecuada distribución del agua para permitir la infiltración.
- Actúa como almacenamiento temporal de agua, capturando un volumen que requiere un tratamiento y, si fuera necesario, como atenuante de inundaciones.
- La vegetación influye directamente en la capacidad del sistema de biorretención, puesto que es capaz de eliminar directamente contaminantes del agua y facilita los procesos físicos y químicos del suelo de eliminación de nutrientes. Previene la erosión del suelo y ayuda a mantener la permeabilidad del suelo, además de proporcionar una gran influencia sobre la biodiversidad.
- Para la capa filtrante, el material empleado suele ser arena con alguna fuente de nutrientes que permia mantener un adecuado crecimiento de las plantas.
- La capa de transición es necesaria para prevenir el lavado de los finos del filtro medio hacia la capa drenante. Generalmente se coloca un geotextil.
- El objetivo de la capa drenante es el de recoger el agua procedente del filtro medio mediante tuberías perforadas. Cuyo fin es conducir el agua desde el sistema hacia aguas abajo. Si en el diseño del sistema de biorretención se considera la infiltración del agua tratada, no será necesaria la colocación de estas conducciones.
- Es necesaria la instalación de un sistema de drenaje que evite el desbordamiento del sistema en el caso de superar los volúmenes para el que fue diseñado.

Estos sistemas se desarrollarán en las cubetas de almacenamiento de agua a las que llega la conducción de las aguas pluviales (1, 2, 4, 5, 8, 9, 10, 13, 15, 16 y 17 según figura 118), siendo necesario instalar elementos disipadores de energía para evitar que la escorrentía vertida erosione el terreno, así como otros elementos que minimicen la velocidad.



Figura 120. Ejemplo de disipador de energía natural. Fuente: CHEBRO

Los taludes deberán vegetarse, pudiendo aumentar la pendiente de las lagunas hasta un máximo de 1:3, por lo que se tendrán que excavar y/o rellenar los huecos existentes con el fin de reducir las pendientes y dejar una profundidad de 0,6 m.

Los taludes laterales estarán recubiertos con una capa superficial de 200 mm que cumpla con los requerimientos BS 3882:2015, u otros que permitan el desarrollo adecuado de la vegetación.

La capa filtrante debe ser suficientemente permeable como para dejar pasar el agua a través, evitando así que la superficie de retención quede anegada. Se tendrán en cuenta los siguientes parámetros:

- La conductividad hidráulica debe estar entre 100 mm/h y 300 m/h, y se comprobará en campo usando el método estandarizado del test de la infiltración, descrito en BS EN ISO 2282-5:2012.
- La porosidad debe ser superior a 30% de acuerdo al test BS 1377-2:1990.

- En la medida de lo posible, el material seleccionado cumplirá las siguientes especificaciones de granulometría:

Tabla 16. Granulometría del material seleccionado para la capa filtrante. Fuente: CIRIA

Sieve size (mm)	% passing
6	100
2.0	90–100
0.6	40–70
0.2	5–20
0.063	< 5

- El contenido de materia orgánica estará será del 3-5%
- El pH deberá ser de 5,5-8,5
- La conductividad eléctrica tiene que ser inferior a 3.300  $\mu\text{S}/\text{cm}$
- Los nutrientes que contendrá son:
  - o Nitrógeno total entre 0,10 – 0,30%
  - o Fósforo disponible entre 16-100 mg/l
  - o Potasio disponible entre 1120 – 900 mg/l
- Los suelos dedicados a la biorretención y los resultados de los test deben ser evaluados por técnicos competentes para asegurar la capacidad de soportar una comunidad vegetal sana. Esta evaluación debe tener en cuenta la entrada al sistema de la esorrentía. Cualquier componente del suelo que contenga altos niveles de sal, de arcilla, de partículas de limo o cualquier otro compuesto considerado un retardante para el crecimiento de las plantas, será eliminado.

El geotextil instalado deberá asegurar que las partículas del suelo no puedan ser lavadas desde una capa a otra, es decir, desde el medio filtrante a la capa de drenaje.

La capa de drenaje debe ser mucho más permeable que el medio filtrante. En la medida de lo posible, se empleará cemento reciclado, teniendo en cuenta que no deben contener finos que puedan ser lavados fuera de esta capa.

Desde esta capa se prevé la infiltración hacia el subsuelo de la escorrentía, cuya calidad habrá mejorado sustancialmente.

La flora propuesta, además de ser endémica y depurar el agua, deberá resistir las inundaciones temporales, siendo la idónea de tipo anfibia o palustre, habiéndose seleccionado las siguientes especies como las más óptimas:

- *Anthyllis cytisoides*
- *Brachypodium Retusum*
- *Festuca Glauca*
- *Frankenia leavis*
- *Helichrysum stoechas*
- *Hyparrahenia hirta*
- *Panicum Virgatum Heavy metal*
- *Iberis Sempervirens*
- *Lavandula latifolia*
- *Lavandula dentata*
- *Lavandula angustifolia*
- *Medicago citrina*
- *Hypericum balearicum*
- *Myrtus communis*
- *Parthenocissus quinquefolia*
- *Salix Purpurea Pendula*
- *Brachypodium phoenicoides*

- *Sedum album*
- *Sedum hirsutum*
- *Stippa tenuissima*
- *Stippa tenacissima*
- *Juncus sp.*
- *Phragmatites australis*

Siendo las dos últimas las más apropiadas para colocarse en la base de la cubeta, pues soportan mejor las inundaciones. El resto se podrán repartir por los taludes en función de las superficies disponibles.

Las plantaciones se harán normalmente con una densidad de 6 a 10 plantas/m<sup>2</sup>, siguiendo el esquema de la figura siguiente, aunque dependerá del tipo de especie, permitiendo la permeabilidad de la superficie. En el caso de arbustos, la densidad será inferior a 1 planta/m<sup>2</sup>.

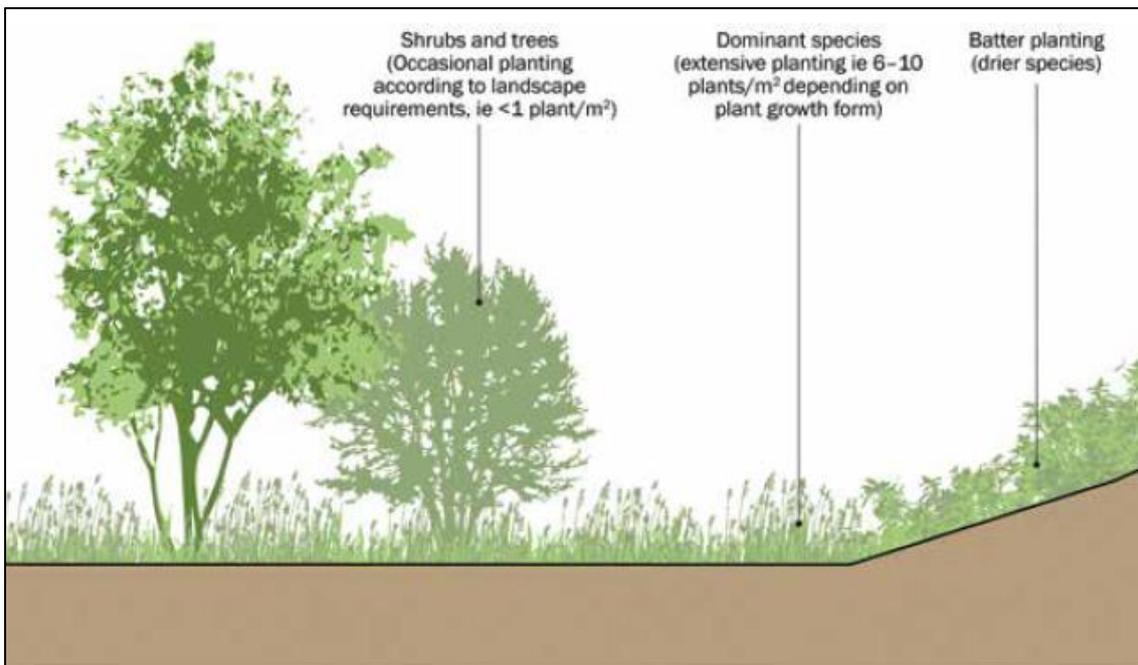


Figura 121. Distribución de las plantaciones en los sistemas de biorretención. Fuente: CIRIA

Cabe destacar que, durante periodos de fuertes precipitaciones en los que no se pueda tratar todo el volumen de agua de escorrentía generada mediante este sistema de biorretención,

el agua que no pueda ser retenida aquí pasará a las lagunas colindantes, que actuarán como estanques de detención, definidos en el apartado siguiente, según el esquema de la figura 118.

En caso de que las conexiones entre las lagunas diseñadas en el *Proyecto de Urbanización de Parc Sagunt* (figura 88) estén poco definidas, colmatadas o sean inexistentes, se excavarán con el fin de permitir la derivación del agua hacia los estanques de detención propuestos a través de un canal que actúe de cuneta verde.

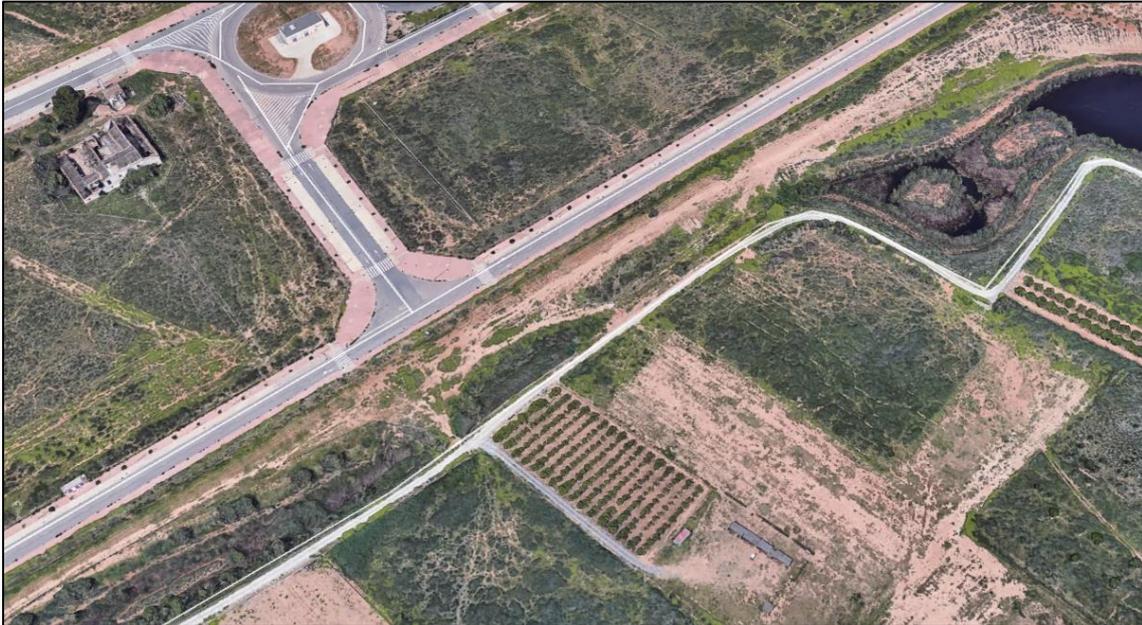


Figura 122. Conexión entre lagunas. Fuente: Google Earth

### 9.1.3.2. ESTANQUES DE DETENCIÓN

Los estanques de detención son depresiones que normalmente están secas, excepto durante y después de episodios de lluvia.

Cuando el estanque está vegetado la superficie del suelo puede absorber parte de la escorrentía, pudiendo participar en la depuración de parte del agua.

