



MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE

DIRECCIÓN GENERAL
DE OBRAS HIDRÁULICAS
Y CALIDAD DE LAS AGUAS

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR

CLAVE:

08.803-190/0411

TIPO:

ESTUDIO

REF. CRONOLÓGICA:

06/04

TÍTULO DEL ESTUDIO:

ESTUDIO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE L'ALBUFERA DE VALENCIA

FASE:

5

**ELEMENTOS DE PARTICIPACIÓN
Y PRESENTACIÓN FINAL**

ACTIVIDAD: **PC5/02**

PRESENTACIÓN FINAL

SUBACTIVIDAD: **1**

DOCUMENTOS DE SÍNTESIS

TÍTULO DEL DOCUMENTO:

CÓDIGO: 7241-IN-OA-PC5/02/1-001-ed01

SÍNTESIS DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS



CONSULTOR:



AUTOR:

Miguel Mondría García

DIRECCIÓN ESTUDIO:

Enrique Cifres Giménez

ESTUDIO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE L'ALBUFERA DE VALENCIA

SEGUNDA JORNADA DE DEBATE ENTRE EXPERTOS

VALENCIA, 12 DE JULIO DE 2004

SÍNTESIS DE LOS ESTUDIOS TÉCNICOS

Borrador

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	7
1.1.	OBJETIVOS	7
2.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y TOMA DE DATOS	9
2.1.	TRABAJOS TOPOGRÁFICOS Y BATIMÉTRICOS	9
2.1.1.	NIVELACIÓN DE PRECISIÓN	9
2.1.2.	VUELO, APOYO Y MDT	10
2.1.2.1.	VUELOS Y CARTOGRAFÍA REALIZADOS EN EL ESTUDIO	10
2.1.2.2.	MODELO DIGITAL DEL TERRENO	11
2.1.3.	BATIMETRÍA	11
2.1.4.	TRABAJOS TOPOGRÁFICOS COMPLEMENTARIOS	11
2.2.	IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS QUE AFECTAN A L'ALBUFERA	12
2.2.1.	INFRAESTRUCTURAS HIDRÁULICAS	12
2.2.1.1.	SANEAMIENTO Y DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES	12
2.2.1.2.	RED DE RIEGOS	13
2.2.2.	PLANIFICACIÓN TERRITORIAL Y URBANÍSTICA	14
2.2.3.	INFRAESTRUCTURAS VIARIAS	14
2.2.4.	CLIMATOLOGÍA Y SISTEMA HÍDRICO	14
2.2.5.	VEGETACIÓN, FAUNA Y PAISAJE	17
2.2.6.	CALIDAD DE AGUAS	18
2.2.7.	MEDIO SOCIOECONÓMICO	20
2.3.	ESTUDIO HISTÓRICO DE L'ALBUFERA	21
2.3.1.	ESTUDIO HISTÓRICO Y ANÁLISIS DE CARTOGRAFÍA DIACRÓNICA	21
2.3.2.	ESTUDIO DE BATIMETRÍAS HISTÓRICAS	22
2.4.	CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	24
2.4.1.	CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE LAS CUENCAS VERTIENTES	24
3.	MODELOS HIDROLÓGICOS DE LAS CUENCAS VERTIENTES	27
3.1.	ANÁLISIS TOPOLÓGICO Y CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO	27
3.2.	ELECCIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL CÁLCULO DE APORTACIÓN SÓLIDA Y LÍQUIDA	28
3.3.	ELABORACIÓN DEL MODELO HMS PARA EL CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA LÍQUIDA	29
3.4.	ELABORACIÓN DEL MODELO AGNPS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA APORTACIÓN SÓLIDA	30
4.	AMPLIACIÓN DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y SEDIMENTOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO JUCAR AGUAS ABAJO DEL EMBALSE DE TOUS.	33
4.1.	CARACTERIZACIÓN DE SUELOS	33
4.2.	SIMULACIÓN DEL PROCESO DE ESCORRENTÍA LÍQUIDA MEDIANTE EL MODELO HEC-HMS.	35
4.3.	ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO MEDIANTE EL MODELO AGNPS.	36
4.4.	COBERTURA DE USOS DEL SUELO	36
4.5.	COBERTURA DE SUELOS.	37
5.	CONSTRUCCIÓN, VALIDACIÓN Y TRANSFERENCIA DE LOS MODELOS HIDRODINÁMICOS Y DE SEDIMENTOS	39
5.1.	INTRODUCCIÓN	39
5.2.	MATERIAL Y MÉTODOS	39
5.2.1.	DATOS DISPONIBLES	39

5.2.2.	MODELO HIDRÁULICO	40
5.2.3.	MODELO DE TRANSPORTE DEL SEDIMENTO	41
5.2.4.	ASUNCIONES Y LIMITACIONES	42
5.3.	EXTENSIÓN DEL MODELO A LOS BARRANCOS DE LA FORCA, ALGINET, BERENGUERA Y TRAMUSSER. MODELO SOBEK+1	42
5.4.	CALIBRACIÓN HIDRODINÁMICA DEL MODELO ALBUFERA: OCTUBRE 2000	44
5.4.1.	DATOS METEOROLÓGICOS	44
5.4.2.	HIDROGRAMAS DE ENTRADA	44
5.4.3.	NIVELES DE AGUA EN EL LAGO	45
5.4.4.	MANEJO DE LAS ESTRUCTURAS	46
5.4.5.	SIMULACIÓN DE ROTURA DE DIQUE	46
5.4.6.	RESULTADOS	46
5.5.	CONTRASTE DE LOS VALORES DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTO EN EL MODELO ALBUFERA: OCTUBRE 2000	50
5.5.1.	ANTECEDENTES Y PERIODO DE SIMULACIÓN	50
5.5.2.	ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	50
5.5.3.	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN CON PARÁMETROS POR DEFECTO 'DELFT3D'	50
5.5.4.	COMPARACIÓN CON LAS BATIMETRÍAS MEDIDAS	52
5.6.	RESUMEN Y CONCLUSIONES	55
6.	EL MODELO TRIDIMENSIONAL DELFT-3D	57
6.1.	OBJETIVOS	57
6.2.	DATOS Y MÉTODOS	57
6.2.1.	DATOS	57
6.2.2.	SELECCIÓN DE MÓDULOS DE DELFT3D	57
6.2.3.	DOMINIO Y MALLA DE CÁLCULO	58
6.3.	DESCRIPCIÓN DEL MODELO A. EFECTO DEL VIENTO	58
6.4.	EJEMPLO DE SIMULACIÓN	58
6.4.1.	ALGUNAS CONCLUSIONES PROVISIONALES	59
6.5.	DESCRIPCIÓN DEL MODELO B. EFECTO DE UNA AVENIDA EN EL BARRANCO DEL POYO.	59
6.5.1.	UN EJEMPLO DE SIMULACIÓN	60
6.5.2.	ALGUNAS CONCLUSIONES PROVISIONALES	61
7.	DISTRIBUCIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LOS APORTES AL LAGO	63
7.1.	ESQUEMA CONCEPTUAL DEL MODELO DEL SISTEMA HÍDRICO	63
7.2.	CONTRASTE Y AJUSTE CON DATOS AFORADOS	64
7.3.	MODELO PARA LA EVALUACIÓN DE LAS SALIDAS DEL LAGO	65
8.	MODELOS DE CALIDAD DE AGUA.	67
8.1.	CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS APORTES AL LAGO	67
8.2.	CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DEL MODELO DE CALIDAD DE AGUAS	69
9.	DISEÑO DE UNA RED DE MONITORIZACIÓN Y CONTROL DE L'ALBUFERA	73
9.1.	OBJETIVOS DE LA RED DE CONTROL	73
9.2.	SECTORIZACIÓN AMBIENTAL	73
9.3.	RED DE CONTROL BIOLÓGICO	74
9.4.	RED DE CONTROL FÍSICO-QUÍMICO	75
9.4.1.	PUNTOS DE MEDICIÓN AUTOMÁTICOS	75
9.4.2.	RED DE ESTACIONES COMPLEMENTARIAS	76
9.5.	RED DE CONTROL HIDROMORFOLÓGICO	76

10.	ESTABLECIMIENTO DE UNA ZONA PILOTO DE INVESTIGACIÓN	79
10.1.	OBJETIVOS DE LA ZONA PILOTO	79
10.2.	DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN	79
10.3.	PARÁMETROS A ESTUDIAR	80
10.4.	METODOLOGÍA DE LOS ENSAYOS	80
11.	CONCLUSIÓN	81

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS

Según los pliegos del contrato (p.11) constituye el objeto inmediato de la asistencia técnica:

“...el análisis de del impacto sobre la Albufera de Valencia de las actuaciones sobre la red de drenaje previstas por la Confederación Hidrográfica del Júcar que pueden afectarla en su evolución futura, proponiendo las medidas complementarias necesarias para garantizar el desarrollo sostenible de la laguna y su entorno.

Además, el estudio debe recopilar y aglutinar en conocimiento de la Albufera que se deriva de los numerosos estudios e investigaciones realizados en el pasado, y elaborar herramientas metodológicas para el análisis de la laguna y de su entorno desde el punto de vista hidrológico e hidráulico, que permitan en el futuro analizar desde estos puntos de vista cualquier actuación que se proponga.”

Por otra parte, en el pliego de cláusulas administrativas particulares del mismo (Cláusula Adicional Nº 1: Ofertas Variantes) se recogía:

“ Se admiten variantes (una por cada tema enunciado) en relación con:

- *El planteamiento metodológico del Estudio*
- *La ejecución de los trabajos complementarios conducentes a mejorar la calidad ambiental de la Albufera.”*

El contrato de Asistencia Técnica fue adjudicado definitivamente por Resolución de 1 de octubre de 2002 a la oferta variante presentada por Técnica y Proyectos, S.A. (TYPSA) según la cual (presentación, p.3) *“por una parte, se incluye una serie de actividades adicionales que, o bien no estaban recogidas en los pliegos, o bien corresponden a enfoques distintos o más amplios; y por otra se propone una reducción del alcance de determinadas actividades (cartografía, modelo de cuenca, simulación hidrodinámica, etc.) al considerarse que pueden y deben aprovecharse determinados estudios anteriores, especialmente los desarrollados a través de los convenios de colaboración con el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX para el estudio de las inundaciones del Júcar”.*

El objetivo de este documento es exponer de forma resumida las actividades centrales desarrolladas en el marco del contrato.

2. RECOPILACIÓN DE INFORMACIÓN Y TOMA DE DATOS

2.1. TRABAJOS TOPOGRÁFICOS Y BATIMÉTRICOS

Dentro de esta actividad se han desarrollado los siguientes trabajos:

- 1.- Nivelación de precisión y enlace alimétrico con el vértice de referencia de mareas del Puerto de Valencia
- 2.- Vuelo, apoyo y restitución para la elaboración de cartografía a escala 1/2.000 con equidistancia de curvas de nivel de 0.5 m.
- 3.- Obtención del modelo digital del terreno (MDT)
- 4.- Elaboración de ortofotos a escala 1/5.000 sobre el mismo ámbito de actuación que la cartografía arriba citada.
- 5.- Extensión del vuelo, apoyo y restitución a la cuenca media del barranco del Poyo
- 6.- Batimetría del lago
- 7.- Trabajos topográficos complementarios:
 - Definición de los perfiles longitudinales y transversales correspondientes a los principales elementos lineales que existen en el ámbito de la actuación (canales, barrancos y acequias) y caracterización de obras de drenaje y estructuras.
 - Extensión del modelo digital del terreno y la caracterización de las estructuras al ámbito de los barrancos de Alginet, Algadins y Tramusser.

2.1.1. Nivelación de precisión

Dentro del marco del estudio se realizó una nivelación de alta precisión con el fin de definir un marco de referencia alimétrico para el conjunto de trabajos considerados.

Así se ha establecido como sistema de referencia alimétrico el determinado por los valores de cota ortométrica referidas a la superficie equipotencial determinada por el nivel medio del mar en el mareógrafo instalado en la ciudad de Valencia, considerado como punto fundamental alimétrico nacional por los organismos cartográficos competentes. Dicho punto se encuentra referido al marco de referencia alimétrico Nacional, presentando un valor de cota ortométrica sobre dicho sistema de, 1.355 metros sobre el n.m.m.a.

La cota fundamental fue trasladada mediante una red de nivelación de alta precisión que permitió tanto dotar de un sistema de referencia alimétrico al estudio como la nivelación de las golas lo que ha permitido llevar a cotas absolutas las reglas de niveles utilizadas por la Junta de Desagüe de L'Albufera.

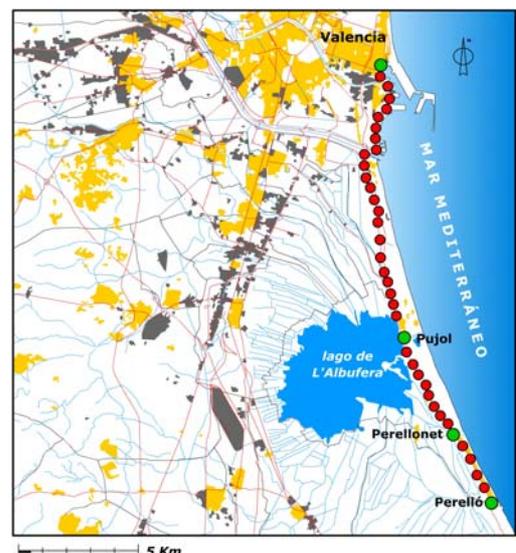


Ilustración 1. Distribución de los clavos de la red de nivelación

2.1.2. Vuelo, apoyo y MDT

2.1.2.1. Vuelos y cartografía realizados en el Estudio

En la elaboración de la cartografía y ortofotos solicitadas se ha empleado la restitución fotogramétrica realizando para ello dos vuelos originales. Si bien en los documentos de desarrollo de la actividad se acompaña el informe técnico correspondiente emitido por la empresa CARTOGESA, encargada de su ejecución, las principales características de ambos han sido:

- **Para la cartografía a escala 1:2000**
 - Escala media de fotogramas: 1:8.000
 - Recubrimientos: 60% en sentido longitudinal y 30% en sentido transversal
 - Cámara : RMK TOP-15 con focal granangular de 153,328 mm
 - Fecha de obtención: Los días 6,7 y 11 de Marzo de 2003
- **Para las ortofotos a escala 1:5.000**
 - Escala media de fotogramas: 1:20.000
 - Recubrimientos: 60% en sentido longitudinal y 30% en sentido transversal
 - Cámara : RMK TOP-15 con focal granangular de 153,328 mm
 - Fecha de obtención: Los días 6,7 y 11 de Marzo de 2003

El vuelo 1:8.000 (20.400 Ha) fue restituido fotogrametricamente, apoyándolo en la red de referenciada en el apartado anterior, a escala 1:2000.

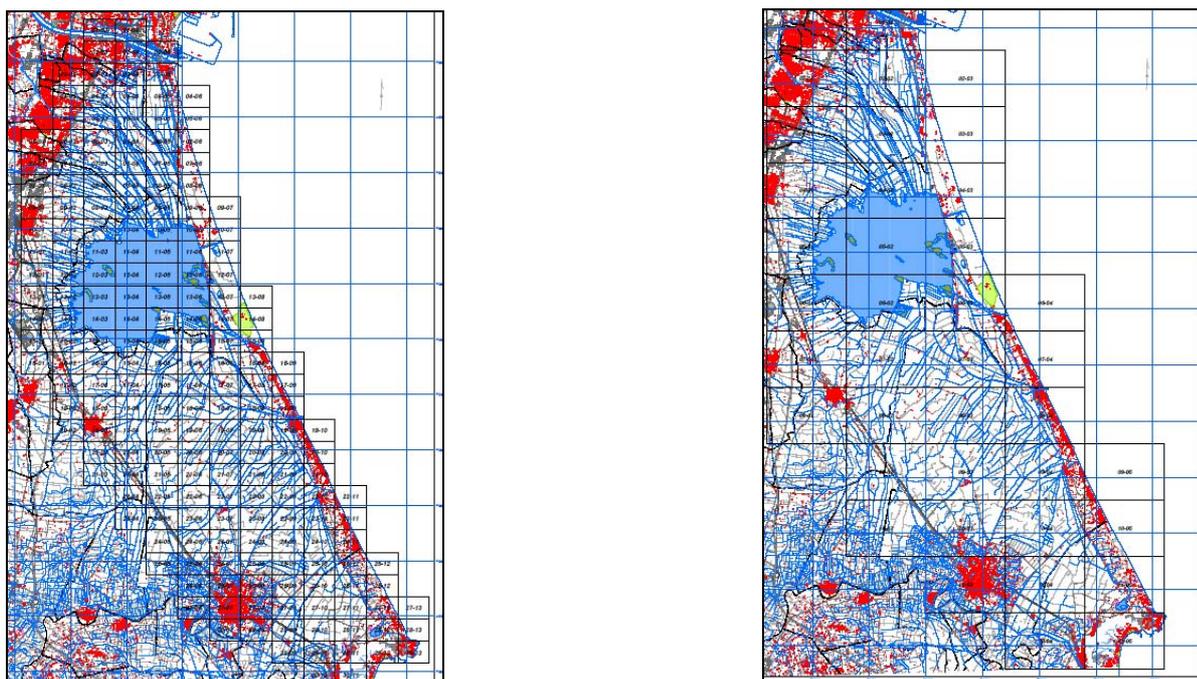


Ilustración 2. Distribución de hojas de la cartografía 1:2000 (izquierda) y de la ortofoto 1:5000 (derecha).

Del mismo modo, se ha puesto de manifiesto la necesidad de mejorar el conocimiento de la topología de la cuenca baja del Barranco del Poyo, Torrent o Massanassa en un territorio fuertemente transformado por el desarrollo urbano que ha alterado sustancialmente el funcionamiento de la red hidrológica. El análisis del proceso de transporte por efecto como trampa de sedimentos de las infraestructuras existentes requiere un conocimiento topográfico preciso que se pretende adquirir mediante la ampliación del vuelo fotogramétrico a escala 1/8.000 en un área de unas 9.350 hectáreas y su posterior apoyo y restitución a escala 1/2.000. El ámbito de actuación queda delimitado tanto por el nuevo

cauce del río Túria, como por la autovía del Mediterráneo (A-3) al norte y los términos municipales de Torrente, Picanya y Albal al sur .

2.1.2.2. Modelo Digital del Terreno

Los modelos digitales del terreno se han realizado mediante la aplicación del programa MDTop que utiliza el algoritmo de Delaunay. Para ello se han utilizado todos los puntos obtenidos en la fase de campo, que han sido incluido en la cartografía, así como todas las líneas planimétricas que puedan servir como líneas de ruptura (caminos, carreteras, linde, vaguadas, cabeza y pie de talud, bordillos, etc.), curvas de nivel y puntos acotados. El M.D.T. se presenta en modo Grid definido con un valor 5 x 5 m.

2.1.3. Batimetría

Para la realización de la batimetría del lago, de las golas y del barranco de Poyo se utilizó una embarcación dotada de una sonda bifrecuencia que permitía recoger tanto la morfología del fondo como el rebote de onda provocado por un cambio textural en los sedimentos del fondo y que puede ser relacionado con la presencia de la capa de arenas. La sonda fue enlazada mediante un GPS diferencial a las bases que constituyen el sistema de referencia del estudio.

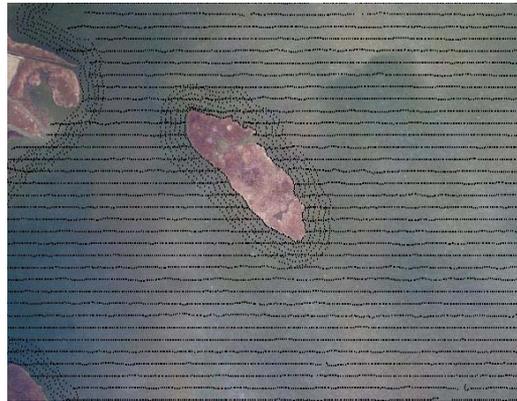


Ilustración 3. Puntos de batimetrías y densificación alrededor de la Mata de Sant Roc

La batimetría consta de mas de 75.000 puntos capturados mediante pasadas en dirección Este-Oeste en las que se tomaba un punto cada 5 metros. El perímetro del lago y de las matas fueron densificadas mediante tres pasadas perimetrales que fueron distanciadas 20 m entre si.

2.1.4. Trabajos topográficos complementarios

Siguiendo las directrices del P.P.T. la distancia de puntos entre perfiles quedó establecida en 50 m y las secciones transversales debían estar constituidas como mínimo por cinco puntos, uno en su parte central, dos en los extremos de los límites de la sección a levantar y los dos restantes entre el central y los extremos a ambos lados de este. La toma de estos datos se han empleado técnicas de observación g.p.s. con procesamiento de las observaciones en el propio campo o en “tiempo real” R.T.K. Para ello se ha utilizado la Red Básica previamente establecida estacionando el equipo de referencia (sensor, antena y radiomodem transmisor) sobre un vértice de la red. Obtenida “in situ” la transformación de coordenadas se obtuvieron las coordenadas de los puntos que han permitido la definición, entre otros, de los cauces siguientes: Oro, Nova, Ravisanxo, Unió, Poyo, Catarroja, Nova de Silla, Beniparrrell, Barranquet, Alqueressia, Overa, Pont-Alt, Dreta, Del Rei y Sant Llorenç.

Adicionalmente se procedió a la toma de perfiles de campo con el fin de caracterizar las líneas de rotura singulares y los cauces y acequias del ámbito de Alginet-Benifaio-Sollana, con el fin de caracterizar el MDT de esta zona.

2.2. IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS QUE AFECTAN A L'ALBUFERA

Dentro de este apartado los trabajos han consistido en la identificación y caracterización de toda una serie de elementos que pueden incidir sobre el desarrollo sostenible del Parque Natural.

2.2.1. Infraestructuras Hidráulicas

2.2.1.1. Saneamiento y Depuración de aguas Residuales

El objetivo de este apartado es entender la evolución histórica de las inversiones realizadas en materia de saneamiento y depuración en el ámbito del Parque Natural. Se recapitula el estado actual de todas las infraestructuras hidráulicas, con el fin de caracterizar su interferencia con el sistema de L'Albufera.

Se ha realizado la enumeración de las siguientes infraestructuras hidráulicas:

1. Conducciones existentes, entre las que se distinguirán los siguientes elementos:
 - Colectores de ámbito supramunicipal (Colector Oeste y sus ramales secundarios).
 - Colectores de ámbito municipal, caracterizándose la red existente y en particular las conexiones al Colector Oeste y a sus ramales secundarios así como las conexiones todavía existentes a acequias de riego.
2. Las características de las estaciones depuradoras de agua residual (en adelante EDAR) situadas en las inmediaciones del Parque Natural. Se ha recopilado información sobre:
 - la procedencia de los caudales tratados,
 - el destino actual de las aguas una vez depuradas,
 - las impulsiones de reutilización previstas según el Plan de Reutilización del Agua del Área Metropolitana de Valencia.
 - el volumen y rendimientos de depuración.

Toda esta información se integra en una cartografía en formato GIS que además de incorporar las conducciones y las EDAR, incluye también las acequias relacionadas con el saneamiento y los elementos puntuales como las estaciones de bombeo y los aliviaderos.

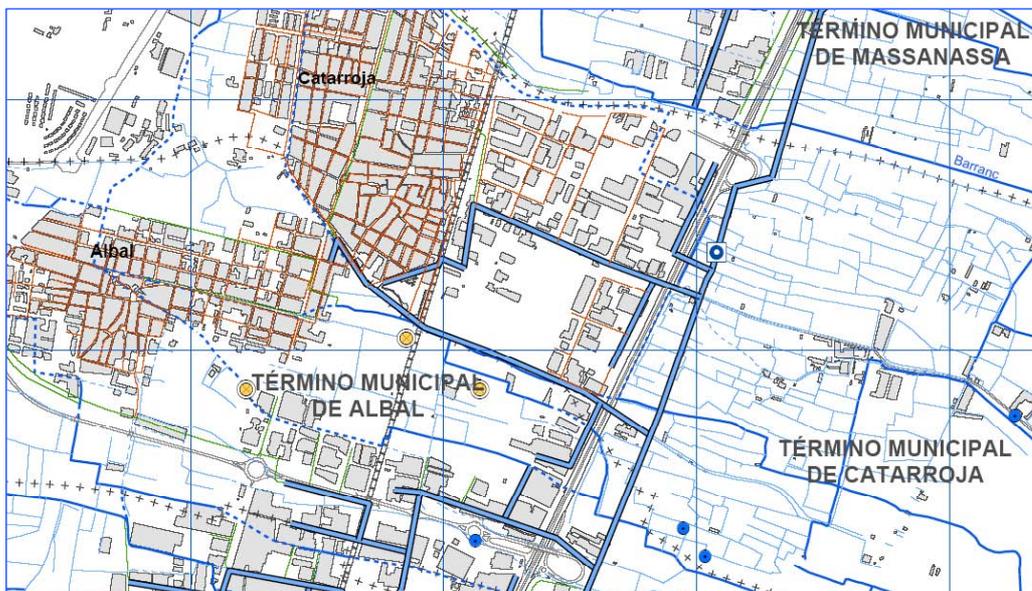


Ilustración 4. Detalle del saneamiento de los municipios de Albal y Catarroja.

2.2.1.2. Red de riegos

El Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente de la Universidad Politécnica de Valencia, realizó en 1997 un amplio proyecto de investigación destinado a reconocer y cartografiar las infraestructuras hidráulicas que incluye una descripción detallada de la red de riegos del Noroeste de L'Albufera. Esta investigación está recogida en el Estudio de las infraestructuras de regadío en el entorno Noroeste de L'Albufera" (Marco *et al.*, 1997)

Con este estudio se pretende completar el anterior ampliando la zona de estudio al entorno completo del lago entre los ríos Júcar y Turia y actualizando la información del informe anterior concerniente a las acequias principales. Esta descripción se ha realizado a partir de la información bibliográfica disponible y de un trabajo de campo consistente en el reconocimiento y seguimiento de las acequias principales.

En el Estudio se han caracterizado mediante esquemas y fotografías las infraestructuras mencionadas. Asimismo, tanto el trazado en planta de toda la red de riegos como el sentido del flujo, quedan detallados en los planos que se han incluido en SIG del Estudio. Se incluye un plano general de la red de riegos y 23 planos de detalle. En algunos casos, en particular en las acequias situadas al norte y noroeste del lago, se diferencian las acequias principales y secundarias. Incluso en éstas se distingue si están descubiertas o cubiertas cuando atraviesan las poblaciones. Además, se incluye la situación de los pozos de riego, los motores de riego, las principales fesas de la Acequia Real del Júcar y los azudes del Turia y del Júcar.

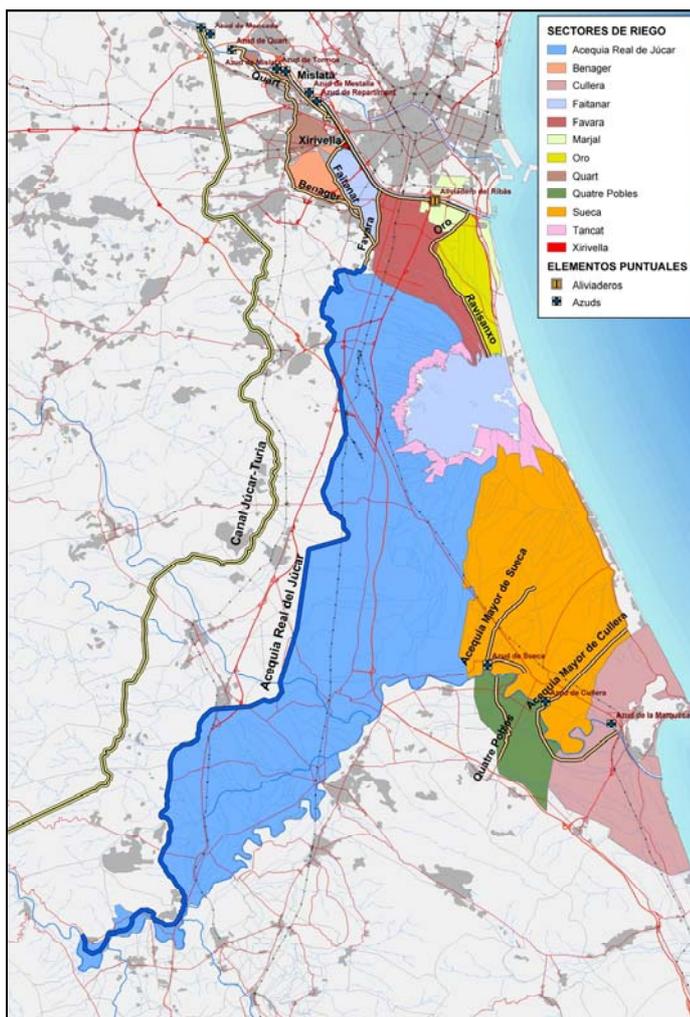


Ilustración 5. Principales acequias y sectores de riego que afectan a L'Albufera.

