



Título del Trabajo Fin de Máster:

***DETERMINACIÓN DE LOS
REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN
ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE
IMÁGENES LANDSAT.
APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN
HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.***

Intensificación:

ORDENACIÓN, RESTAURACIÓN Y GESTIÓN DE CUENCAS

Autor:

CEBRIÁ ROMERO, SARA

Director/es:

DR. ESTRELA MONREAL, TEODORO

DR. PÉREZ MARTÍN, MIGUEL ÁNGEL

Fecha: **SEPTIEMBRE, 2014**



Título del Trabajo Fin de Máster:

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Autor: **CEBRIÁ ROMERO, SARA**

Tipo	A <input type="checkbox"/> B <input checked="" type="checkbox"/>	Lugar de Realización	VALENCIA
Director	TEODORO ESTRELA MONREAL	Fecha de Lectura	SEPTIEMBRE,
Codirector1	MIGUEL ÁNGEL PÉREZ MARTÍN		
Codirector2	<NOMBRE Y APELLIDOS>		
Tutor	<NOMBRE Y APELLIDOS>		

Resumen:

Resumen:

La Directiva Marco del Agua establece que la determinación de los requerimientos hídricos ambientales de las masas de agua clasificadas en la categoría de lagos tiene como objetivo fundamental alcanzar su buen estado o potencial ecológico, lo que se conseguirá a través del mantenimiento a largo plazo de su funcionalidad y estructura. Para ello es necesario establecer y asegurar unos volúmenes mínimos de entrada de agua al humedal o caudales ecológicos.

Acerca del sistema de lagos existe un gran desconocimiento, se han estudiado los ámbitos biológicos y ecológicos pero no se ha llegado a profundizar acerca de su funcionamiento hidrológico. Las referencias a metodologías propuestas para la determinación de requerimientos hídricos son escasas. Incluso cabe mencionar que en la DMA no existe una definición de «caudal ecológico» ni un consenso sobre la forma en que debe calcularse.

El objetivo del presente trabajo es establecer una metodología homogénea que permita determinar los requerimientos hídricos de zonas húmedas. Para ello es fundamental conocer su funcionamiento hidrológico y régimen de inundación. Con este fin se plantea un modelo matemático de balance hídrico del humedal que sea capaz de reproducir su funcionamiento. Y finalmente se realiza una propuesta de necesidades hídricas basada en un análisis de las aportaciones subterráneas.

La calibración del modelo planteado se complica debido a la inexistencia de datos observados o la falta de una serie lo suficientemente larga para que sea representativa. Por este motivo se analiza una metodología complementaria basada en la aplicación de técnicas de teledetección, que permiten generar series temporales de evolución de superficie inundada en humedales mediante el uso de imágenes de satélite y el cálculo de índices de agua.

El presente trabajo se aplica a cuatro zonas húmedas de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, la Laguna de Talayuelas, la Laguna de Marquesado, la Marjal d'Almenara y la Marjal de Pego-Oliva.

Resum:

La Directiva Marc de l'Aigua estableix que la determinació dels requeriments hídrics ambientals de les masses d'aigua classificades en la categoria de llacs té com a objectiu fonamental aconseguir el seu bon estat o potencial ecològic, la qual cosa s'aconseguirà a través del manteniment a llarg termini de la seua funcionalitat i estructura. Per a això és necessari establir i assegurar uns volums mínims d'entrada d'aigua a la zona humida o cabals ecològics.

Sobre el sistema de llacs hi ha un gran desconeixement, s'han estudiat els àmbits biològics i ecològics però no s'ha arribat a aprofundir sobre el seu funcionament hidrològic. Les referències a metodologies proposades per a la determinació de requeriments hídrics són escasses. Inclús cal mencionar que en la DMA no hi ha una definició de «cabal ecològic» ni un consens sobre la forma en què ha de calcular-se.

L'objectiu del present treball és establir una metodologia homogènia que permeta determinar els requeriments hídrics de zones humides. Per a això és fonamental conèixer el seu funcionament hidrològic i règim d'inundació. Amb aquest fi es planteja un model matemàtic de balanç hídric de l'ecosistema que siga capaç de reproduir el seu funcionament. I finalment es realitza una proposta de necessitats hídriques basada en una anàlisi de les aportacions subterrànies.

El calibratge del model plantejat es complica a causa de la inexistència de dades observades o la falta d'una sèrie prou llarga perquè siga representativa. Per aquest motiu s'analitza una metodologia complementària basada en l'aplicació de tècniques de teledetecció, que permeten generar sèries temporals d'evolució de superfície inundada en zones humides per mitjà de l'ús d'imatges de satèl·lit i el càlcul d'índexs d'aigua.

El present treball s'aplica a quatre zones humides de la Demarcació Hidrogràfica del Xúquer, la Laguna de Talayuelas, la Laguna de Marquesado, la Marjal d'Almenara i la Marjal de Pego-Oliva.

Abstract:

The Water Framework Directive establishes that the environmental water requirements for the water bodies, which are classified as lakes, has as its fundamental objective achieving good condition or ecological potential, what will be achieved through the long-term maintenance of their functionality and structure. A minimum volume of water to the wetland or ecological flows will be defined to achieve that goal.

There is a gap of knowledge about the lake systems. The biological and ecological areas have been studied, but it is necessary to develop new researchers about the hydrological functioning. There are few references about methodologies for assessment of water requirements. Furthermore, there isn't a definition of "ecological flow" in the WFD or a consensus about how to calculate it.

The objective of the present research is to establish an uniform methodology that allows to calculate the water requirements for wetlands. For this reason, it is essential to know the hydrological functioning and hydrological regime of flood. With this purpose, a mathematical model of water balance in the wetland has been developed in this research, that is able to simulate the hydrological functioning. And finally a proposal for water requirements will be made based on an analysis of the groundwater inputs.

The process of calibration model is complicated due to the absence of observed data or the lack of a time series which be representative. For this reason, a complementary methodology based on the application of remote sensing techniques has been analyzed, these techniques allow to generate time series of evolution flooded surface in wetlands through the use of satellite images and the calculation of water indices.

This research has been applied to four wetlands in the Júcar River Basin, the Laguna de Talayuelas, the Laguna de Marquesado, the Marjal d'Almenara and the Marjal de Pego-Oliva.

Palabras clave:

HUMEDAL, DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR, REQUERIMIENTOS HÍDRICOS, BALANCE HÍDRICO, TÉCNICAS DE TELEDTECCIÓN.