Los beneficios que presentan estos sistemas de detención respecto a la calidad del agua aumentan según aumenta el tiempo de detención, estando éstos asociados con la eliminación de sedimentos y otros elementos flotantes, aunque también es considerable la reducción de los niveles de nutrientes, metales pesados, materiales tóxicos y DBO.

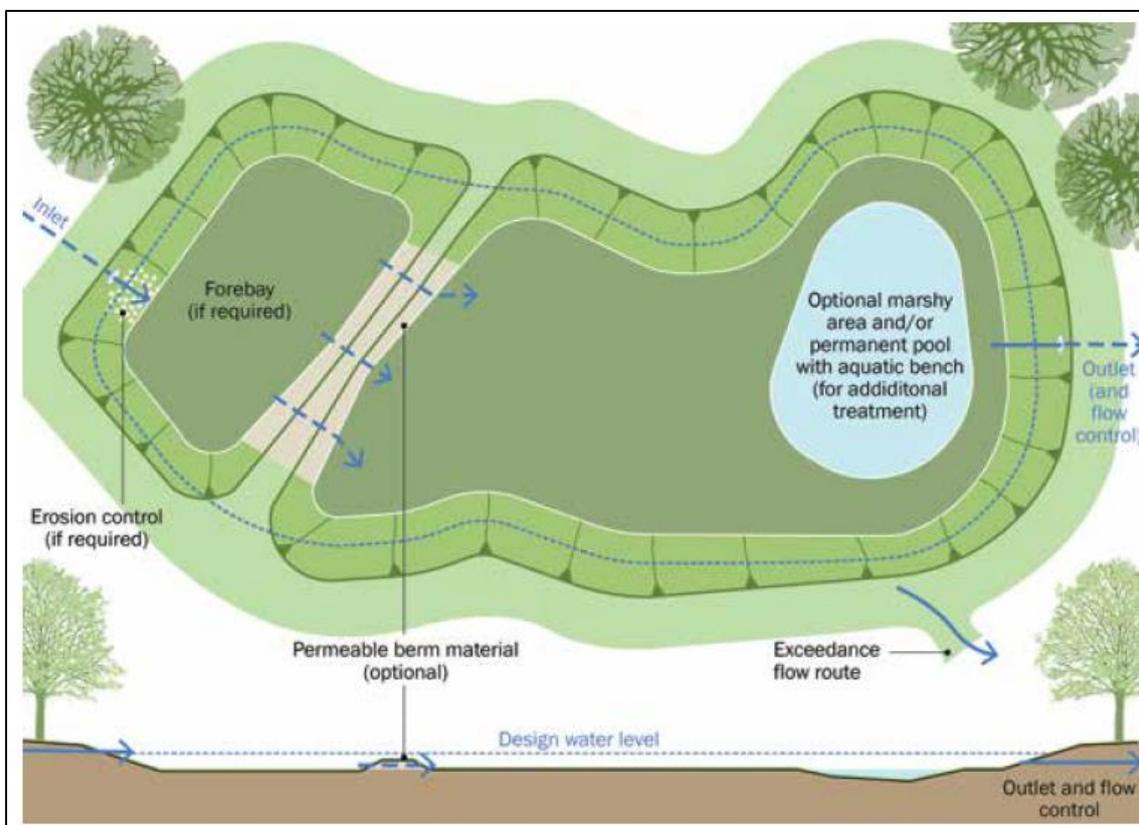


Figura 123. Ejemplo de diseño de un estanque de retención. Fuente: CIRIA

Las especificaciones a tener en cuenta para su adecuado diseño son:

- La profundidad máxima será de 2 m.
- La base de la laguna tendrá una leve pendiente, sin llegar a superar el 1%, para maximizar el contacto de la escorrentía con la vegetación y prevenir que el agua quede estancada.

- La relación entre el ancho y el largo de las lagunas estará entre 3:1 y 5:1, estando dispuestas las entradas y las salidas de tal forma que se incentive el paso del agua a lo largo de todo el estanque.
- Las pendientes no excederán 1:3, facilitando así las actividades de mantenimiento.
- En este caso, la base del estanque no se impermeabilizará, permitiendo así la infiltración al subsuelo.
- La máxima velocidad dentro del sistema será de 0,3 m/s.

Esta técnica de drenaje sostenible se aplicará a las cubetas construidas por Parc Sagunt 3, 6, 7, 11, 12 y 14 según figura 118.

Cuando se supere su capacidad de almacenamiento, el agua de escorrentía será derivada hacia el marjal a través de las golas, las cuales actuarán de filtros verdes, cumpliendo con las especificaciones de las cunetas verdes.

La vegetación a plantar en estos estanques será la misma que la propuesta para los sistemas de biorretención.

### 9.1.3.3. CUNETAS VERDES

Las cunetas verdes se emplearán para transportar el agua desde los sistemas de biorretención hasta los estanques de detención, y desde estos últimos hasta el humedal.



Figura 124. Estado actual de las Golas

Las cunetas verdes son canales vegetados abiertos designados para derivar y tratar el agua, e incluso para reducir el volumen de escorrentía generada.

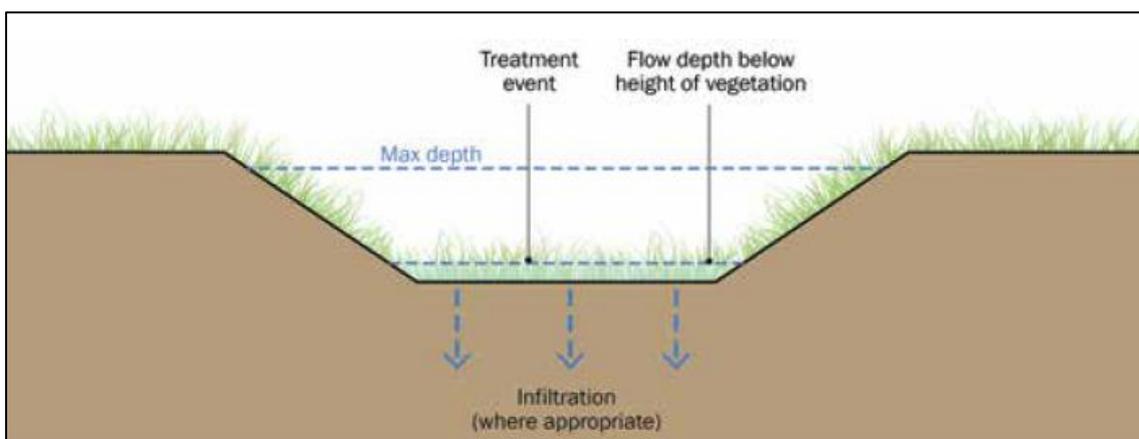


Figura 125. Perfil de una cuneta verde. Fuente: CIRIA

Tal y como se observa en la figura anterior, la sección será trapezoidal, siendo la profundidad de las conexiones entre lagunas de 1 metro, mientras que la de las golas no se modificará.

La pendiente longitudinal será de entre 0,5 – 3%, mientras que las de los taludes laterales será como máximo de 1:3 (33%), siendo recomendable 1:4 (25%), con el fin de proporcionar un pretratamiento a la escorrentía que entre por los laterales.

Las plantaciones que se llevarán a cabo son las mismas que las indicadas en el sistema de biorretención.

La base de las cunetas no se impermeabilizará, permitiendo la infiltración del agua.

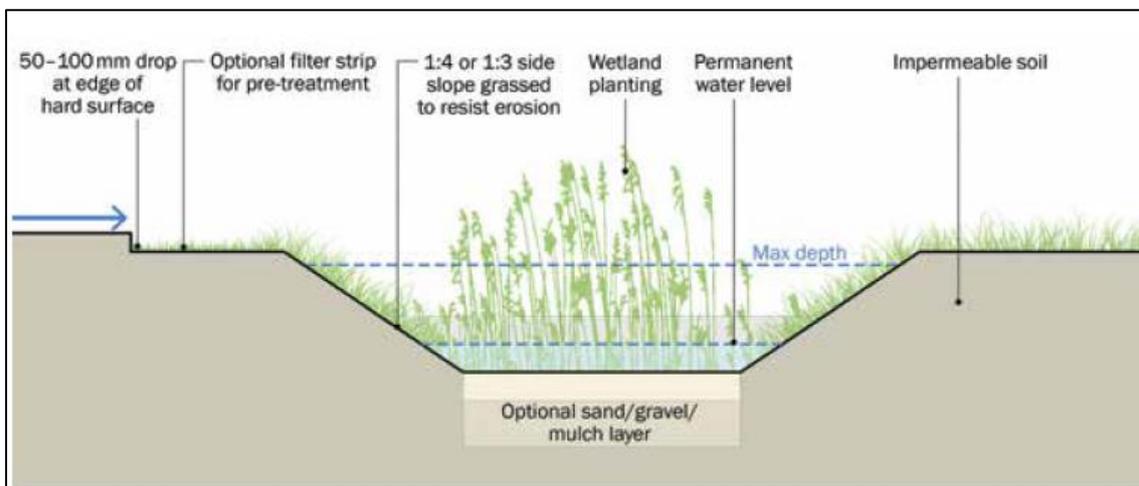


Figura 126. Perfil de una cuneta verde. Fuente: CIRIA

## 9.2. NECESIDADES DE MEJORA DE LA INFRAESTRUCTURA HÍDRICA

A partir de la red de acequias existente se han propuesto una serie de mejoras para permitir la buena distribución del agua de riego, que llegará principalmente a través de la Real Acequia de Moncada. Para ello, se han seleccionado aquellas acequias de mayor importancia e indispensables para una adecuada gestión hídrica, así como las actuaciones necesarias para su buen funcionamiento.

La entrada de agua al humedal se realizará generalmente a través de la **Real Acequia de Moncada**, situada en el extremo suroeste de la Z.E.C. Ésta deriva agua a la *Sèquia de l'Arrif*, que la distribuye de sur a norte, y a la Acequia de la Raya, que la transporta de oeste a este. En estos puntos de conexión, tal como se observa en la figura 127 y en el Plano 05, se instalarán compuertas, permitiendo la regulación de las entradas y salidas del agua en función de las necesidades hídricas del humedal.