2.2.2. Planificación Territorial y Urbanística

Los estudios referentes a la Planificación territorial han consistido en la recopilación de todos aquellos planes y programas que inciden sobre el régimen territorial del Parque Natural centrándose especialmente en los siguientes:

- Planes Generales de Ordenación Urbana de los Municipios con suelo dentro del Parque Natural.
- Plan de Ordenación de los Recursos Naturales del Parque Natural de L'Albufera de Valencia.
- Borrador del Plan Rector de Usos y Gestión del Parque Natural de L'Albufera de Valencia.

Se ha prestado especial interés a la recopilación cartográfica de la zonificación reflejada en cada uno de los planes integrándola en el SIG propio del estudio.

2.2.3. Infraestructuras viarias

El objetivo de este apartado del estudio es la identificación de las distintas infraestructuras presentes en el Parque Natural de L'Albufera, con el fin de estimar posteriormente las posibles afecciones que éstas producen sobre el desarrollo del mismo.

Estas infraestructuras se clasifican en:

- *Infraestructura viaria*: formada por la red de carreteras y caminos existentes en el Parque y su entorno.
- *Infraestructura ferroviaria*: líneas incluidas en el entorno de L'Albufera.
- *Infraestructuras eléctricas*: Se traslada la información facilitada por la compañía sobre las instalaciones y líneas más importantes (alta y media tensión) a la cartografía de trabajo.

Una vez identificadas y descritas las infraestructuras se realiza un estudio de distintos aspectos relacionados con éstas y que pueden afectar el desarrollo del Parque Natural. Se estudian factores como: intensidad de tráfico, siniestralidad, frecuencia de paso.

A partir del sistema de infraestructuras y una vez identificadas las afecciones que éstas producen se han recopilado diversas actuaciones previstas y las modificaciones que éstas van a suponer en el desarrollo del Parque.



Ilustración 6. Mapa de Intensidad Media Diaria (2001).

2.2.4. Climatología y sistema hídrico

Por una parte, la actividad se ha centrado dentro de este campo en la realización de una intensa labor de recopilación de datos que ha servido tanto para la caracterización de eventos históricos de avenidas con influencia en el ámbito del estudio.

Por otra parte, se ha desarrollado una línea de trabajo destinada a la caracterización de los aportes hídricos centrada en el lago y con un enfoque recopilatorio en coherencia con las prescripciones del contrato. Asumiendo que resulta una simplificación excesiva limitar las necesidades hídricas de

L'Albufera a una cifra global de aportes anuales, su caracterización desde una perspectiva medioambientales debe extenderse también a su distribución estacional y a aspectos cualitativos. La calidad de los aportes, el grado de autodepuración natural de los mismos, el esquema de regulación artificial del lago y la consideración de los ciclos del nitrógeno y del fósforo son elementos a tener en cuenta. El primer paso en la comprensión de estos aspectos consistió en la recopilación de estudios y datos antecedentes sobre el sistema hídrico en el que se incluyeron los siguientes estudios:

- ❑ El Plan Especial del Parque Natural de l'Albufera (1990). Realiza el balance a partir de los datos de distintas fuentes de información.
- ❑ I Plan Director para el Saneamiento Integral del lago de l'Albufera (1989) realiza un balance en el año 1988 a partir del caudal aportado a l'Albufera por distintos cauces entre enero-julio y comprobando que éste es igual al flujo de salida por las golas en el mismo periodo.
- ❑ Jornadas sobre la problemática de l'Albufera (1982) realizado por J.J. Alonso. En este estudio no se efectúa un balance hídrico; sin embargo, cuantifica la componente de entrada de la escorrentía natural y los retornos de riego.
- ❑ Estudio Piloto de l'Albufera de Valencia (1975) elaborado por Carlos Dafaue. Realiza el balance a partir de los caudales de salida (evaporación del lago y salida a través de las golas) que deben de coincidir con las aportaciones tanto superficiales como subsuperficiales.
- ❑ El Balance Hídrico y estudio de aportes sólidos a l'Albufera (1974) dirigido por Benet. Realiza el balance para cuatro años (1973/74 a 1976/77) a partir de los datos de salida de agua por las golas.

En esta línea de trabajo se recogieron una serie de datos y estudios proporcionados por la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Júcar y que proceden de diversas actividades integradas en la labor de seguimiento de la planificación hidrológica de la cuenca. Estos datos fueron retenidos para efectuar una distribución espacio-temporal de los aportes y generar las series temporales de entradas a los modelos matemáticos de calidad de aguas tal y como se describe más adelante.

La principal fuente de información en esta recopilación es el modelo hidrogeológico conceptual llamado Sistema Integrado para la Modelización de la Precipitación-Aportación (SIMPA) desarrollado por el CEDEX y proporcionado por la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Júcar. Evalúa los recursos hídricos a escala mensual en el ámbito de las cuencas hidrográficas analizadas y se utiliza para actualizar los recursos de la cuenca del Júcar como parte de los trabajos del seguimiento del Plan de cuenca. Utiliza datos mensuales de precipitación y temperatura que han sido registrados en las estaciones meteorológicas procedentes del Instituto Nacional de Meteorología además de información fisiográfica del territorio, aforos históricos registrados en estaciones foronómicas o datos de las series de aforos de la cuenca hidrográfica analizada.

El seguimiento del Plan de cuenca suministra valores mensuales desde el año 1940/41 hasta 2000/01 de las siguientes variables del ciclo natural: escorrentía superficial (Q.sup.), escorrentía subterránea (Q.sub), precipitación y evaporación real. Los valores de surgencia natural están apoyados en un modelo simplificado de flujo subterráneo realizado con el programa MODFLOW.

Dentro de la cuenca del Júcar, considerada en su totalidad por el modelo de lluvia-escorrentía del SIMPA, tres son las cuencas que drenan, al menos parcialmente, al lago de l'Albufera: la 127 (48900 Has.) que engloba la parte sur y suroeste de la lago, la 128 (43000 Has.) que incluye el barranco del Poyo y del Pozalet y la cuenca 129 (6300 Has.) que comprende el noreste del lago.

Para cada una de las tres cuencas, se dispone de los valores de precipitación, evapotranspiración, evaporación real, recarga y escorrentía superficial y subterránea desde octubre de 1940. Los valores de estas variables son dados en mm y Hm³/mes.

Por otra parte, la Oficina de Planificación Hidrológica ha proporcionado series históricas de las entradas por retornos del sistema de riegos del Júcar y del Turia, tanto superficiales como subterráneos. Estos valores proceden de un estudio en curso titulado “Estudio de utilización conjunta de recursos superficiales y subterráneos en las cuencas del Júcar y Turia” en el que se ha utilizado un modelo SINGES de la Universidad Politécnica de Valencia para simular la gestión del sistema del Júcar y de los datos de derivaciones y eficiencias de los riegos de la margen izquierda del río Júcar (Acequia Real del Júcar y Acequia Mayor de Sueca). Los retornos procedentes de la cuenca del río Turia han sido obtenidos a partir de la información de las derivaciones y eficiencias de los riegos tradicionales de la margen derecha de dicho río.

Los datos de la OPH han sido distribuido en 13 punto de entrada que según el análisis de estudios precedentes. Según Soria (1988) la totalidad de las entradas al lago se producen por sesenta y cuatro puntos concretos. No obstante, el 88% de los volúmenes anuales al lago se producen por trece puntos. En consecuencia, se simplificará el sistema teniendo en cuenta solamente las trece acequias y barrancos más caudalosos que vierten al lago. Este esquema de trece puntos corresponde a una idealización del sistema. En el modelo del Sistema Hídrico se entenderán repercutidas las entradas correspondientes a las acequias nominales pero también las de las acequias de menor entidad (las 51 restantes según Soria) que se encuentren en las inmediaciones. En definitiva, por estos trece puntos se producen el 100% de los aportes al lago en el modelo elaborado.



Ilustración 7. Principales punto de entrada al lago

El sistema de reparto de aportes cuenta con un panel de control en el que se caracterizan unos coeficientes de asignación que fueron contrastados mediante la comparación con los aforos realizados en los últimos años. En la figura siguiente podemos apreciar la comparación de los resultados obtenidos con el balance presentado por Soria (1988).

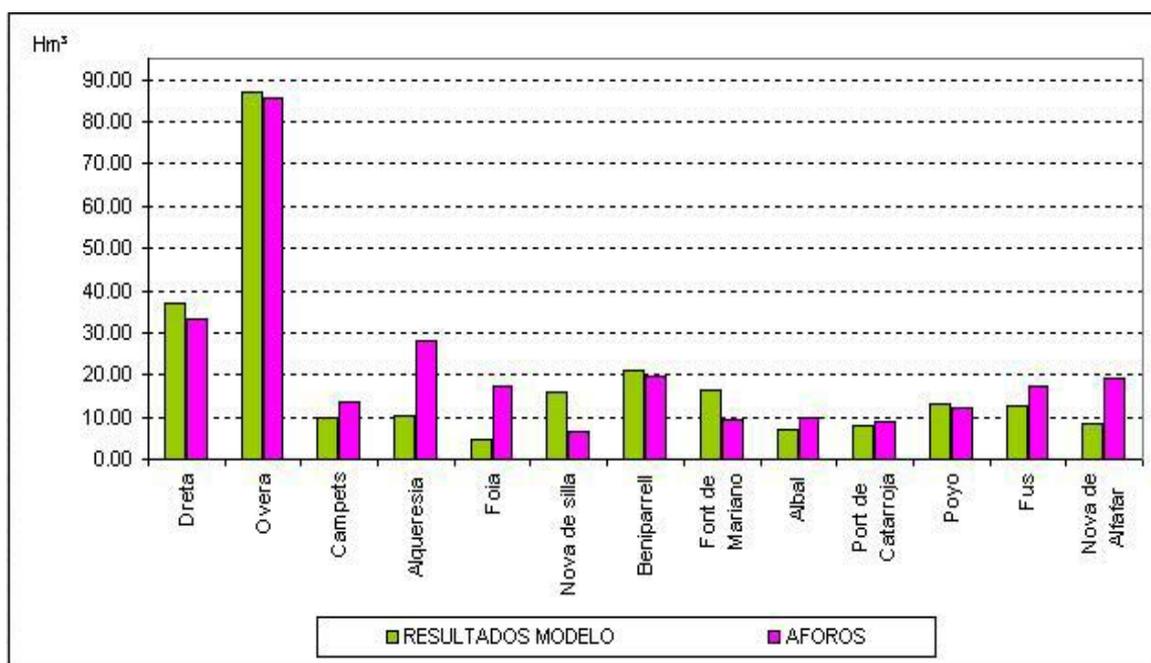


Ilustración 8. Comparación aforo resultado del modelo en 1988.

2.2.5. Vegetación, fauna y paisaje

Este apartado del estudio se ha centrado en el objetivo de realizar un inventario ambiental para la cuenca de L'Albufera, con el fin de conocer el entorno que rodea al Parque Natural y entender su funcionamiento. En cada inventario se han seleccionado las variables adecuadas, se han listado y se ha hecho una síntesis y valoración de éstas. Dado que se trata de un diagnóstico del estado de la cuenca, se ha descrito el estado actual del sistema, es decir, se ha caracterizado el estado pre-operacional.

Los diferentes inventarios deben ser capaces de interpretar el estado ambiental en el que se encuentra la cuenca a la luz de las causas que lo han propiciado. Además, estos inventarios pueden servir como orientación o previsión de lo que vamos a encontrar en la cuenca de L'Albufera en el futuro, siempre y cuando no se lleven en ella actuaciones drásticas que supongan un cambio significativo de las condiciones ambientales. Por último, el análisis de esta información permite realizar una valoración ambiental de la situación actual y de cómo evolucionará en el futuro.

Para este fin, se ha llevado a cabo una extensa recopilación de información ya existente en el ámbito de estudio, la cual se ha complementado con visitas de campo, conocimientos previos de la zona por parte de algunos miembros del equipo de trabajo, entrevistas a técnicos de la administración, etc. Los principales organismos y entidades de los cuales se ha extraído información de carácter ambiental han sido la Universitat de València, la Oficina Técnica Devesa-Albufera, la Oficina de Gestión Técnica del Parque Natural de L'Albufera, la Conselleria de Territori i Habitatge de la Generalitat Valenciana a través de sus Servicios de Conservación y Gestión de la Biodiversidad y de Parques Naturales, así como el Centro de Protección y Estudio del Medio Natural.

Las variables ambientales seleccionadas en este estudio y para las que se ha realizado el correspondiente inventario han sido los suelos (edafología del terreno y usos), vegetación (tipos de cultivo, cubiertas y especies forestales, taxones de flora endémica, rara o amenazada), fauna (peces, anfibios, reptiles, aves, mamíferos) y paisaje (unidades paisajísticas, zonas protegidas o sensibles).

Con el fin de no generar únicamente listados sistemáticos, más o menos extensos, de los organismos presentes en el sistema de la cuenca de L'Albufera, se ha pretendido sintetizar toda esta información mediante la realización de los correspondientes mapas temáticos. Estos mapas temáticos reflejan de forma bastante gráfica la distribución espacial de las diferentes variables en el ámbito de la cuenca.

Básicamente, la información relativa a usos del suelo, cultivos y especies forestales ha sido extraída de los correspondientes mapas de usos del suelo, forestal y cultivos elaborados por la Conselleria de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes (COPUT). Los datos de flora amenazada proceden de la base de datos de la entonces Conselleria de Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana. Por último, la información relativa a la fauna procede en su gran mayoría de los diferentes atlas de vertebrados encargados por la Dirección General de Conservación de la Naturaleza (DGCN) del Ministerio de Medio Ambiente.

La unidad cartográfica básica utilizada para la recopilación de información ha sido la malla de cuadrículas UTM 10x10 debido a que usualmente es el retículo empleado para la recopilación de información relativa a fauna y flora. Ello ha simplificado considerablemente la integración de toda la información disponible a este tamaño de cuadrícula.

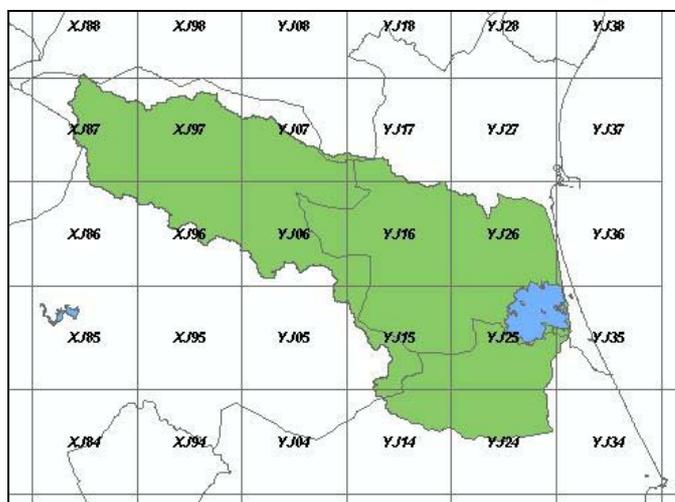


Ilustración 9. Detalle del área de estudio con la denominación de las cuadrículas UTM 10x10 que configuran la cuenca hidrográfica de L'Albufera.

2.2.6. Calidad de aguas

Con respecto a la calidad de aguas se ha procedido a recopilar los resultados de los controles físico-químicos que realizaba la entonces Conselleria de Medio Ambiente así como todos aquellos resultados recopilados con motivo de trabajos de investigación centrados en la problemática de las aguas del Parque Natural. Tras analizar la serie histórica de datos resumimos algunas de las conclusiones que han sido desarrolladas en los documentos del estudio.

L'Albufera de Valencia es un caso típico de lago hipertrófico. Sin embargo, en los últimos años los valores son menores con respecto a los que se daban en los años 80, sobre todo en las zonas norte y central del lago, indicando una ligera mejoría. De hecho, desde finales de los 90, aunque intermitentemente, se ha observado durante un breve periodo de tiempo la aparición de las denominadas *fases claras*, consistente en un aumento de la transparencia del agua debido a la disminución de la concentración de fitoplancton. Este proceso se debe al desplazamiento de las comunidades de cianofíceas por microalgas, como diatomeas y otros grupos, y a su posterior consumo por parte de zooplancton filtrador. Esta sustitución de especies podría deberse, entre otros factores, al vaciado de los arrozales tras la *perellonà* (enero-febrero), introduciendo agua limpia al lago, a la mejora de las condiciones

climáticas en esas fechas, y a la mejora de la calidad del agua debido al Colector Oeste y otras infraestructuras de saneamiento.

Con respecto a las variaciones anuales de las concentraciones de clorofila, se observan máximos en primavera y a principios de otoño, y mínimos en agosto y finales del invierno, coincidiendo con las *fases claras*. La tendencia desde los 80 hasta el año 2000 es a mantener los valores mínimos, y a disminuir ligeramente los máximos poblacionales, de manera general; sin embargo, durante los años 2001 y 2002 los valores aumentaron, de modo que no se puede asegurar que se haya producido una mejoría en el estado trófico del lago.

Los valores medios de clorofila, determinados a partir de la consideración de la albufera como un sistema completamente mezclado, se encuentran entre 100 y 300 mg/m³, siendo valores propios de sistemas acuáticos hipereutróficos.

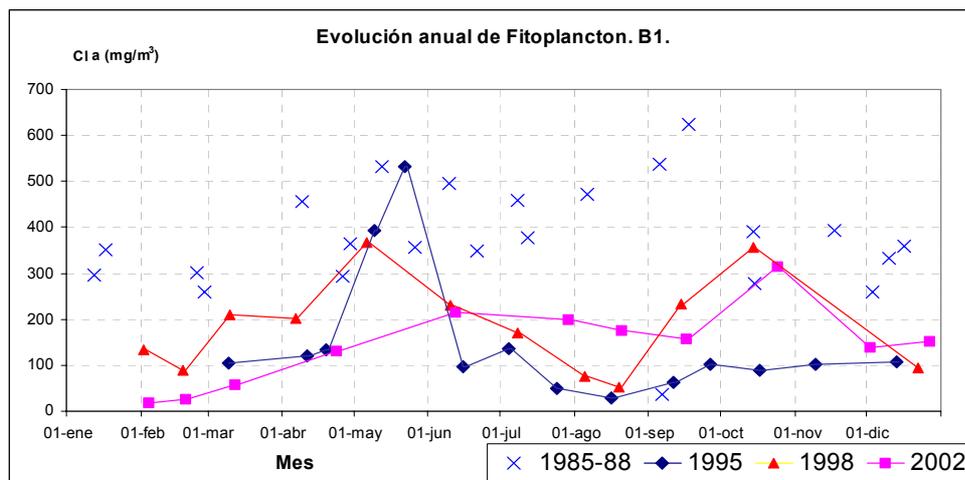


Ilustración 10. Evolución anual de clorofila a ($\mu\text{g/l}$) determinada en punto muestreo B1.

A partir de los estudios realizados por Soria se estableció la distribución espacial de las concentraciones de clorofila en tres zonas: la zona A, de máxima eutrofización, en la parte nor-noroeste del lago, debido a las descargas de aguas residuales urbanas e industriales de las acequias que desembocan en estas áreas; la zona B, de eutrofización intermedia, en una franja central que cruza el lago en sentido noreste-suroeste; y la zona C, de eutrofización menor, al sur y sureste del lago, donde desembocan acequias que transportan agua de riego, de mejor calidad que las del norte, salvo por la presencia de nitratos. Sin embargo, los datos de los últimos años no muestran de manera tan clara esta división, siendo el lago mucho más homogéneo en cuanto a concentración de fitoplancton.

Con lo que respecta a los sólidos en suspensión, éstos se encuentran casi siempre por encima de los 25 mg/l establecidos como máximo permitido para aguas de uso ciprínicola.

Esta alta biomasa de fitoplancton determina por una parte altos niveles de materia orgánica (DQO) en el lago, superándose los 125 mg O₂/l en algunos momentos, en el periodo 1995-1999, y siendo menor en el periodo entre los años 2000-2002. Por otra parte, altas concentraciones de oxígeno disuelto durante el día, alcanzándose condiciones de sobresaturación durante el mediodía. Esto contrasta con las bajas concentraciones durante la noche, debido al proceso de respiración, llegando a producirse anoxia en determinadas zonas en verano, debido al aumento de la temperatura y por lo tanto al aumento de la respiración de las bacterias aerobias. Este hecho produce la mortandad de peces.

Las concentraciones de nitrógeno total y de fósforo total son elevadas. La concentración de nitratos es muy variable, y en general no muy elevada, aunque suelen superarse niveles de 1 mgN/l, que corresponden al máximo valor de referencia en masas de agua dulce no alteradas; la de nitritos es bastante elevada, asociada a los déficits de oxígeno del sistema. Los valores de las concentraciones

de nitrógeno amoniacal están, en su gran mayoría, por debajo de 1 mg N/l (valor indicado como objetivo de calidad para aguas aptas para la vida ciprinícola), debido al consumo del mismo por parte del fitoplancton. Por otra parte, los niveles de fósforo total están por lo general por encima de 0.1 mg/l, confirmando que el lago está hipereutrofizado.

Por último, el pH y la conductividad del lago son superiores a los de las acequias que lo alimentan. El pH se encuentra alrededor de 9 como media, debido a la intensa actividad fotosintética. La conductividad varía a lo largo del año. Esto se debe a su dependencia con respecto a los aportes hídricos, la evaporación y la gestión del lago como embalse: durante periodos de sequía la intrusión marina eleva la conductividad por encima de 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; sin embargo lo normal son valores superiores a 1500 $\mu\text{S}/\text{cm}$, indicando fuerte evaporación. Observando la tendencia en la conductividad en los últimos años, también se deduce que están descendiendo los caudales de entrada al lago. En la figura siguiente se muestra la relación entre los aportes de la Acequia Real con la conductividad, observándose una relación inversa entre ambos parámetros.

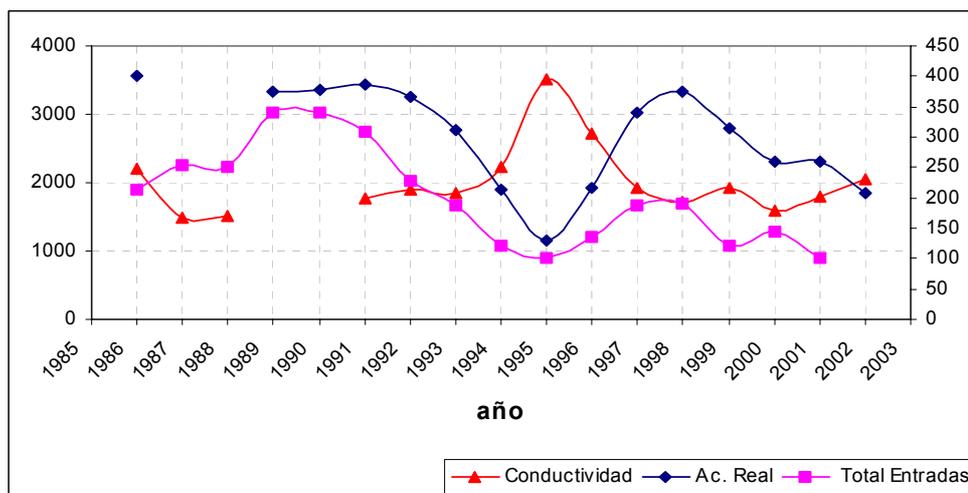


Ilustración 11. Relación aportes Acequia Real y valores medios de Conductividad en l'Albufera (1991-2001)

2.2.7. Medio socioeconómico

El Parque de L'Albufera se caracteriza por el uso intensivo de sus recursos naturales. El cultivo del arroz, la caza y la pesca son actividades que vienen desarrollándose desde hace siglos y que por tanto forman parte de la tradición, cultura y paisaje de la zona. Además, se podría decir que con el paso de los años se ha conseguido un equilibrio entre el aprovechamiento humano y el medio natural, aunque en la actualidad se está viendo alterado por las nuevas técnicas de explotación agrícolas.

La estructura económica de la zona ha estado basada, hasta hace pocos años, en la actividad agrícola, concretamente en el cultivo de arroz. Sin embargo, el fuerte desarrollo industrial en la zona y la transformación del cultivo de arroz para aprovechamientos intensivos de huertas, han modificado el esquema de usos inicial que ya se hallaba integrado en el sistema del Parque. Las transformaciones agrarias que más impacto han producido son:

- La expansión del cultivo del arroz (a partir del siglo XVIII) a costa de la reducción del lago, mediante su aterramiento.
- La sustitución del cultivo del arroz (a partir de los años 40) por otro tipo de cultivo más intensivo y de mayor impacto ambiental (lo que conlleva un elevado uso de plaguicidas y fertilizantes minerales).
- El desarrollo industrial trajo consigo un importante crecimiento en los núcleos de población, lo que también ha supuesto un importante impacto para el medio, ya que el crecimiento se produjo de forma desordenada. A esto hay que añadir el impacto producido por la actividad turís-

tica, que ha generado nuevas necesidades a nivel de infraestructuras, degradando zonas importantes del Parque como son las dunas o la Devesa.

Por otra parte, la distribución de la población no es homogénea dentro del ámbito del Parque. Los núcleos más poblados se localizan en las pedanías y en los municipios pertenecientes a la comarca de l'Horta, donde el desarrollo industrial es mayor. La comarca de la Ribera Baixa está mayoritariamente dedicada a la actividad industrial y al sector servicios, especialmente, en el caso de algunos municipios como Cullera, cuya economía se basa fundamentalmente en el turismo.

Respecto a la distribución de la población por edades se puede decir que el índice de natalidad ha descendido en la mayoría de los municipios, lo que está produciendo un envejecimiento de la población, ya que la esperanza de vida es muy elevada. Pese a esta reducción la población ha seguido aumentando en los últimos años, ya que se han dado importantes movimientos de inmigración en la zona.

Dentro del ámbito del Parque se ha considerado la influencia de 14 municipios pertenecientes a las comarcas de l'Horta (Albal, Alfafar, Beniparrell, Catarroja, Massanassa, Sedaví y Silla) y de la Ribera Baixa (Albalat de la Ribera, Algemesí, Almussafes, Cullera, Solana y Sueca). Además se incluyen en el estudio cuatro pedanías de Valencia (El Palmar, El Perellonet, El Saler y Pinedo) ya que son estas las zonas del término municipal incluidas dentro del ámbito de influencia del Parque.

Por último, es importante señalar que el contenido del documento de desarrollo de esta actividad se basa en los estudios socioeconómicos contenidos en el borrador del PRUG (marzo de 2003) y en los estudios técnicos del Plan Especial de Parque (1990), actualizando los datos que en estos aparecen en la medida de lo posible, así como añadiendo nuevos parámetros, de manera que se cumpla con las necesidades y objetivos del presente estudio.

2.3. ESTUDIO HISTÓRICO DE L'ALBUFERA

2.3.1. Estudio histórico y análisis de cartografía diacrónica

Por definición, todo sistema natural es un sistema tremendamente complejo en el que las cuestiones actuales que se nos plantean pueden tener respuesta en hechos acaecidos muchos años, incluso siglos o milenios, atrás, requiriendo que para su entendimiento sea necesario no sólo un completo análisis espacial sino también temporal. Asimismo, en más ocasiones de las deseadas, el estudio de los espacios naturales se ha abordado de manera incompleta considerándolos como piezas del territorio intocadas donde la colonización humana ha pasado dando un largo rodeo, interviniendo únicamente factores naturales. Las consecuencias de esta percepción limitada se agravan cuando además de estudiar un sistema natural queremos tomar decisiones que afecten a su gestión. No resulta coherente y mucho menos eficaz obviar la historia real de cada espacio y de sus comunidades locales, así como la profunda influencia que, a lo largo del tiempo, han tenido los usos sociales de esas comunidades en determinar los estados actuales del espacio natural.