Índice

1.	Introducción	1
1.1.	Objetivos	2
1.2.	Estructura del trabajo	3
2.	Contexto histórico y legal.....	4
2.2.1.	Legislación internacional.....	5
2.2.2.	Legislación europea.....	6
2.2.3.	Legislación española.....	7
3.	Estado del arte	11
3.1.	Determinación de requerimientos hídricos en humedales.....	11
3.2.	Aplicación de técnicas de teledetección para la obtención de la evolución temporal de superficie inundada en humedales	15
3.2.1.	Teledetección	15
3.2.2.	Uso de imágenes landsat para la obtención de la superficie inundada en humedales.	20
4.	Ámbito de aplicación.....	29
4.1.	La Demarcación Hidrográfica del Júcar.....	29
4.1.1.	Ámbito territorial	29
4.1.2.	Marco físico	30
4.1.3.	Hidrología	36
▪	Masas de agua superficiales.....	36
▪	Masas de agua subterráneas.....	39
4.1.4.	Inventario de recursos hídricos.....	40
▪	Mapas de variables hidrológicas	41
4.1.5.	Caudales ecológicos	48

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

▪	Determinación de caudales mínimos en ríos	48
▪	Determinación de requerimientos ambientales en zonas húmedas	51
4.2.	Descripción de los humedales objeto de estudio.....	54
4.2.1.	Laguna de Talayuelas	54
▪	Figuras de protección:	57
▪	Descripción del sistema hídrico:.....	57
▪	Balance hídrico histórico:	57
▪	Referencias a requerimientos hídricos:.....	57
4.2.2.	Laguna de Marquesado.....	59
▪	Figuras de protección:	60
▪	Descripción del Sistema hídrico:	61
▪	Balance hídrico:	61
▪	Referencias a requerimientos hídricos:.....	61
4.2.3.	Marjal i Estany d'Almenara	63
▪	Figuras de protección:	64
▪	Descripción del Sistema hídrico:	65
▪	Balance hídrico histórico:	66
▪	Referencias a requerimientos hídricos:.....	67
4.2.4.	Marjal de Pegó-Oliva	69
▪	Figuras de protección:	71
▪	Descripción del Sistema hídrico:	71
▪	Balance hídrico histórico:	72
▪	Referencias a requerimientos hídricos:.....	73
5.	Metodología	75
5.1.	Metodología general.....	75

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

5.2.	Balance hídrico.....	77
5.3.	Calibración	83
5.4.	Propuesta de requerimientos hídricos	84
6.	Aplicación. Análisis de técnicas de teledetección.....	86
6.1.	Información disponible	86
6.2.	Técnicas de teledetección. Aplicación en la identificación de masas de agua.	88
6.3.	Índices de agua	98
6.4.	Metodología propuesta para la obtención de la evolución de la superficie inundada en humedales	106
6.5.	Resultados obtenidos de la aplicación.....	110
6.5.1.	Laguna de TALAYUELAS.....	110
6.5.2.	Laguna de MARQUESADO	114
6.5.3.	MARJAL d'ALMENARA.....	118
6.5.4.	MARJAL de PEGO-OLIVA	121
6.6.	Conclusiones	130
7.	Aplicación. Modelación de humedales.	132
7.1.	Laguna de Talayuelas	133
7.1.1.	Análisis de la información disponible.....	133
▪	Datos observados	133
▪	Datos obtenidos mediante técnicas de teledetección.....	135
7.1.2.	Caracterización del régimen de aportaciones	136
7.1.3.	Caracterización física del humedal.....	139
7.1.4.	Parámetros del modelo.....	141
7.1.5.	Resultados del modelo.....	142

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

7.1.6.	Propuesta de requerimientos hídricos.....	146
7.2.	Laguna de Marquesado	148
7.2.1.	Análisis de la información disponible.....	148
▪	Datos observados	148
▪	Datos obtenidos mediante técnicas de teledetección	150
7.2.2.	Caracterización del régimen de aportaciones	150
7.2.3.	Caracterización física del humedal.....	153
7.2.4.	Parámetros del modelo.....	155
7.2.5.	Resultados del modelo.....	156
7.2.6.	Propuesta de requerimientos hídricos.....	161
7.3.	Marjal d'Almenara	164
7.3.1.	Análisis de la información disponible.....	164
▪	Datos observados	164
▪	Datos obtenidos mediante técnicas de teledetección	164
7.3.2.	Caracterización del régimen de aportaciones	166
7.3.3.	Caracterización física del humedal.....	169
7.3.4.	Parámetros del modelo.....	172
7.3.5.	Resultados del modelo.....	173
7.3.6.	Propuesta de requerimientos hídricos.....	178
7.4.	Marjal de Pego-Oliva.....	181
7.4.1.	Análisis de la información disponible.....	181
▪	Datos reales u observados.....	181
▪	Datos obtenidos mediante técnicas de teledetección	185
7.4.2.	Caracterización del régimen de aportaciones	187
7.4.3.	Caracterización física del humedal.....	190

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

7.4.4.	Parámetros del modelo.....	194
7.4.5.	Resultados del modelo.....	195
7.4.6.	Propuesta de requerimientos hídricos.....	199
8.	Conclusiones.....	203
9.	Futuras líneas de investigación	207
	Referencias	209
	Webs de interés.....	212
	Listado de abreviaturas	213

Índice de tablas

Tabla 1: Porcentaje de reducción máximo admisible de la altura del agua respecto de la altura en régimen natural (SNIFFER WFD 48, 2006).....	14
Tabla 2: Caracterización de la resolución de los principales sistemas de teledetección espacial (Sánchez Rodríguez, E., consultada en 2014).....	20
Tabla 3: Rango espectral de las bandas del satélite Landsat 5TM	21
Tabla 4: Masas de agua de la categoría lago natural en la DHJ. (PHJ, julio 2014)	38
Tabla 5: Masas de agua de la categoría lago muy modificado en la DHJ. (PHJ, julio 2014).....	38
Tabla 6: Requerimientos hídricos de origen subterráneo en las zonas húmedas de la DHJ. (PHJ, julio 2014)	52
Tabla 7: Datos de superficie inundada en la Laguna de Talayuelas obtenidos mediante técnicas de teledetección	111
Tabla 8 : Datos de superficie inundada en la Laguna de Talayuelas obtenidos mediante técnicas de teledetección	115
Tabla 9 : Datos de superficie inundada en la Marjal d'Almenara obtenidos mediante técnicas de teledetección	119
Tabla 10: Datos de superficie inundada en la Marjal de Pego-Oliva obtenidos mediante técnicas de teledetección	121
Tabla 11: Datos disponibles de altura de lámina de agua en la Laguna de Talayuelas	135
Tabla 12: Datos de superficie inundada en la Laguna de Talayuelas obtenidos mediante técnicas de teledetección	136
Tabla 13: Parámetros del modelo de la Laguna de Talayuelas	141
Tabla 14: Caracterización del régimen hídrico de la Laguna de Talayuelas para los periodos 1940-2011 y 1980-2011	142
Tabla 15: Datos disponibles de altura de lámina de agua en la Laguna de Talayuelas	150
Tabla 16: Parámetros del modelo de la Laguna de Marquesado	155
Tabla 17: Caracterización del régimen hídrico de la Laguna de Marquesado para los periodos 1940-2011 y 1980-2011	156
Tabla 18: Alturas de agua (m) características de la Laguna de Marquesado en función de las aportaciones subterráneas recibidas.....	161
Tabla 19: Renovaciones anuales de la Laguna de Marquesado en función de las aportaciones subterráneas recibidas.....	163
Tabla 20: Datos disponibles de altura de lámina de agua en la Marjal d'Almenara	164
Tabla 21 : Datos de superficie inundada en la Marjal d'Almenara obtenidos mediante técnicas de teledetección	165
Tabla 22: Parámetros del modelo de la Marjal d'Almenara.....	172