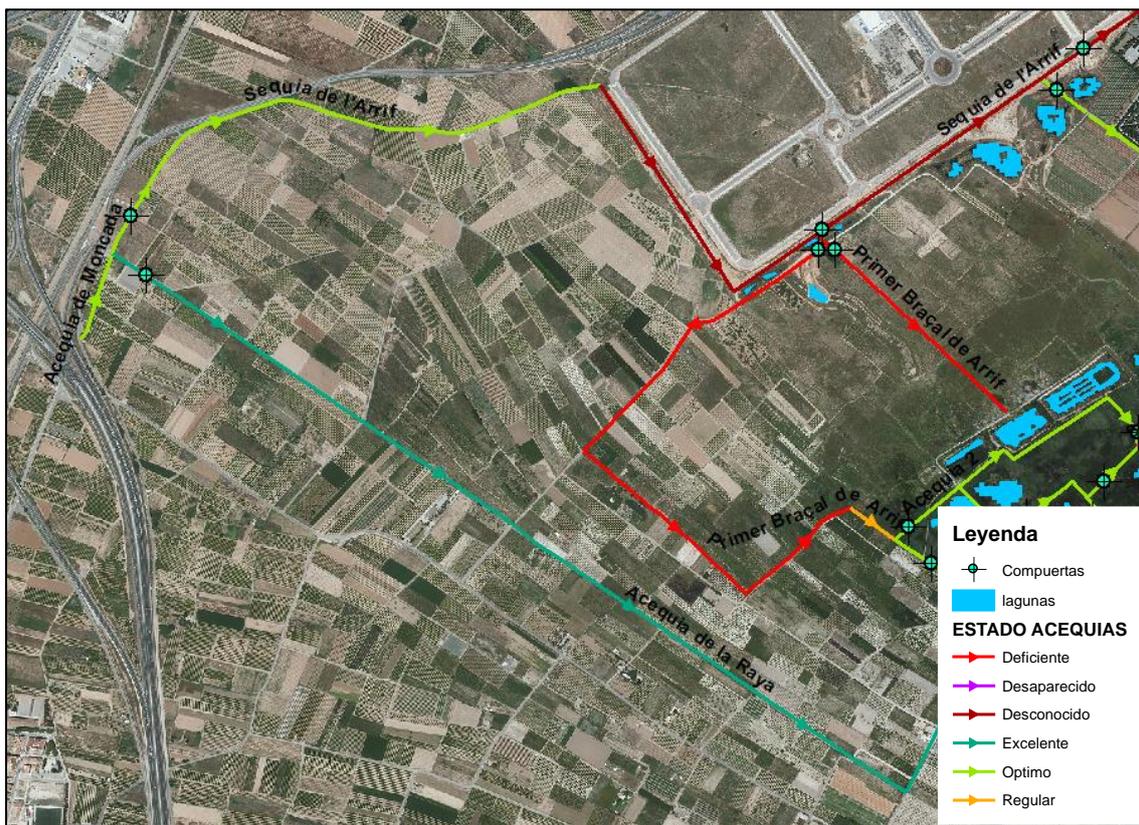


Figura 127. Conexión de la Real Acequia de Moncada con la *Sèquia de l'Arrif* y la Acequia de la Raya

La **Acequia de la Raya**, que conecta la Real Acequia de Moncada con el *Primer Braçal de l'Arrif* y la *Sèquia de Salvadany*s, se encuentra en un estado excelente, por lo que sólo será necesario instalar compuertas para evitar o controlar las salidas laterales del agua.

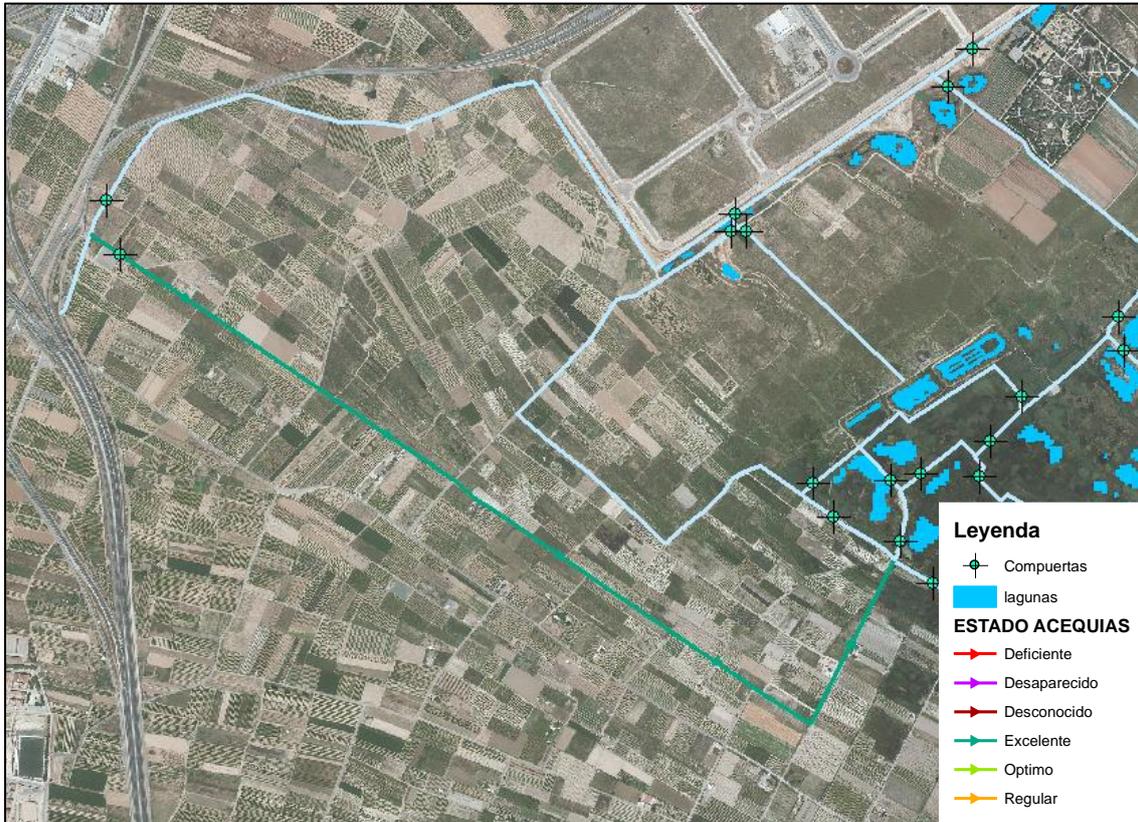


Figura 128. Localización de la Acequia de la Raya

A continuación de la Real Acequia de Moncada se localiza la **Sèquia de l'Arrif**, que fue desviada y reconducida en parte a través de tuberías de hormigón durante las obras de *Parc Sagunt*, aunque no se ha podido constatar su continuidad. Sin embargo, en algunos de los tramos que quedaron al aire libre y, por tanto, visibles, es necesario llevar a cabo una reconstrucción y/o eliminación de sedimentos y vegetación.

Conecta con tres acequias de gran interés: el *Primer Braçal de l'Arrif*, el *Tercer Braçal de l'Arrif* y el *Segon Sifó de la Sèquia de Salvadany*s. Así pues, para una adecuada distribución del agua de riego, se instalarán compuertas en todas sus conexiones laterales, cortando además el paso en la propia acequia tras el *Segon Sifò de la Sèquia de Sallvadany*s, del *Primer Braçal de l'Arrif* y del *Tercer Braçal de l'Arrif*.



Figura 129. Sèquia de l'Arrif

El **Primer Braçal de l'Arrif** discurre de oeste a este, desde la *Sèquia de l'Arrif* hasta la *Gola de l'Estany*, conectando a su paso con las acequias S/N 2, la *Sèquia de Salvadanys* y la S/N 10. Para el buen funcionamiento, será necesaria la retirada de la vegetación del lecho, así como los fangos y cualquier otro sedimento. También se excavarán aquellos tramos cuyo estado sea deficiente. Se instalarán compuertas en todas sus conexiones para la buena gestión del agua, y en la propia acequia tras la derivación de la *Sèquia de l'Arrif*, la S/N 2 y la *Sèquia Travessera*, así como previamente al vertido a la *Gola de l'Estany*, tal y como puede verse en la figura 130.

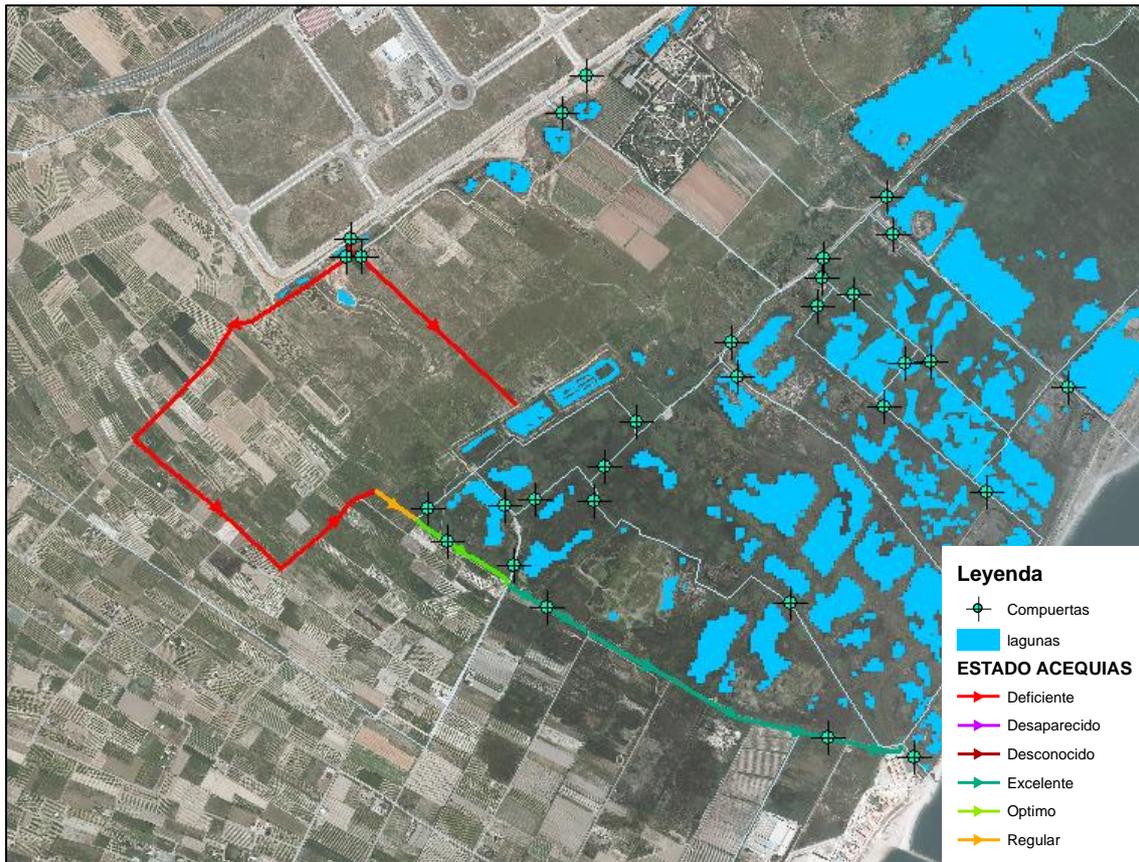


Figura 130. Primer Braçal de l'Arrif

La **Sèquia de Salvadanys**, al igual de la *Sèquia de l'Arrif*, conduce el agua de sur a norte, desde la Acequia de la Raya hasta la Acequia del Rey. Está colmatada con vegetación a lo largo de toda la acequia, por lo que se deberá desbrozar, además de aumentar su sección y darle continuidad a su paso por el *Motor dels Cucs*. Se instalarán compuertas en todas las conexiones laterales, y también en la propia acequia tras su paso por el *Primer Braçal de l'Arrif*, la *Sèquia de Llobarros*, la acequia S/N 1, el *Segon Braçal de l'Arrif*, l'*Escorridor Pas de les Egües* y previamente a la *Gola de Bernat*.