Ilustración 12. Fragmento del plano topográfico de L'Albufera de Valencia de J.B. Romero, 1761.

Resulta imprescindible pues, que para poder realizar cualquier tipo de estudio interpretativo o de gestión del medio natural, previamente se aborde de manera directa y explícita la evolución histórica del espacio y su entorno de influencia sin desligarlo del uso social que éste ha tenido a lo largo de su historia. Con este objetivo se ha abordado también la recopilación y análisis de cartografía diacrónica de L'Albufera con el fin de caracterizar la evolución morfológica que ha sufrido el lago.

2.3.2. Estudio de Batimetrías históricas

La problemática referente a la colmatación de L'Albufera de Valencia ha suscitado el interés de numerosos investigadores, siendo objeto de un gran número de estudios que nos llevan a la conclusión de que efectivamente el lago está sufriendo un proceso de aterramiento en cierta medida preocupante. Este proceso de aterramiento se ha intentado cuantificar en base a multitud de metodologías que van desde la comparación superficial de cartografía histórica hasta la realización de meticulosos estudios sedimentarios de la cuenca vertiente al lago, y los resultados ofrecidos por este conjunto de estudios han sido bien distintos, aunque la mayoría de ellos coinciden en el pesimismo en lo referente al futuro próximo de L'Albufera.

Entre los diferentes documentos existentes, los levantamientos batimétricos realizados a lo largo del tiempo sobre el lago de L'Albufera de Valencia constituyen una herramienta de gran ayuda sobre la que apoyar cualquier tipo de interpretación sobre la evolución sufrida por el lago, permitiendo disponer de unos parámetros objetivos y cuantificables, como son la superficie y volumen del lago.

El tratamiento y análisis adecuado de cada uno de estos documentos, nos puede ayudar en gran medida a comprender los cambios morfológicos y volumétricos que el lago viene sufriendo, así como a obtener una aproximación a la tasa de sedimentación anual que nos permita predecir en cierta medida su futura evolución, y disponer de parámetros que nos permitan elaborar propuestas para su conservación.

Por otro lado, un correcto estudio de cada uno de estos documentos en conjunto nos puede ayudar a su vez a comprender de un mejor modo el comportamiento hidrodinámico del sistema en que se encuentra englobada L'Albufera, y calibrar los procesos de erosión y sedimentación que se dan en el propio lecho del lago.

La realización de los primeros levantamientos batimétricos en el lago de L'Albufera, a principios del siglo XX, no tenía por objeto la cuantificación del volumen de agua contenida por el lago, y su análisis desde una perspectiva geodésica puede llevarnos a conclusiones erróneas si pretendemos analizarlos de igual modo que los realizados a partir de los años 70, con metodologías topográficas que permitían la obtención de mejores precisiones. No dejan de ser sin embargo estas primeras batimetrías, un documento de gran valor que nos puede dar una idea aproximada de la morfología del lago a principios de siglo, aunque las cifras derivadas de su análisis no puedan resultar del todo fiables.

Así, los levantamientos batimétricos que se han podido recopilar, y que serán analizados en el presente proyecto son los siguientes:

- Levantamiento batimétrico de 1906, realizado por E. Sarzo y recogido en el estudio, *La Albufera y la Calderería*.
- Levantamiento batimétrico de 1917, realizado por F. Haas y recogido en el estudio, *Las náyades de La Albufera de Valencia*.
- Levantamiento batimétrico de 1973, realizado por J. M. Benet y recogido en el estudio, *La Albufera de Valencia. Datos para una política de soluciones*.

- Levantamiento batimétrico de 1974, realizado por el Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, y recogido en el estudio, Estudio de colmatación de La Albufera de Valencia y de los efectos de dicha colmatación sobre la fauna y flora del lago.
- Levantamiento batimétrico de 1982, realizado por J. M. Benet y recogido en el estudio, La Albufera de Valencia. Datos para una política de soluciones.
- Levantamiento batimétrico de 1999, realizado por I. Quintanilla y recogido en el estudio, Caracterización de los materiales del fondo del lago de L'Albufera, evaluación del nivel de aterramiento y caracterización mineralógica de los materiales, así como de la carga contaminante persistente en el lago.
- Levantamiento batimétrico de 2003, realizado por la empresa Técnica y Proyectos S.A., y perteneciente al *Estudio para el Desarrollo Sostenible de L'Albufera de Valencia*.

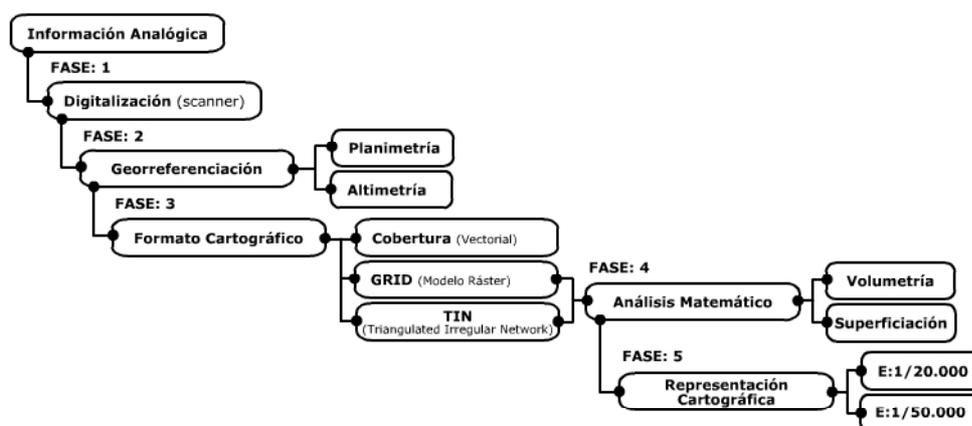


Ilustración .13 Proceso cartográfico seguido

Es importante señalar que el análisis conjunto de levantamientos batimétricos realizados en distintas épocas y con medios e instrumental completamente diferentes, plantea una serie de problemáticas de difícil solución, y más si tenemos en cuenta el especial caso del lago de L'Albufera, con una extensión aproximada de 2.400 Ha y una profundidad media que no supera el metro. Es necesario por lo tanto un importante trabajo de “arqueología” documental para poder uniformizar toda la información disponible y hacerla comparable, si queremos llevar a buen fin los objetivos perseguidos en el presente proyecto.

Del mismo modo, es importante el apoyarnos siempre en otra serie de estudios previos ya existentes, acerca de la sedimentación en L'Albufera de Valencia, y que intentan predecir a su vez la futura evolución del lago, con resultados ciertamente preocupantes acerca de la colmatación del mismo.

Tras analizar y georreferenciar la batimetrías individualmente se procedió analizar comparativamente las batimetrías con el objetivo de cuantificar los procesos morfológicos del lago. En la figura siguiente se muestra un ejemplo del análisis morfológico del fondo por comparación de las batimetrías de 1973 de Benet y la batimetría efectuada por TYPESA.

Como resultado del análisis del método interpolador óptimo para el análisis de batimetrías se han podido y la gran densidad y precisión de los puntos de batimetría se ha podido analizar la resolución de batimetría recomendada y el método de análisis que optimizaría el error en el análisis del volumen almacenado en el lago. Los condicionantes propuestos para la realización de futuras batimetrías de seguimiento del lago son los siguientes:

- Instrumental empleado: Ecosonda con GPS diferencial (RTK)

- Distribución de puntos: Rectangular, con puntos en los márgenes del lago y de las matas
- Densidad de puntos: Un punto cada 100 metros
- Método interpolador a utilizar: Red irregular de triángulos

Es obvio que si se quiere realizar un seguimiento evolutivo del volumen del lago mediante la realización de levantamientos batimétricos, todos ellos deberán enmarcarse en un mismo sistema de referencia planimétrico y sobre todo altimétrico, con el fin de que los resultados obtenidos sean comparables entre sí. De este modo, y teniendo en cuenta la tasa de sedimentación media deducida en el presente estudio, consideraremos suficiente un seguimiento del lago a partir de batimetrías cada cuatro años, dado que si realizamos levantamientos menos distanciados temporalmente, se corre el riesgo de que los errores asociados a los mismos no nos permitan caracterizar correctamente los cambios volumétricos del lago.

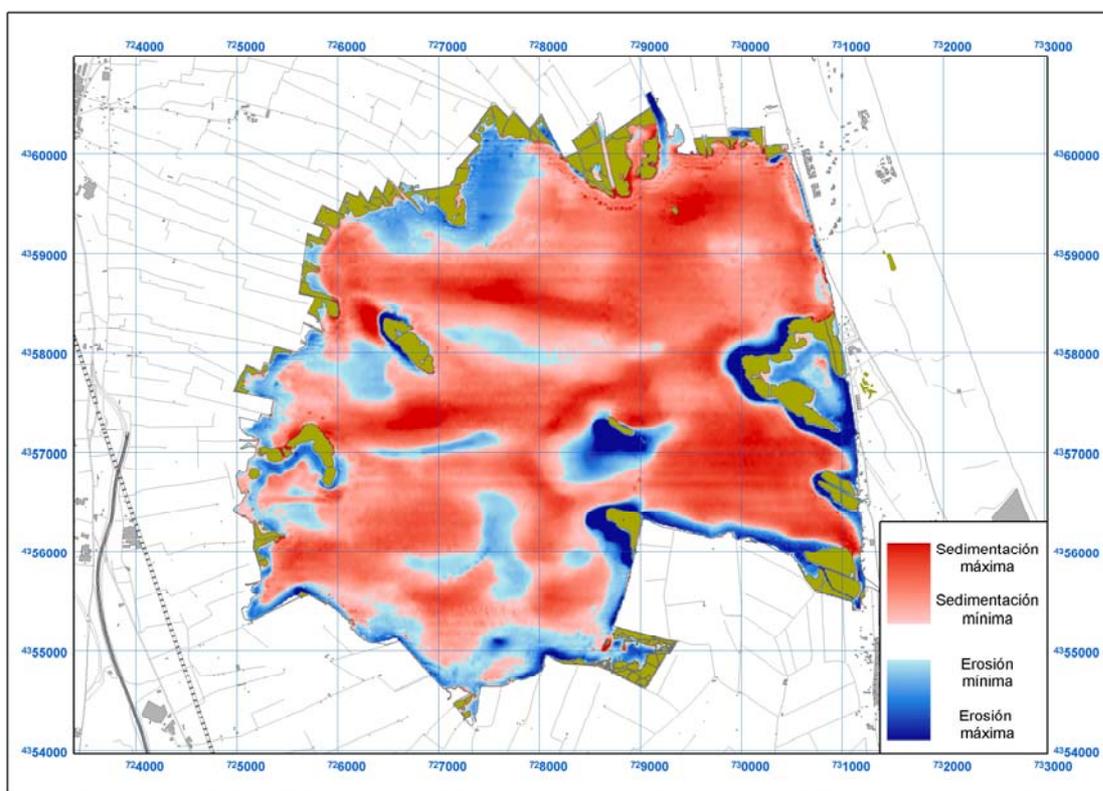


Ilustración 14. Proceso de erosión-sedimentación en el lago de l'Albufera en el periodo 1973-2003

2.4. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

2.4.1. Caracterización de los suelos de las cuencas vertientes

Dentro del proceso de recopilación de información se procedió a la caracterización de los parámetros hidrológicos de los suelos necesarios para la cuantificación de los procesos de escorrentía líquida y sólida que se producen en las cuencas que aportan agua y sedimentos al lago. La caracterización se extendió al ámbito de la plana del Júcar con el fin de caracterizar los aportes sólidos que han de servir al CEDEX como input del modelo hidrológico GISPLANA.

Se trata de caracterizar los parámetros correspondientes a la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE), generando para ello las coberturas vectoriales y diccionarios asociados en Arcview,

con el objeto de integrarlos posteriormente en el modelo AGNPS (Agricultural Non-Point Source) del USDA/ARS, el cual está siendo implementado por el Departamento de Obras Hidráulicas de TYPESA.

Según la memoria del “Estudio Hidrológico de las Cuencas Vertientes al Lago de L'Albufera”, los parámetros necesarios que alimentan el modelo son, entre otros:

- **Factor R:** erosividad de la lluvia.
- **Factor K:** erosionabilidad del suelo.
- **Factor L:** longitud de pendiente.
- **Factor S:** ángulo de pendiente.
- **Factor C:** cobertura vegetal.
- **Factor P:** prácticas de conservación.
- **17 parámetros** relacionados con la clasificación edafológica del suelo y obtenidos a partir de muestras de suelos (calicatas) repartidas en el ámbito de estudio. Estos parámetros son: Identificador del tipo de suelo, Clasificación del suelo según el *Soil Conservation Service* (SCS), Factor K de la USLE, Profundidad hasta la capa impermeable, Coeficiente entre la masa de suelo y la de agua, Porcentaje de suelo correspondiente a arcilla, Porcentaje de suelo correspondiente a limo, Porcentaje de suelo correspondiente a arena, Porcentaje de suelo correspondiente a rocas, Porcentaje de suelo correspondiente a arena muy fina, Conductividad saturada del suelo, Porcentaje de humedad a capacidad de campo, Porcentaje de humedad en el punto de marchitamiento, Identificador de suelo volcánico, pH del suelo, Porcentaje de materia orgánica en el suelo y Código indicativo de la estructura del suelo.

Los trabajos de caracterización y determinación de estos parámetros en base a información de mapas de suelos del proyecto LUCDEME de la Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación, en concreto de las hojas 694, 695, 720, 721 y 722. Las hojas 746 y 745 se encuentran en elaboración por el CIDE por lo que, al no encontrarse disponibles, se procedió a su elaboración partiendo de las unidades de suelos definidas por el mapa de litologías de la Comunidad Valenciana a escala 1:50.000 proporcionado por la COPUT, al cual se le asignó su correspondiente unidad taxonómica de suelos de acuerdo a la metodología empleada en el Proyecto LUCDEME mediante interpretación de las calicatas disponibles.

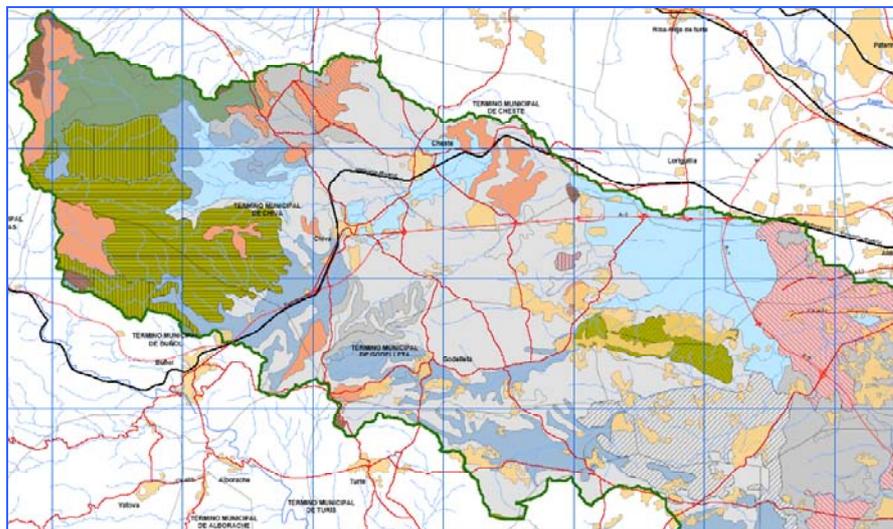


Ilustración 15. Extracto del mapa de suelos de las cuencas vertientes.

3. MODELOS HIDROLÓGICOS DE LAS CUENCAS VERTIENTES

La metodología de cálculo empleada se basa en el uso conjunto de los modelos HMS (USACE, 2000) para la obtención de la escorrentía líquida, y el modelo AGNPS (USDA, 2002) mediante el cual se obtiene la tasa de aportación sólida a la zona de estudio.

3.1. ANÁLISIS TOPOLÓGICO Y CARACTERIZACIÓN DEL MEDIO

Los trabajos se iniciaron con un exhaustivo análisis topológico de la red de drenaje, empleando para ello herramientas SIG y apoyado en todo momento por laboriosas tareas de comprobación en campo para determinar el comportamiento real de la escorrentía en una zona fuertemente modificada por la actividad humana. Como base de partida se empleó el MDT generado por TRAGSATEC (1997) para la elaboración del SIG Oléicola del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Para la calibración de la red de drenaje se empleó la información temática proporcionada por la Consejería de obras Públicas, Urbanismo y Transportes (COPUT) de la Generalitat Valenciana.

De este análisis topológico se obtuvo la caracterización pseudodistribuida de diez cuencas correspondientes a los diez principales barrancos cuyas aguas llegan al lago. En la Figura 1 se puede apreciar la caracterización efectuada, presentándose tanto las cuencas consideradas como su posterior subdivisión en subcuencas.



Ilustración 16. Cuencas vertientes a L'Albufera de Valencia.

Así mismo, se caracterizaron dos áreas de aportación que, dado su carácter plano y la preponderancia de la escorrentía difusa sobre el tránsito en cauce, se optó por analizar con un modelo hidrodinámico, de forma que se obtuviese una mejor caracterización del tránsito de las avenidas.

La cuenca de mayor tamaño de las analizadas corresponde a la cuenca del Poyo (o de Torrent) con 353,17 km², dividida para su análisis en quince (15) subcuencas; seguida por la cuenca del Barranco de Beniparrell, con una extensión de 85,235 km² y subdividida en trece (13) subcuencas; por otro

lado, la cuenca más pequeña corresponde a la del barranco de La Forca, de 4,69 km² de extensión, situada al norte del barranco de Alginet o del Señor.

A partir del análisis topológico realizado se determinaron, con apoyo del asistente GIS en entorno de Arc View HEC-geoHMS, los parámetros fisiográficos sobre los que se obtuvieron los parámetros hidrológicos necesarios para describir los fenómenos infiltración – escorrentía. El cálculo de las pérdidas debidas a infiltración y retención del terreno se calculó mediante el conocido método del número de curva del SCS. Para la obtención de este parámetro se integró arealmente, en función de cada una de las subcuencas consideradas en el estudio, el valor espacialmente distribuido del umbral de escorrentía (P_0) calculado a partir de la metodología desarrollada por el CEDEX en sus trabajos en la cuenca del Júcar (CEDEX. 2002).

3.2. ELECCIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO PARA EL CÁLCULO DE APORTACIÓN SÓLIDA Y LÍQUIDA

Uno de los aspectos determinantes a la hora de llevar a cabo el estudio objeto de este documento fue la elección del modelo hidrológico que permitiese la obtención de hidrogramas y sedimentogramas en los puntos de estudio determinados.

La metodología adoptada para la cuantificación de la aportación sólida se basa en el conocimiento de que las principales aportaciones de sedimentos al lago se producen en los episodios mayores de lluvia, ya que en los medios y bajos, el sedimento se depositaba casi por completo en el periparque. Así pues, se optó por realizar una simulación en base a eventos, en detrimento de un análisis de aportación con régimen continuo.

Al contrario de lo que ocurre para la caracterización de la escorrentía líquida, los modelos disponibles para el estudio de las cuencas hidrográficas desde el punto de vista de la generación de sedimentos no presentan una comunidad de usuarios extensa, lo que repercute en un desarrollo menor de los mismos y en una aplicabilidad y polivalencia así mismo más restringida. Al ser modelos desarrollados ad hoc para la resolución de casos concretos, muchas veces dentro del ámbito de la agricultura y la ordenación del terreno (estudios de erosión, optimización del uso del suelo, caracterización de aportaciones sólidas en base a la rotación de cultivos, etc), los modelos existentes en el mercado no presentan el grado de versatilidad que han alcanzado los modelos para el estudio hidrológico de cuencas desde el punto de vista de la escorrentía líquida. Consecuentemente, el primer paso fue analizar detenidamente los modelos existentes y elegir aquel que mejor se pudiera adaptar a nuestras necesidades, optándose finalmente por el modelo AGNPS (Agricultural Non Point Source) desarrollado conjuntamente por el USDA (US Department of Agriculture) y el ARS (Agriculture Research Service) de los EEUU (USDA/ARS, 2002). Los fundamentos que guiaron la elección del modelo para la caracterización de la aportación sólida fueron por un lado la posibilidad de poder analizar cuencas hidrológicas complejas y, por otro, la posibilidad de poder emplear parámetros lo más contrastados posibles, frente a la compleja caracterización que exigían algunos modelos más desarrollados (con metodologías más físicamente basadas, pero que suponían a su vez mayor incertidumbre dada la complejidad de caracterizar sus parámetros de cálculo).

Este modelo contaba con la garantía de haber sido empleado en distintas experiencias a nivel mundial y de poder gestionar zonas a escala de cuenca hidrográfica. Así mismo, el modelo presenta un carácter totalmente distribuido en cuanto a su módulo de cálculo de sedimentos. El modelo se basa en metodologías fundamentalmente empíricas (USLE, TR-55 y fórmulas de transporte).

No obstante, conforme se fue desarrollando el modelo AGNPS, se fue tomando conciencia de las limitaciones que presentaba su motor de cálculo de escorrentía líquida, el cual imponía fuertes restricciones a la hora de implementar dentro del mismo la variabilidad espaciotemporal de los eventos de lluvia, lo que se consideraba fundamental para poder reproducir de forma adecuada el régimen de precipitaciones de la zona de estudio. Por ello, se optó por emplear el conocido modelo del HEC-HMS como motor de cálculo para la obtención de la escorrentía líquida y desarrollar una metodología para

poder integrar los resultados de aportación sólida obtenidos mediante AGNPS dentro de los hidrogramas de cálculo obtenidos por el modelo del USACE.

3.3. ELABORACIÓN DEL MODELO HMS PARA EL CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA LÍQUIDA

El modelo HMS del US Army Corps of Engineers supone un estándar mundial como modelo de cálculo de escorrentía líquida en cuencas naturales, siendo profusamente empleado en estudios de planificación y proyectos. Tal y como ya se ha comentado, para la realización de los modelos de cuenca se empleó el asistente GIS en entorno Arc View geoHMS que permite crear directamente desde este medio modelos topológicos legibles por el modelo HMS, exportando así mismo las características fisiográficas del medio. De esta manera se crearon los modelos de cada una de las subcuencas consideradas, obteniéndose en total treinta y seis (36) subcuencas agrupadas en trece (13) cuencas.

Para la calibración del modelo únicamente se dispuso de información relativa a un pluviógrafo, conectado al SAIH de la Cuenca del Júcar, existente en el marco ubicado en el cruce de la Rambla del Poyo con la autovía A-6. Adicionalmente nueve pluviómetros más fueron empleados como cobertura. En base a los datos recogidos en el pluviógrafo mencionado se identificaron y clasificaron los eventos extremos de mayor identidad, eligiéndose cinco de ellos para realizar la calibración de los parámetros hidrológicos de la cuenca. En base a los resultados obtenidos de la simulación de los eventos históricos registrados y en contraste con los datos de aforo disponibles, se determinaron unos coeficientes *beta*, para la modificación del número de curva en función de las condiciones de humedad antecedente. Así mismo, se comprobó que el hidrograma unitario que mejor reproducía la morfología de los hidrogramas observados (caracterizados por un acusado “efecto pared”), correspondía al hidrograma unitario del SCS con un lag cercano a un valor de $0,35 \cdot T_c$, comprobándose que el uso de UH biparamétricos (Clark) obligaba a adoptar parámetros de factor de almacenamiento sumamente bajos, muy desviados respecto de las recomendaciones existentes.

En la ilustración siguiente se puede apreciar el ajuste realizado mediante calibración para el máximo evento registrado en la historia del SAIH, correspondiente a Octubre de 2000.

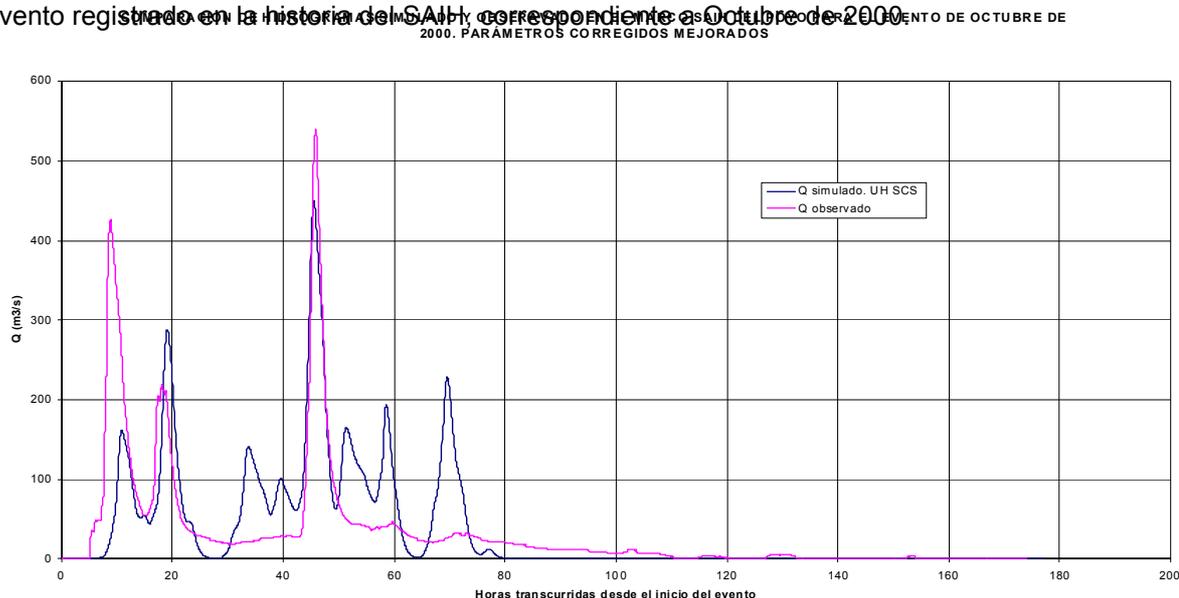


Ilustración 17. Comparación de los hidrogramas simulado y observado en el marco SAIH de la Rambla del Poyo para el evento de Octubre de 2000.

Una vez obtenidos los parámetros de corrección en la Rambla del Poyo mediante calibración, se extendieron al resto de cuencas vertientes a L’Albufera.

3.4. ELABORACIÓN DEL MODELO AGNPS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA APORTACIÓN SÓLIDA

El modelo empleado para la caracterización de la pérdida de suelo, transporte y aportación de sedimentos al lago fue el AGNPS (Agricultural Non-Point Source) (USDA/ARS, 2002).

Tal y como ya se había comentado con anterioridad, dada la rigidez del módulo de cálculo precipitación – escorrentía de este modelo (TR-55) (USDA, 1986) y la dificultad de considerar en el mismo los efectos de la distribución espaciotemporal de la lluvia, de gran importancia en el medio analizado, se decidió complementar los cálculos de escorrentía líquida mediante el modelo HEC-HMS, creando una metodología que permitía considerar los eventos de lluvia de forma distribuida y repercutir los caudales líquidos generados por HMS sobre la producción de sedimentos obtenida a partir del modelo AGNPS.

Para ello, en primer lugar se realizó un acoplamiento topológico entre los modelos AGNPS (distribuido) y HMS (pseudodistribuido), de forma que se identificaron en el modelo del USDA las celdas vertientes a cada uno de los puntos de integración intermedios correspondientes a las subcuencas del modelo del USACE. Posteriormente se realizaron una batería de simulaciones en AGNPS para distintos escenarios de lluvia uniforme sobre cada una de las subcuencas HMS identificadas sobre la distribución de celdas del AGNPS. De esta forma, se establecieron unas curvas de relación volumen de avenida – producción de sedimento en el punto de drenaje final de la cuenca, por lo que el transporte del material al punto final de drenaje quedaba cuantificado en el cálculo para cada subcuenca.