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Tabla 23: Caracterización del régimen hídrico de la Marjal d'Almenara para los periodos 1940-2011 y 1980-2011	173
Tabla 24: Alturas de agua (m) características de la Marjal d'Almenara en función de las aportaciones subterráneas recibidas.....	178
Tabla 25: Renovaciones anuales de la Marjal d'Almenara en función de las aportaciones subterráneas recibidas	180
Tabla 26: Datos disponibles de altura de lámina de agua en la Marjal de Pego-Oliva.....	185
Tabla 27: Datos de superficie inundada en la Marjal de Pego-Oliva obtenidos mediante técnicas de teledetección	186
Tabla 28: Parámetros del modelo de la Marjal de Pego-Oliva	194
Tabla 29: Caracterización del régimen hídrico de la Marjal de Pego-Oliva para los periodos 1940-2011 y 1980-2011	195
Tabla 30: Alturas de agua (m) características de la Marjal de Pego-Oliva en función de las aportaciones subterráneas recibidas.....	200
Tabla 31: Renovaciones anuales de la Marjal Pego-Oliva en función de las aportaciones subterráneas recibidas	202

Índice de figuras

Figura 1: Espectro electromagnético (SRGIS, consultada en 2014).....	17
Figura 2: Distintos rangos de resolución espacial en sensores (Chuvienco, 2002).....	19
Figura 3: Distintos rangos de resolución espacial en sensores (Chuvienco, 2002).....	20
Figura 4: Visualización de las bandas de una imagen del satélite Landsat 5 TM	22
Figura 5: Signatura espectral de suelo, agua y vegetación (Lei, J. et al., 2009).....	23
Figura 6: Visualización e una imagen del satélite Landsat 5 TM mediante diferentes combinaciones de bandas (SRGIS, consultada en 2014).	24
Figura 7: Diferentes propuestas de cálculo del índice NDWI aplicadas a dos imágenes de satélite Landsat 5 TM (Xu, H., 2006).	26
Figura 8: Ejemplos de diferentes combinaciones de suelo, agua y vegetación en un pixel	27
Figura 9: Diagrama ternario para diferentes combinaciones de agua, suelo y vegetación.....	27
Figura 10: Demarcaciones Hidrográficas de España (iagua, 2007).....	30
Figura 11: Red hidrográfica y modelo digital del terreno de la DHJ (PHJ, julio 2014)	31
Figura 12: Mapa litológico de la DHJ (PHJ, julio 2014)	33
Figura 13: Humedales RAMSAR (PHJ, julio 2014).....	35
Figura 14: Albufera de Valencia (www.CHJ.es)	35
Figura 15: Masas de agua categoría río (Fuente: GeshidroLAN 2014)	37
Figura 16: Masas de agua categoría lago (PHJ, julio 2014).....	39
Figura 17: Delimitación de las masas de agua subterránea (PHJ, julio 2014)	40
Figura 18: Distribución espacial de la precipitación total anual (mm/año) en la DHJ para las series 1940/41– 2008/08 y 1980/81–2008/09. (PHJ, julio 2014)	42
Figura 19: Distribución espacial de la temperatura media anual (°C) en la DHJ (períodos 1940/41- 2008/09 y 1980/81-2008/09). (PHJ, julio 2014).....	43
Figura 20: Distribución espacial de la evapotranspiración potencial total anual (mm/año) en la DHJ	44
Figura 21: Distribución espacial de la evapotranspiración real total anual (mm/año). (Períodos 1940/41-2008/09 y 1980/81-2008/09). (PHJ, julio 2014)	45
Figura 22: Distribución espacial de la infiltración/recarga total anual (mm/año) de la DHJ para el periodo completo 1940/41–2008/09 y para la serie reciente 1980/81–2008/09. (PHJ, julio 2014)	46
Figura 23: Distribución espacial de la escorrentía total anual (mm/año) en la DHJ (períodos 1940/41– 2008/09 y 1980/81-2008/09). (PHJ, julio 2014).....	47
Figura 24: Acumulación a la red fluvial principal en la DHJ para el periodo completo 1940/41–2008/09 y para la serie reciente 1980/81–2008/09. (PHJ, julio 2014)	47
Figura 25: Esquema de las metodologías empleadas para la determinación del régimen de caudales mínimos. (PHJ, julio 2014)	49

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Figura 26: Esquema de la metodología empleada para la determinación de las curvas de hábitat. (PHJ, julio 2014)	50
Figura 27: Plano de localización de la Laguna de Talayuelas (MAGRAMA, 2010)	55
Figura 28: Ortofoto de la Laguna de Talayuelas (Ministerio de Fomento, PNOA)	56
Figura 29: Imagen de la Laguna de Talayuelas	58
Figura 30: Plano de localización de la Laguna de Marquesado (MAGRAMA, 2010)	59
Figura 31: Ortofoto de la Laguna de Marquesado (PNOA, Ministerio de Fomento)	60
Figura 32: Imagen de la Laguna de Marquesado.....	62
Figura 33: Plano de localización de la Marjal d´Almenara (MAGRAMA, 2010)	63
Figura 34: Ortofoto de la Marjal d´Almenara (PNOA, Ministerio de Fomento)	64
Figura 35: Balance hídrico histórico de la Marjal d´Almenara (MAGRAMA, 2010)	66
Figura 36: Esquema de funcionamiento hidráulico de la Marjal d´Almenara (MAGRAMA, 2010)	67
Figura 37: Imagen de La Marjal d´Almenara (Google Earth)	68
Figura 38: Plano de localización de la Marjal de Pego-Oliva (MAGRAMA, 2010).....	69
Figura 39: Ortofoto de la Marjal de Pego-Oliva (PNOA, Ministerio de Fomento)	70
Figura 40: Balance hídrico histórico de la Marjal de Pego-Oliva (IGME, 2007)	72
Figura 41: Esquema de funcionamiento hidráulico de la Marjal de Pego-Oliva (IGME, 2007).....	73
Figura 42: Imagen de la Marjal de Pego-Oliva (Google Earth).....	74
Figura 43: Imagen de la Marjal de Pego-Oliva (Google Earth)	74
Figura 44: Esquema de la metodología propuesta	76
Figura 45: Caracterización física de los humedales de interior.	81
Figura 46: Caracterización física de los humedales costeros.	82
Figura 47: Imagen de la DHJ con identificación de los contornos de la imágenes Landsat disponibles	87
Figura 48: Ortofoto de la Marjal d´Almenara tomada en agosto de 2008 con delimitación del humedal (PNOA, Ministerio de Fomento)	89
Figura 49: Ortofoto de la Marjal d´Almenara tomada en agosto de 2000 con delimitación del humedal (PNOA, Ministerio de Fomento)	90
Figura 50: Ortofoto del embalse de Alarcón tomada en julio de 2009 con delimitación de su contorno (PNOA, Ministerio de Fomento)	91
Figura 51: Reflectancia del agua, el suelo y la vegetación en las diferentes bandas del satélite (Lei Ji et al., 2009)	92
Figura 52: Visualización de las diferentes bandas del satélite de una imagen Landsat de la Marjal d´Almenara tomada en agosto del 2008	93
Figura 53: Visualización de las diferentes bandas del satélite de una imagen Landsat de la Marjal d´Almenara tomada en agosto del 2000	94