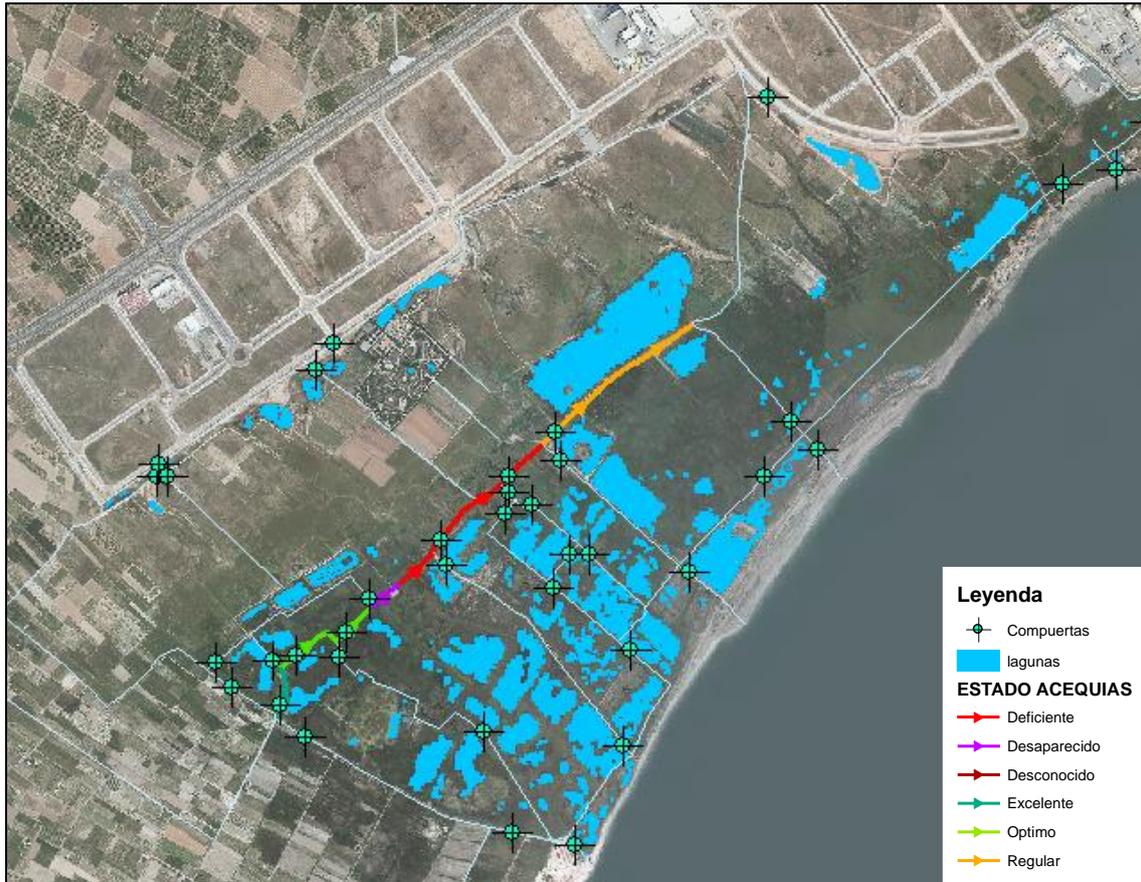


Figura 131. Acequia de Salvadanys

La **Sèquia de Llobarros** permite derivar el agua hacia el Sistema lagunar sur desde la *Sèquia de Salvadanys*. Se eliminará la vegetación del lecho y se harán las derivaciones que corresponda para permitir la entrada de agua en las lagunas colindantes. Se instalarán compuertas en las conexiones laterales con el fin de evitar la salida de las aguas. Así mismo, se pondrá una compuerta tras la conexión con la *Sèquia de Salvadanys* y previamente a la salida al mar a través de la *Gola de l'Estany*.

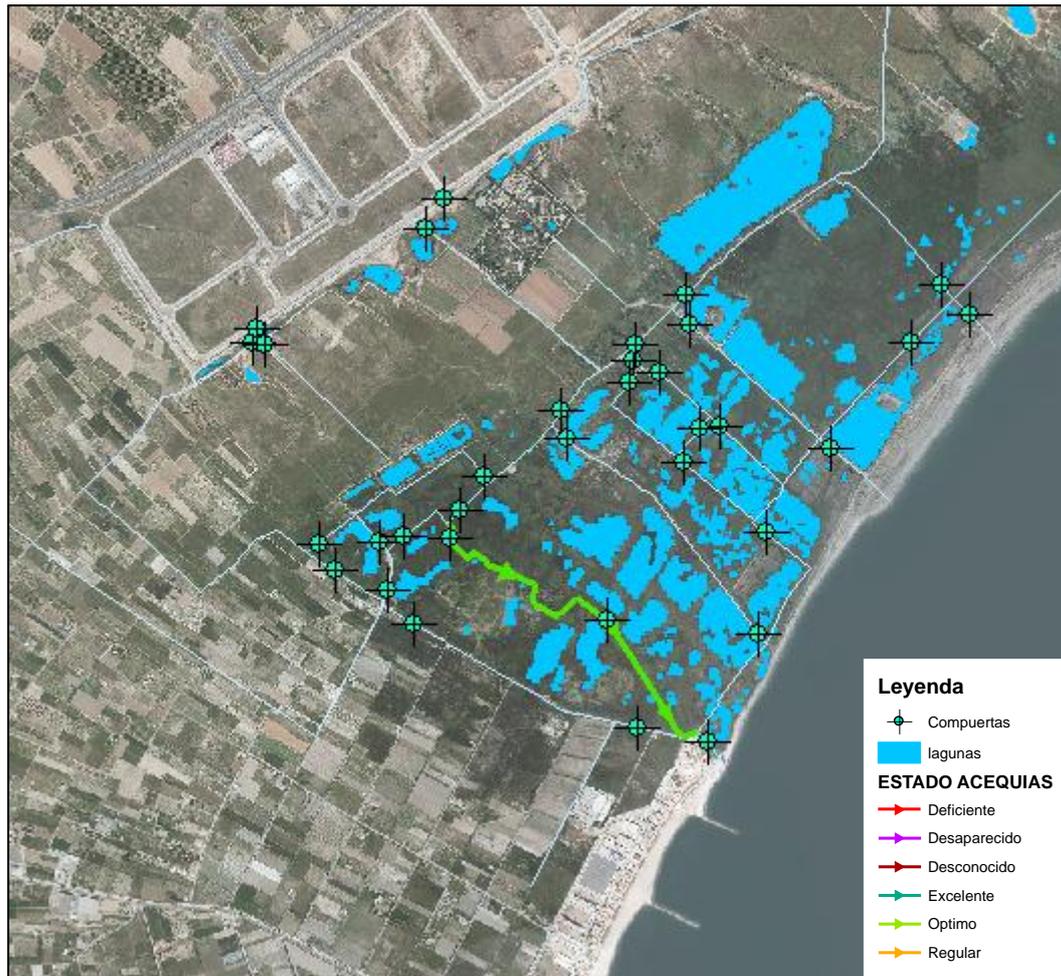
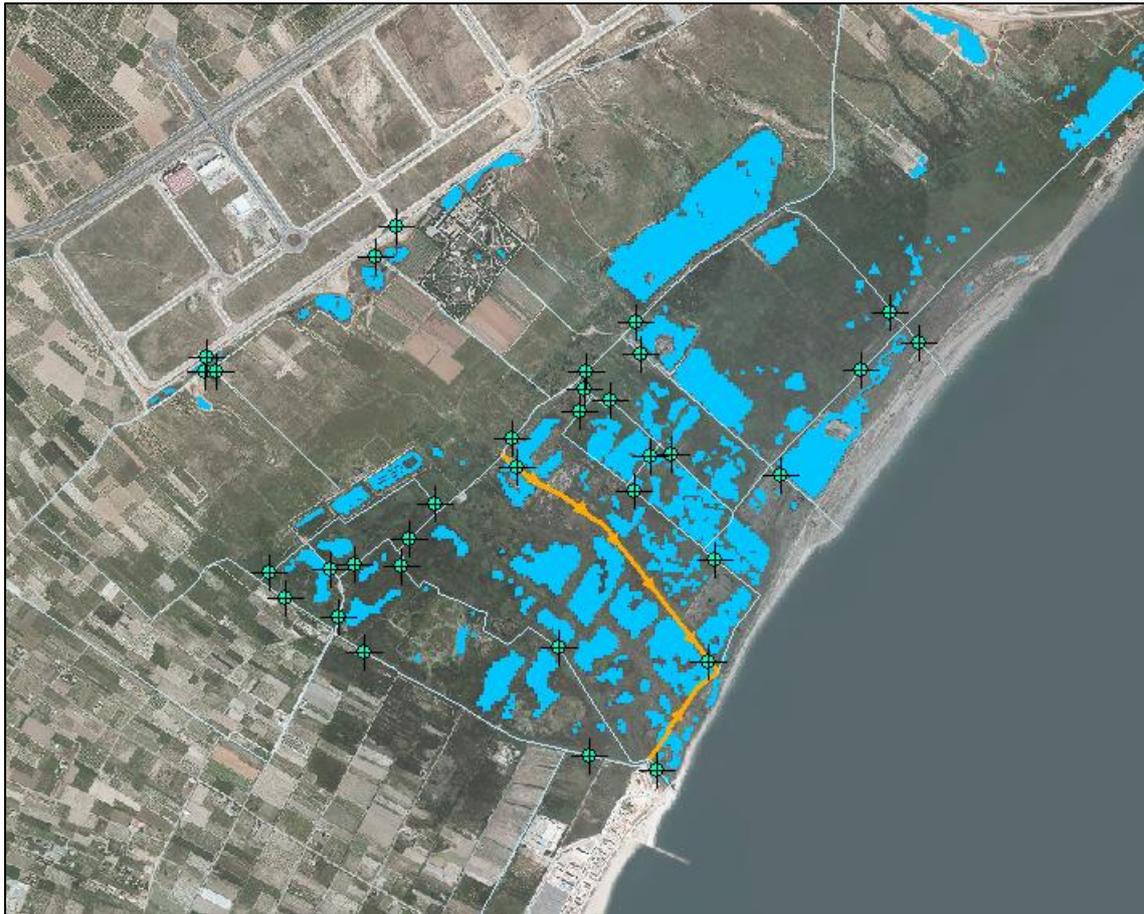


Figura 132. Sèquia de Llobarros

El **Segon Braçal de l'Arrif** deriva el agua desde la *Sèquia de Salvadany*s hasta la Acequia del Rey, discurriendo entre el Sistema Lagunar sur. Se conectarán las lagunas con la acequia, y para una mejor funcionalidad se excavará su sección. Además, se instalarán dos compuertas: una tras la conexión con la *Sèquia de Salvadany*s y otra previamente a la conexión con Acequia del Rey.



*Figura 133. Segon Braçal de l'Arif*

La **Acequia S/N 3** permite distribuir el agua captada en la *Sèquia de Salvadanyis* por el sistema lagunar centro-sur. El estado se desconoce, por lo que se debería de realizar un estudio en profundidad de ésta, así como darle funcionalidad. Se instalarán compuertas en la propia acequia tras las principales derivaciones, tal y como se observa en el Plano 05, y también en las conexiones laterales, permitiendo la regulación de las salidas del agua hacia las lagunas.