Esta metodología permitía considerar de forma implícita el efecto del transporte en los cauces, si bien en detrimento de poder identificar los aportes intermedios. De esta manera se crearon unos ábacos que permitían, para cada subcuenca y dado el volumen de escorrentía líquida generada sobre la misma, poder obtener el volumen de sedimento que dicha subcuenca aportaba al punto de drenaje final de la cuenca. Una vez establecidos estos operadores de transformación lluvia (volumen) – sedimento (aportación), se pasó a simular distintos eventos de lluvia mediante HMS, haciendo uso de su capacidad para considerar la variabilidad espaciotemporal de la lluvia mediante hietogramas aplicados en cada una de las subcuencas consideradas. De esta manera de conseguía de una forma efectiva el desacoplamiento espacial, ya que sobre cada subcuenca se obtenía un volumen de escorrentía individual, el cual se transformaba mediante los ábacos generados con AGNPS en valores de aportación sólida en el punto de drenaje, obteniéndose de esta forma distintos valores de aportación de sedimentos de cada subcuenca en función de los distintos patrones de lluvia que se introdujeran en las mismas.

En la figura que se presenta a continuación se recoge uno de los ábacos obtenidos para obtener la aportación sólida que se tendría en el punto de integración de la cuenca del Barranco de Pozalet a partir del valor de volumen de avenida, para una de las subcuencas consideradas en el análisis topológico realizado.

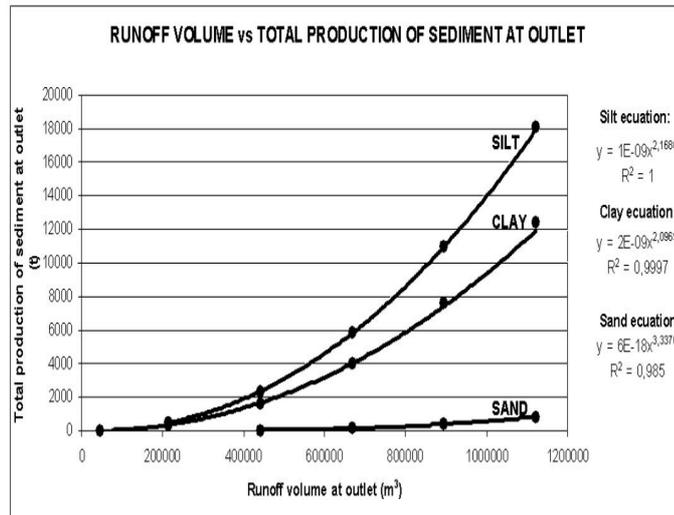


Ilustración 18. Ejemplo de ábaco para la obtención del aporte sólido en base al volumen líquido de avenida.
Cuenca: Poyo/Torrent; Sub-cuenca: 48.

Aplicando esta metodología se pueden caracterizar los sedimentogramas en la entrada del periparque a partir de una distribución uniforme de la tasa de aportación sólida en función del patrón temporal obtenido mediante HMS. Para la estimación del tránsito del sedimento a través del parque, en una zona llana y profundamente transformada por la acción antrópica, se hizo uso del modelo hidrodinámico de Delft Hydraulics Sobek (Verveij, 2001) el cual permite el cálculo bidimensional del flujo mixto. Aplicando estas herramientas se puede estimar tanto el material bruto aportado por las cuencas como el que realmente llega al lago y el que se ve interceptado por la zona perimetral de arrozales y marjal no transformado.

Para comprobar la bondad de la metodología, se realizó la simulación del mayor evento histórico registrado por el SAIH desde su puesta en funcionamiento, acaecido en octubre de 2000 y del cual se podía disponer de una estimación de su aportación al lago de L'Albufera en función de los datos batimétricos sucesivos de los que se disponen.

4. AMPLIACIÓN DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO Y SEDIMENTOLÓGICO DE LA CUENCA DEL RÍO JUCAR AGUAS ABAJO DEL EMBALSE DE TOUS.

4.1. CARACTERIZACIÓN DE SUELOS

La caracterización de los distintos parámetros edafológicos necesita de una correcta definición de los suelos del área del estudio y que se ha estimado, dada las necesidades de la modelización hidrológica en la que van a ser usados, debe ser a una escala 1:50.000. Esta información actualmente no ha sido elaborada por ninguno de los centros y administraciones que trabajan en este ámbito y por tanto no se dispone de la densidad de calicatas necesarias para proceder a la interpretación y cartografiado de los suelos existentes en la zona, que exceden el ámbito del Estudio.

Por ello, y dada estas limitaciones, se ha realizado una caracterización a grandes rasgos (E 1:1.000.000) de los suelos de la parte baja de la cuenca del río Júcar a partir de las distintas fuentes disponibles (IGN, CSIC, COPUT, ...) y cuya finalidad es la de intentar conseguir un nivel de rigor superior al proporcionado por la simple caracterización de un único parámetro para todo el ámbito de estudio, pero siempre inferior al estricto nivel de detalle que requieren este tipo de estudios, como ya se ha mencionado.

Para los trabajos de caracterización y determinación de los parámetros edafológicos necesarios se ha manejado el Mapa de Suelos de España E:1/1.000.000 (GUERRA, 1968), editado por el CSIC, tanto en lo referente a la información gráfica (mapa de suelos digitalizado) como a los valores de los parámetros edafológicos, extraídos de los perfiles que componen la memoria y que fueron correlacionados con las calicatas empleadas en la caracterización edafológica de los suelos de la cuenca vertiente.

Siguiendo el procedimiento descrito se diferenciaron un total de 8 unidades de suelos que se resumen en el siguiente cuadro.

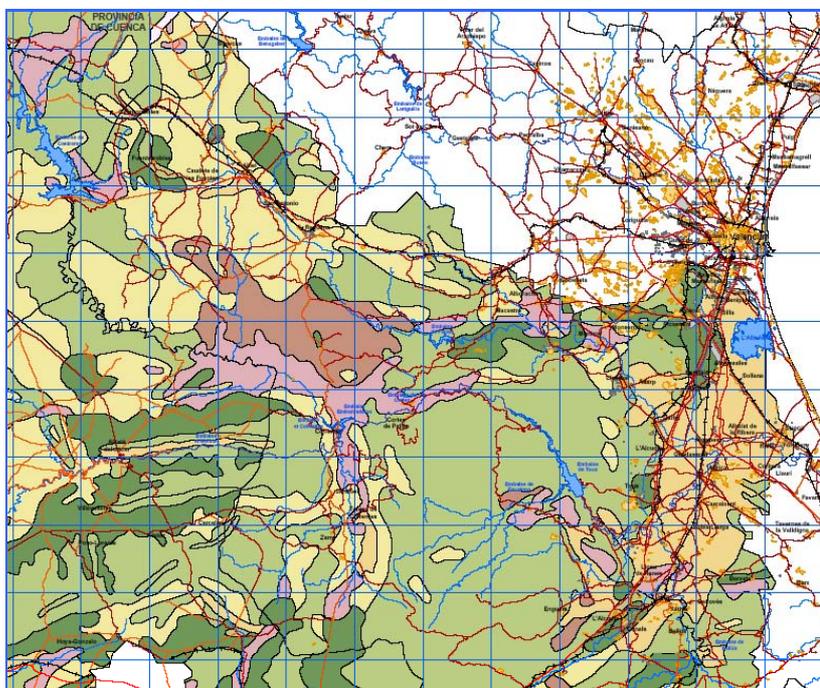


Ilustración 19. Unidades edafológicas caracterizadas de la Plana de Júcar

4.2. SIMULACIÓN DEL PROCESO DE ESCORRENTÍA LÍQUIDA MEDIANTE EL MODELO HEC-HMS.

Una vez desarrollado el “Estudio Hidrológico de las Cuencas Vertientes al Lago de L'Albufera de Valencia” se amplió el mismo a las cuencas vertientes al río Jucar aguas abajo del embalse de Tous.

Concretamente, el estudio ha versado en el cálculo de aportaciones líquida y sólida en las siguientes cuencas: Río Sellent, Río Verde, Barranco de Barcheta, Barranco de La Murta, Barranco del Estret y Casella, Río Magro, Río Albaida.

El trabajo ha consistido en caracterizar tanto la escorrentía líquida como la sólida de las cuencas identificadas en la zona objeto del estudio; la primera de ellas simulando el proceso mediante el modelo HEC-HMS y la segunda empleando el modelo AGNPS. Con intención de integrar ambos modelos se pseudocalibraron los datos de precipitación del modelo AGNPS de tal forma que se obtuvieran unos volúmenes de avenida y caudales punta similares a los que se obtuvieron con el modelo HEC-HMS. De esta forma, y empleando como patrón de distribución de los sedimentogramas la distribución temporal obtenida en los hidrogramas de avenida del modelo HEC-HMS, se generaron para cada una de las cuencas de estudio los sedimentogramas correspondientes a los eventos considerados, en este caso aquellos con un periodo de retorno de 100 y 500 años respectivamente.

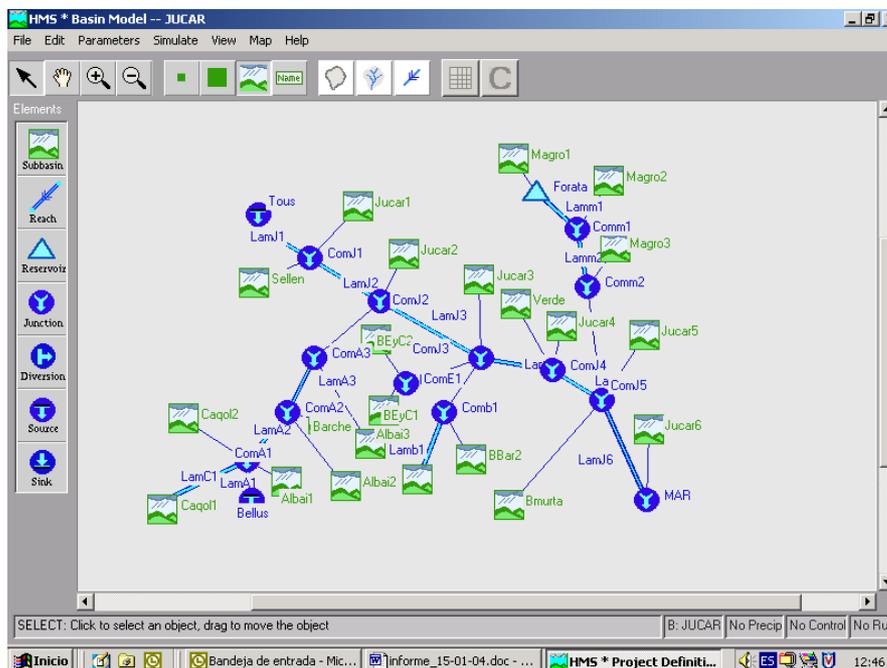


Ilustración 20. Esquema generado mediante HEC-HMS en la cuenca del río Jucar aguas abajo de Tous

Para obtener los hidrogramas de avenida y caudal punta se partió del estudio realizado por el CEDEX en la zona de estudio, el cual se basó en la simulación del proceso lluvia-escorrentía mediante el modelo HEC-1. Inicialmente se estudiaron de forma detallada los

resultados obtenidos por el CEDEX a partir de dicho modelo, para posteriormente poder trasladar la información y crear el modelo HEC-HMS asociado. En la ilustración se presenta el modelo de cuenca generado mediante HEC-HMS para la zona de estudio.

A partir de dicho esquema se identificaron los distintos aportes al río Júcar creando de forma independiente las distintas subcuencas asociadas.

Es necesario hacer constar que, con objeto de cuantificar el aporte líquido en las cuencas del río Magro y Albaida para, a partir del hidrograma de avenida de las mismas, poder obtener el sedimentograma asociado a los eventos considerados, fue necesario considerar sólo la parte de cuenca aguas abajo de los embalses de Forata y Bellus, considerando por tanto, que la aportación de la cabecera de dichas cuencas se ve atrapada en los embalses referidos.

Se obtuvo el caudal punta y volumen de avenida para periodos de retorno de 100 y 500 años de respectivamente.

4.3. ANÁLISIS SEDIMENTOLÓGICO MEDIANTE EL MODELO AGNPS.

Para la generación del modelo AGNPS es preciso contar con la siguiente información de partida:

Modelo Digital del Terreno (MDT)

Cobertura de usos del suelo (Fields)

Cobertura de tipos de suelo (Soils)

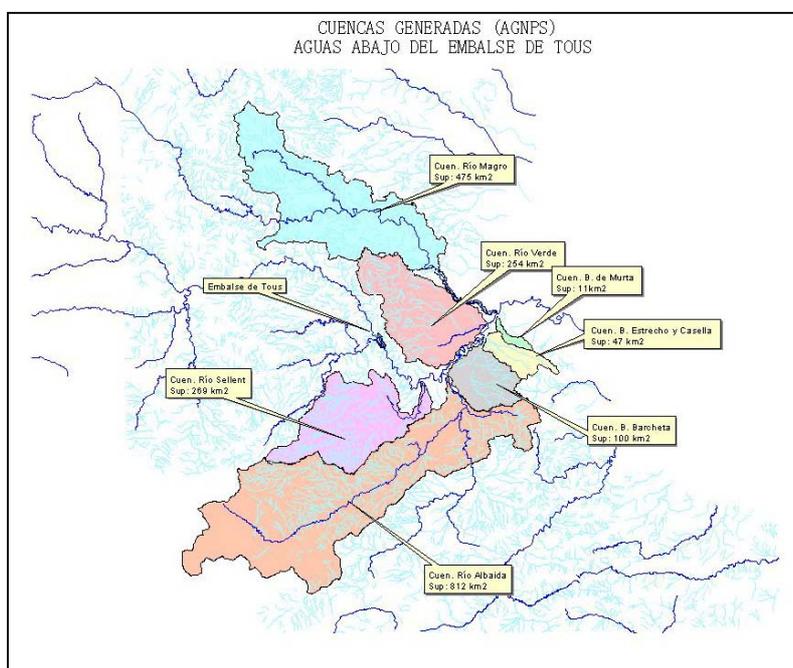


Ilustración 21. Cuencas generadas aguas abajo del embalse de Tous mediante G.I.S

4.4. COBERTURA DE USOS DEL SUELO

Tal y como se menciona en el documento “Estudio Hidrológico de las Cuencas Vertientes al Lago de L'Albufera” (TYPSA, 2004), el modelo no permite leer todos los parámetros corres-

pondientes a los usos del suelo que maneja el módulo de cálculo, sino que éstos se deben introducir mediante un Editor de datos. Por tanto, en el entorno SIG lo que se hace es darle los polígonos correspondientes a los diferentes usos del suelo que se han caracterizado en al zona de estudio, de forma que el programa asigne a cada una de las subcuencas el o los tipos de suelo existente en cada una de ellas. A continuación se representan gráficamente, para cada cuenca analizada hasta el momento, los identificadores de los usos del suelo, asignados por el modelo, a cada celda de calculo.

4.5. COBERTURA DE SUELOS.

De igual forma que para la capa de usos del suelo, el modelo asigna a cada celda de cálculo un identificador de uso de suelo. En el caso que nos ocupa, el programa asigna un tipo de suelo a cada celda. En las figuras siguientes se pueden apreciar los resultados de estas operaciones para cada cuenca de la zona de estudio.

El modulo de cálculo empleado por el modelo AGNPS para la caracterización de la perdida de suelo (generación de sedimentos) corresponde a la Ecuación Universal de Perdida de Suelo (USLE). La metodología para la definición de los parámetros necesarios para obtener la perdida de suelo fue la misma que se desarrollo en el documento referido.

Una vez definidos dichos parámetros se procedió a la simulación de cada uno de los modelos de cuenca mediante AGNPS y para periodo de retorno de 100 y 500 años obteniéndose los sedimentogramas correspondientes.

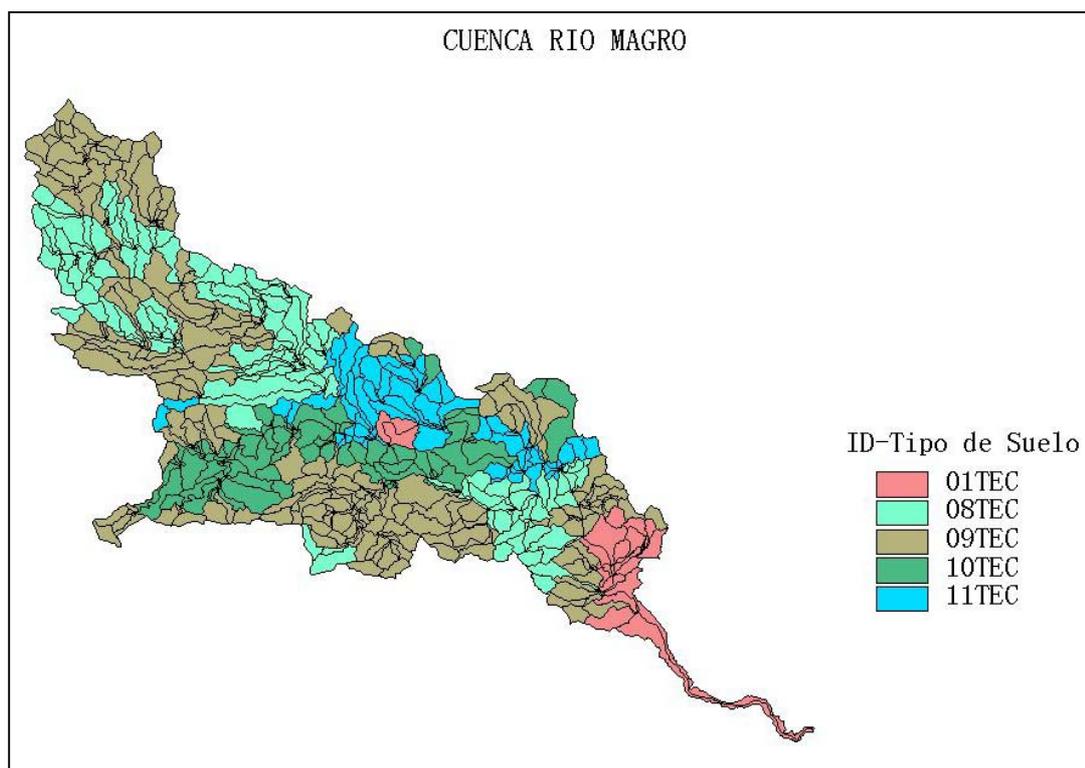


Ilustración 22. Mapa de tipos de suelos en la cuenca del Magro

5. CONSTRUCCIÓN, VALIDACIÓN Y TRANSFERENCIA DE LOS MODELOS HIDRODINÁMICOS Y DE SEDIMENTOS

5.1. INTRODUCCIÓN

La subactividad "Construcción, validación y transferencia del modelo hidrodinámico y de sedimentos" fue desarrollada con la asistencia técnica de la fundación WL | Delft Hydraulics de los Países Bajos. El período de ejecución (Fases 1 - 4) para la estructuración de estos modelos se estableció en nueve meses, contando a partir del 15 de enero de 2003. También forma parte del proyecto un soporte técnico adicional de dos años para los modelos (Fase 5) al terminar la asistencia.

Según los pliegos del contrato principal entre TYPESA y el Ministerio de Medio Ambiente de España (p.11) constituye el objeto inmediato de la asistencia técnica:

“...el análisis de del impacto sobre la Albufera de Valencia de las actuaciones sobre la red de drenaje previstas por la Confederación Hidrográfica del Júcar que pueden afectarla en su evolución futura, proponiendo las medidas complementarias necesarias para garantizar el desarrollo sostenible de la laguna y su entorno.

Además, el estudio debe recopilar y aglutinar en conocimiento de la Albufera que se deriva de los numerosos estudios e investigaciones realizados en el pasado, y elaborar herramientas metodológicas para el análisis de la laguna y de su entorno desde el punto de vista hidrológico e hidráulico, que permitan en el futuro analizar desde estos puntos de vista cualquier actuación que se proponga.”

Los modelos matemáticos y numéricos que serán aplicados durante el proyecto por parte de WL ayudarán a tener una visión más precisa del comportamiento del sistema, tanto desde un punto de vista cualitativo como cuantitativo. El principal objetivo de la actividad es la construcción, calibración y validación de un modelo SOBEK para la simulación de la hidrodinámica del lago y sus planas de inundación. El modelo se centra en la propagación de eventos de inundación a corto plazo en la red de canales (esquemática de forma unidimensional) y en la plana de inundación (bidimensional).

La extensión del modelo hidrodinámico al transporte de sedimento cubre también el transporte del sedimento en suspensión desde el área de captación del lago hasta el propio lago. Con este modelo, se estudió en detalle el transporte de sedimento durante el evento Octubre 2000. El modelo aumenta la percepción de la distribución espacial de la arena, el limo y la arcilla en la plana de inundación (principalmente arrozales) y en la masa de agua del lago de L'Albufera. Un mejor entendimiento del depósito de sedimentos durante eventos de inundación es de gran utilidad para evaluar las medidas que deben conducir a tasas de sedimentación sostenibles.

5.2. MATERIAL Y MÉTODOS

5.2.1. Datos disponibles

Los datos del partida del estudio han sido responsabilidad de TYPESA. Su adquisición, proceso y revisión por parte de WL| Delft Hydraulics fue objeto de la fase 2 de los trabajos. TYPESA ha elaborado una base de datos que incluye la trazabilidad de los mismos y que podrá consultarse en la edición digital del estudio final. Entre los datos debe destacarse:

- Modelo digital del terreno a partir del proceso de 20.400 Ha de cartografía digital reciente (Cartogesa para TYPESA, marzo de 2003) a escala 1/2000 obtenida por restitución fotogramétrica de un vuelo a escala 1/8000.
- Batimetría completa reciente (Hidrosur, S.L. para TYPESA, marzo de 2003) del lago y canales de salida (78.000 puntos) mediante ecosonda y posicionamiento GPS.
- Secciones transversales y longitudinales de las principales acequias y barrancos (67,9 km) y estructuras relevantes por topografía clásica (181 Ud.)

Respecto al transporte de sedimentos y morfología se tiene información, entre otros, de:

- Cantidades de sedimento aportadas por los barrancos (respecto a la magnitud y duración de las avenidas) por fracciones de los eventos EV63 (sintético) y Octubre 2000 (histórico) procedentes de simulaciones con modelos hidrológicos;
- Muestras de concentración y composición de sedimentos en suspensión, tomada a distintas profundidades (distribución de tamaño de grano, tipo de sedimento, por ejemplo orgánico);
- Composición de sedimentos en el lecho de los barrancos (distribución de tamaño de grano, estratigrafía);
- Composición de sedimentos en el fondo de L'Albufera (distribución de tamaño de grano, estratigrafía, tipo de sedimentos (por ejemplo orgánico), cohesión, consolidación.

En el documento “Construcción, calibración y validación del modelo SOBEK” (WL|Delft para TYPESA, 2004) se recoge el historial de la recepción de datos con los requerimientos básicos y los comentarios de revisión de WL| Delft Hydraulics.

5.2.2. Modelo hidráulico

El modelo hidráulico utilizado para la simulación de inundación del lago consiste en los módulos Flow (hidrodinámica 1D) y Overland Flow (hidrodinámica 2D) de SOBEK Rural. El paquete de programas es un software general para la simulación integral de procesos en una y dos dimensiones, esto es, en un río, un estuario, un canal o una red de drenaje. Es un instrumento poderoso para prever inundaciones, optimizar los sistemas de drenaje, controlar los sistemas de riego, diseñar el desbordamiento del alcantarillado, controlar el nivel del agua subterránea, la morfología fluvial, la intrusión salina y la calidad del agua superficial. Ha sido desarrollado (y sigue siendo desarrollado) conjuntamente con instituciones públicas holandesas y consultores privados.

SOBEK está equipado con un esquema numérico muy sólido que maneja eficazmente la desecación y la inundación y los flujos subcrítico y supercrítico. Sus interfaces de usuario basadas en mapas para las líneas de producto River, Lowland y Urban, van acompañadas de un poderoso proceso de base de datos y de un editor para permitir la formulación de los procesos de calidad del agua por parte del usuario. Existe un vínculo flexible a varios sistemas SIG. SOBEK permite también la integración de módulos definidos por el usuario mediante el uso de formatos específicos de intercambio de datos.

SOBEK puede combinar esquematizaciones de 1D para el flujo a través de los canales y esquematizaciones de 2D para el flujo de superficie. El módulo de flujo de superficie es un sistema de modelización basado en ecuaciones de profundidades medias de las aguas

poco profundas, para el flujo de lámina libre. Todas las ecuaciones se han resuelto mediante una formulación totalmente implícita de diferencias finitas para todos los términos en las ecuaciones de aguas poco profundas, basadas en una malla a tresbolillo. La forma especial en que se han formulado los términos convectivos del momento permite el cálculo de flujos subcríticos y supercríticos. Partiendo de esta formulación, también es posible calcular el comportamiento de los resaltos hidráulicos estáticos y dinámicos. Para que estos cálculos sean sólidos y precisos, no se necesita introducir viscosidad artificial.

Como los modelos 2D son menos apropiados para modelizar las estructuras hidráulicas y el efecto de canales y barrancos con una disposición “subgrid” en el área modelizada, el modelo 2D puede combinarse con un modelo 1D. En esta combinación, el flujo de superficie 2D, incluyendo los efectos de obstrucción de diques y barreras naturales, se simula mediante ecuaciones 2D, mientras que los barrancos “subgrid” 2D y las estructuras hidráulicas se modelizan con SOBEK-1D. Ambos sistemas de modelización producen ecuaciones implícitas de diferencias finitas, vinculadas también a través de una formulación implícita para ecuaciones de continuidad conjunta en ubicaciones donde ambos sistemas de modelización tienen puntos de niveles comunes del agua, tal y como se muestra en la ilustración.

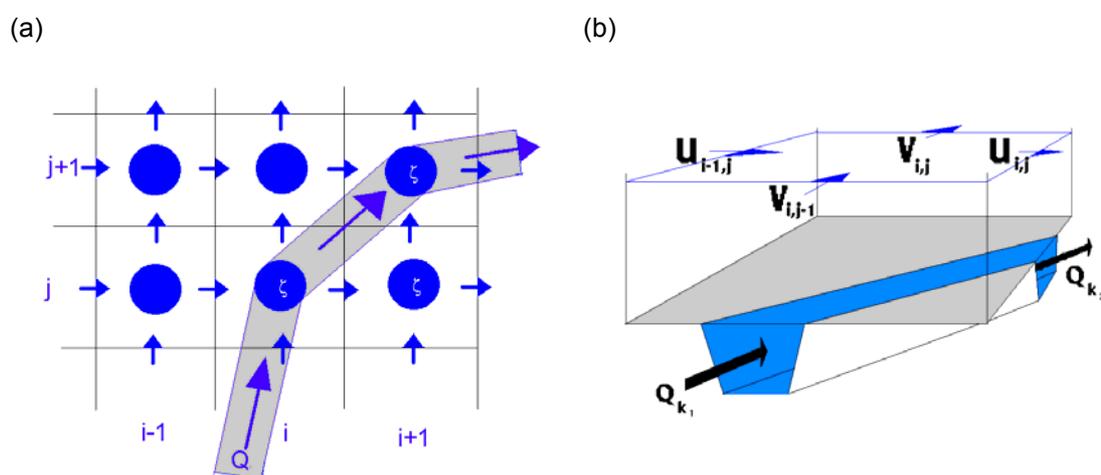


Ilustración 23. Esquematación del Modelo Hidráulico: a) Combinando una malla 1D/2D a tresbolillo; b) Combinando ecuación de continuidad para cálculos 1D/2D.

El humedal, incluido lago y arrozales, fue modelizado en 2D, mientras que los barrancos, los canales menores alrededor del lago y las golgas fueron modelizados en 1D. La selección y caracterización de estos elementos ha sido recogida por TYPESA (2004a).

5.2.3. Modelo de transporte del sedimento

El modelo del sedimento ha sido construido mediante los módulos 1D y 2D Water Quality de SOBEK. El modelo del sedimento tiene en cuenta tres fracciones de sedimento: arena, limo y arcilla. Cada fracción tiene sus propias características de sedimentación.

El transporte del sedimento ha sido modelizado con un enfoque de resuspensión – sedimentación. La tensión de corte del fondo es el parámetro determinante para la resuspensión y la sedimentación. Es una función de la velocidad del flujo, la rugosidad del lecho fluvial y la profundidad del agua. Con una baja tensión de corte del fondo, prevalece la sedimentación de partículas en suspensión. Con una tensión intermedia de corte del fondo, la sedimentación y la resuspensión están en equilibrio. Cuando la velocidad del flujo y la tensión de corte del fondo superan un cierto umbral, la capa de sedimento pasa a estar en resuspensión.