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Figura 54: Visualización de las diferentes bandas del satélite de una imagen Landsat de la Marjal de Alarcón tomada en julio del 2009	95
Figura 55: Visualización de diferentes combinaciones de color de una imagen Landsat de la Marjal d'Almenara tomada en agosto del 2008	96
Figura 56: Visualización de diferentes combinaciones de color de una imagen Landsat de la Marjal d'Almenara tomada en agosto del 2000	96
Figura 57: Visualización de diferentes combinaciones de color de una imagen Landsat del embalse de Alarcón tomada en julio del 2009	97
Figura 58: Cálculo de diferentes índices de agua a partir de una imagen Landsat de la Marjal d'Almenara tomada en agosto del 2008	99
Figura 59: Cálculo de diferentes índices de agua a partir de una imagen Landsat de la Marjal d'Almenara tomada en agosto del 2000	99
Figura 60: Cálculo de diferentes índices de agua a partir de una imagen Landsat del embalse de Alarcón tomada en julio del 2009.....	100
Figura 61: Índice NDVI obtenido de una imagen Landsat y ortofoto de La Marjal d'Almenara de fecha agosto 2008	100
Figura 62: Índice NDVI obtenido de una imagen Landsat y ortofoto de La Marjal d'Almenara de fecha agosto 2000	101
Figura 63: Índice NDVI obtenido de una imagen Landsat y ortofoto del embalse de Alarcón de fecha julio 2009	101
Figura 64: Índice NDWI obtenido de una imagen Landsat y ortofoto de La Marjal d'Almenara de fecha agosto 2008	102
Figura 65: Índice NDWI obtenido de una imagen Landsat y ortofoto de La Marjal d'Almenara de fecha agosto 2000	102
Figura 66: Índice NDWI obtenido de una imagen Landsat y ortofoto del embalse de Alarcón de fecha julio 2009	103
Figura 67: Índice MNDWI obtenido de una imagen Landsat y ortofoto de La Marjal d'Almenara de fecha agosto 2008	104
Figura 68: Índice MNDWI obtenido de una imagen Landsat y ortofoto de La Marjal d'Almenara de fecha agosto 2008	104
Figura 69: Índice MNDWI obtenido de una imagen Landsat y ortofoto del embalse de Alarcón de fecha julio 2009	105
Figura 70: Esquema del proceso a seguir para la obtención de la superficie inundada en un humedal a partir de una imagen Landsat	107
Figura 71: Toolbox programada en ArcGIS 10.2.1. para la obtención automática de la evolución temporal de superficie inundada de un humedal a partir de imágenes de satélite Landsat	120

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Figura 72: Visualización de una imagen Landsat con presencia de nubes de la Marjal d'Almenara y del índice MNDWI obtenido.....	109
Figura 73: Evolución de la superficie inundada en la Laguna de Talayuelas obtenida mediante técnicas de teledetección	111
Figura 74: Análisis de la imagen Landsat de la Laguna de Talayuelas que proporciona la mínima inundación..	112
Figura 75: Análisis de la imagen Landsat de la Laguna de Talayuelas que proporciona la máxima inundación .	113
Figura 76: Evolución de la superficie inundada en la Laguna de Talayuelas obtenida mediante técnicas de teledetección	115
Figura 77: Análisis de la imagen Landsat de la Laguna de Marquesado que proporciona la mínima inundación	116
Figura 78: Análisis de la imagen Landsat de la Laguna de Marquesado que proporciona la máxima inundación	117
Figura 79: Análisis de problemas de georreferenciación en las imágenes Landsat de la Laguna de Marquesado	118
Figura 80 : Evolución de la superficie inundada en la Marjal d'Almenara obtenida mediante técnicas de teledetección	120
Figura 81: Evolución de la superficie inundada en la Marjal de Pego-Oliva obtenida mediante técnicas de teledetección	122
Figura 82: Análisis de la imagen Landsat de la Marjal de Pego-Oliva que proporciona la mínima inundación ..	123
Figura 83: Análisis de la imagen Landsat de la Marjal de Pego-Oliva que proporciona la máxima inundación..	125
Figura 84: Evolución de la superficie inundada en función del valor de corte del índice MNDWI adoptado. Aplicado a una imagen Landsat de la Marjal de Pego-Oliva tomada el 16 de marzo del 2010	126
Figura 85: Visualización de la evolución de la superficie inundada en función del valor de corte del índice MNDWI adoptado. Aplicado a una imagen Landsat de la Marjal de Pego-Oliva tomada el 16 de marzo del 2010	127
Figura 86: evolución de la superficie inundada en la Marjal de Pego-Oliva en función del valor de corte del índice MNDWI.....	128
Figura 87 : Niveles de agua medidos por los sensores de Comisaría de Aguas ubicados en la Laguna de Talayuelas	133
Figura 88 : Niveles de agua diarios obtenidos de los sensores de Comisaría de Aguas ubicados en la Laguna de Talayuelas	134
Figura 89: Evolución de la superficie inundada en la Laguna de Talayuelas obtenida mediante técnicas de teledetección	136
Figura 90: Entradas de agua anuales a la Laguna de Talayuelas en el periodo 1940-2011.....	137
Figura 91: Entradas de agua anuales a la Laguna de Talayuelas en el periodo 1980-2011.....	137

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Figura 92: Año medio, promedio de entradas de agua mensuales a la Laguna de Talayuelas en el periodo 1940-2011	138
Figura 93: Año medio, promedio de entradas de agua mensuales a la Laguna de Talayuelas en el periodo 1980-2011	138
Figura 94: Ortofoto de la Laguna de Marquesado con identificación del contorno y curvas batimétricas	139
Figura 95: Caracterización física de la cubeta de la Laguna de Talayuelas.....	140
Figura 96: Curvas batimétricas características de la Laguna de Talayuelas	141
Figura 97: Representación de la evolución de la altura de agua, en msnm, en la Laguna de Talayuelas	143
Figura 98: Representación de la evolución de la profundidad de agua, en m, en la Laguna de Talayuelas.....	144
Figura 99: Representación de la evolución de la superficie inundada, en ha, en la Laguna de Talayuelas.....	145
Figura 100: Representación de la evolución del volumen de agua almacenado, en hm ³ , en la Laguna de Talayuelas	146
Figura 101: Niveles de agua medidos por los sensores de Comisaría de Aguas ubicados en la Laguna de Talayuelas	148
Figura 102: Niveles de agua diarios obtenidos de los sensores de Comisaría de Aguas ubicados en la Laguna de Marquesado.....	149
Figura 103: Entradas de agua anuales a la Laguna de Marquesado en el periodo 1940-2011	151
Figura 104: Entradas de agua anuales a la Laguna de Marquesado en el periodo 1980-2011	151
Figura 105 : Año medio, promedio de entradas de agua mensuales a la Laguna de Marquesado en el periodo 1940-2011	152
Figura 106 : Año medio, promedio de entradas de agua mensuales a la Laguna de Marquesado en el periodo 1980-2011	152
Figura 107: Ortofoto de la Laguna de Marquesado con identificación del contorno y curvas batimétricas	153
Figura 108: Caracterización física de la cubeta de la Laguna de Marquesado	154
Figura 109: Curvas batimétricas características de la Laguna de Marquesado.....	155
Figura 110: Representación de la evolución de la altura de agua, en msnm, en la Laguna de Marquesado.....	158
Figura 111: Representación de la evolución de la profundidad de agua, en m, en la Laguna de Marquesado ..	159
Figura 112: Representación de la evolución de la superficie inundada, en ha, en la Laguna Marquesado	160
Figura 113: Representación de la evolución del volumen de agua almacenado, en hm ³ , en la Laguna de Marquesado.....	161
Figura 114: Evolución de los niveles en la Laguna de Marquesado en función de las aportaciones subterráneas recibidas.....	162
Figura 115 : Evolución de la superficie inundada en la Marjal d'Almenara obtenida mediante técnicas de teledetección	166
Figura 116: Entradas de agua anuales a la Marjal d'Almenara en el periodo 1940-2011.....	167
Figura 117: Entradas de agua anuales a la Marjal d'Almenara en el periodo 1980-2011.....	167