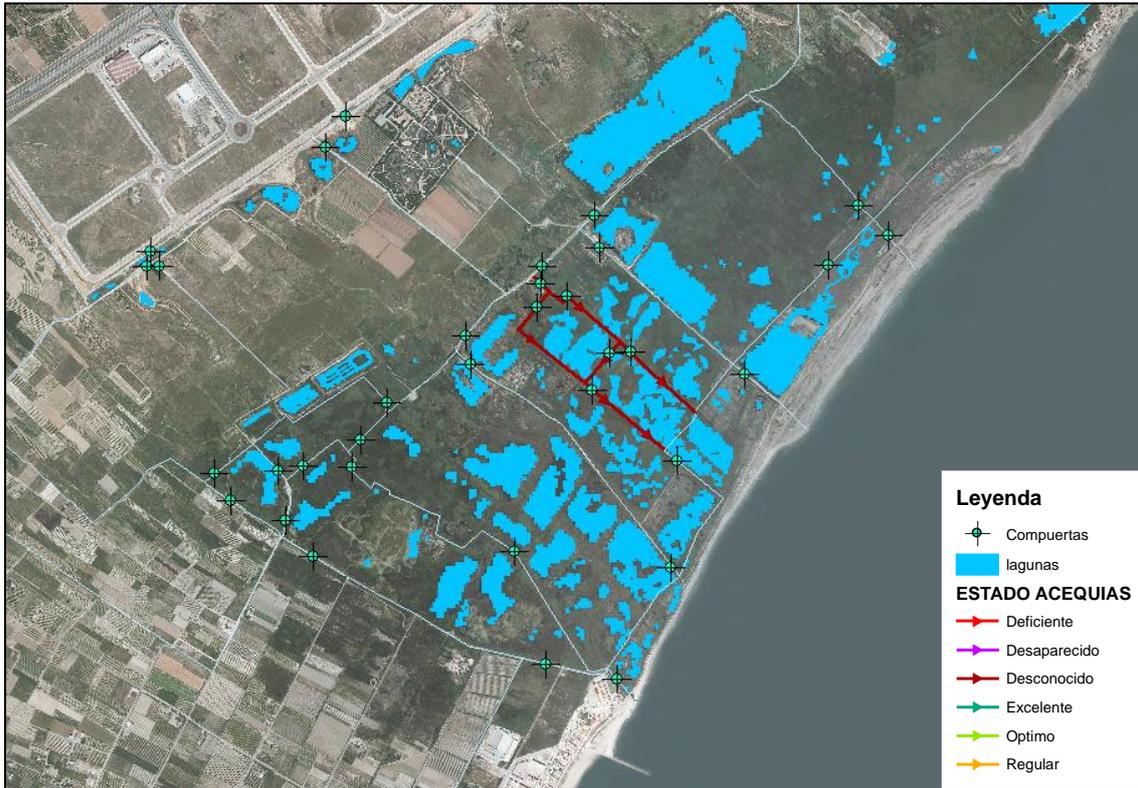


Figura 134. Acequia S/N 3, cuyo estado es desconocido

***L'Escorridor del Pas de les Egües*** conecta la *Sèquia de Salvadanys* con la Acequia del Rey y la *Gola del Pas de les Egües*. Para su buen funcionamiento, se eliminará la vegetación del lecho de la acequia y de sus taludes, y se instalarán compuertas en todas las conexiones laterales. Si fuera necesario, se excavarán aquellos tramos cuya sección sea insuficiente para transportar agua.

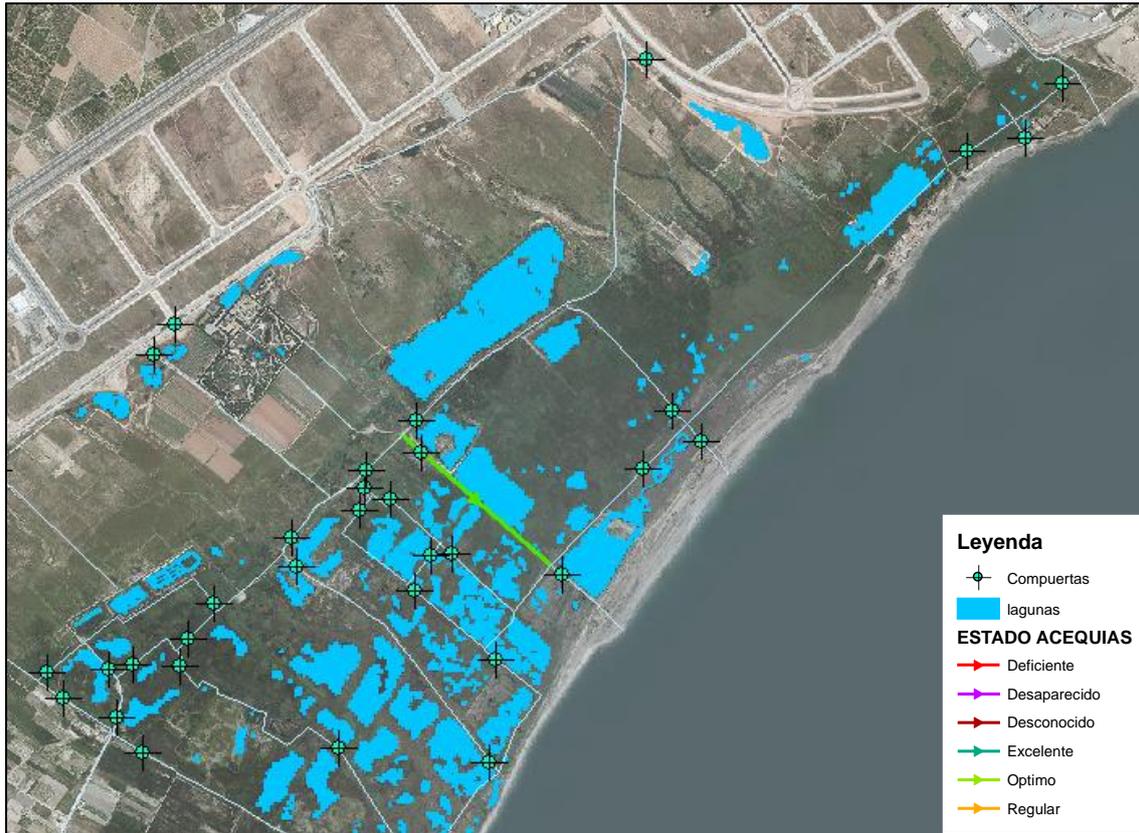


Figura 135. Escorridor Pas de les Egües

El **Segon Sifó de la Sèquia de Salvadanys**, localizado al noroeste del humedal, puede derivar agua desde la *Sèquia de l'Arrif*, siendo el sifón su último ramal previamente al vertido a la *Gola del Colomer*. Éste conecta con la Acequia del Rey y con la *Gola de Bernat*, siendo necesario mejorar su estado mediante la limpieza de vegetación, tierras y otros sedimentos. También se aumentará la sección en los tramos de tierra y se dispondrán compuertas en todas las conexiones laterales. En los tramos de hormigón se restaurarán los taludes y se recuperará el tramo desaparecido.

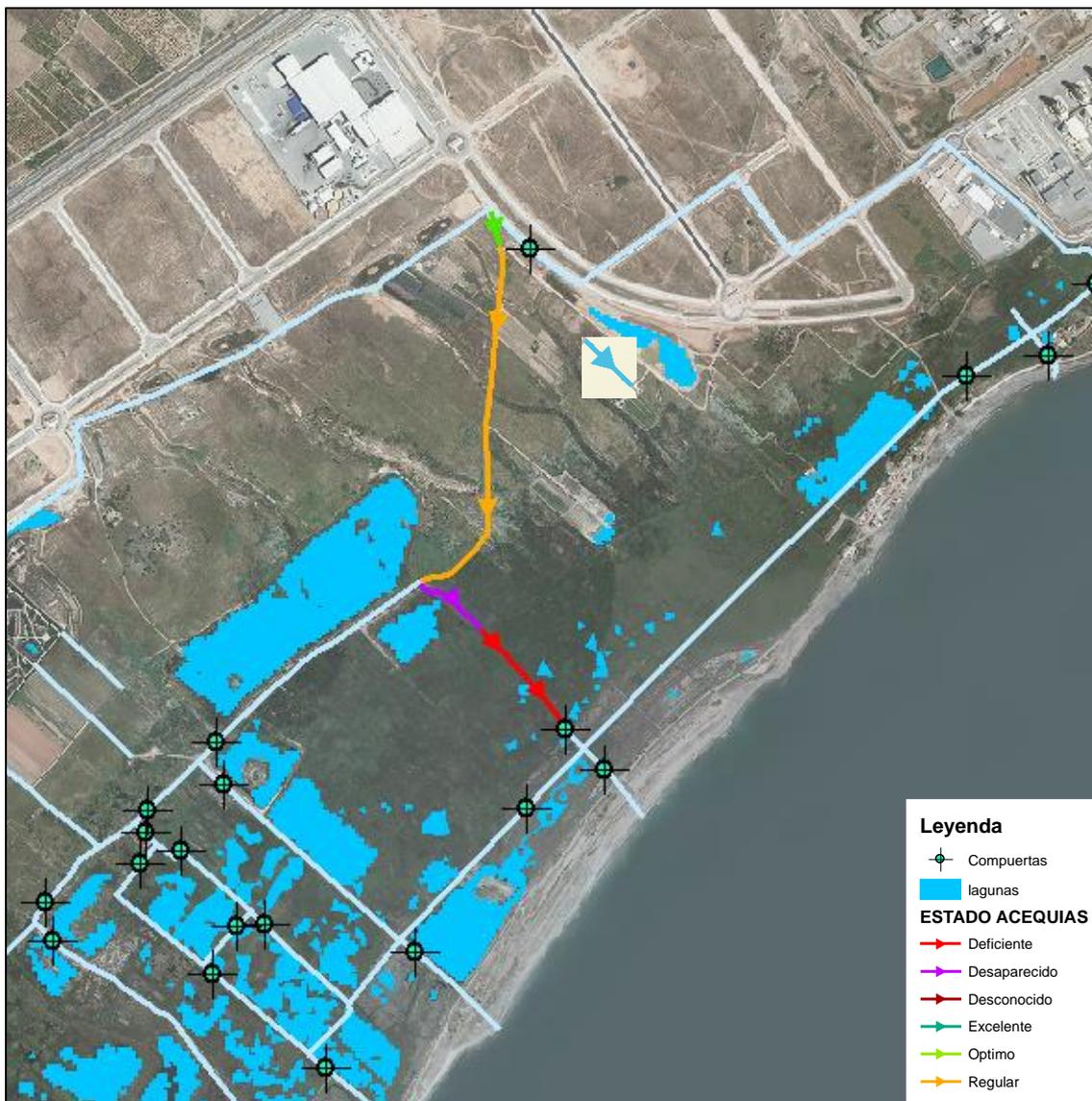


Figura 136. Segon Sifó de la Sèquia de Salvadanys y Braçal Segon Sifó de la Sèquia de Salvadanys

La **Acequia del Rey** es la más próxima al litoral, recorriéndolo en dos sentidos: de norte a sur desde la *Gola del Pas de les Egües* hasta la *Gola de l'Estany*, y de sur a norte desde la primera gola hasta la *Gola del Colomer*. Esta acequia está en gran parte de sus tramos colmatada, por lo que se deberá aumentar la sección, así como limpiar la vegetación del lecho. Además, se instalarán compuertas según el Plano 05.