La velocidad de sedimentación y la tensión crítica de corte para la sedimentación son distintas para cada fracción de sólidos en suspensión. Por otra parte, la velocidad de resuspensión y la tensión crítica de corte para la resuspensión, se aplican a las tres fracciones de sedimentos. Se asume que estas tres fracciones de sedimento están mezcladas dentro de la capa de sedimento. El flujo de resuspensión de cada fracción de sedimento depende de la cantidad relativa de la fracción en cuestión en la capa de sedimento. El modelo de sedimento ha sido construido utilizando la librería de procesos Delwaq. El modelo de sedimento está disponible como subconjunto predefinido, de forma que el citado modelo puede acoplarse fácilmente a otras esquematizaciones de modelos. En el documento

5.2.4. Asunciones y limitaciones

El modelo de sedimento tiene algunas limitaciones, que se resumen brevemente a continuación:

- El arrastre de fondo no se ha tenido en cuenta como tal. No obstante, una fracción de sedimento con una alta densidad y una alta velocidad de sedimentación puede actuar como una fracción de arena en el modelo.
- La acumulación de sedimento en una cierta ubicación en el modelo no afecta la batimetría del modelo hidrodinámico. En un lecho fluvial, un aumento significativo del nivel del fondo produce un aumento de la velocidad del flujo, lo que evita una sedimentación posterior.
- Como un primer enfoque, en el modelo no se ha tenido en cuenta el impacto de las olas inducidas por el viento. Las olas inducidas por el viento pueden ser de importancia en el lago. La tensión de corte extra puede evitar la sedimentación de los sólidos en suspensión o incluso causar la resuspensión del sedimento.
- Las cargas de sedimento y las concentraciones de sólidos en suspensión son muy altas durante el evento. Esto puede producir floculación de los sólidos en suspensión. La velocidad de sedimentación de estos floculantes puede ser superior que la de las partículas individuales de sedimento. La floculación no se ha tenido en cuenta en el modelo.

5.3. EXTENSIÓN DEL MODELO A LOS BARRANCOS DE LA FORCA, ALGINET, BERENGUERA Y TRAMUSSER. MODELO SOBEK+1

Los cauces de los barrancos de la Forca, Alginet (y Algadins) junto con el de la Forca, por una parte, y Tramusser y Berenguera, por otra, desaparecen prácticamente al alcanzar una plana difusa ocupada mayoritariamente por cultivos de cítricos antes de alcanzar los arrozales del entorno de L'Albufera. En esta zona, el flujo pierde su carácter unidimensional predominante y las áreas de desbordamiento ofrecen solapes y bifurcaciones que implican que el flujo sólido durante las avenidas no pueda ser resuelto en clave hidrológica tal y como se preveía en el contrato inicial. En definitiva, la dirección del estudio consideró conveniente extender las actividades de construcción, calibración y validación de los modelos hidrodinámicos a un área adicional de unas 4.000 hectáreas con objeto de completar estas lagunas de información. La toma de datos específicos fue desarrollada por TYPESA (2004b). La selección y caracterización de los elementos del modelo también ha sido recogida por TYPESA (2004a).

Las siguientes figuras muestran la profundidad de inundación del domino Sobek+1 durante el evento Octubre 2000. En la primera figura se consigna la legenda del valor de la profundidad del agua.

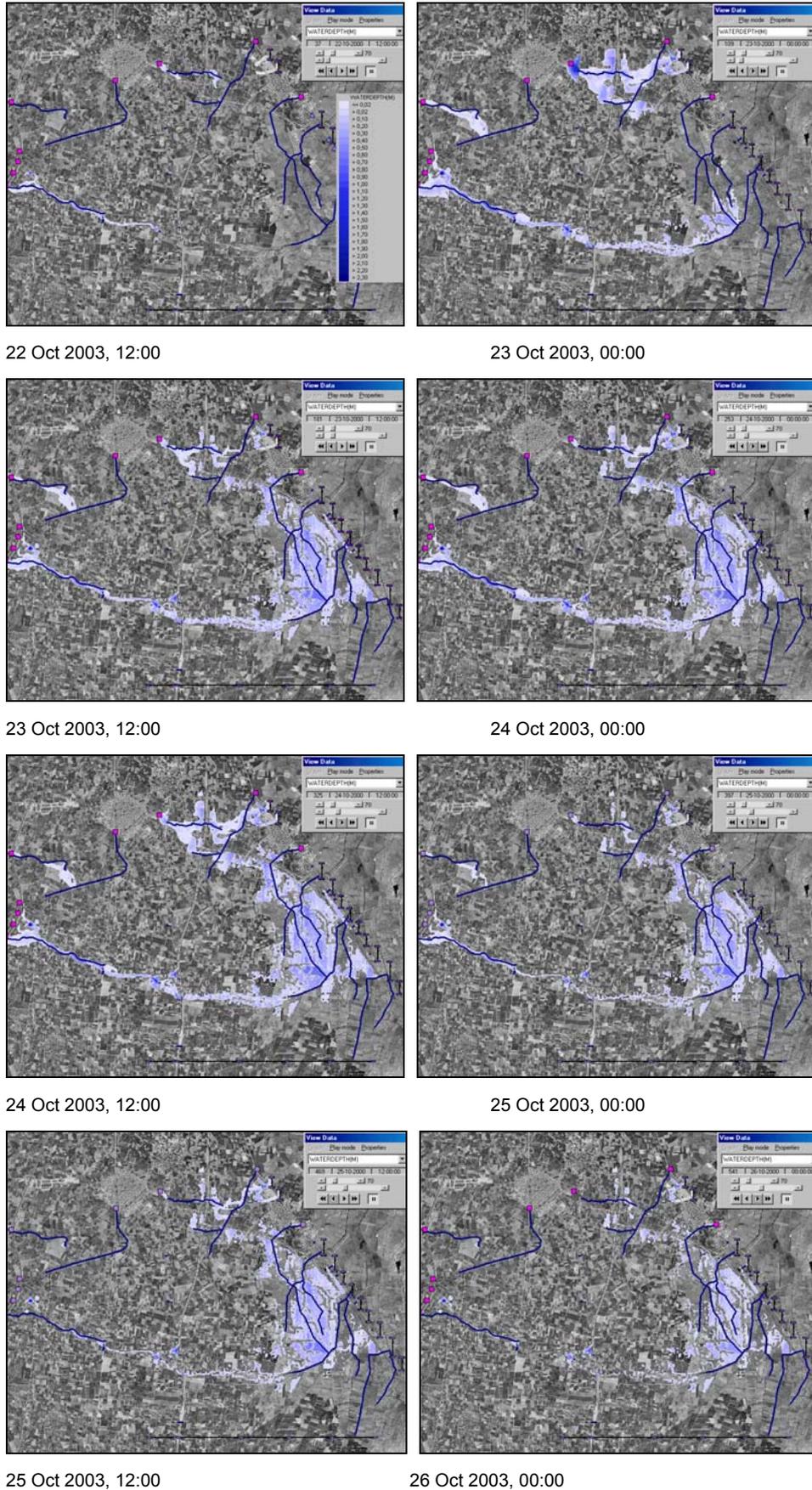


Ilustración 24. Inundación del domino Sobek+1 durante el evento Octubre 2000

5.4. CALIBRACIÓN HIDRODINÁMICA DEL MODELO ALBUFERA: OCTUBRE 2000

El evento de inundación Octubre 2000 ha sido utilizado para la calibración del modelo de L'Albufera. Los principales parámetros de calibración son los niveles de agua corriente arriba de las tres golgas de Pujol, Perellonet y Perelló, de los que se dispone como valores diarios. Debido a la poca certidumbre de las condiciones de contorno del flujo de entrada (los flujos de entrada son generados con un modelo hidrológico) y de la cantidad de precipitaciones, que se conoce sólo para ubicaciones más tierra adentro se ha desarrollado un análisis de sensibilidad basado en estos parámetros para la calibración del modelo.

Para el caso de referencia, se utilizaron ambos modelos con la malla de 50 x 50 m² y 100 x 100 m², para estudiar el efecto en los resultados de una esquematización más fina.

El marco temporal de las secuencias de calibración se define de la forma siguiente:

- Tiempo de inicio 22 de octubre de 2003, 06:00:00
- Tiempo final 1 de noviembre de 2003, 00:00:00
- Salto de tiempo 60 s

5.4.1. Datos meteorológicos

El largo evento de precipitaciones entre el 22 y el 26 de octubre ocasionó una gran inundación en el área de L'Albufera. La mayor parte del agua que entró al sistema del lago provenía de zonas de captación corriente arriba, pero tampoco pueden olvidarse las precipitaciones directas en la propia área.

Tal y como se ha descrito, SOBEK es un modelo hidrodinámico, no un modelo hidrológico. Esto significa que los procesos de precipitaciones-escorrentía son algo más difíciles de aplicar. Todas las precipitaciones han sido trasladadas directamente en escorrentía. Los procesos como la infiltración, el flujo sub-superficial y el flujo del agua subterránea todavía no pueden ser modelizados con SOBEK. Desgraciadamente, no había ninguna estación de medición de precipitaciones para el evento de inundación Octubre 2000, de forma que hubo que utilizar los datos de las estaciones de los alrededores (TYP SA, 2004c). Se ha establecido un valor medio de evaporación de 2 mm/d para todo el periodo. Debido a la temporada y al corto tiempo de simulación, este parámetro no es muy importante en esta simulación particular.

5.4.2. Hidrogramas de entrada

La mayoría del agua entró realmente en L'Albufera procedente de las áreas de captación corriente arriba, entre las cuales la mayor es el barranco del Poyo. Los hidrogramas de descarga de estos límites corriente arriba fueron calculados por TYP SA (2004c) utilizando modelos hidrológicos.

Un segundo barranco importante es el de Beniparrell, que aporta algo menos de la mitad de la descarga máxima del barranco del Poyo. Estos dos flujos de entrada juntos representan más del 90 % del flujo total de entrada de las áreas de captación corriente arriba. En la Ilustración 25. se presenta una serie de tiempo de los flujos de entrada.

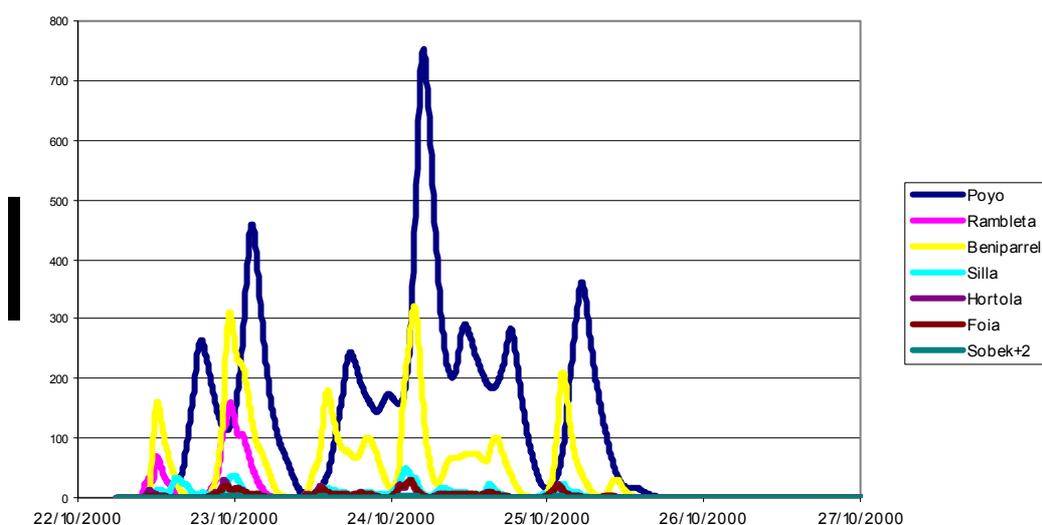


Ilustración 25. Condiciones de contorno del flujo de entrada de los barrancos (excluyendo los flujos de entrada Sobek+1).

5.4.3. Niveles de agua en el lago

Para la calibración del modelo, se dispone de valores diarios de niveles en tres puntos, localizados corriente arriba de las tres golas que controlan el flujo de salida de agua del sistema de L'Albufera en el mar.

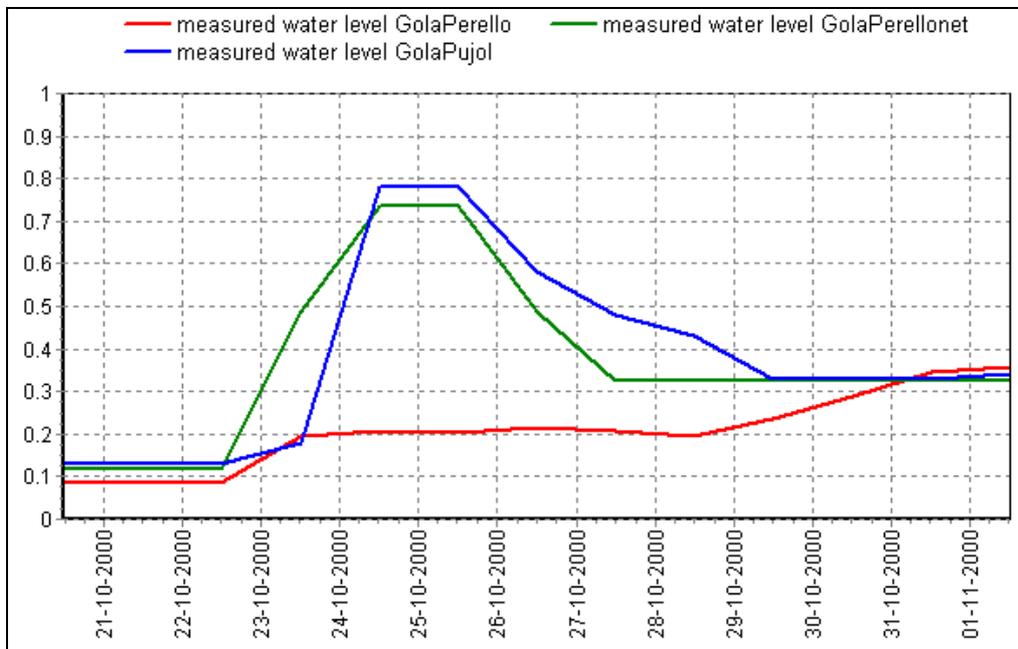


Ilustración 26. Niveles del agua corriente arriba de las barreras de las golas.

Es interesante resaltar que existe una gran diferencia entre los niveles de agua medidos. Mientras que los niveles en las estaciones más cercanas al lago, Pujol y Perellonet, muestran un comportamiento similar y valores máximos, la estación al sur, el Perelló, tiene un comportamiento completamente diferente y no sigue claramente la configuración de las

precipitaciones ni del flujo de entrada del Poyo. Esta diferencia se interpretó como un error en los datos.

5.4.4. Manejo de las estructuras

Cada una de las tres golas principales contiene un cierto número de compuertas, que pueden manejarse manualmente e independientemente unas de las otras. Normalmente, el operador de las compuertas las abre o las cierra para mantener un cierto nivel de agua en el lago. Cuando se produce un evento de grandes precipitaciones, comienza a abrir las compuertas para compensar el aumento de los niveles del agua dentro del lago siempre que resulte compatible con el estado de la mar. Para la calibración, es importante reproducir exactamente y con precisión el manejo real de las compuertas durante el evento, ya que puede influir en los resultados de forma muy importante.

Por ello, en el modelo se ha aplicado el manejo real de las compuertas, como ha sido consignado por el operador (Junta de Desagües). Los niveles del agua en L'Albufera comenzaron a subir el 22 de octubre. Las compuertas del Perellonet se abrieron por primera vez el 23, seguidas por el Perelló el 24 y Pujol el 25. Las compuertas se cerraron gradualmente a partir del 29 de octubre y hasta el 1 de noviembre.

5.4.5. Simulación de rotura de dique

Durante el evento de inundación Octubre 2000 se produjeron varias roturas de diques en el barranco del Poyo. No se conoce exactamente ni el tiempo exacto de rotura del dique ni la evolución de la rotura. Para tener en cuenta la influencia aproximada de estos fenómenos, se han esquematizado tres tramos cortos de río desde el barranco del Poyo hasta los arrozales de los alrededores, en los lugares en que se produjeron las roturas del dique.

5.4.6. Resultados

Varias secuencias de calibración se tradujeron en un modelo con una selección óptima de parámetros. Mientras se calibraba hacia los tres gráficos de niveles de agua medidos inmediatamente corriente arriba de las tres golas, se cambiaron los siguientes parámetros de introducción/del modelo:

Flujo de entrada del barranco del Poyo: Inicialmente se aplicó un factor de 0.7 a la descarga del flujo de entrada, calculada mediante el modelo hidrológico, debido a la falta de certeza en las posibles descargas pico y a la presunción de que dicho modelo infraestimaba la laminación aguas arriba del parque de L'Albufera al no haberse resuelto en clave hidráulica los múltiples desbordamientos del barranco. Posteriormente, TYPESA comprobó mediante un modelo hidráulico sencillo que el caudal pico obtenido permitía reproducir de forma razonable los niveles máximos observados durante el evento en la estructura del ferrocarril sobre el barranco del Poyo entre Catarroja y Massanassa. En consecuencia, se decidió utilizar la serie original de flujos de entrada, lo que quiere decir que no se aplicó ningún factor de corrección.

Precipitaciones directas en el sistema de L'Albufera: Existe una carencia importante de información sobre la distribución espacial de la lluvia en el evento de Octubre de 2000 tal y como fue puesto en evidencia por TYPESA (2004c) y por UPV-TYPESA (2004). Este aspecto constituyó el principal inconveniente para perfeccionar la calibración de los modelos hidrológicos. En todo caso, en el balance total del volumen de agua del área de L'Albufera, las precipitaciones directas desempeñaron un papel relativamente pequeño en el evento Octubre 2000. Para determinar la influencia real, se realizaron simulaciones con y sin precipitaciones. Las simulaciones con precipitaciones directas se tradujeron en niveles de agua

irrealmente altos. Esto viene probablemente ocasionado por el hecho de que SOBEK es un modelo hidrodinámico sin facilidades para modelizar la infiltración y los componentes más lentos de la escorrentía sub-superficial entre los arrozales. Por todo ello, se decidió no tener en cuenta el efecto en los niveles de agua del área de L'Albufera derivados de precipitaciones directas.

Tamaño de las cuadrículas de la malla: La simulación final del evento Octubre 2000 se realizó con una malla con cuadrículas de 50x50 m², mientras que la propia calibración se efectuó utilizando cuadrículas mayores (de 100x100 m²). Los resultados de ambas simulaciones resultaron ser bastante similares, aunque había algunas diferencias menores en algunas ubicaciones. Estas diferencias se derivan sobre todo de que la malla fina 2D representa el almacenamiento real entre líneas de ruptura mejor que la malla gruesa de 100x100 m².

Las once figuras de la página siguiente muestran una visión general de la propagación de la inundación a través del área de L'Albufera durante el evento Octubre 2000 finalmente calibrado. El mayor pico de descarga en el Poyo ocurrió el 24 de octubre por la mañana. Los colores representan diferentes profundidades del agua: desde poco profunda (azul claro) hasta aguas profundas (azul oscuro). Estas figuras tienen por objeto ofrecer una impresión del carácter de la inundación. Pueden consultarse las películas digitales existentes (.avi) que acompañan este informe en la edición digital del "Estudio para el Desarrollo Sostenible de L'Albufera de Valencia" en el que se integra para una animación completa del evento de calibración.

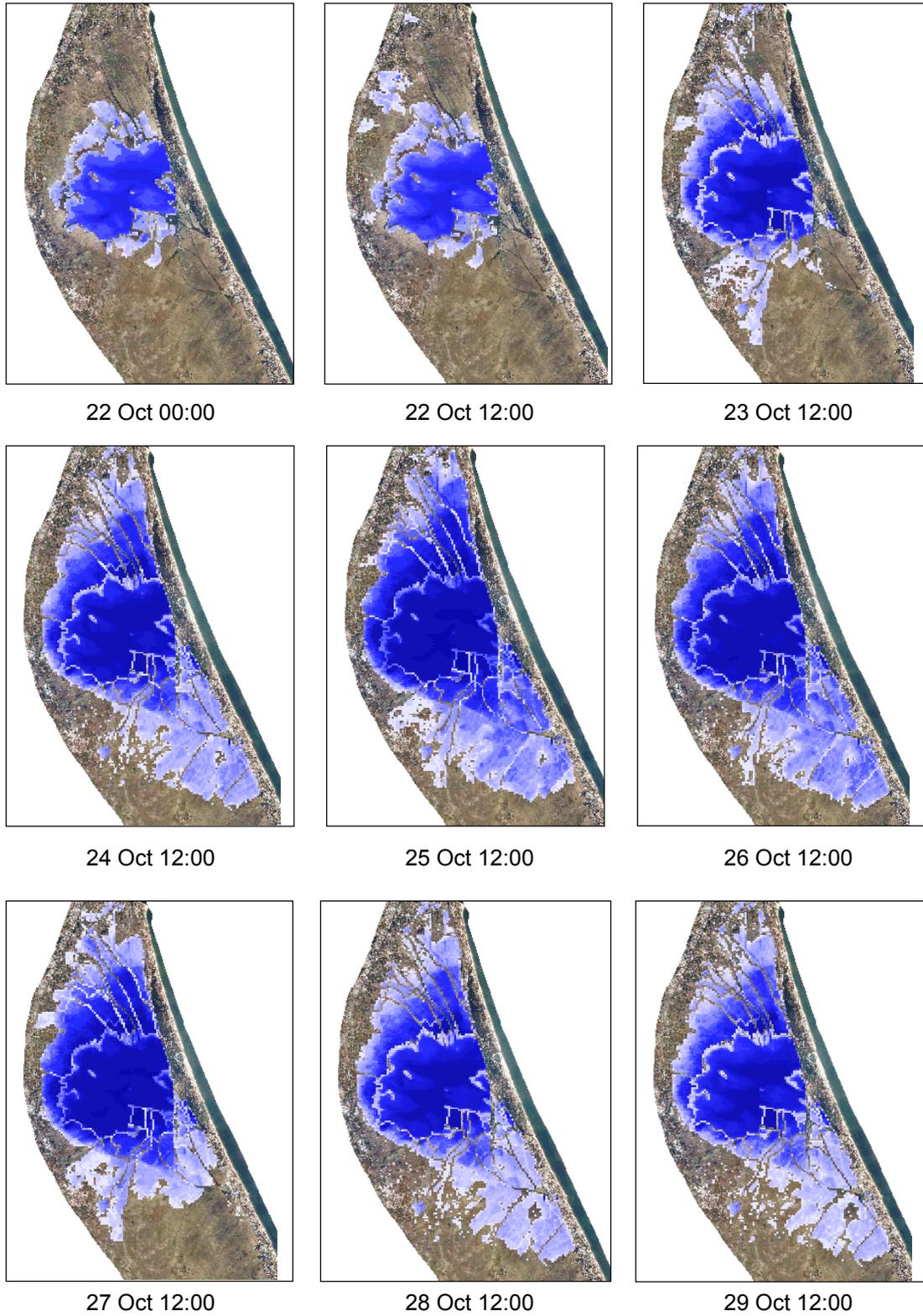


Ilustración 27. Visión general de la propagación de la inundación durante el evento de Octubre 2000

Las ilustraciones muestran la comparación entre los niveles de agua simulados y medidos. Existen tres estaciones de medición del nivel del agua en el área de L'Albufera, cada una de ellas inmediatamente corriente arriba de cada gola. Desgraciadamente, no había ninguna estación de medición en lugares más centrales del lago.

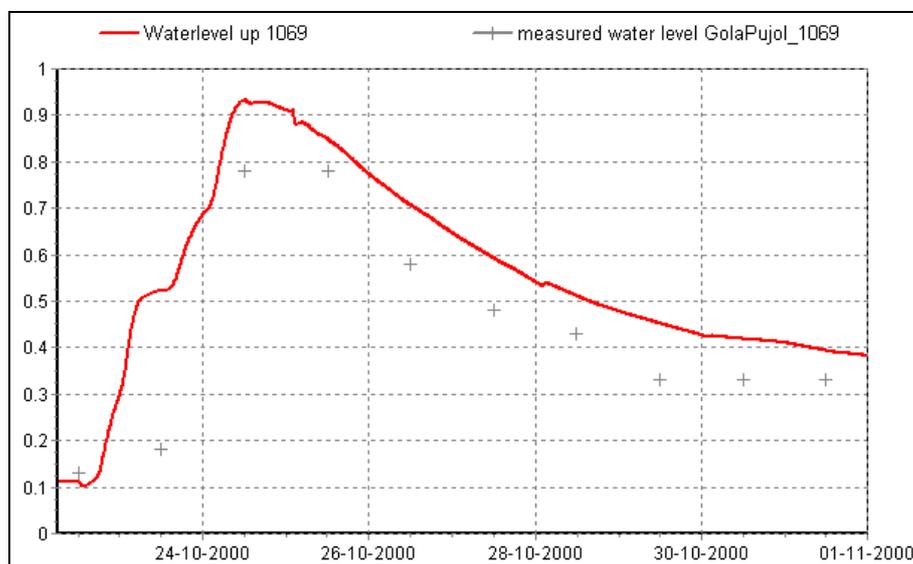


Ilustración 28. Gola de Pujol, niveles de agua medidos frente a los niveles simulados.

La gola de Pujol se encuentra en el extremo oriental del lago. Contiene el mayor número de compuertas de las tres golas y es la salida más importante de toda el área de L'Albufera. El nivel de agua medido en esta ubicación alcanza su pico alrededor del 25 de octubre, con un valor de unos .78 cm por encima del nivel del mar. El nivel del agua simulado del modelo calibrado sigue bastante bien la tendencia de las mediciones. Los niveles del agua muestran un exceso de entre 5 y 15 cm. Un dato a recordar es que el tiempo real de la medición se desconoce.

5.5. CONTRASTE DE LOS VALORES DEL TRANSPORTE DE SEDIMENTO EN EL MODELO ALBUFERA: OCTUBRE 2000

5.5.1. Antecedentes y Periodo de simulación

La generación de los sedimentogramas de entrada al modelo fue realizada por TYPESA (2004e). El modelo empleado para la caracterización de la pérdida de suelo, transporte y aportación de sedimentos en el lago fue el AGNPS (Agricultural Non-Point Source) del US-DA/ARS. Dada la rigidez del módulo de cálculo precipitación – escorrentía de este modelo y la dificultad de considerar en el mismo los efectos de la distribución espaciotemporal de la lluvia, TYPESA decidió complementar los cálculos de escorrentía líquida mediante el modelo HEC-HMS del USACE, creando una metodología que permitía considerar los eventos de lluvia de forma distribuida y repercutir los caudales líquidos generados por HMS sobre la producción de sedimentos obtenida a partir de AGNPS

El flujo de entrada de sedimentos en los límites de los modelos dura desde el 22 de octubre hasta el 25 de octubre. La sedimentación de sólidos en suspensión continúa durante algún tiempo después de terminar la entrada de material. La velocidad de sedimentación de la fracción más fina de sedimento es muy baja y la sedimentación puede continuar durante días o semanas después de terminar el transporte de sedimentos al lago. Decidimos tomar el 1 de noviembre como la fecha final de la simulación para el procedimiento de calibración.

5.5.2. Análisis de sensibilidad

Durante el evento Octubre 2000, se ha controló la concentración de sólidos en suspensión (medidas de material sedimentable en cono Imhoff) en el cauce del Poyo (OTDA, 2000). Asimismo, se conoce la batimetría del sistema antes y después del evento. Partiendo de la batimetría, puede calcularse la sedimentación neta en el lago y en los arrozales. La información sobre la concentración de sólidos en suspensión y la cantidad total de sedimento en el sistema puede utilizarse para calibrar el modelo de sedimento.