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Figura 118: Año medio, promedio de entradas de agua mensuales a la Marjal d'Almenara en el periodo 1940-2011	168
Figura 119: Año medio, promedio de entradas de agua mensuales a la Marjal d'Almenara en el periodo 1980-2011	168
Figura 120: Curva batimétrica de la Majal d'Almenara (CHJ, 2001).....	169
Figura 121: Uso de un MDT y aplicación de herramientas GIS a la Marjal d'Almenara para la obtención de información batimétrica	170
Figura 122: Caracterización física de la cubeta de la Marjal d'Almenara.....	171
Figura 123: Curvas batimétricas características de la Marjal d'Almenara	171
Figura 124: Representación de la evolución de la altura de agua, en msnm, en la Marjal d'Almenara	174
Figura 125 : Representación de la evolución de la profundidad de agua, en m, en la Marjal d'Almenara	175
Figura 126: Representación de la evolución de la superficie inundada, en ha, en la Marjal d'Almenara.....	176
Figura 127: Representación de la evolución del volumen de agua almacenado, en hm ³ , en la Marjal d'Almenara	177
Figura 128: Evolución de los niveles en la Marjal d'Almenara en función de las aportaciones subterráneas definidas.....	178
Figura 129: Niveles de agua medidos por los sensores de Comisaría de Aguas ubicados en la Marjal de Pego-Oliva	181
Figura 130 : Niveles de agua diarios obtenidos de los sensores de Comisaría de Aguas ubicados en la Marjal de Pego-Oliva	182
Figura 131: Niveles de agua medidos por los sensores de Comisaría de Aguas ubicados en la Marjal de Pego-Oliva del 23/06/2013 al 11/07/2013	183
Figura 132: Niveles medidos en la Marjal de Pego-Oliva (GV, 2010)	184
Figura 133: Evolución de la superficie inundada en la Marjal de Pego-Oliva obtenida mediante técnicas de teledetección	187
Figura 134: Entradas de agua anuales a la Marjal de Pego-Oliva en el periodo 1940-2011	188
Figura 135: Entradas de agua anuales a la Marjal de Pego-Oliva en el periodo 1980-2011	188
Figura 136: Año medio, promedio de entradas de agua mensuales a la Marjal de	189
Figura 137: Año medio, promedio de entradas de agua mensuales a la Marjal de	189
Figura 138: Ortofoto de la Marjal de Pego-Oliva con identificación del contorno y curvas batimétricas.....	191
Figura 139: Uso de un MDT y aplicación de herramientas GIS a la Marjal de Pego-Oliva para la obtención de información batimétrica	192
Figura 140: Caracterización física de la cubeta de la Marjal de Pego-Oliva	193
Figura 141: Curva batimétricas características de la Marjal de Pego-Oliva	193
Figura 142: Representación de la evolución de la altura de agua, en msnm, en la Marjal de Pego-Oliva.....	196
Figura 143: Representación de la evolución de la profundidad de agua, en m, en la Marjal de Pego-Oliva	197

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Figura 144: Representación de la evolución de la superficie inundada, en ha, en la Marjal de Pego-Oliva	198
Figura 145: Representación de la evolución del volumen de agua almacenado, en hm ³ , en la Marjal de Pego-Oliva	199
Figura 146: Evolución de los niveles en la Marjal de Pego-Oliva en función de las aportaciones subterráneas recibidas.....	200

1. INTRODUCCIÓN

Los humedales son ecosistemas acuáticos muy valiosos debido a la gran biodiversidad de flora y fauna que albergan, siendo hábitats indispensables para un gran número de especies. Además poseen múltiples funciones, como son el control de inundaciones y avenidas gracias a su función de almacenamiento, el aumento de la calidad del agua mediante la retención de nutrientes por acumulación en suelo y vegetación, la estabilización de la línea de costa y consolidación del suelo en los ecosistemas costeros gracias a la vegetación, etc. (EC ,1994).

A pesar de su incuestionable valor, los humedales son uno de los ecosistemas más amenazados a nivel global. Se estima que alrededor de dos tercios de los humedales europeos que existían hace 100 años han desaparecido. El origen de estas presiones se encuentra en acciones directas como las transformaciones del uso de la tierra, la contaminación de las aguas o la acumulación de residuos sólidos, y también en acciones indirectas, como es el uso intensivo de las aguas subterráneas. (Viñals, M.J., Blasco, D. y Morant, M., 2011).

Con el fin de evitar su degradación y asegurar su conservación se han ido desarrollado una serie de políticas medioambientales, tanto a nivel nacional como internacional. Estas políticas se basan en la asignación de unas figuras de protección y en la determinación de unos volúmenes mínimos de entrada de agua al humedal, que aseguren su funcionalidad y estructura a largo plazo.

La determinación estos volúmenes de agua, también llamados requerimientos o necesidades hídricas, requiere de un conocimiento preciso del funcionamiento hidrológico y del patrón de inundación de cada humedal, únicamente en base a esta información es posible conocer y entender su comportamiento y los procesos que en él tienen lugar.

Abordar la cuestión de determinación de necesidades hídricas de zonas húmedas es una tarea compleja, pues requiere de un conjunto de estudios técnicos y científicos sobre unos ecosistemas que poseen un gran rango de variabilidad, y de los cuales, en muchos casos, se dispone de muy poca información.

1.1. Objetivos

El objetivo general del presente documento es plantear una metodología homogénea que permita determinar los requerimientos hídricos necesarios para que los humedales puedan preservar, o en su caso recuperar, sus valores naturales, estructura y funcionamiento.

Aunque la determinación de los requerimientos hídricos de una zona húmeda requiere tanto de un análisis del medio físico como del medio biológico, el presente estudio se va a centrar en proponer una aproximación hidrológica. Se pretende que este proyecto sirva como una base sólida para una segunda fase en la que los trabajos de determinación de requerimientos hídricos puedan completarse mediante una aproximación hidrobiológica.

El presente trabajo se centra en cuantificar las necesidades hídricas de cuatro zonas húmedas de la Demarcación Hidrográfica del Júcar (DHJ). Estas zonas húmedas son la Laguna de Marquesado, la Laguna de Talayuelas, la Marjal d'Almenara y la Marjal de Pego-Oliva. La elección de los ecosistemas a estudiar se basa en la intención de abordar la mayor variabilidad posible.