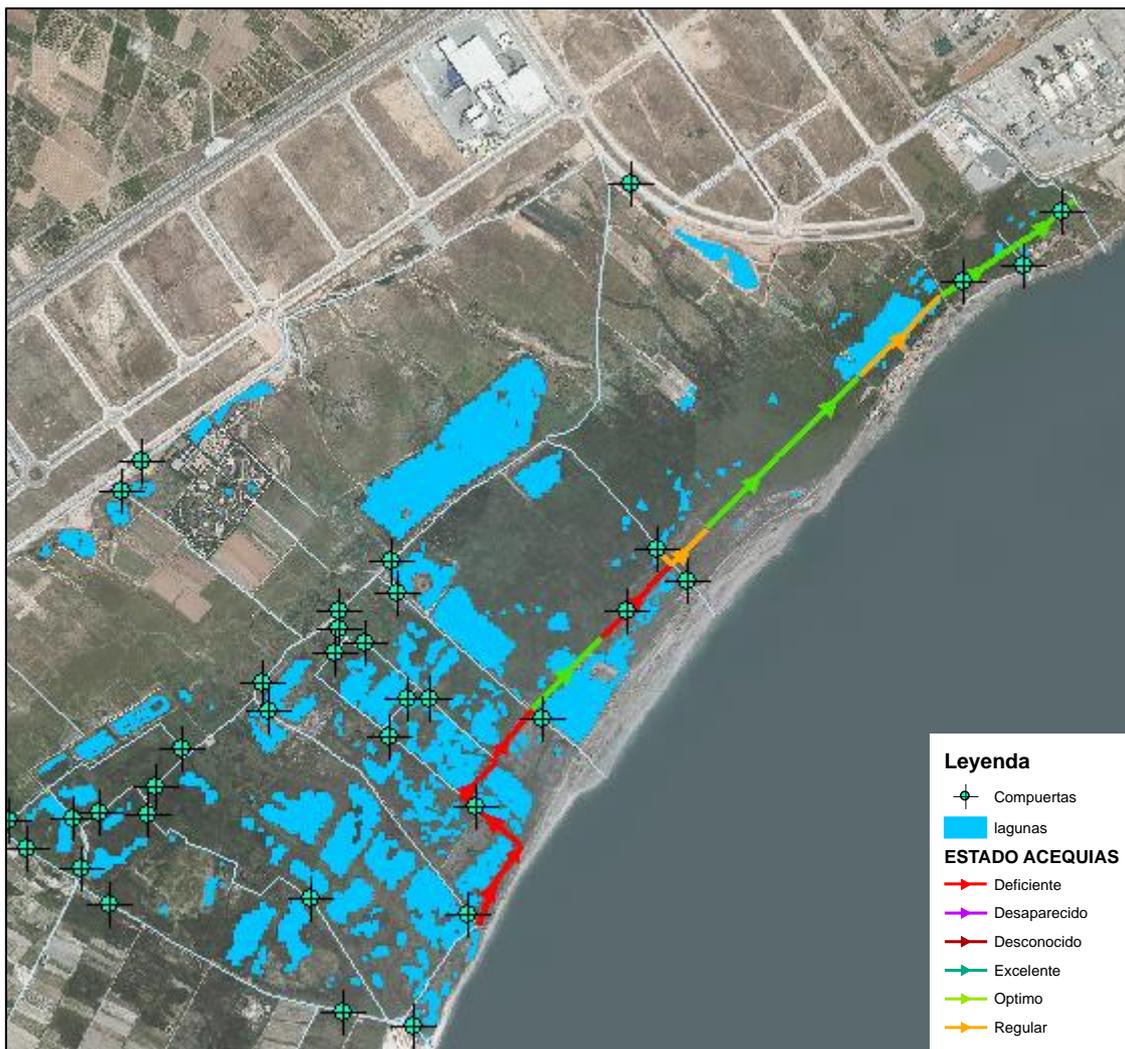


Figura 137. Acequia del Rey

La **acequia S/N 1** y **S/N2** abastecen a las lagunas *dels Cucs* y a las situadas al este de éstas con el agua procedente de la *Sèquia de Salvadanys* o de *l'Arrif*. Para que funcionen correctamente se retirará la vegetación del lecho y se le dará salida al agua hacia las lagunas laterales de forma controlada (mediante compuertas o azudes). Se instalará una compuerta en la acequia S/N 2 en la conexión con el *Primer Braçal de l'Arrif* y otra previamente a la conexión con la *Sèquia de Salvadanys*, así como en la conexión de *Salvadanys* con la acequia S/N 1.

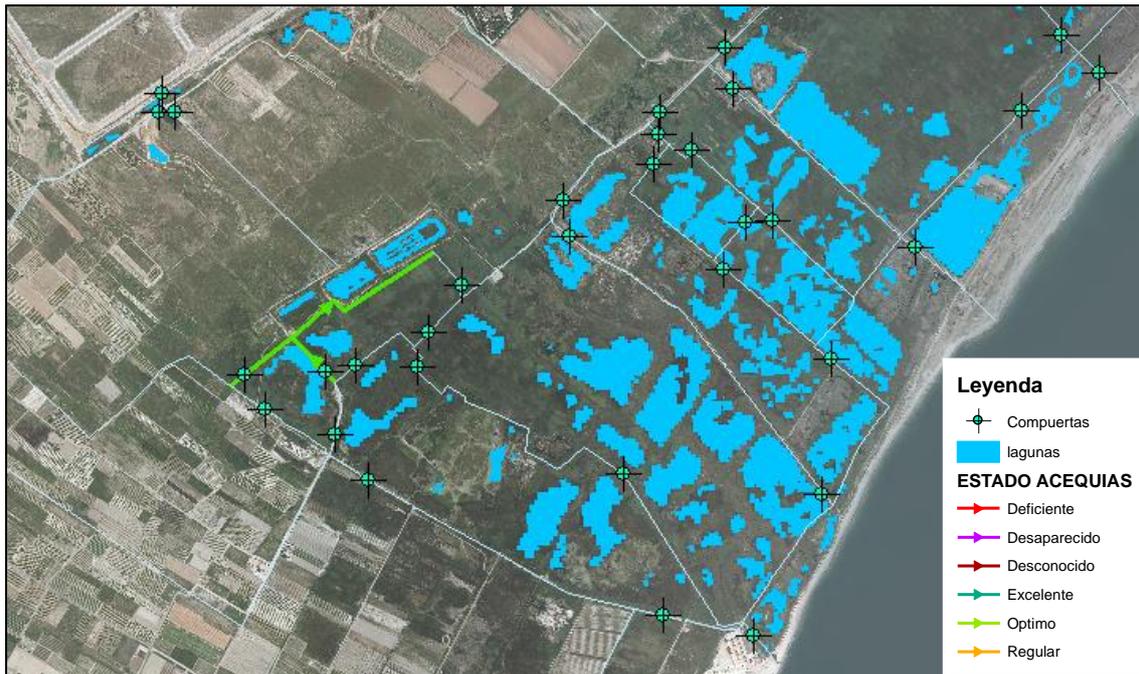


Figura 138. Acequia S/N 1 y acequia S/N 2

El **Tercer Braçal de l'Arrif** transporta el agua desde la *Sèquia de l'Arrif* hasta la *Sèquia de Salvadanys*. Su estado es bueno, por lo que únicamente sería necesario proceder a su limpieza para mejorar su funcionamiento hidráulico, además de la instalación de compuertas en sus ramales.

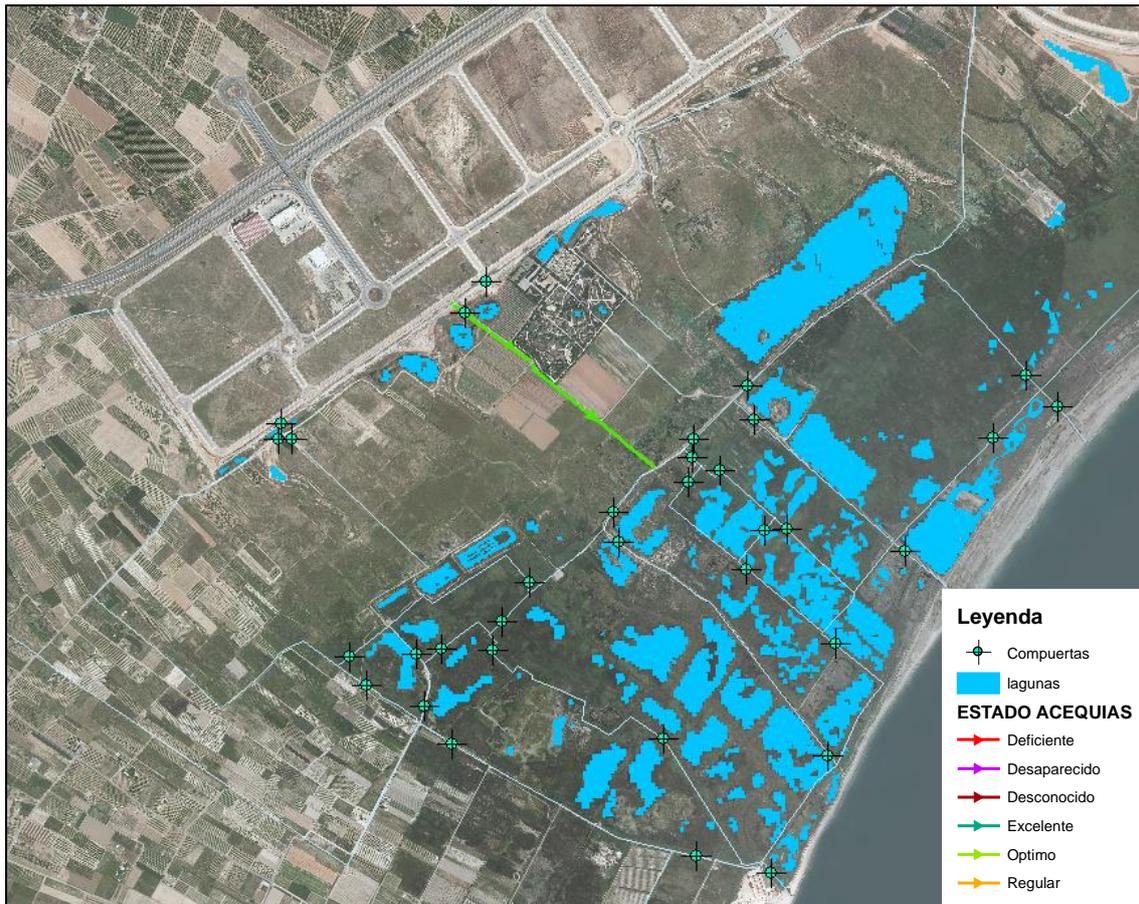


Figura 139. Tercer Braçal de l'Arrif

La acequia S/N 7 se encarga de abastecer de agua los campos ecológicos de su alrededor, siendo necesario limpiarla y aumentar su sección, además de reponer el geotextil.



Figura 140. Acequia S/N 7

La **acequia S/N 8** recoge aguas pluviales procedentes del CEACV y las deriva hasta el final de la gola de *Parc Sagunt*.



Figura 141. Acequia 8

La **Sèquia Travessera** es otra potencial entrada al humedal por la zona sur, puesto que transporta continuamente agua, según se ha observado durante las visitas a campo. No requiere de ninguna actuación para su correcto funcionamiento, aunque sí que requiere de un mantenimiento periódico.