Se ha efectuado simulaciones con diferentes parámetros y se ha realizado un análisis de sensibilidad. El flujo de sedimentación de la arcilla es mucho mayor en la secuencia con velocidades de sedimentación AGNPS, debido a una mayor velocidad de sedimentación. La distribución espacial de la arcilla es más o menos la misma que en la secuencia 'Delft3D': la ubicación en que se deposita la arcilla depende de la concentración de arcilla en el agua y de la ocurrencia de áreas con bajas velocidades de flujo.

Finalmente los parámetros que se eligieron eran idénticos a los parámetros de Delft3D por defecto por las razones que se explican en los documentos de desarrollo.

5.5.3. Resultados de la simulación con parámetros por defecto 'Delft3D'

El balance de sedimento se muestra en la tabla siguiente. El balance de sedimento se calculó para el periodo entre el 22 de octubre y el 1 de noviembre. La ilustración muestran la distribución espacial de los sedimentos (fracción limo) en L'Albufera.

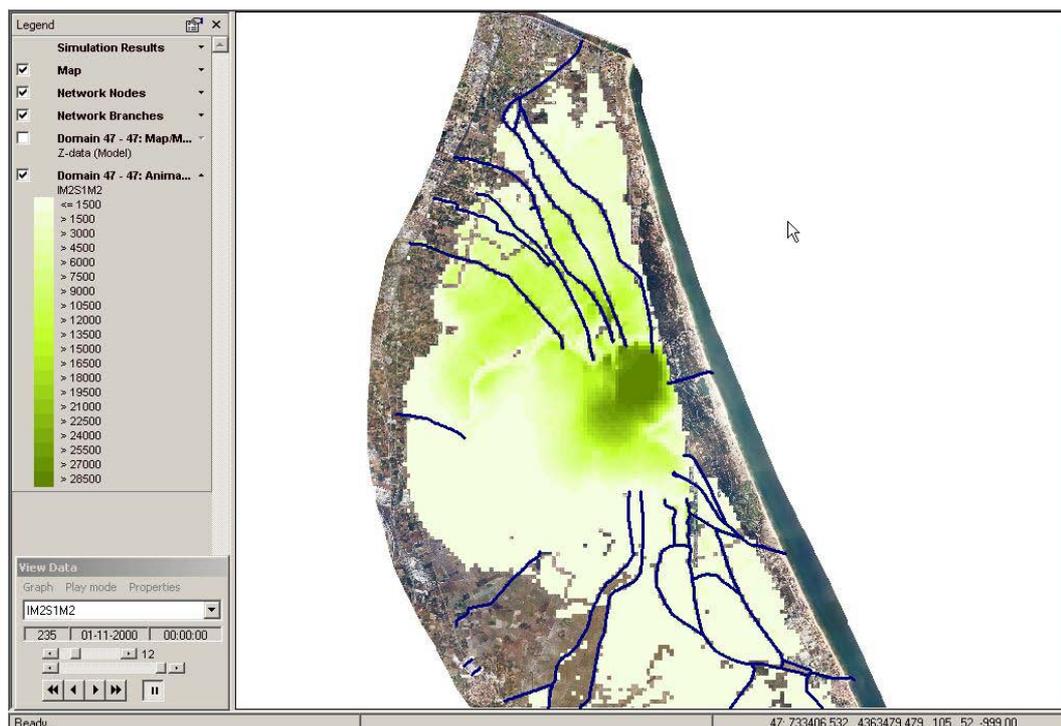


Ilustración 29. Cantidad de limo depositado recientemente (g/m^2) el 1 de noviembre. La velocidad de sedimentación del limo es de 4 m/d.

BALANCE	arena [t]	limo [t]	arcilla [t]	total [t]
Flujo de entrada	182	489069	473886	963137
Sedimento en canales	20	5553	255	5829
Sedimento en campos	103	181443	10458	192004
Sedimento en lago	48	184913	4560	189521
Flujo de salida Pujol	0	9524	131613	141138
Flujo de salida Perellonet	0	5995	66833	72828
Flujo de salida Perelló	0	3519	42142	45661
En suspensión	11	98122	218025	316157

Tabla 1. Balance másico del sedimento en L'Albufera, el 1 de noviembre de 2000. La simulación se hizo con coeficientes del proceso por defecto ('Delft3D').

Los resultados de la simulación son bastante diferentes para la arena, el limo y la arcilla, debido a sus propiedades divergentes.

La arena se depositó casi inmediatamente, cerca del flujo de salida del Poyo y también cerca de los canales, donde el flujo supera los diques. La pequeña cantidad de arena que seguía en suspensión después de una semana quedó atrapada en el agua en las áreas de

poca profundidad. La sedimentación se detuvo cuando la profundidad del agua era menor que una profundidad mínima de 1 centímetro y la arena permaneció en suspensión. Una cantidad significativa de arena se depositó en los canales. Prácticamente no salió arena por las tres golas.

Alrededor del 75% del limo se había depositado en el lago y los arrozales el 1 de noviembre, mientras que otro 20% seguía en suspensión y el 5% había abandonado el sistema a través de las tres golas. El limo puede encontrarse en un área mucho más amplia que la arena.

Debido a la baja velocidad de sedimentación, la mayor parte de la arcilla sigue en suspensión durante largo tiempo. Lo que es más, los sedimentos arcillosos sólo se encuentran en lugares con velocidades bajas del flujo. La mayoría de la arcilla puede encontrarse en los arrozales cercanos al Poyo. En el lago, la arcilla tiende a sedimentar más cerca de la costa oriental que el limo y la arena.

La distribución espacial del sedimento depende de:

- La distribución espacial del agua cargada con sedimentos;
- La escala temporal de sedimentación frente a la escala temporal de la hidrodinámica.

Existen diferentes rutas que pueden seguir los sedimentos en suspensión en L'Albufera:

- Parte del agua y los sólidos en suspensión fluye sobre los diques de los canales e inunda los arrozales;
- Parte del agua y los sólidos en suspensión se descarga en el lago a través de los canales;
- Después de pasar por el lago, el agua es descargada en el mar a través de las tres golas;
- El agua que inunda los arrozales es bombeada en el lago después de algún tiempo.

La sedimentación se produce principalmente en los arrozales y en el lago, no en los canales. La ubicación exacta donde se depositan la arcilla, el limo y la arena depende de la velocidad de sedimentación de las partículas y de la velocidad de flujo del agua.

La distribución espacial del sedimento dentro del lago y dentro de las áreas inundadas puede ser sometida a calibración de los coeficientes en el modelo de sedimento. Asimismo, la cantidad de sedimento que se descarga en el mar depende de las características del sedimento. La división entre los dos destinos principales del sedimento, el lago y los arrozales, depende en gran medida de la hidrodinámica.

5.5.4. Comparación con las batimetrías medidas

El grosor de la capa de sedimento y el volumen de sedimento en el lago y en los arrozales pueden calcularse cuando se conoce la porosidad y la densidad del sedimento

Mediante el estudio de las batimetrías de 1999 y 2003 TYPESA (2004f), se ha estimado que el aporte de sedimentos por el evento de Octubre de 2000 estaría situado alrededor de

149.000 t (360.000 m³), asumiendo que las características básicas del material del fondo son bastante homogéneas y que la densidad saturada del sedimento es de 1,25 t/m³, con una humedad media del 201.33% (Martín, 1998).

Por otro lado, la aportación sólida al ámbito del Parque Natural durante el episodio de Octubre de 2000 obtenida con los estudios hidrológicos antes referenciados (TYPESA,2004c) y deduciendo la fracción retenida en las cuencas del suroeste del parque, resultaría de más de 963.000 t (Tabla 18).

Mediante el uso de las técnicas objeto de este informe como son la construcción de modelos hidráulicos combinados (1D-2D) del ámbito marjal-lago, con los parámetros por defecto de Delft3D se ha estimado la sedimentación producida en los canales y arrozales en unas 197.000 t. En la misma simulación se cuantificaron las salidas por las tres principales golos o canales que comunican con el mar, cifrándolas en torno a 260.000 t, mientras que se estimaron en cerca de 316.000 t los sólidos que seguían en suspensión en los campos de arroz, los canales de riego o el propio lago. El material sedimentado en el propio lago resultaría de 190.000 t¹.

Comparando este último valor con el deducido de las diferencias batimétricas (149.000 t) parece concluirse una aproximación razonable en los órdenes de magnitud, bien entendido que las incertidumbres que ofrece este análisis son obviamente considerables.

En definitiva, los parámetros por defecto de Delft3D parecen proporcionar un mejor ajuste a la realidad observada con una tendencia a sobreestimar los valores de la masa de material sedimentado. Deben tenerse en cuenta limitaciones de relevancia en este análisis:

- Los cálculos son muy sensibles a variaciones en las características físicas (densidad, humedad media) del sedimento
- Pueden existir errores inherentes a la comparación de batimetrías obtenidas en un intervalo de tiempo considerable y con técnicas distintas y coordenadas de referencia distintos (aun cuando en el estudio se procedió a la homogeneización de planos de comparación altimétricos)
- No se ha tenido en cuenta la materia orgánica en los análisis.
- Se ha asumido como dato de partida un reparto uniforme de los aportes sólidos a lo largo del episodio (concentración constante). Siendo mayores en la realidad las concentraciones durante los picos del hidrograma, parece razonable pensar que los sedimentos desbordados (y posteriormente sedimentados) hacia el arrozal pueden haber sido infravalorados.

¹ A lo que habría que añadir una buena parte del material que permaneciera en suspensión al finalizar el episodio y que, en buena lógica, podría acabar sedimentando también en el lago.

5.6. RESUMEN Y CONCLUSIONES

TYPSA Valencia ha pedido a WL | Delft Hydraulics que desarrolle un modelo de inundación del área de L'Albufera, un área de humedales cercana a Valencia. El objetivo es desarrollar una herramienta que pueda usarse dentro del proyecto 'Desarrollo sostenible de L'Albufera de Valencia' para aumentar los conocimientos sobre los procesos relacionados con el agua en esta área, así como para calcular los efectos de las posibles medidas sobre el flujo del agua a través del área. Una extensión del modelo cubre los fenómenos del transporte de sedimento en el sistema combinado de los canales, la plana de inundación y el lago.

El modelo de inundación se ha desarrollado en el marco de modelización de SOBEK, usando los módulos 1D Channel Flow y 2D Overland Flow. Los principales canales o barrancos del área fueron modelizados en 1D, incluidas sus estructuras hidráulicas importantes para el control de los eventos de inundación. La plana de inundación, compuesta principalmente de arrozales, y la masa de agua del lago en sí fueron modelizados en 2D. El modelo puede aplicarse para simulación hidrodinámica y para procesos relacionados con la calidad del agua, tales como el transporte de sedimento en suspensión. Se aplicó un segundo modelo (Sobek+1) para una región en el suroeste del área del lago.

El estudio se ha traducido en un modelo calibrado combinado 1D2D de la región del lago de L'Albufera. Durante esta fase del proyecto, los resultados del modelo demostraron ser muy sensibles a los flujos de entrada de las áreas de captación corriente arriba y a las precipitaciones directas dentro de L'Albufera. El modelo final de calibración no incluye precipitaciones directas debido al impacto negativo sobre los niveles de agua simulados, comparados con las mediciones. Los resultados finales ofrecen una buena impresión de la propagación del frente de agua y los eventuales niveles máximos del agua. La diferencia entre los niveles de agua simulados y medidos es aceptable, especialmente para la gola principal (Pujol), justo al lado del lago. Los tiempos de cálculo en un PC reciente están dentro de límites aceptables, tanto para la malla de 50 m como para el de 100 m.

El modelo será utilizado por TYPSA como una herramienta para posteriores estudios relacionados con el desarrollo sostenible de la región del lago de L'Albufera.

Por último, se han establecido una serie de recomendaciones para el perfeccionamiento futuro de los modelos.

6. EL MODELO TRIDIMENSIONAL DELFT-3D

6.1. OBJETIVOS

El modelo Delft3D se fue construido, con la asistencia de WL|Delft Hydraulics con los objetivos siguientes:

- Entender los procesos que afectan la sedimentación en el lago con una visión de detalle
- Desarrollar una herramienta que sirva para evaluar diversas estrategias destinadas a atenuar la sedimentación en el lago, especialmente estrategias basadas en la operación de las aperturas de las golas y analizar la eficacia de estrategias basadas en el dragado.

6.2. DATOS Y MÉTODOS

6.2.1. Datos

Los datos de la partida del estudio han sido responsabilidad de TYP SA. Su adquisición, proceso y revisión por parte de WL| Delft Hydraulics fue objeto de la fase 2 de los trabajos. TYP SA ha elaborado una base de datos que incluye la trazabilidad de los mismos y que podrá consultarse en la edición digital del estudio final. En el documento de desarrollo se describe la actividad se describen los datos principales: batimetría del fondo, caudales de entrada, niveles de la lamina de agua, velocidades y direcciones del viento y la distribución y composición del sedimento. No se dispone de datos medidos de las velocidades del agua durante un evento significativo, o de mediciones de las alturas de ola durante un evento de viento fuerte.

6.2.2. Selección de módulos de Delft3D

Se usa el modelo Delft3D para simular el desarrollo morfológico, incorporando el barranco del Poyo o de Massanassa, el lago y las tres golas que conectan el lago con el mar

La ilustración siguiente ofrece una representación de los módulos de Delft3D. La carga del transporte del material del fondo del barranco (arrastre de fondo y carga en suspensión) se puede simular con los módulos Sediment on-line, SED y TRANSPORT. Dentro el módulo TRANSPORT, el submódulo TRSTOT calcula el arrastre de fondo y la carga en suspensión sin adaptación retrasada, mientras que el submódulo TRSSUS calcula la carga en suspensión con adaptación retrasada. Sin embargo, la carga de lavado (sedimentos cohesivos y no cohesivos) se puede simular solamente con los módulos Sediment on-line y SED, no con el módulo TRANSPORT. Los cambios morfológicos, es decir, la actualización del nivel del fondo, se pueden simular con los módulos Sediment on-line y BOTTOM. Los módulos TRANSPORT (con TRSTOT y TRSSUS) y BOTTOM son partes del módulo MOR. La selección de los módulos depende de las escalas de tiempo en las cuales se simulan los procesos porque el módulo Sediment on-line actualiza el nivel del fondo con un intervalo temporal igual al intervalo temporal del cálculo del flujo, mientras que el módulo BOTTOM lo actualiza con un intervalo temporal mucho mayor. Así, se presentan métodos diferentes para simulaciones a corto plazo y simulaciones a largo plazo. mediante configuraciones distintas de los módulos.

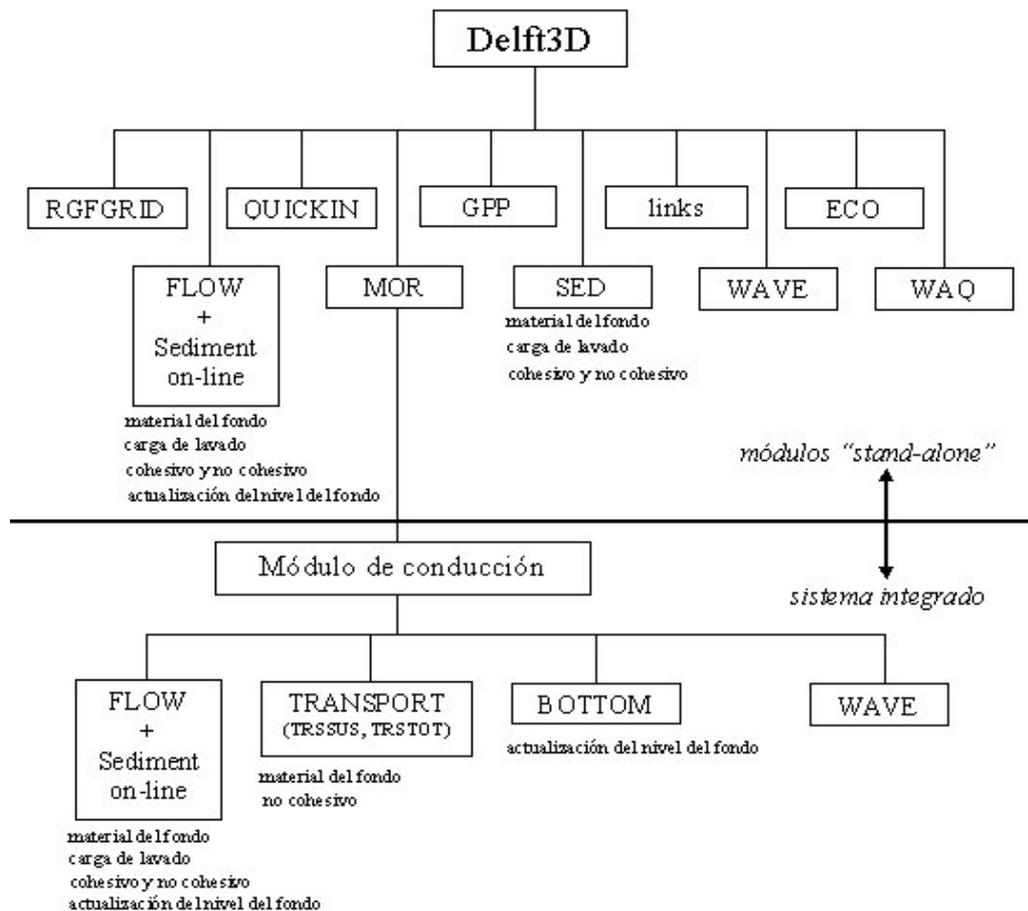


Ilustración 30. Módulos de Delft3D

6.2.3. Dominio y malla de cálculo

El estudio con Delft3D se ha basado en la construcción de dos modelos. Se construye el primer modelo con tamaños de celda de 100 a 125 metros sin el barranco y sin las golas. Este modelo hidromorfológico de malla gruesa se llama el **Modelo A** y se utiliza para describir los procesos generales del lago. Con este modelo, se evalúan el movimientos de agua y el desarrollo de las olas. El **Modelo B** se amplía con una parte del Barranco del Poyo y tiene una malla fina en el área de la desembocadura del Poyo, con tamaños de celda de 25 metros. De esta forma, es posible modelizar la morfología causada por el flujo de entrada del barranco durante periodos de descarga alta. La gola de Pujol no se ha modelizado por separado, pero su influencia se ha tenido en cuenta a través de un flujo de salida como condición de contorno.

6.3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO A. EFECTO DEL VIENTO

Se han realizado diversas simulaciones para mejorar la comprensión del efecto del viento en el lago. A modo de ejemplo se describe brevemente una de ellas.

6.4. EJEMPLO DE SIMULACIÓN

Para evaluar la morfología en el lago durante un evento de tormenta, se ha realizado un cálculo para una situación con el viento viniendo del oeste a una velocidad de 7 m/s. Las posibilidades de calibrar los resultados de un cálculo de este tipo son limitadas, pero la configuración existente de la batimetría

da una idea de lo que serían los resultados. En este cálculo, se han introducido tres fracciones de sedimentos en el fondo del lago. Cada una de estas fracciones estaba presente en una capa de 30 cm. Debido al movimiento del agua y a las olas, este sedimento queda en suspensión y es transportado a través del sistema, traduciéndose en un modelo determinado de erosión y sedimentación. En este caso, la erosión sólo es visible porque el resto del sedimento sigue estando en suspensión, probablemente debido a las velocidades relativamente altas producidas por estas condiciones de viento y olas. La ilustración siguiente muestra un ejemplo de la visualización de la distribución de sedimentos en el lago. Este gráfico muestra la concentración de la fracción del sedimento muy fino en la superficie, en kg/m^3 . El comportamiento de las fracciones de sedimento por separado puede evaluarse mejor con Quickplot.

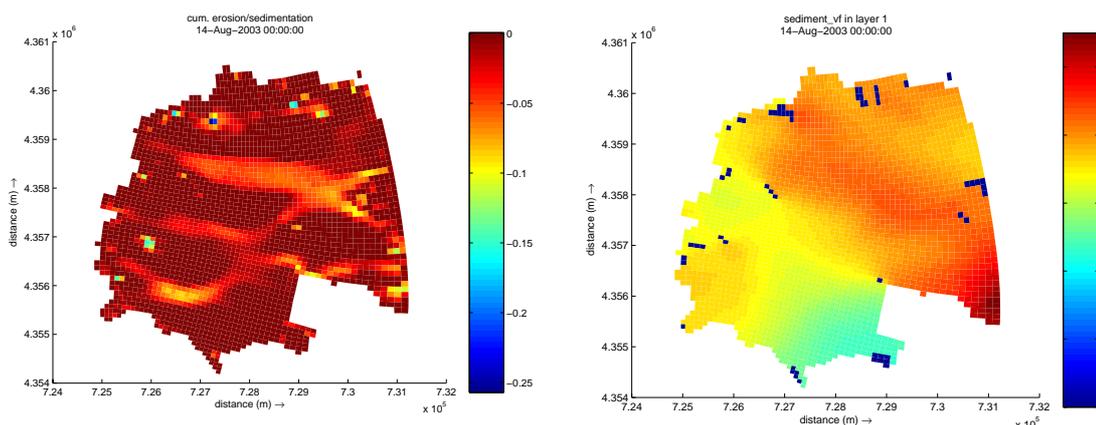


Ilustración 31. Modelo A. Viento sobre lecho móvil (Caso 5). Configuración de la erosión [m] después de dos días y concentración del sedimento muy fino [kg/m^3] en la superficie.

6.4.1. Algunas Conclusiones provisionales

Los procesos principales que afectan a los cambios morfológicos en una escala de días son los aportes de sedimentos por los barrancos y la redistribución de sedimentos por las olas y corrientes causadas por el viento. Las corrientes causadas por los aportes ordinarios sin considerar el efecto de las olas no son significativos dada la baja velocidad de recirculación que producen. Las olas son, por tanto, una condición que se ha demostrado vital para la actividad morfológica.

La topografía del fondo responde a las nuevas condiciones del viento en una escala de horas. Esto implica que la topografía del fondo depende mucho en todo momento de la historia del viento durante las horas precedentes. El fondo cambia continuamente. De esta manera es difícil reconocer tendencias lentas del desarrollo en una escala de años.

Se ha intentado, por ejemplo, evaluar de forma preliminar la posibilidad de utilizar el mecanismo de resuspensión por efecto del viento como una medida de evacuación de sedimentos destinada a corregir los efectos de aterramiento. En la simulación 5c se reprodujo el comportamiento del sistema con un viento constante del oeste de 7 m/s y los bombeos funcionando durante 24 horas. A pesar de lo extremo de la situación, la masa total de sedimento evacuado fue modesta: apenas 2500 t. Esta simulación sugiere un campo de estudio que no debe despreciarse pero anticipa una escasa efectividad de estas medidas.

6.5. DESCRIPCIÓN DEL MODELO B. EFECTO DE UNA AVENIDA EN EL BARRANCO DEL POYO.

Se han realizado diversas simulaciones para mejorar la comprensión de los efectos de las grandes avenidas en el lago. A modo de ejemplo se describe brevemente alguna de ellas.

6.5.1. Un ejemplo de simulación

Durante la avenida de Octubre 2000 en el lago de L'Albufera, entró agua al lago no sólo a través de los diferentes barrancos sino también superando los diques de los arrozales inundados. El campo total de afluencia con agua entrando y saliendo de todas direcciones y las concentraciones de sedimento asociadas se tomaron del modelo Sobek (WL|Delft Hydraulics para TYPESA, 2004).

En una de las simulaciones (Caso 13) se describe el evento completo Octubre 2000, con los efectos de la morfología en el lago y el flujo de entrada de sedimentos en el límite del Poyo. La mayor parte del sedimento se deposita en un radio de unos 2 km de la desembocadura del barranco del Poyo, que es el responsable del principal suministro de sedimento en el lago. Se ha visto que los otros afluentes desempeñan sólo un papel menor en el proceso de sedimentación del lago. Esto también depende de la menor concentración de sedimento que tiene el agua que entra en el lago superando los diques que lo rodean. La mayor parte de ese sedimento ya se ha depositado en los arrozales.

En general se ha mostrado una buena coincidencia cualitativa entre los resultados de la simulación bidimensional con Sobek y la simulación Tridimensional con Delft 3D cuando se prescinde del efecto de las corrientes de densidad (WL|Delft Hydraulics para TYPESA, 2004). Este aspecto se ha interpretado en cierto modo como una validación del modelo y sugiere la posibilidad de utilizar el modelo Sobek (de manejo menos complejo) para estudios de alternativas. Cuando se activa el efecto de las corrientes de densidad en Delft3D la masa total evacuada por las golas se reduce en un 10%.

Si observamos una sección transversal vertical en el índice $m = 64$ del grid, podemos analizar la distribución vertical del sedimento en el barranco del Poyo y en el lago, teniendo en cuenta y sin tener en cuenta la densidad del sedimento en el campo de afluencia. Las siguientes figuras muestran la concentración del sedimento en la transacción dada para la fracción de limo en la descarga pico del barranco del Poyo el 24 de octubre, 6:00.

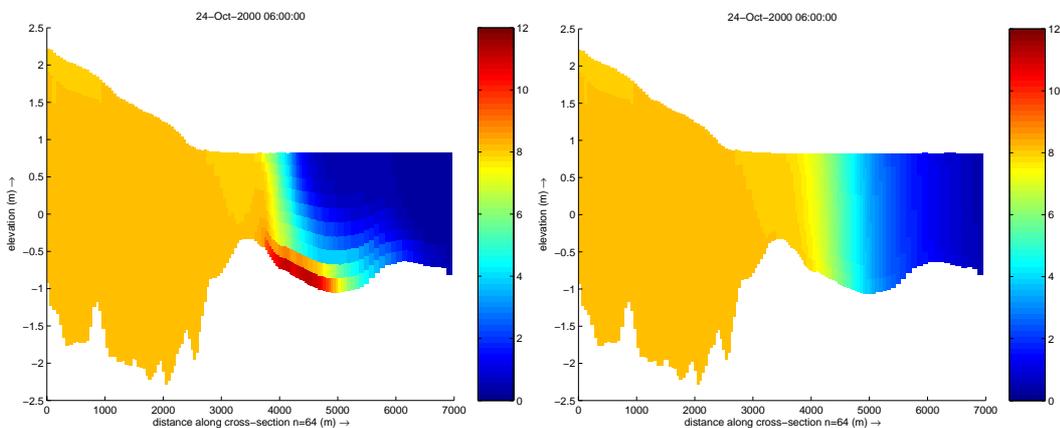


Ilustración 32. Concentración de sedimento (limo) [kg/m³] en una sección transversal vertical ($m=64$) a través del barranco y el lago, considerando la densidad del sedimento en el campo de afluencia (izquierda, caso 13b) y sin considerarla (caso 13c), 24 de octubre, 6:00 (descarga pico)

La concentración de limo en suspensión en el barranco del Poyo, con sus altas velocidades de flujo, se traduce en una masa de agua completamente mezclada verticalmente y en una concentración casi constante que se corresponde con la concentración del límite de entrada. No se observa sedimentación de esta fracción del sedimento en el barranco. En la desembocadura del barranco puede observarse en el modelo numérico un claro desarrollo de una corriente de densidad con una estratificación del lago. La concentración en el fondo aumenta de 8 kg/m^3 en el barranco a 12 kg/m^3 en el lago, cerca de la desembocadura del barranco. La mayoría del sedimento se transporta al fondo del lago. Si no se tiene en cuenta el efecto de la densidad en la simulación, la concentración de sedimento es

casi constante en la dirección vertical por lo tanto no pueden observarse ni corrientes de densidad ni estratificación.

Resaltamos que pueden observarse corrientes de densidad y estratificación del lago, si no se tienen en cuenta las olas generadas por el viento. Si estas olas producen una cantidad significativa de turbulencia, la estratificación será inestable y finalmente desaparecerá, conduciendo a un perfil vertical completamente mezclado. Esto se corresponde con el caso en que se ignoran los efectos de la densidad. Podemos concluir que los dos resultados, con y sin los efectos de la densidad del sedimento, son dos extremos del flujo esperado en el lago. Sigue siendo incierto si las corrientes de densidad realmente aparecen, porque no hay muchas experiencias con una concentración realmente alta de sedimento entrando en lagos poco profundos como L'Albufera. Tras estudiar el efecto de las corrientes de densidad y la estratificación, la ilustración siguiente ofrece una indicación de que el patrón de sedimentación en el lago es diferente para la simulación considerando y sin considerar los efectos de la densidad. Muestra las velocidades verticales en la capa superior del grid (capa 1) y en una capa cerca del fondo (capa 8).