Como ya se ha mencionado, la asignación de caudales ecológicos a una zona húmeda requiere de un conocimiento preciso de su funcionamiento hidrológico y régimen de inundación, pues esta información es la que va a permitir conocer la variación de los volúmenes de agua y de los niveles a lo largo del tiempo y entender a qué son debidos.

Con este fin se plantean dos objetivos específicos, en primer lugar recopilar y ordenar la información disponible acerca de los ecosistemas a estudiar. Y en segundo lugar reproducir su funcionamiento hidrológico mediante un modelo matemático de balance hídrico que sea capaz de representar la realidad.

De forma complementaria se pretende analizar la aplicabilidad de técnicas de teledetección espacial con el fin de obtener la evolución temporal de la superficie inundada de un humedal. La pretensión de analizar estas técnicas surge de la problemática frecuentemente asociada a este tipo de modelaciones, que es la inexistencia de datos reales u observados o a la falta de una serie lo suficientemente larga para que sea representativa del funcionamiento del humedal, lo que dificulta la calibración de los modelos de balance hídrico planteados.

1.2. Estructura del trabajo

El presente trabajo se estructura en 8 capítulos y 2 anexos.

El primero capítulo incluye la presente introducción, en el capítulo 2 se expone el contexto histórico y legal en el que se enmarcan los trabajos de determinación de requerimientos hídricos en zonas húmedas. El tercero corresponde con el Estado del Arte, en el que se recopila la información científica consultada y sobre la que se sustenta el presente trabajo. A continuación, en el capítulo 4, se caracteriza el ámbito de aplicación, la Demarcación Hidrográfica del Júcar, y en particular, los cuatro humedales a estudiar. El quinto capítulo se corresponde con la Metodología, en él se muestra el procedimiento planteado para realizar una propuesta de requerimientos hídricos. A continuación en el sexto capítulo se analizan las técnicas de teledetección espacial que permiten obtener la evolución temporal de la superficie inundada de un humedal y su aplicabilidad a los ecosistemas seleccionados. Seguidamente en el capítulo 7 se aplica la metodología descrita a los cuatro humedales seleccionados y se muestran y analizan los resultados obtenidos. Finalmente, en el capítulo 8 se exponen las conclusiones de los trabajos realizados, las aportaciones que se extraen del presente proyecto, y por último, se proponen líneas futuras de trabajo.

2. CONTEXTO HISTÓRICO Y LEGAL

En el presente apartado de la memoria se expone una breve contextualización histórica acerca de los humedales y se hace una recopilación y síntesis de las consideraciones legales a tener en cuenta a la hora de abordar un trabajo de determinación de necesidades hídricas en zonas húmedas. Es necesario conocer el marco legislativo en el que se ubica el presente proyecto, pues la legislación vigente definirá en muchos momentos la forma de abordar la problemática y proceder.

2.1. Contexto histórico

Tradicionalmente se consideraba que los humedales eran espacios inservibles y hasta peligrosos, pues eran considerados como focos de enfermedades, por lo que era mejor suplantarlos por otros usos más útiles de los que obtener un beneficio directo de sus recursos.

La Ley de Aguas de 1866 reguló la posibilidad de desecar estos ecosistemas, del Estado y comunales, accediendo el realizador de la obra a la propiedad del terreno desecado. Se impuso también la desecación obligatoria «cuando se declarase insalubre por quien corresponda una laguna o terreno pantanoso». Previniendo que si los terrenos fuesen de propiedad privada y la mayoría de los dueños se negase a ejecutar la desecación, el Gobierno podía conceder su desecación a cualquier particular o empresa. En este caso, adquirirían la propiedad del terreno, abonando únicamente a los antiguos dueños la suma correspondiente a la capitalización del rendimiento anual que de tales pantanos o encharcamientos percibían. Consecuentemente, las concesiones que sobre estos terrenos públicos se otorgaban a los particulares tenían por objeto variar su naturaleza a través de la desecación, convirtiéndolas de este modo en dominio particular de quien realizase su transformación.

Los daños causados a la Naturaleza por estas políticas mencionadas son ya en muchos casos irreversibles. Afortunadamente, desde finales del siglo XX fueron surgiendo diferentes legislaciones orientadas a la conservación de este tipo de ecosistemas. Gracias a ellas, la concepción que sobre los humedales existía ha sido remplazada por una gran

aceptación social de la importancia y valor de los ecosistemas de humedales. En la actualidad raramente se pone en duda la necesidad de su conservación y uso sostenible.

2.2. Contexto legal

2.2.1. LEGISLACIÓN INTERNACIONAL

A nivel internacional cabe destacar La Convención Relativa a los Humedales de Importancia Internacional, conocida como Convenio de Ramsar, firmada en la ciudad de Ramsar (Irán) el 18 de enero de 1971 y que entró en vigor el 21 de diciembre de 1975. Su principal objetivo es *“la conservación y el uso racional de los humedales mediante acciones locales, regionales y nacionales y gracias a la cooperación internacional, como contribución al logro de un desarrollo sostenible en todo el mundo”*. España se adhirió a este Convenio en 1982 y desde entonces se han incluido 38 humedales españoles en la lista.

La Convención Ramsar ha abordado de forma directa e indirecta las cuestiones relacionadas con el agua desde sus inicios en 1971. Diversas resoluciones y recomendaciones pusieron de manifiesto la importancia de una buena gestión de los recursos hídricos para la conservación de los humedales. No obstante, fue en la 6ª Reunión de la Conferencia de las Partes (COP) donde se reconoció explícitamente y por vez primera que los humedales necesitaban ciertos volúmenes de agua para el mantenimiento de sus características ecológicas (Resolución VI.23). Posteriormente, en la Resolución VII.18 se hace referencia expresa a las necesidades de agua de los humedales en el contexto de la gestión de cuencas hidrográficas, remarcando la importancia de evaluar la demanda ecológica de los mismos como un componente esencial en la adopción de decisiones sobre el manejo de cuencas.

Desde el punto de vista del planteamiento conceptual, fue en Valencia (España), durante la celebración de la 8ª Reunión de la COP en el año 2002, cuando se abordó el proceso de asignación y gestión de los recursos hídricos a fin de mantener las funciones ecológicas de los humedales (Resolución VIII.1). Durante esa reunión también se adoptaron dos resoluciones directamente relacionadas con la gestión de los recursos hídricos: por un lado la Resolución VIII.40, que permitió adoptar las primeras líneas directrices para compatibilizar el uso de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales, y por

otro lado la Resolución VIII.34, que se centro en las interdependencias existentes entre las actividades agrícolas y el uso racional de los humedales.