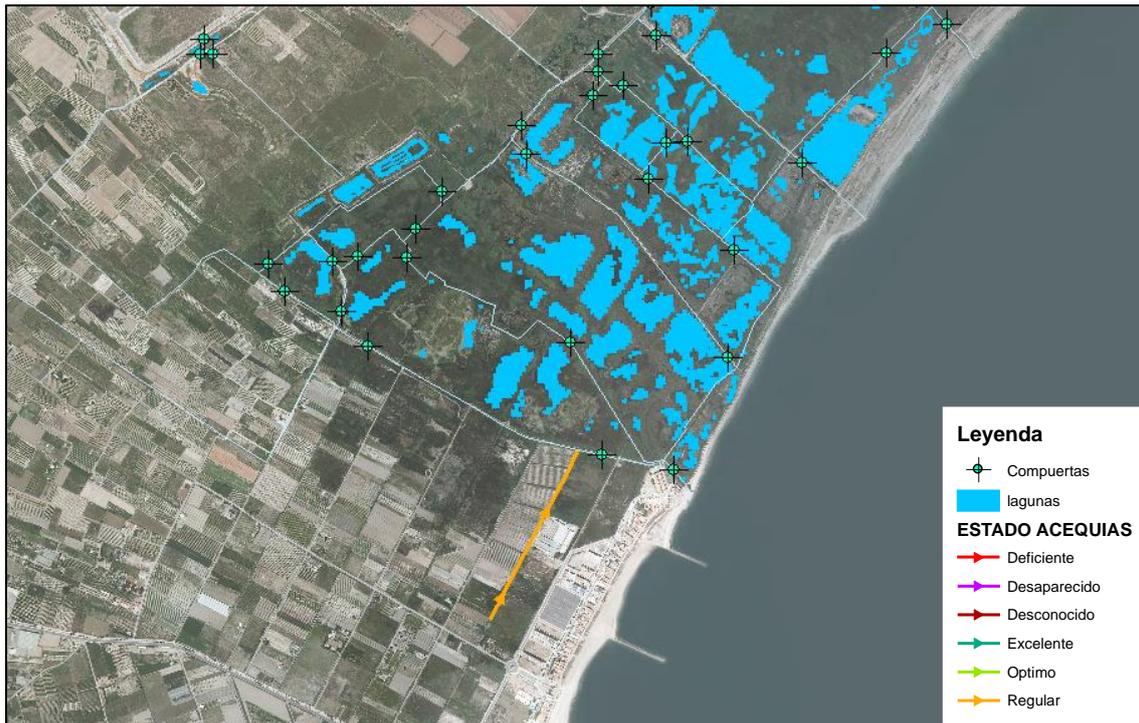


Figura 142. Sèquia Travessera

Realizando un análisis de la dirección del flujo del agua en las diferentes acequias según su pendiente y las zonas de mayor acumulación de agua del marjal, se puede afirmar que es posible abastecer a todo el humedal mediante la red de acequias propuesta, derivada de la red ya existente, sin necesidad de nueva infraestructura, aunque sí de pequeñas actuaciones: limpieza, reparación, restauración y/o excavación.

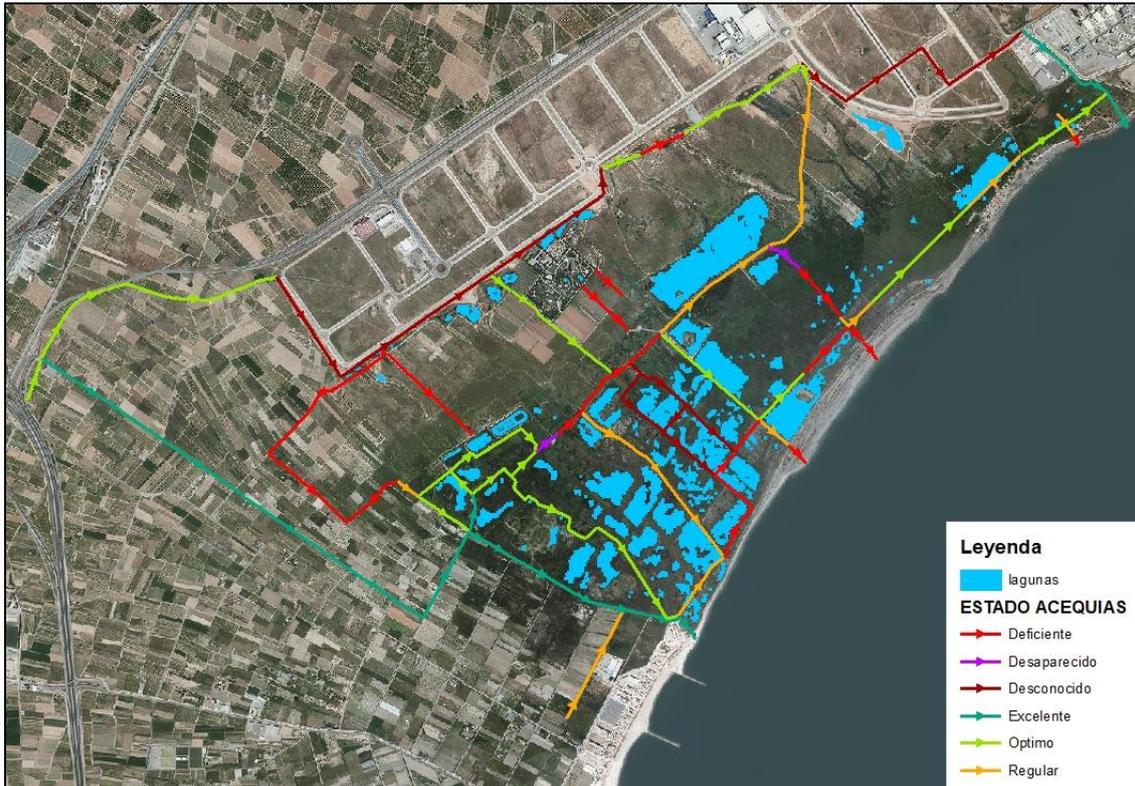


Figura 143. Red de acequias propuesta y estado de cada una de ellas

En el Plano 05 se ha representado la red de acequias en función de las actuaciones, donde:

- Excavación: Se debe aumentar la sección del canal, además de eliminar la vegetación del lecho.
- Limpieza: Se procederá a la retirada de la vegetación y de cualquier sedimento que haya podido depositarse. En el caso de las acequias de obra, también se eliminarán los fangos.
- Reparación: En las acequias de obra, se procederá a la reparación de su estructura.
- Restauración: Se han incluido aquellas actuaciones dirigidas a la recuperación de las acequias o de cualquier elemento que la componga y que se encuentre en mal estado.

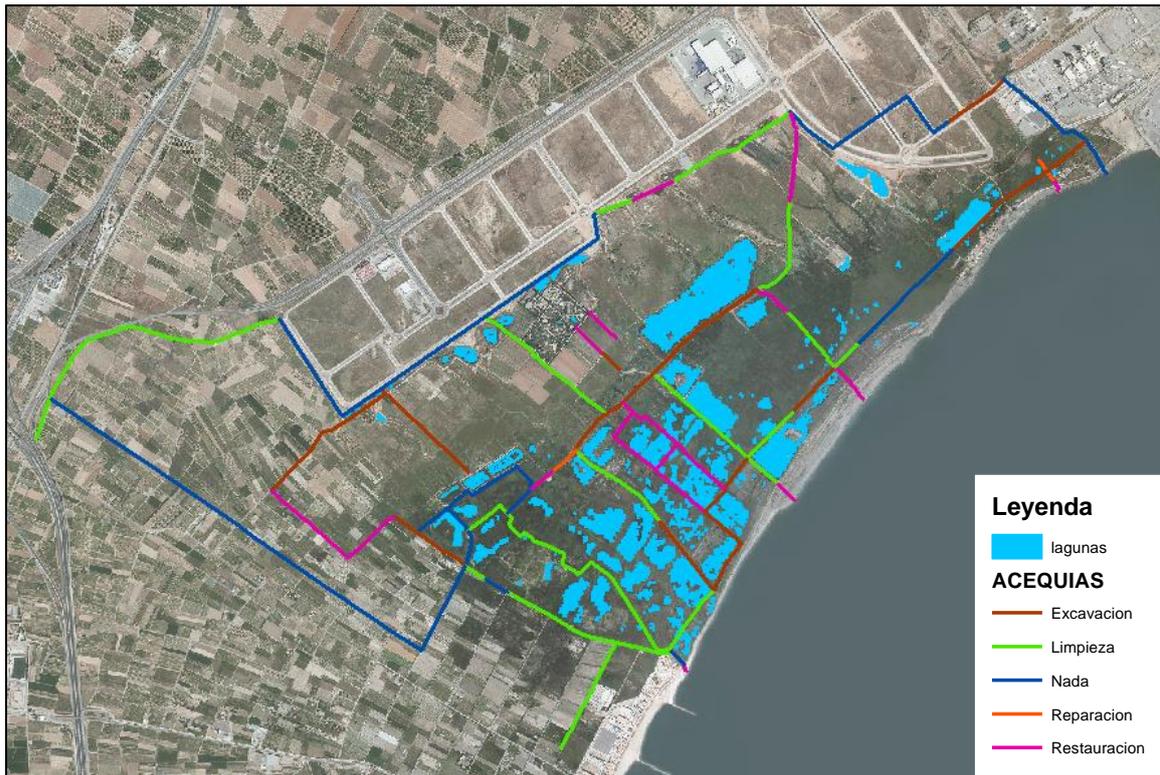
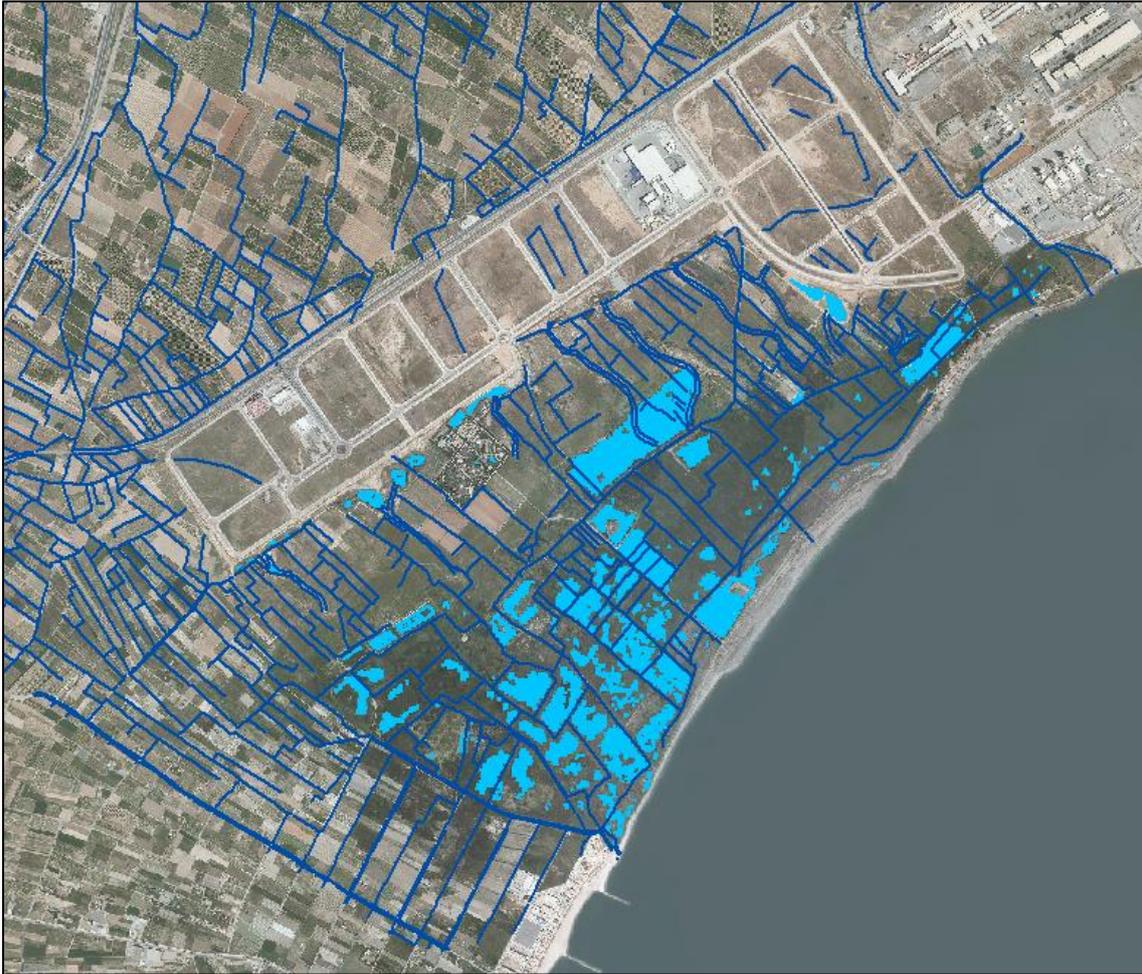


Figura 144. Actuaciones en las acequias

Las demás acequias (figura 145) que componen la red de acequias serán desmanteladas, con excepción de aquellas que pudieran aprovecharse para uso agropecuario, que en este caso se restaurarán.