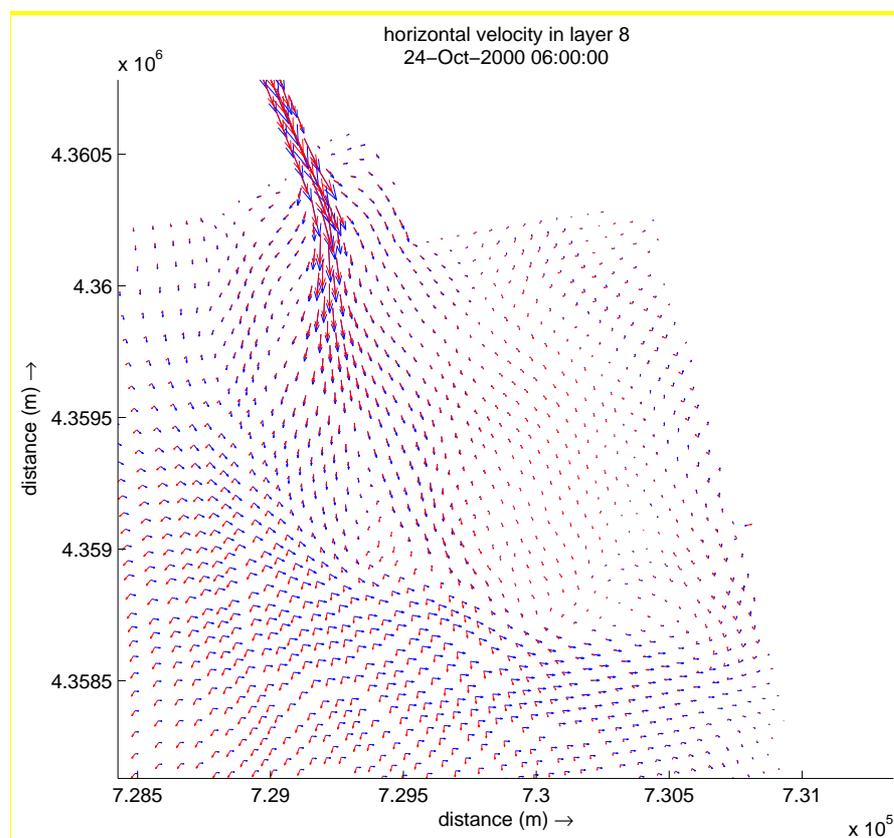


Ilustración 33. Velocidad en la capa superior (azul) y en la capa 8 (cerca del fondo) el 24 de octubre, 6:00 (descarga pico), demostración del efecto de la densidad en la dirección del flujo

Puede verse que las velocidades son significativamente distintas en las diferentes capas. Mientras la velocidad en el fondo se dirige más hacia el Oeste, la capa superior muestra una dirección hacia el Este del lago. Si se tienen en cuenta las corrientes de densidad, los vectores rojos determinarán el transporte de sedimento, mientras que el transporte sin los efectos de la densidad depende más de la velocidad del flujo a profundidad media.

6.5.2. Algunas conclusiones provisionales

Dada la carencia de mediciones que permitan contrastar la veracidad de los resultados, el modelo debe ser usado para evaluar la incidencia relativa de las avenidas y procesos que puedan afectar a la morfología de l'Albufera.

Durante una riada, las velocidades del flujo son limitadas en el lago. Es posible reproducir corrientes de densidad locales en el modelo, para una situación sin olas inducidas por el viento. No obstante, este fenómeno de estratificación es fácilmente perturbado por factores que producen un mezclado vertical, tal como por ejemplo las olas generadas por el viento. La experiencia de los expertos indica que el lago tiene demasiada poca profundidad y el sedimento en suspensión está demasiado mezclado verticalmente para contar con la formación de corrientes de densidad en las estrategias para atenuar la sedimentación en el lago.

Las velocidades limitadas en el lago durante una riada y la relativa poca importancia de los fenómenos de corrientes de densidad indican que las estrategias basadas en la operación de las aperturas de las golas no suponen la solución definitiva al problema del aterramiento del lago. Ahora bien, lo que sí se establece como necesario es establecer una correcta gestión de las compuertas, en función del estado real de la mar, que faciliten la evacuación del mayor número de sólidos por las golas, principalmente por la gola de Pujol.

Se recomienda también considerar la posibilidad de un desvío de agua y sedimento en casos extremos hacia el arrozal, manteniendo el flujo a través del lago durante riadas normales para la renovación del agua.

Se ha estudiado la influencia durante una avenida extraordinaria de un posible canal preferente de flujo Desembocadura del Poyo- Gola de Pujol constituido mediante dragado. Aunque el canal dragado influye en el patrón de la sedimentación, no se ha constatado un aumento grande de la capacidad de descarga del sedimento en suspensión a través de la Gola de Pujol. Puede concluirse que el canal investigado no mejora el problema de la sedimentación en el lago durante eventos de avenida.

En general se ha mostrado una buena coincidencia cualitativa entre los resultados de la simulación bidimensional con Sobek y la simulación Tridimensional con Delft 3D cuando se prescinde del efecto de las corrientes de densidad (W|Delft Hydraulics para TYPESA, 2004). Este aspecto se ha interpretado en cierto modo como una validación del modelo y sugiere la posibilidad de utilizar el modelo Sobek (de manejo menos complejo) para estudios de alternativas. Cuando se activa el efecto de las corrientes de densidad en Delft3D la masa total evacuada por las golas se reduce en un 10%.

7. DISTRIBUCIÓN ESPACIO TEMPORAL DE LOS APORTES AL LAGO

7.1. ESQUEMA CONCEPTUAL DEL MODELO DEL SISTEMA HÍDRICO

Las distintas fuentes de información nos proporcionan series históricas de cada componente de los aportes hídricos al lago con ámbito determinado tal y como se detalla en el apartado 1.2. Inicialmente, se proponen los parámetros del Panel de Control (coeficientes de reparto) y se ajustan comparando los valores de entradas distribuidas espacialmente en los trece puntos de cálculo correspondientes al año 1988 con los aforos del mismo período efectuados por Soria (1989), para lo cual se asignaron a cada uno de los referidos trece puntos principales los aportes de las acequias menores emplazadas en sus inmediaciones.

Por último, una vez obtenidos los resultados desagradados conceptualmente y distribuidos entre los trece puntos, se ajustan los volúmenes de entrada mediante el estudio de las cargas y concentraciones de los parámetros que determinan la calidad fisicoquímica de los aportes hídricos que entran al lago (materia orgánica, conductividad, nitrógeno orgánico, fósforo y sólidos suspendidos). Este análisis está explicado y detallado en el documento: “Calidad de los aportes fisicoquímicos al lago de l'Albufera”.

Con las hipótesis planteadas se obtienen unas hojas de calculo y gráficas en Excel que permiten analizar la evolución mensual y anual de las entradas al lago.

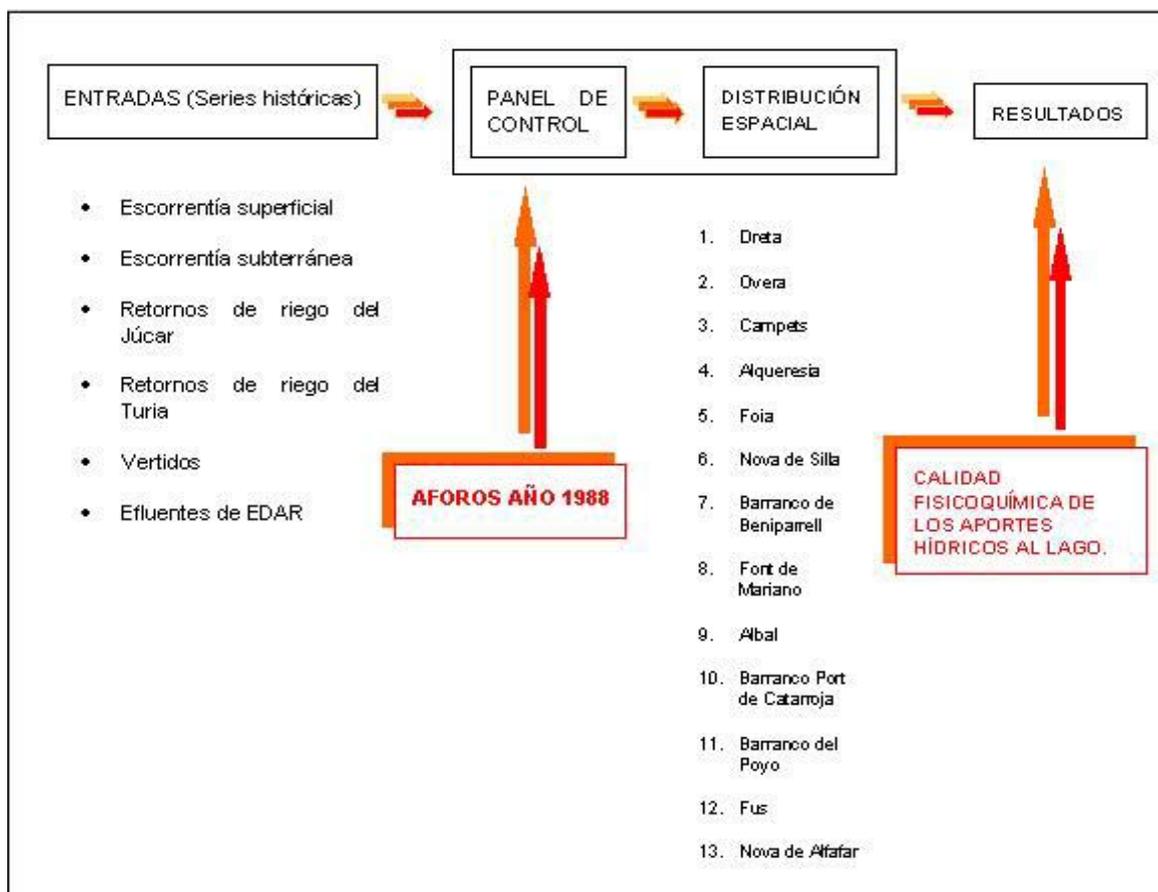


Ilustración 34. Esquema conceptual del modelo de Sistema Hídrico.

7.2. CONTRASTE Y AJUSTE CON DATOS AFORADOS

Se han contrastado los valores de entradas distribuidas espacialmente en los trece puntos de cálculo correspondientes al año 1988 con los aforos del mismo período efectuados por Soria (1989). De esta comparación surgieron las siguientes conclusiones:

- ❑ El modelo infravaloraba los retornos de riego de los ríos Júcar y Turia. Se asumió como corrección que un pequeño porcentaje (12%) de los excedentes de la acequia de Sueca entraban al lago por el Sur a través de la Acequia Dreta y Overa.
- ❑ La distribución de los aportes subterráneos resultaba razonable a partir de coeficientes de reparto proporcionales a los caudales medidos en los manantiales o *ullals* en 1988, asumiéndose un porcentaje de surgencias no tributarias del lago (drenadas por la zona sur del marjal). Por esta razón se asumió que solamente el 20% del volumen anual medido en los Ullals de Baldoví y Sants entraban al lago.
- ❑ Las entradas calculadas por el Oeste del lago resultaban inferiores a las medidas como consecuencia, probablemente, de una infravaloración de los vertidos directos de los polígonos industriales: los valores contemplados a partir de las estimaciones del Plan Especial de L'Albufera fueron multiplicados por un factor de 3.

Tras la corrección de los parámetros, la comparación entre los resultados del modelo y los aforos de campo correspondientes a 1988 se recoge en la figura siguiente:

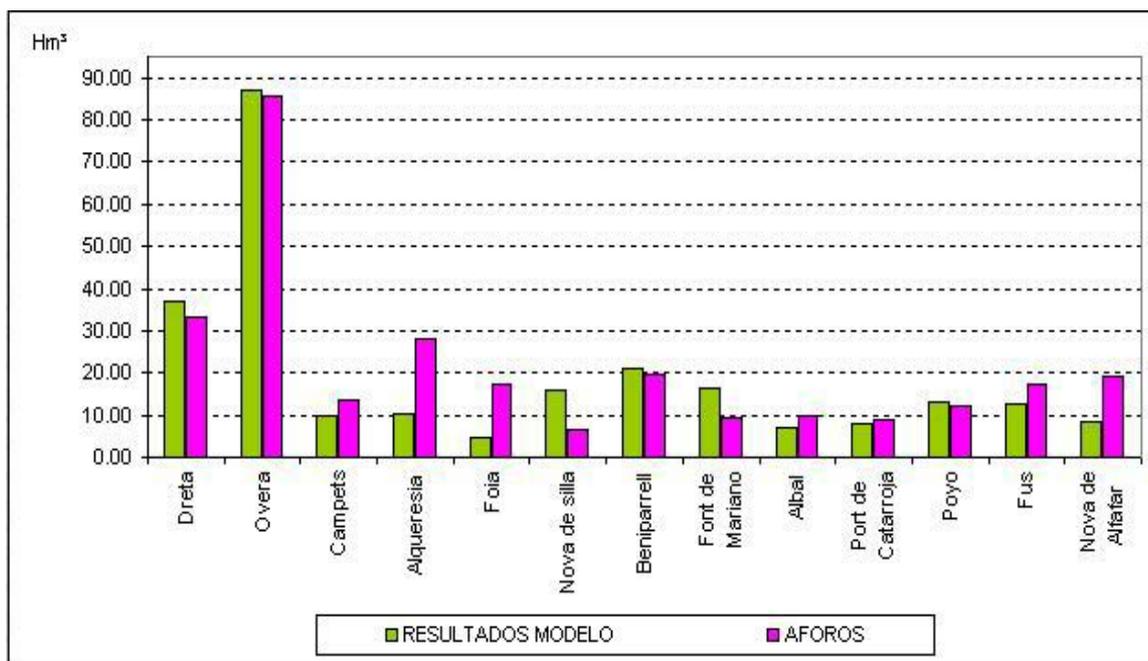


Ilustración 35. Comparación aforo resultado del modelo en 1988.

El modelo proporciona en todo caso valores inferiores a los aforados. Se apuntan dos posibles causas al respecto:

- La evaporación en el lago: ya descontada en el cálculo de aportes y, lógicamente, no contemplada en los aforos.
- Una infravaloración de los vertidos urbanos no depurados (fundamentalmente de origen industrial) como parece deducirse de las diferencias puestas de manifiesto en las entradas del lado Oeste del lago (Foia, Beniparrell-Font de Mariano, Albal, Port de Catarroja)

7.3. MODELO PARA LA EVALUACIÓN DE LAS SALIDAS DEL LAGO

Las salidas que se producen desde el lago hacia el mar tienen lugar a través de las tres golas que conectan ambas masas de agua, y que de norte a sur son las golas de Pujol, del Perellonet y del Perelló. Estas golas están reguladas por compuertas, cuyas reglas de operación vienen dadas por los requerimientos de los regantes (Junta de Desagües) para el cultivo del arroz.

El objeto del presente apartado es definir un modelo hidráulico en SOBEK que sea capaz de reproducir el comportamiento de estas golas para poder evaluar las salidas que se producen a través de ellas, y así compararlas con las entradas para poder cerrar el balance hídrico. El análisis se ha llevado a cabo para los años en que se han podido obtener datos sobre el funcionamiento de las compuertas, esto es, desde 1998 hasta 2001.

La evaluación de las salidas de agua a través de las golas es conceptualmente sencilla, pues, hidráulicamente, sólo depende de dos factores: la diferencia de niveles entre el lago y el mar y la ley de aberturas de las compuertas (que incluye el funcionamiento de las bombas). Por otra parte, evidentemente, será igualmente importante la geometría de las golas así como las condiciones de la desembocadura y en este punto se tienen carencias importantes de información.

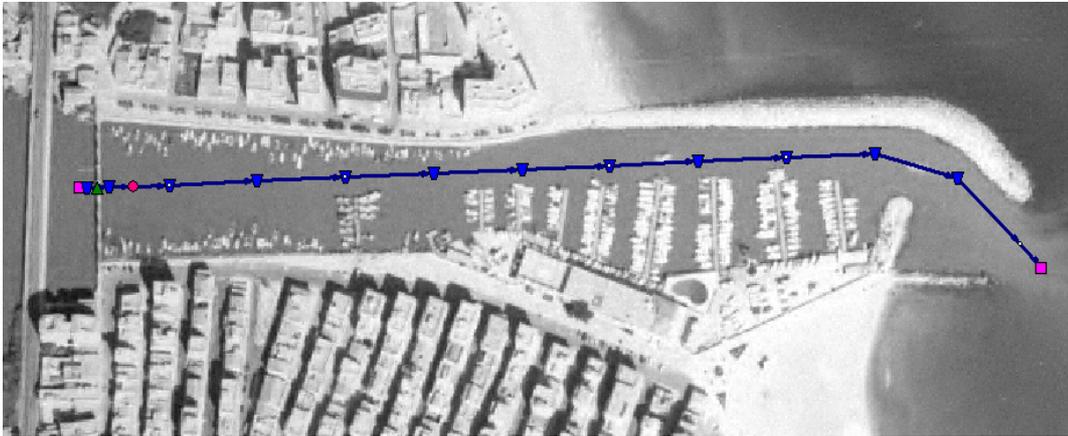


Ilustración 36. Modelo hidráulico de la Gola del Perelló.

8. MODELOS DE CALIDAD DE AGUA.

8.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LOS APORTES AL LAGO

Este estudio se centra en dos puntos concretos. El primero es generar las series históricas (de 1970 a 2001) de las cargas y las concentraciones mensuales de los principales parámetros que determinan la contaminación que entra al lago para cada tipo de aporte hídrico y acequia considerada en el modelo de Balance Hídrico. Estos parámetros incluyen:

- La materia orgánica
- El oxígeno disuelto
- Los nutrientes
- Los sólidos suspendidos
- La conductividad

El objetivo de este punto es, no sólo conocer la evolución histórica de la entrada de contaminantes al lago, sino estudiar también los cambios respecto a su distribución espacial.

El segundo es correlacionar los volúmenes de entrada con la carga contaminante de los aportes hídricos para ajustar el modelo de distribución espacio-temporal de aportes. La metodología seguida es comparar las cargas y concentraciones contaminantes calculadas de los parámetros nombrados en líneas anteriores con los datos experimentales medidos por distintos autores en las principales acequias que desembocan en el lago.

La metodología seguida consiste en asignar unas concentraciones típicas a los parámetros de calidad estudiados en función del tipo de aporte hídrico y multiplicarlos por el volumen de entrada de agua (según los valores obtenidos en el Balance Hídrico) con el fin de trabajar con cargas y/o concentraciones (ver ilustración siguiente). Los pasos seguidos son:

- Selección de los parámetros que influyen en las características fisicoquímicas del lago. La selección se ha efectuado atendiendo a los datos experimentales disponibles para su posterior comparación.
- Se asignan valores de concentración para cada tipo de aporte hídrico (C_{ij}), es decir, para la escorrentía superficial, la escorrentía subterránea, los retornos de riego superficiales, los retornos de riego subterráneos, los efluentes de las estaciones depuradoras y el agua residual urbana. Estas concentraciones se han llamado Patrones Simplificados.
- Se multiplican los patrones simplificados por el volumen de entrada de cada aporte hídrico por acequia ($V_{i,j,k}$) calculados en el modelo del Balance Hídrico. De esta forma, se obtiene la carga de cada contaminante por aporte hídrico y acequia o barranco ($P_{i,j,k}$).

La suma de las cargas de los distintos aportes hídricos es la carga de ese contaminante para la acequia o barrancos considerados ($P_{i,k}$).

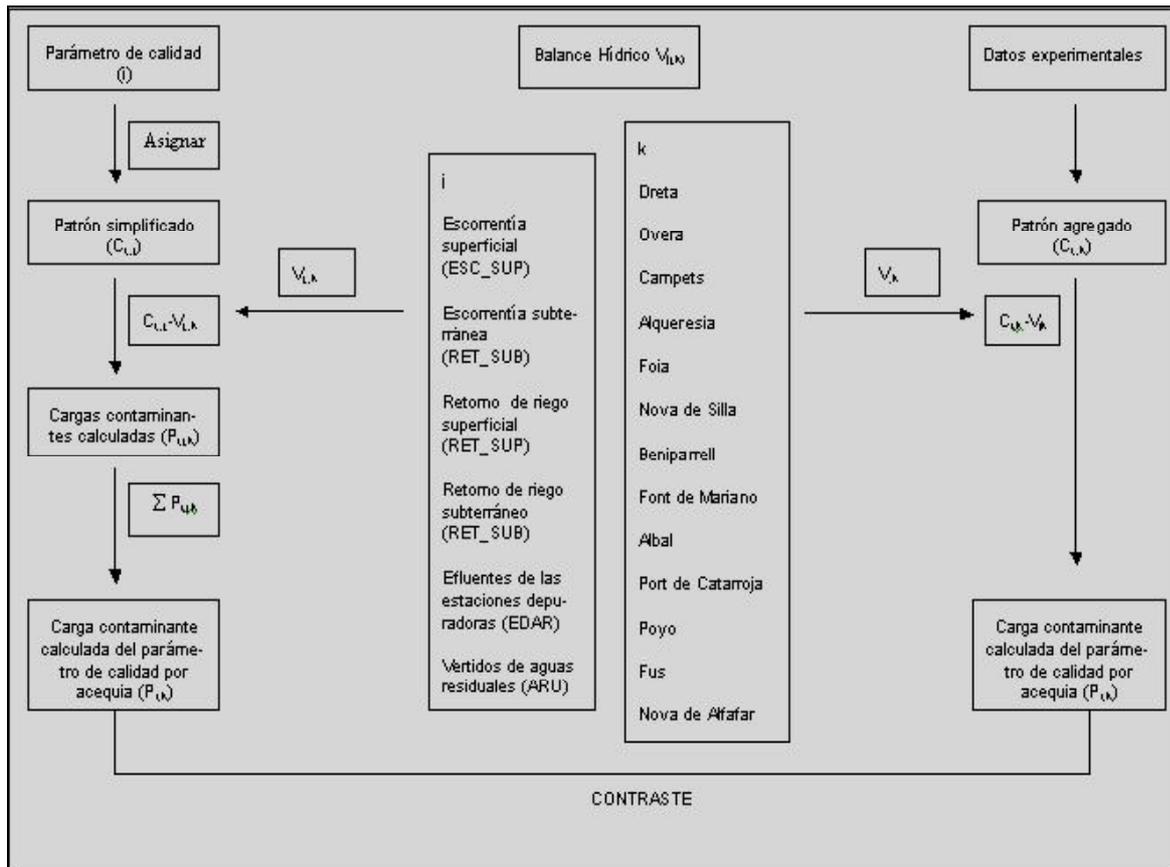


Ilustración 37. Metodología aplicada para el cálculo de cargas y concentraciones de los parámetros de calidad

En este trabajo se ha elaborado una estimación de la evolución temporal de las entradas de contaminantes al lago de L'Albufera. Ante la falta de información continua sobre los aportes de agua al lago y la escasa información de la calidad de las aguas de las acequias, se ha elaborado una metodología que aprovecha al máximo la información disponible pero que precisamente por la carestía de los datos de partida tan solo permite esbozar una aproximación a la realidad.

A pesar de esto, se ha conseguido ajustar razonablemente bien las cargas y concentraciones de algunos parámetros como la materia orgánica (DBO5 y DQO), el oxígeno disuelto, nutrientes (fósforo total y nitrógeno inorgánico), sólidos suspendidos y conductividad. Los resultados permiten observar la disminución de la entrada de contaminantes, incluso del 75%, consecuencia de la realización de numerosas infraestructuras destinadas al saneamiento del Parque Natural de L'Albufera.

La metodología desarrollada podría emplearse para extrapolar hacia el pasado, calculando la carga y concentración de contaminantes que entraban en el lago años anteriores a los setenta, lo que, junto con un modelo de la calidad de las aguas bien implementado, permitiría reproducir la evolución de la calidad de las aguas del lago en los últimos 50 años.

Tanto el estudio de la distribución espacio-temporal de aportes como el de la calidad de los aportes hídricos, son dos herramientas que además de proporcionar información acerca de los caudales y la contaminación que entra al lago, permiten encaminar las medidas necesarias para continuar en la línea de la regeneración ambiental del lago.

8.2. CONSTRUCCIÓN Y CALIBRACIÓN DEL MODELO DE CALIDAD DE AGUAS

El modelo Sobek WQ fue construido con el fin de simular los procesos de calidad de aguas que se producen en el lago del Parque Natural de L'Albufera de Valencia. En este modelo el lago se ha caracterizado mediante la generalización de un grid formado por celdas de 200x200 metros que representa la batimetría del lago.

Condiciones de contorno del modelo se pueden resumir de la siguiente forma

- ❑ Caudales de entrada al lago. La caracterización de los caudales de entrada se ha realizado mediante un modelo de distribución espacio-temporal de aportes que han sido caracterizadas físico-químicamente. Los aportes se han introducido en el modelo mediante la caracterización de los 13 puntos principales de entrada tal y como se comenta en apartados anteriores. Las series de entrada van desde 1970 hasta 2004 lo que permite simular la evolución de los procesos de calidad de aguas en los últimos 30 años.
- ❑ Caudales de salida por las golas. La salidas por las golas han sido caracterizadas como condición de contorno de forma que se garantice el patrón de almacenamiento del lago.
- ❑ Meteorología. La series temporales que definen las condiciones climáticas (radiación solar, temperatura, velocidad y dirección de viento) del modelo han sido caracterizadas mediante los datos recogidas por las estaciones agrometeorológicas que el IVIA tiene en los municipios de la periferia del Parque Natural.

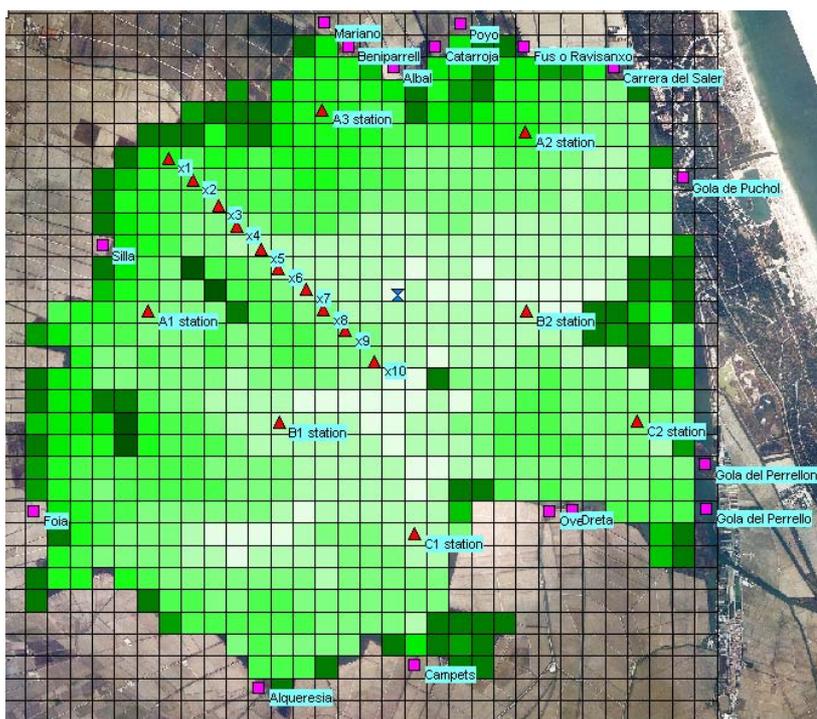


Ilustración 38. Esquematzación del lago de L'Albufera.

Puntos de medida en los modelos

En modelo produce como resultado los mapas de evolución temporal de cada una de las variables calculadas. Como elemento para facilitar la comparación y análisis de resultados se han incluido además los puntos singulares de medida que utiliza la Consellería de Territori y Habitatge para el seguimiento de la calidad de las aguas lo que permite la comparación instantánea de los valores medidos con los valores simulados.

Procesos incluidos en el modelo

Para la simulación los procesos de calidad de aguas se ha diferenciado dos componentes principales: columna de agua y sedimentos, estando este último dividido en otros dos capas o estratos: la capa superior de sedimento, que actúa como una superficie de intercambio de materia entre la columna de agua y el propio sedimento, y una capa inferior, que actúa como sumidero o fuente en función de la relación de la capa superior con la columna de agua.