Cabe señalar que la cuestión de la determinación de las necesidades de agua de los humedales está presente en el Plan Estratégico 2009-2015 de Ramsar. Así por ejemplo, el manejo eficaz de los humedales (Estrategia 2.5 y 2.7) exhorta a conocer la cantidad de agua (en términos cuantitativos) que necesitan los humedales y sus fuentes de abastecimiento. De esta forma, promueve que los humedales puedan ser considerados explícitamente en el manejo integrado de las cuencas (Estrategia 1.7). El inventario y evaluación de los humedales (Estrategias 1.1, 2.4 y 2.6) incluye el régimen hidrológico del humedal, los objetivos de manejo del mismo y los límites aceptables de cambio. Es evidente que cuando la causa de degradación de un humedal esté motivada por el uso intensivo del agua, su restauración dependerá de la asignación de volúmenes adecuados para recuperar sus funciones y características ecológicas (Estrategia 1.8).

2.2.2. LEGISLACIÓN EUROPEA

La Directiva Aves (DA), la Directiva Hábitat (DH) y la Directiva Marco del Agua (DMA) son los instrumentos legales de mayor relevancia y pertinencia para la conservación, protección y uso racional de los humedales europeos en estos momentos.

La aplicación de estas Directivas debe ser coordinada y complementaria (obligación establecida en sus respectivos textos), al objeto de conseguir una mayor coherencia tanto en la conservación de la biodiversidad europea como en el uso racional del agua.

La Directiva Aves (Directiva 2009/147/CE) exhorta a los Estados miembros a prestar especial atención a la conservación de las aves silvestres a través de la protección de sus hábitats, la creación de Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) y la restauración de los hábitats que hayan sido alterados.

La Directiva Hábitat (Directiva 92/43/CEE) protege una serie de hábitats y de especies animales y vegetales de interés para la conservación en Europa, con la finalidad de alcanzar un “estado de conservación favorable” de los mismos, centrandó su interés en la presencia y distribución territorial de los mismos. Y muchos de estos hábitats y de estas especies de flora y fauna únicamente se encuentran en los humedales. Esta Directiva promueve la declaración de un número suficiente de Lugares de Interés Comunitario (LIC), posteriormente

designados Zonas Especiales de Conservación (ZEC), que junto con los espacios ZEPA de la Directiva Aves constituyen la Red Natura 2000. Esta red es el principal instrumento para la protección de las especies y hábitats en Europa.

La Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE) establece un contexto de conservación y restauración de los ecosistemas acuáticos sobre la base del principio del uso sostenible. Dentro de la planificación hidrológica, este principio de sostenibilidad y conservación de los ecosistemas acuáticos se apoya en gran medida en el concepto de los caudales ecológicos (llamados requerimientos o necesidades hídricas en el caso de los humedales).

La DMA obliga a establecer medidas de gestión que eviten los procesos de degradación de los ecosistemas y regula las actividades económicas en el marco de la sostenibilidad. Para ello, las masas de agua deberán alcanzar un “buen estado ecológico” definido a través de una serie de indicadores de orden biológico, hidromorfológico, químico y fisicoquímico dependiendo del tipo de masa de agua de que se trate. El “buen estado ecológico” de una masa de agua, según la DMA, es una expresión de la calidad de la estructura y del funcionamiento de los ecosistemas acuáticos. En el caso de masas de agua designadas como muy modificadas se deberá alcanzar el “buen potencial ecológico”.

A pesar de que la Directiva no utiliza exactamente el término “necesidades hídricas”, su concepto queda implícito en todo el proceso de planificación, ya que establece la necesidad de elaborar planes hidrológicos de cuenca con el fin de alcanzar los objetivos ambientales. Por supuesto asume los objetivos de conservación de los espacios Natura 2000 que dependen del agua, que deben quedar explícitamente recogidos en los planes de cuenca.

2.2.3. LEGISLACIÓN ESPAÑOLA

Los usos hídricos medioambientales están expresamente garantizados en el ordenamiento jurídico español desde principios de la década de los años '80 del siglo XX mediante la Ley de Aguas, siendo una restricción que se impone con carácter general al resto de usos (a excepción del abastecimiento de poblaciones).

El marco normativo español, en cumplimiento de las obligaciones en el ámbito europeo, ha ido incorporando de manera gradual los principios de las Directivas Aves, Hábitat y Marco del Agua.

La Directiva Hábitat se transpuso, en una primera fase, mediante el Real Decreto 1997/1995, por el que se establecen las medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad mediante la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres, habiendo efectuado nuevas aportaciones la Ley 42/2007, de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

La transposición de la Directiva Marco del Agua al marco normativo interno ha sido más complicada, aunque hay que destacar fundamentalmente el Reglamento de Planificación Hidrográfica, Real Decreto 907/2007, que es el que plasma los contenidos relacionados con la planificación de esta Directiva.

En su artículo 18 recoge lo referente a la implantación de regímenes de caudales ecológicos.

Artículo 18. Caudales ecológicos.

1. El plan hidrológico determinará el régimen de caudales ecológicos en los ríos y aguas de transición definidos en la demarcación, incluyendo también las necesidades de agua de los lagos y de las zonas húmedas.
2. Este régimen de caudales ecológicos se establecerá de modo que permita mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado o potencial ecológico en ríos o aguas de transición. Para su establecimiento los Organismos de cuenca realizarán estudios específicos en cada tramo de río.
3. El proceso de implantación del régimen de caudales ecológicos se desarrollará conforme a un proceso de concertación que tendrá en cuenta los usos y demandas actualmente existentes y su régimen concesional, así como las buenas prácticas.
4. En caso de sequías prolongadas podrá aplicarse un régimen de caudales menos exigente siempre que se cumplan las condiciones sobre deterioro temporal del estado de las masas de agua. Esta excepción no se aplicará en las zonas incluidas en la red Natura 2000 o en la Lista de humedales de importancia internacional de acuerdo con el Convenio de Ramsar. En estas zonas se considerará prioritario el mantenimiento del

régimen de caudales ecológicos, aunque se aplicará la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones.

5. En la determinación del flujo interanual medio requerido para el cálculo de los recursos disponibles de agua subterránea se tomará como referencia el régimen de caudales ecológicos calculado según los criterios definidos en los apartados anteriores.

En desarrollo del RPH se aprobó la Instrucción de Planificación Hidrológica, Orden ARM/2656/2008, que tiene por objeto el establecimiento de los criterios técnicos para la homogeneización y sistematización de los trabajos de elaboración de planes hidrológicos de cuenca.

En el apartado 3.4.4. de la instrucción se concretan aspectos, labores y metodologías a llevar a cabo para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos en el caso de lagos y zonas húmedas.

3.4.4. Requerimientos hídricos de lagos y zonas húmedas. “La caracterización de los requerimientos hídricos ambientales de las masas de agua clasificadas en la categoría de lagos o zonas de transición de tipo lagunar tiene como objetivo fundamental contribuir a alcanzar su buen estado o potencial ecológico a través del mantenimiento a largo plazo de la funcionalidad y estructura de dichos ecosistemas, proporcionando las condiciones de hábitat adecuadas para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas propias de estos ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, mediante la preservación de los procesos ecológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos.”