*Figura 145.* Red de acequias existente. Fuente: *Institut Cartogràfic Valencià*

Dado que el Marjal dels Moros fue declarado Zona de Reserva de Anguila (ZRA), de acuerdo con el *Decreto 35/2013, de 22 de febrero del Consell*, es indispensable mantener las golas o las desembocaduras al mar en buen estado. Por ello, la Gola de Bernat y la Gola de l'Estany deberán naturalizarse, limpiarse y mantenerse periódicamente. Así mismo, se corregirán los obstáculos al remonte y regreso para la fauna ictícola, tal y como se indica en este Decreto.

En cuanto a la *Gola de l'Estany* se restaurará siguiendo las pautas anteriormente descritas, permitiendo la entrada y salida de las anguilas. En este caso será necesario retirar la infraestructura existente y la sustitución por una nueva.

Finalmente, la Gola del Colomer, dada la mala calidad del agua que transporta, no se considera como posible elemento de remonte para las anguilas, por lo que no se realizará ninguna actuación.



Figura 146. Golas del Marjal dels Moros

### 9.3. ADECUACIÓN DE LAS LAGUNAS

Las lagunas se han ido colmatando con el paso de los años, habiéndose reducido considerablemente su capacidad de almacenamiento. De esta manera, con el objetivo de evitar su desaparición y recuperar el hábitat que le correspondería se proponen una serie de actuaciones:

- Las lagunas *dels Cucs* componen la reserva de fauna “*Els Cucs*” (*Decreto 265/2004, de 3 de diciembre*), por lo que se deberían excavar las tres lagunas unos 20-30 centímetros por debajo del nivel freático, o lo que es lo mismo, hasta la cota 0 m.s.n.m. De esta manera se conseguiría una lámina de agua permanente de unos 30 centímetros. Sin embargo, a la hora de gestionar el agua de riego o de escorrentía, se deberán tener en cuenta las necesidades de esta microrreserva.
- La Balsas Rampetes también forman la reserva de fauna “Balsa Rampetes”, cuya especie prioritaria es el *Fartet*, aprobada por la *Orden de 23 de noviembre de 2006*. Es por ello que, al igual que en el caso anterior, debe existir una lámina de agua permanente de unos 20-30 centímetros de profundidad. Para ello, se excavará hasta la cota 0 y se tendrán en cuenta sus necesidades hídricas durante el proceso de reparto de las aguas de riego o escorrentía.
- El Sistema lagunar sur ha visto reducida su capacidad de almacenamiento con el paso de los años, tal y como puede verse en las figuras siguientes. Por ello, se deberán excavar los vasos de las lagunas que componen este sistema con tal de evitar su total colmatación, permitiendo el almacenamiento temporal de agua.



Figura 147. Estado del sistema lagunar sur en el año 2008. Fuente: Google Earth



Figura 148. Estado del sistema lagunar sur en el año 2017. Fuente: Google Earth

- En la **Laguna del Pas de les Egües** se realizará una excavación para conseguir una lámina de agua permanente de unos 30 centímetros de profundidad, por lo que se excavará hasta la cota 0, sobrepasando así el nivel freático. Dado que posee una isla con cota 2 m.s.n.m., siendo la máxima capacidad de almacenamiento, ésta se excavará hasta alcanzar la cota de 1,7 m.s.n.m.

El resto de lagunas no ha mostrado una reducción de la cubeta destacable, sin embargo necesitarán un mantenimiento periódico con el fin de evitar su colmatación.

## 10. CONCLUSIONES

1. Ubicada en los términos municipales de Sagunto y Puzol se localiza el *Marjal dels Moros*, espacio protegido ZEC (Zona de Especial Conservación) y que alberga una ZEPA (Zona de Especial Conservación para las Aves) y un LIC (Lugar de Interés Comunitario)
2. Se trata de un humedal cuyos hábitats y especies dependen en gran medida de la presencia de agua, tanto temporal como permanente, y actualmente presenta una gran escasez de agua mientras que el recurso hídrico sobrante del regadío o la escorrentía acaban en el mar, cuando podrían ser aprovechados.
3. El objetivo del Estudio es la recuperación de la calidad ambiental del humedal mediante la planificación y la gestión hídrica, de la que dependen en gran medida muchas especies, tanto de fauna como de flora. Se analizan las diferentes fuentes que podrían proporcionar agua en cantidad suficiente, como la escorrentía de la cuenca hidrográfica, las aguas pluviales procedentes de *Parc Sagunt* y los sobrantes del regadío, y se proponen las actuaciones necesarias para aprovecharlas.
4. Se ha estimado la escorrentía mediante el método racional y se ha modelizado con el programa HEC-HMS, obteniéndose un volumen de aportación de 318.335 m<sup>3</sup> y 450.000 m<sup>3</sup> respectivamente (cálculos realizados para una tormenta de diseño de 1h 30 min y un periodo de retorno de 2 años).
5. Se propone la introducción de la escorrentía generada en el la esquina suroeste de la Z.E.C., unos 250.000 m<sup>3</sup>. Para ello se excavará una cubeta de retención que permita la laminación del agua y luego se dirigirá a través de un canal a la *Sèquia de Salvadanys*. El resto de escorrentía que llegue al punto de desagüe, unos 200.000 m<sup>3</sup>, se recogerán a través de las lagunas costeras.
6. El agua sobrante del regadío que llega a la esquina suroeste del humedal a través de la Real Acequia de Moncada será introducida mediante la red de acequias, que deberá restaurarse en parte.
7. Se realizarán las actuaciones necesarias (limpieza, restauración, excavación, reparación) para recuperar aquellas acequias de mayor entidad que permitan la

introducción del agua de riego en el marjal, además de su reparto de sur a norte y de oeste a este. Las acequias propuestas para el óptimo funcionamiento son: Real Acequia de Moncada, *Sèquia de l'Arrif*, Acequia del Rey, Acequia de la Raya, *Primer Braçal de l'Arrif*, *Sèquia de Salvadanys*, *Sèquia de Llobarros*, *Segon Braçal de l'Arrif*, *L'Escorridor del Pas de les Egües*, *Segon Sifó de la Sèquia de Salvadanys*, *Tercer Braçal de l'Arrif*, *Sèquia Travessera* y otros cinco ramales sin nombre.

8. Para la correcta gestión del agua, se instalarán compuertas en las distintas conexiones entre acequias y ramales con tal de dirigir el agua hacia los lugares de mayor interés o necesidades hídricas.
9. Dada la esperada mala calidad del agua de la red de aguas pluviales de *Parc Sgunt l*, la cual está previsto que llegue a las cubetas de detención pasando por los “filtros verde”, y que en el peor de los casos puede ser aliviada por las golas hasta alcanzar al humedal, se ha propuesto el diseño de tres tipos de SUDS. En las cubetas se llevarán a cabo **sistemas de biorretención**, que podrán aliviar agua a través de las **cunetas verdes** hacia otras lagunas, que actuarán de **estanques de detención**. A su vez, estos estanques, cuando vean superada su capacidad de almacenamiento, aliviarán el agua a través de las golas, cuyo diseño seguirá el de las cunetas verdes.
10. Finalmente, es importante que se haga un mantenimiento periódico de las lagunas existentes, ya que se han ido colmatando con el paso del tiempo, y algunas están diseñadas para contener una lámina de agua permanentemente, por lo que no se debería permitir que se redujera su calado.



## 11. BIBLIOGRAFIA Y WEBGRAFÍA

**ARANEGUI, C., CARMONA, P., RUIZ, J.M.** (2005): *El Humedal del puerto de Arse-Saguntum. Estudio geomorfológico y sedimentológico.*

**BALAGUER I VICÉN ARQUITECTOS.** (2008): *Proyecto de ejecución de restauración de elementos de la fortificación del Grau Vell de Sagunto.* En: Plan de Dinamización del Producto Turístico de Sagunto. Ayuntamiento de Sagunto.

**CHJ.** (2005). *Autorización de vertidos. Parque Empresarial de Sagunto S.L. Exp. 2005\_VI\_0150.*

**CHJ.** (2105). *Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Memoria –Anejo 4. Registro de zonas protegidas. Ciclo de planificación hidrológica 2015-2021.* Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

**CHJ.** (2105). *Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar. Memoria –Anejo 8. Objetivos medioambientales y exenciones. Ciclo de planificación hidrológica 2015-2021.* Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

**CIRIA.** (2015). *The SuDS Manual.* Department for Environment Food & Rural Affairs.

**COMUNIDAD DE REGANTES DE LA REAL ACEQUIA DE MONCADA.** (2018). Web de la Comunidad de Regantes de la Real Acequia de Moncada. Consultada en febrero de 2018. Fuente: <http://www.geoscopio.net/escaparate/portada.cgi?idempresa=13764>

**DE DIOS GÓMEZ GÓMEZ, J.,** (2003): *Actualización del estado de la intrusión marina en el acuífero de la Plana de Sagunto (Valencia, España).* En: Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: Países mediterráneos, Madrid.

**DEPARTAMENT D'URBANISME.** *Estudio de Impacto Ambiental del Plan Parcial Industrial del sector Parc Empresarial Sagunt I (Valencia).* Universidad Politècnica de València.

**DEL VILLAR GARCÍA, A.,** (2014): *El coste energético de la Desalinización en el programa A.G.U.A.* En: Investigaciones Geográficas (Esp). ISSN: 0213-4691.núm 62, 101-112. Instituto Interuniversitario de Geografía España, Alicante.

**DIRECCIÓ GENERAL DE MEDI NATURAL I AVALUACIÓ AMBIENTAL.** (2018): *Aporte extraordinario de agua a la Marjal dels Moros.*

**ESPAI PROTEGIT DE LA MARJAL DELS MOROS.** (2006): *Estado actual de “Les Goles” del refugio de fauna de la Marjal dels Moros de Sagunt (Valencia).*

**HIDTMA.** (2010). *Anteproyecto de actuaciones complementarias en la Zona al Sur del Puerto de Sagunto.* Valenciaport

**MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE.** (2017). *Programas de seguimiento del estado químico de las aguas subterráneas en la Demarcación Hidrográfica del Júcar.* En: Informe anual 2016.

**MINISTERIO DE EDUCACIÓN Y CIENCIA.** (2005). *Trabajos técnicos para la aplicación de la Directiva Marco del agua en materia de aguas subterráneas. Caracterización adicional Plana de Sagunto (Memoria).* En: Convenio de Colaboración entre la Dirección General del Agua y el Instituto Geológico y Minero de España, Valencia.

**MINISTERIO DE FOMENTO.** (1999). *Máximas lluvias diarias en la España peninsular.* En Serie monografías. Dirección General de Carreteras.

**MOPU.** (1987). *Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales.* En: Tecnología. Carreteras MOPU.

**MOPU.** (1990). *Instrucción 5.2-IC. Drenaje superficial.* En: Tecnología. Carreteras MOPU.

**Ortiz, A.,** (2002). *Historia de una siderúrgica, la historia de Puerto de Sagunto.* En: El Puerto: Crónica de un siglo. 1902-2002”.

**PROYECTOS CIVILES Y TECNOLÓGICOS, S.A., INGENIEROS CONSULTORES, S.A.,** (2003): *Proyecto Urbanización del Parque Empresarial Sagunt I (“Parc Sagunt I”)*

**TRAGSATEC.** (2006). *Restauración, conservación, mejora, puesta en valor y uso público de los hábitats presentes en el Marjal dels Moros (Valencia).*