El modelo incluye gran número de procesos y variables en la librería de procesos Delwaq, en los que intervienen gran cantidad de sustancias: nutrientes (fósforo, nitrógeno y silicio), en varias formas, tanto orgánicas de fácil descomposición (detritos) como inorgánicas (en sus formas adsorbida a los sólidos en suspensión y a los sedimentos, en el caso del fósforo, y disuelta en la columna de agua, para todos ellos). También materia inorgánica (arenas, limos y arcillas), y metales pesados, como el cadmio, cobre, mercurio y zinc.

Además de estas sustancias, las poblaciones fitoplanctónicas, tan representativas de los procesos de calidad que se producen en este sistema lacustre, se incorporan en el modelo en dos grandes grupos: algas verdes y diatomeas. El primer grupo representa las cianofíceas y las algas verdes.

Los procesos en los que intervienen las sustancias anteriores se pueden resumir en adsorción-desorción de los nutrientes y metales en los sólidos tanto suspendidos como sedimentados; sedimentación-resuspensión de la materia inorgánica, con y sin sustancias adsorbidas; la liberación desde la materia viva (fitoplancton) de nutrientes en forma de detritos y mineralización de los mismos en la columna de agua y el sedimento; muerte y sedimentación del fitoplancton.

Por otra parte hay una serie de procesos que simulan el comportamiento de los sedimentos, y que se resumen en los procesos de sedimentación sobre la capa superior de sedimentos, lo que fuerza un flujo hacia la capa inferior de sedimento. De la misma manera se producen flujos contrarios de resuspensión, lo que fuerza una incorporación de materia desde la capa profunda a la superficial y de la capa superficial hacia la columna de agua.

Además de todo esto se consideran las transformaciones que sufren los nutrientes en la columna de agua y en el sedimento. Así por ejemplo, con lo que respecta al ciclo del nitrógeno, se considera en el modelo la amonificación, nitrificación y desnitrificación, tanto en la columna de agua como en el sedimento.

Con lo que respecta a las comunidades fitoplanctónicas, la simulación de su dinámica incluye gran número de variables, como son los factores y funciones de limitación al crecimiento en función de la temperatura, la radiación, el fotoperiodo y las concentraciones de nutrientes disponibles. Todos estos factores determinan la producción primaria en el sistema, y ésta, determina en gran medida las concentraciones de oxígeno disuelto. Este elemento se modeliza a la vez a través de los procesos de reaeración superficial, demanda desde los sedimentos, y las distintas tasas de mineralización de primer y segundo orden.

Como factores externos determinantes de las dinámicas en el agua y en los sedimentos, se incorporan en el modelo los datos referentes a la meteorología: velocidad y dirección del viento, temperatura y radiación solar.

Todos estos procesos anteriormente comentados permitieron una caracterización suficientemente detallada para llevar a cabo el proceso de calibración de la dinámica del fitoplancton en el lago.

Calibración del modelo de calidad de aguas

Para la fase de calibración se prepararon una serie de simulaciones en las que, mediante la modificación de distintos parámetros de proceso, permitió analizar la sensibilidad del modelo y ajustar la di-

námica simulada con el programa a la obtenida a partir de la campaña de muestreos realizada en el lago de L'Albufera.

Los parámetros que fueron modificados pueden resumirse en cuatro grandes grupos: con lo que respecta al oxígeno disuelto, la constante de reaeración superficial; en cuanto a la producción primaria, la relación carbono-clorofila "a", los coeficientes de temperatura de limitación del crecimiento así como la radiación de saturación del mismo; con lo que respecta a los nutrientes, las tasas de mineralización de primer orden del carbono y del fósforo, las de desorción del fósforo; y respecto a la materia inorgánica, la velocidad de resuspensión.

Tras la fase de calibración, se puede concluir que los parámetros que mayor influencia presentaron en la fase de calibración fueron los relacionados con el ciclo del fósforo, fundamentalmente en lo relacionado con la adsorción-desorción en los sedimentos. A continuación se muestra la dinámica simulada de la clorofila a, obtenida al final del proceso de calibración, y la medida.

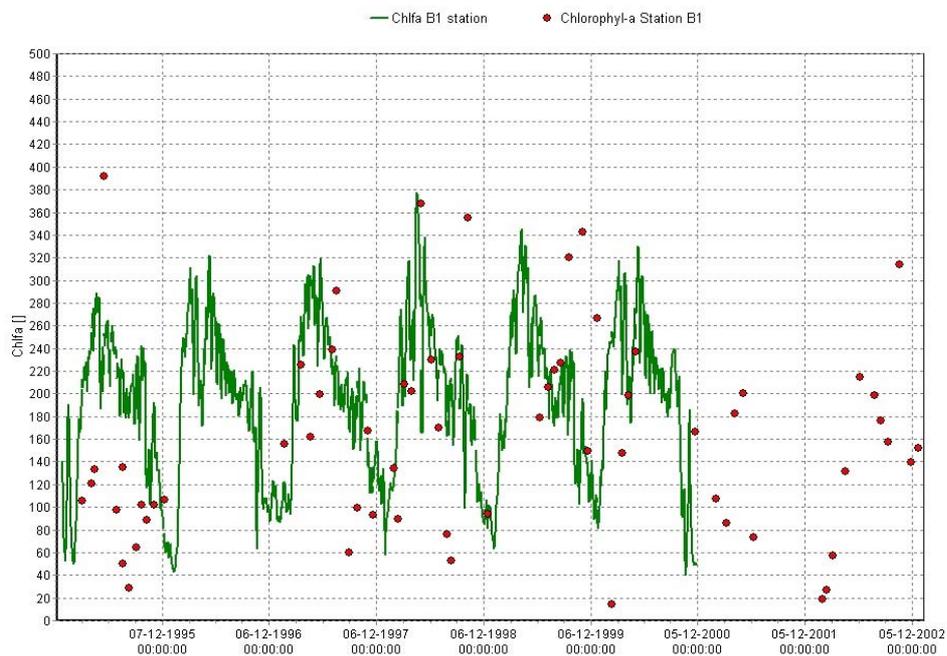


Ilustración 39. Valores de Chl a medidos (puntos) y simulados (líneas) en la estación B1.

9. DISEÑO DE UNA RED DE MONITORIZACIÓN Y CONTROL DE L'ALBUFERA

9.1. OBJETIVOS DE LA RED DE CONTROL

El objetivo del presente documento es definir las directrices que definan la “Implantación de una red de control biológico, físico-químico e hidrodinámico conforme a lo establecido en la Directiva Marco del Agua y que permita el control y seguimiento del Estado Ecológico del Parque Natural de L'Albufera de Valencia”.

De forma detallada, los objetivos a cumplir son los siguientes:

- Establecer las bases para la implantación de una red de Estaciones de Seguimiento Biológico (ESB), suficientemente representativa de L'Albufera, que incluya los diferentes tipos de ecosistemas acuáticos que pueden encontrarse.
- Establecer una red de control de calidad físico-química de las aguas de los ecosistemas acuáticos de L'Albufera lo suficientemente amplia y representativa.
- Establecer una red de control de parámetros hidromorfológicos que permita caracterizar de forma precisa los ecosistemas acuáticos de L'Albufera.

Esta red se ha diseñado con la finalidad de atender y facilitar la necesidad de control y monitorización que viene establecida por la consecución de varios de los objetivos impuestos por la Directiva Marco del Agua (DMA) y que son básicamente los siguientes:

- Establecer condiciones de referencia específicas para L'Albufera de acuerdo con los factores especificados en el punto 1.3 del Anexo II de la Directiva Marco. Al aplicar los procedimientos establecidos en este punto, y dado que L'Albufera es un humedal sometido a importantes perturbaciones humanas que hacen muy difícil o imposible el establecimiento de condiciones de referencia en sus ecosistemas acuáticos, podrán buscarse estas condiciones de referencia en otros sistemas o complejos húmedos.
- Realizar un primer diagnóstico del estado ecológico de los ecosistemas acuáticos de L'Albufera, basado en los indicadores de calidad ecológica contenidos en el Anexo V de la Directiva Marco.
- Diagnosticar el estado ecológico de los ecosistemas acuáticos de L'Albufera y sectorizarlo de acuerdo con los diferentes indicadores de calidad ecológica contenidos en el Anexo V de la Directiva Marco.
- Proponer los objetivos medioambientales y medidas de protección y mejora en el sistema lacustre con objeto de lograr el buen estado ecológico en L'Albufera, tal como dispone el Artículo 4 de la Directiva Marco.

9.2. SECTORIZACIÓN AMBIENTAL

Se ha llevado a cabo una sectorización de los diferentes ecosistemas acuáticos de L'Albufera, analizando diversas variables ambientales del área de estudio (biológicas, hidromorfológicas y físico-químicas). Esta labor tiene como resultado en el futuro la realización de un mapa donde aparecerán claramente delimitadas las diferentes zonas obtenidas. En base a esta sectorización se ha realizado una propuesta de puntos susceptibles de incorporarse a la red de estaciones de seguimiento biológico. Los sectores ambientales definidos para este trabajo han sido los siguientes:

- Lago
- Acequias
- Matas y orillas del Lago (extensiones de vegetación palustre)

- Marjal (arrozales)
- Ullals (surgencias de agua dulce)
- Malladas (depresiones interdunares)
- Estanys (lagunas de agua dulce de reducido tamaño en comparación con el Lago)

9.3. RED DE CONTROL BIOLÓGICO

La red de ESB se ha establecido de acuerdo con los siguientes criterios:

- En la red están representados de forma suficiente todos los ecosistemas y ambientes acuáticos característicos de L'Albufera. Dado que este humedal se encuentra altamente alterado por perturbaciones antrópicas, los sistemas de referencia que se establezcan para cada ecotipo podrán referirse a sistemas externos al complejo Albufera, si no se encuentran en el propio sistema las condiciones de referencia necesarias para establecer el Estado Ecológico, según marca la Directiva Marco en el punto 1.3 del Anexo V.
- Los puntos de muestreo se han establecido, por un lado, en lugares donde el nivel del flujo y/o volumen del agua es significativo a lo largo de todo el año (lago, acequias, ullals, estanys), y por otro lado, en lugares con un volumen o flujo de agua irregular y dependiente de los usos humanos (arrozal) o de las precipitaciones (malladas). No obstante, todos estos ecotipos son representativos del conjunto de ecosistemas acuáticos presentes en el ámbito de L'Albufera.
- Se ha tratado de distribuir las diversas estaciones de muestreo de modo que estuvieran lo más repartidas posibles por el área de estudio. En lo posible, se ha evitado ubicar dos puntos de muestreo muy próximos entre sí.
- En la ubicación de estaciones de muestreo se ha tenido en cuenta también la presencia de alteraciones de la calidad del agua o de los regímenes hidrológicos. En este sentido, se han establecido puntos de control en zonas afectadas por estas perturbaciones.

Como resultado de lo anteriormente expuesto, se propone la red de ESB que se muestra en la figura. Se han seleccionado un total de 18 puntos de muestreo, repartidos de la siguiente manera:

a) Acequias con elevados índices de contaminación por vertidos industriales y/o agrícolas:

1. Estación ESB-1: Acequia Ravisanxo
2. Estación ESB-2: Acequia Alqueressia

b) Acequias con bajos índices de contaminación por vertidos industriales y/o agrícolas:

3. Estación ESB-3: Acequia Dreta
4. Estación ESB-4: Acequia Planes-Obera
5. Estación ESB-5: Acequia de Albal

c) Estanys representativos:

6. Estación ESB-6: Estany de la Plana
7. Estación ESB-7: Bassa de Sant Llorenç

d) Ullals representativos:

8. Estación ESB-8: Ullal de Baldoví

9. Estación ESB-9: Ullal de Senillera

e) Malladas inundadas significativamente durante todo o gran parte del año:

10. Estación ESB-10: Mallada del Racó de L'Olla

11. Estación ESB-11: Mallada del Quarter

f) Matas y orillas de vegetación palustre:

12. Estación ESB-12: Punta de Llebeig

13. Estación ESB-13: Mata del Fang

14. Estación ESB-14: Tancat de Sacarés

15. Estación ESB-15: Mata de Sant Roc

g) Marjal (arrozales)

16. Estación ESB-16: Arrozal Norte

17. Estación ESB-17: Arrozal Oeste

18. Estación ESB-18: Arrozal Sur

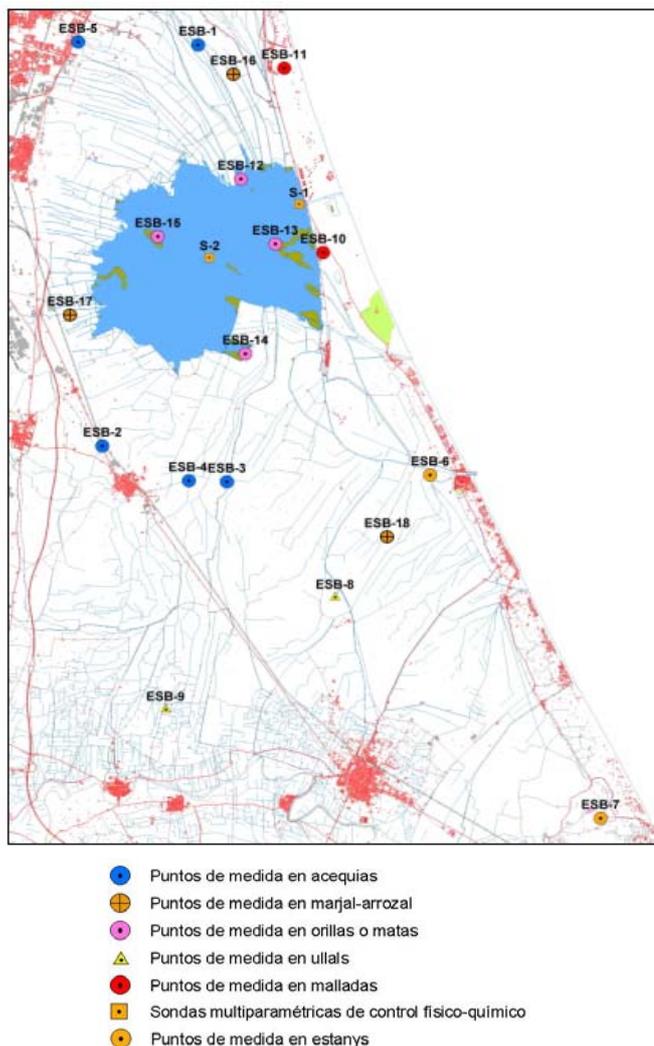


Ilustración 40. Red de Estaciones Biológicas de Seguimiento (ESB) propuesta para el muestreo de indicadores biológicos y físico-químicos en el Parque Natural de L'Albufera.

9.4. RED DE CONTROL FÍSICO-QUÍMICO

9.4.1. Puntos de Medición Automáticos

Con motivo de obtener información sobre la variación diaria de los parámetros físico-químicos del lago, se instalarán dos Puntos de Medición Automáticos para la medición de los siguientes parámetros:

- oxígeno disuelto
- pH
- temperatura
- turbidez
- conductividad

El objetivo de estos puntos es el de medir varios indicadores de la calidad del agua en dos puntos del lago, para lo que se emplearán sondas multiparamétricas. Los puntos de ubicación de ambas sondas se muestran en la figura 1:

- Estación S-1 (fija): Embarcadero de Pujol
- Estación S-2 (flotante): Centro Lago (entre La Manseguerota y la Mata de Sant Roc)

9.4.2. Red de estaciones Complementarias

Además, se tomarán muestras de parámetros físico-químicos en todos los puntos de la red de ESB. Las acequias y cauces muestreados por la Conselleria de Territori i Habitatge y no integrados en la red de muestreo de las ESB (Port de Catarroja, Port de Silla, Barranc de Beniparrell y Rambla del Poyo) serán también muestreados.

Como red de muestreo complementaria, se tendrán en cuenta los parámetros obtenidos en la red de control que gestiona la Conselleria de Territori i Habitatge tanto en las acequias como en el lago mediante la firma de un convenio de colaboración con este organismo.

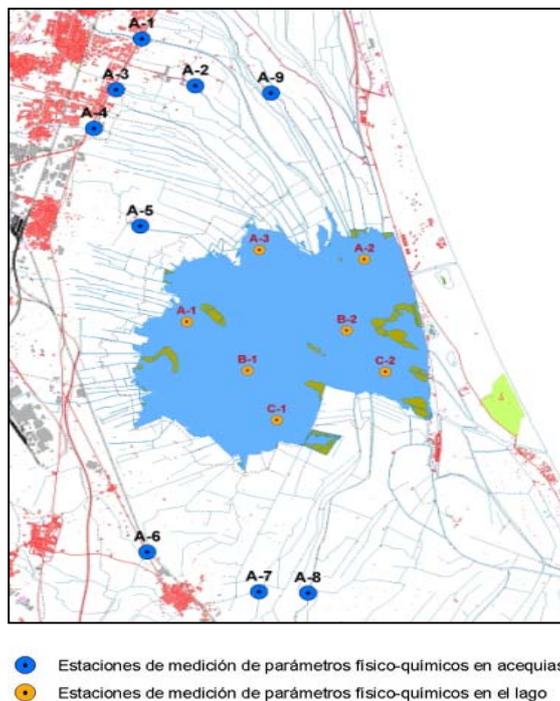


Ilustración 41. Red complementaria para el muestreo de los indicadores físico-químicos en el Parque Natural de L'Albufera.

9.5. RED DE CONTROL HIDROMORFOLÓGICO

La estima del caudal entrante al lago y saliente a través de las golas se obtendrá mediante la instalación de estaciones de aforo provistas de medidores del caudal. Para valorar los **aportes al lago**, las estaciones de aforo se ubicarán en 13 puntos:

- Estación AE-1: Acequia Campets
- Estación AE-2: Acequia de la Foia
- Estación AE-3: Acequia Nova de Silla
- Estación AE-4: Acequia Dreta
- Estación AE-5: Acequia Planes-Obera

- Estación AE-6: Acequia Alqueressia
- Estación AE-7: Acequia Font de Mariano
- Estación AE-8: Barranc de Beniparrell
- Estación AE-9: Barranco del Poyo
- Estación AE-10: Acequia del Port de Catarroja
- Estación AE-11: Acequia de Albal
- Estación AE-12: Acequia del Fus
- Estación AE-13: Acequia Carrera del Saler

Para valorar las **salidas del lago**, se ubicarán un total de 3 estaciones de aforo en las proximidades de la desembocadura de cada una de las golas, para la doble lectura de niveles en las compuertas.

Las estaciones propuestas son :

- Estación AS1: Gola de Pujol
- Estación AS2: Gola del Perellonet
- Estación AS3: Gola del Perelló

La red diseñada contará con perfiladores doppler de velocidad para la monitorización de acequias y canales y con sensores tipo radar para la monitorización de los barrancos vertientes.

Para las golas se preve la instalació de dos sensores de nivel, uno aguas arriba de las compuertas y otro aguas abajo, que junto con la información que aporte la comunidad de regantes sobre las aperturas de compuertas y el funcionamiento de los bombeos, se obtendrá el caudal circulante a partir del modelo teórico anteriormente mencionado. Además se instalará un perfilador doppler en cada una de las golas.

Para la medición de niveles hidrológicos en el lago, se ubicarán 2 estaciones de aforo con medidores de nivel en dos zonas del lago, una al Oeste y otra al Sur.

Los puntos de control serán los siguientes:

- Estación AN-1: Mata de La Colomera
- Estación AN-2: Flotons del Portet

Los sensores a emplear serían los descritos para la medición del nivel en las Golos.

Para la medición de velocidades de flujo, se instalará una estación de aforo con un medidor de velocidades en un punto de la zona central del lago. Se ha seleccionado el siguiente punto:

- Estación AV-1: Centro Lago

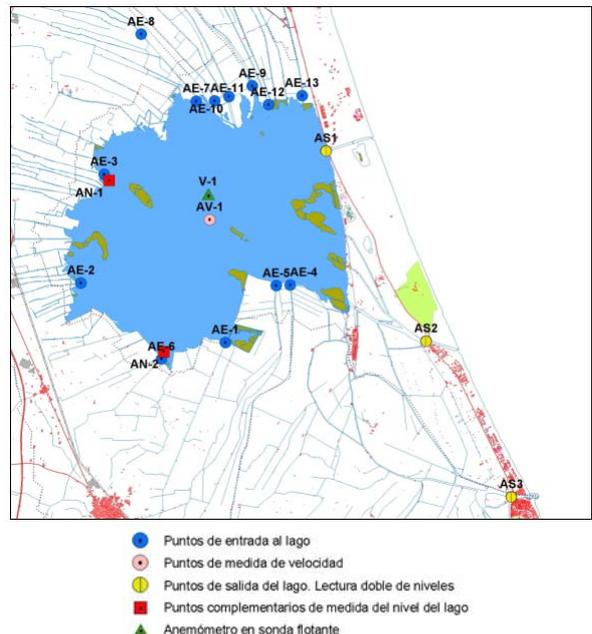


Ilustración 42. Red de estaciones propuesta para el muestreo de los indicadores hidromorfológicos en el Parque Natural de L'Albufera.

Estas mediciones se han incluido en los puntos de medición automática de los parámetros físico-químicos del agua, y se obtendrán conjuntamente de las sondas multiparamétricas, en concreto del sensor de velocidad basado en tecnología doppler, integrado en dichas sondas.

Para la medición del viento, se prevee firmar un convenio con el Instituto Valenciano de Investigación Agraria (IVIA) para la cesión de información de las estaciones más cercanas al área de estudio (Benifaió, Picassent y Algemesí).

Además, como complemento a la información que pueda obtenerse de esta fuente, la sonda multiparamétrica ubicada en el centro del lago irá provista de un anemómetro para la medición del viento:

- Estación V-1: Centro Lago

10. ESTABLECIMIENTO DE UNA ZONA PILOTO DE INVESTIGACIÓN

10.1. OBJETIVOS DE LA ZONA PILOTO

El objetivo principal del trabajo es el de estudiar las interacciones entre la columna de agua y los sedimentos. Para ello se plantean varias líneas de trabajo que se traducirán, cuando se describa la metodología a emplear, en ensayos experimentales realizados *in situ*. Estas líneas de trabajo son:

- Evaluación de la capacidad de aporte de nutrientes y su aprovechamiento por el fitoplancton desde el sedimento hacia la columna de agua y calibración de los modelos matemáticos construidos durante el estudio
- Evaluación del efecto a corto (concentraciones de oxígeno disuelto, sólidos suspendidos, metales) y a medio plazo (nutrientes, fitoplancton, zooplancton) de la extracción mecánica de parte del sedimento como forma de eliminar una posible fuente de nutrientes.
- Evaluación del efecto a corto y a medio plazo de cambios en volumen y calidad en los aportes hídricos al lago.
- Evaluación de la viabilidad de determinadas alternativas de actuación: empleo de mecanismos de biomanipulación para la reducción del aporte de nutrientes y separación por métodos físicos de los metales acumulados en los sedimentos del fondo del lago.

Con el fin de llevar a cabo las distintas acciones propuestas, se propone realizar el estudio de los cambios en las características físico-químicas y biológicas que se pueden producir en las zonas sometidas a dragado o a biomanipulación. Concretamente se estudiará:

- La variación puntual de oxígeno disuelto, pH y turbidez durante el proceso de dragado mecánico.
- La posible resolubilización de metales desde el sedimento.
- La variación de parámetros físico-químicos y biológicos: pH, P, N, DQO, fitoplancton, y zooplancton a corto y medio plazo.
- La composición del sedimento original y sus cambios en cada experimento.

10.2. DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN

El ensayo se realizará en el propio lago y constará de una serie de columnas fabricadas en chapa de acero de unos tres metros de longitud que pueden variar entre 1 y 1.5 metros de diámetro interno hincadas profundamente, de manera que aislen perfectamente del resto del lago los sedimentos y el agua contenidos en ellas. El número total de columnas será de unas 6, de las cuales 5 serán utilizadas en primer lugar para el estudio de la interacción de los nutrientes y los metales pesados entre el agua y el sedimento. A continuación se describe la finalidad de cada uno de ellas:

- Primera columna: es la columna de control. Sobre ella no se realizará ninguna actuación. Se empleará para comparar los resultados de las otras columnas. Además se analizará con la misma periodicidad el agua del lago con el fin de comparar los resultados obtenidos.
- Segunda columna: se realizará el ensayo denominado “enriquecimiento desde el sedimento”. Para ello se extraerá con una pequeña bomba el máximo volumen de agua posible y se susti-

tuirá por agua denominada limpia y como podría ser la del Júcar (transportada desde el azud de Antella, por ejemplo).

- Tercera columna: idéntica a la anterior pero sustituyendo el agua del interior del recinto por agua depurada procedente de la Estación Depuradora de Pinedo.
- Cuarta columna: se realizará el ensayo denominado “extracción del sedimento”. En ella se extraerán por medios mecánicos todo el sedimento posible.

10.3. PARÁMETROS A ESTUDIAR

Hay que estudiar los siguientes parámetros:

- Características físico-químicas del agua: pH, turbidez, conductividad, sólidos suspendidos, fracción volátil de los mismos, DQO total, DQO soluble, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal, nitratos, fósforo total, fósforo inorgánico, sílice inorgánica y oxígeno disuelto.
- Características biológicas del agua: clorofila a, recuento de grupos fitoplanctónicos más representativos, recuentos de zooplancton.
- Contenido en metales pesados: Cobre, Cadmio, Zinc, y Plomo.
- Análisis de la composición de los sedimentos: Cu, Cd, Zn, Pb, densidad, porosidad, materia orgánica, fósforo y nitrógeno.

10.4. METODOLOGÍA DE LOS ENSAYOS

El estudio del ciclo de nutrientes se prevé que tenga una duración de 3 meses. En él se aislarán los recintos y se observará la evolución de las características del agua con la frecuencia de muestreo que se describe más adelante y la repuesta del sedimento ante el aporte de diferentes fuentes de agua (Pinedo, Júcar y Turia). Se procederá al dragado de los sedimentos al inicio del experimento y a los quince días en el tubo 3. El primer día se intentará retirar la mitad (aprox. 0.3 m³) y a los quince días el resto.

La frecuencia con que se realizará la toma de muestras será la misma para todos las columnas: una muestra cada 7 días. Ello supone 8 muestras por columna durante los dos meses del ensayo. En total 32 muestras de las columnas. A ellas hay que añadir la muestra que simultáneamente se toma en el propio lago.

El muestreo se ampliará en la columna 3 tomándose una muestra al finalizar el dragado y otra al día siguiente. Dado que el dragado se realizará en dos fases, ello supone 4 muestreos más. En resumen: el número de muestras total es de 44.

Adicionalmente se instalarán, tal y como se ha mencionado, sondas de calidad que recogerán en continuo la variación diaria del pH, oxígeno disuelto, temperatura, etc. tanto en los tubos donde se realizan los ensayos como en el blanco y en el agua del lago.

El fango se extraerá con una pequeña draga manual (o algún sistema similar que garantice su extracción) y será depositado nuevamente en el lago. La duración de la extracción de fangos dependerá de la composición (agua/sólidos) real de los fangos extraídos, por lo que puede variar ligeramente la duración de este ensayo.

11. CONCLUSIÓN

Las actividades que aquí se han descrito constituyen el núcleo central del “Estudio para el Desarrollo Sostenible de L'Albufera de Valencia” y han permitido construir una herramienta de predicción basada en el uso acoplado de modelos matemáticos que podrán ser utilizados para la definición de un programa de actuaciones con el objetivo de contribuir al desarrollo sostenible del humedal.

Los resultados preliminares sugieren diversas líneas de trabajo para definir alternativas de actuación destinadas, entre otros aspectos, a aumentar el volumen y mejorar la calidad de los aportes hídricos, a limitar los vertidos contaminantes al lago, a reducir el flujo de nutrientes desde el sedimento y a corregir los procesos de aterramiento mediante la reducción de la producción de aportes sólidos, el incremento de la capacidad de retención en la cuenca vertiente y en el marjal perimetral o la mejorar en los sistemas de evacuación a través de los canales de salida al mar.