(...) “Para la determinación de los requerimientos hídricos de los lagos y zonas húmedas se tendrán en cuenta los siguientes criterios:

- a) El régimen de aportes hídricos deberá contribuir a conseguir los objetivos ambientales.
- b) Si son dependientes de las aguas subterráneas, se deberá mantener un régimen de necesidades hídricas relacionado con los niveles piezométricos, de tal forma que las alteraciones debidas a la actividad humana no tengan como consecuencia:

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

- Impedir alcanzar los objetivos medioambientales especificados para las aguas superficiales asociadas.
 - Cualquier perjuicio significativo a los ecosistemas terrestres asociados que dependan directamente de la masa de agua subterránea.
- c) Si están registrados como zonas protegidas, el régimen de aportes hídricos será tal que no impida el cumplimiento de las normas y objetivos en virtud del cual haya sido establecida la zona protegida.”

3. ESTADO DEL ARTE

La revisión del estado del arte, que se realiza en este apartado, tiene por objeto recopilar la información científica consultada sobre la que se va a sustentar el presente trabajo.

Este capítulo se estructura en dos apartados, en el primero se describen las metodologías propuestas para la determinación de requerimientos hídricos en zonas húmedas, tanto a nivel nacional como internacional. Mientras que en el segundo se recoge información acerca de las técnicas de teledetección y su aplicación en la obtención de la evolución temporal de la superficie inundada de un humedal.

3.1. Determinación de requerimientos hídricos en humedales

La revisión de los trabajos realizados en materia de determinación de requerimientos hídricos de zonas húmedas manifiesta la escasez de estudios y metodologías propuestas para su cálculo cuantitativo.

De la información consultada destaca el “Manual para la determinación de las necesidades hídricas de los humedales. El contexto español” (Sánchez, R. y Viñals, M.J., 2012), llevado a cabo por la Fundación Biodiversidad en colaboración con la Confederación Hidrográfica del Júcar. En él se propone un índice a seguir a la hora de abordar el proceso de determinación de requerimientos hídricos de zonas húmedas.

El manual propone un índice a seguir y establece los componentes básicos que deben incluirse en un estudio de tales características, además hace recopilación de algunos casos de estudio.

El índice propuesto recoge detalladamente los pasos a seguir y la información necesaria para llevarlos a cabo. Aunque cabe mencionar que el manual no establece una metodología concreta para cuantificar las necesidades hídricas de los humedales.

El estudio defiende la idea de que un mejor estado de conservación se alcanza con unas aportaciones hídricas próximas a las naturales y que estas necesidades deben ser definidas para evitar producir cambios significativos en las comunidades biológicas.

A continuación se muestra el índice propuesto en el mencionado trabajo:

1. Datos generales.
 - 1.1. Situación.
 - 1.2. Descripción general.
 - 1.3. Régimen jurídico de protección.
 - 1.3.1. Figuras de protección.
 - 1.3.2. Instrumentos y normas de gestión.
2. Características del humedal.
 - 2.1. Climatología.
 - 2.2. Geología y geomorfología.
 - 2.3. Topografía y características hidráulicas.
 - 2.4. Fauna.
 - 2.5. Flora y vegetación.
 - 2.5.1. Flora con interés de conservación.
 - 2.5.2. Vegetación.
 - Comunidades vegetales características.
 - Preferencias hidráulicas y modelo de vegetación.
 - Evolución de la vegetación.
3. Presiones e impactos.
 - 3.1. Presiones.
 - 3.2. Impactos.
4. Valores de conservación del humedal.
 - 4.1. Valores de conservación.
 - 4.1.1. Criterios Ramsar.
 - 4.1.2. Hábitats de Interés Comunitario.
 - 4.1.3. Especies de Interés Comunitario.
 - 4.2. Estado general de conservación.
5. Hidrología del humedal.
 - 5.1. Descripción del funcionamiento hidrológico.
 - 5.1.1. Funcionamiento hidrológico en condiciones naturales.
 - 5.1.2. Funcionamiento hidrológico en condiciones modificadas.
 - 5.2. Series de niveles de inundación del humedal y balance asociado.
 - 5.3. Modelización del balance hídrico del humedal.
 - 5.3.1. Elementos del balance.
 - 5.3.2. Series de balances mensuales del humedal.
6. Síntesis ecológica e hidrológica del humedal.
 - 6.1. Modelo conceptual.
 - 6.2. Estado de conservación del humedal.

- 6.3. Evolución y tendencias del humedal.
- 7. Necesidades hídricas del humedal.
 - 7.1. Objetivos de conservación asociados al régimen de necesidades hídricas.
 - 7.2. Formulación de la propuesta de necesidades hídricas.
 - 7.2.1. Aproximación hidrológica.
 - Determinación de valores hidrológicos característicos
 - Caracterización de hidroperiodos de referencia.
 - Selección de hidroperiodos y propuesta de necesidades hídricas.
 - 7.2.2. Aproximación hidrobiológica.
 - Identificación de elementos biológicos o ecológicos para la propuesta de necesidades hídricas (flora, fauna y vegetación).
 - Determinación de superficies potenciales de referencia.
 - Selección de criterios para la determinación de necesidades mínimas.
 - Determinación de la superficie potencial de las propuestas hidrológicas.

A nivel internacional cabe destacar la guía “Development of environmental standards (Water resources). Stage 3: Environmental Standards” (SNIFFER WFD 48, 2006) desarrollada por El Scotland & Northern Ireland Forum For Environmental Research y el grupo de investigación UKTAG, basada en información científica y criterio de experto. En esta guía se realiza una clasificación de los humedales, en función de la cual se determinan las necesidades hídricas para alcanzar un buen estado ecológico, tal y como establece la DMA.

La clasificación de los lagos se realiza en función de los siguientes criterios:

- Geología
- Altitud
- Tamaño
- Forma de la masa de agua
- Estación del año

Las necesidades hídricas se determinan para satisfacer un determinado nivel mínimo de agua en el humedal. Este nivel mínimo de agua se obtiene como un porcentaje máximo de variación de la altura de la lámina libre de agua respecto de la altura que ésta tendría en régimen natural.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

$$Hac = (f \cdot Hnat) / 100$$

Hac: Altura de agua mínima aceptable (m)

Hnat: Altura de agua en régimen natural (m)

Seguidamente se muestran los valores de porcentaje máximo de cambio admisible de la altura de agua en función de los criterios utilizados para clasificar los humedales:

Geology	Altitude		Low				Mid				High			
	Size		VS/S		L/VL		VS/S		L/VL		VS/S		L/VL	
range of drawdown permitted	Basin form		lin	vex										
	Season	Depth												
P 5-10%	summer	D	10	9	9	8	10	9	9	8	10	9	9	8
		Sh	9	8	8	7	9	8	8	7	9	8	8	7
	winter	D	10	9	9	8	9	8	8	7	8	7	7	6
		Sh	9	8	8	7	8	7	7	6	7	6	6	5
LA 10-20%	summer	D	20	19	19	18	20	19	19	18	20	19	19	18
		Sh	19	18	18	17	19	18	18	17	19	18	18	17
	winter	D	15	14	14	13	14	13	13	12	13	12	12	11
		Sh	14	13	13	12	13	12	12	11	12	11	11	10
MA 10-15%	summer	D	15	14	14	13	15	14	14	13	15	14	14	13
		Sh	14	13	13	12	14	13	13	12	14	13	13	12
	winter	D	15	14	14	13	14	13	13	12	13	12	12	11
		Sh	14	13	13	12	13	12	12	11	12	11	11	10
HA, Marl 15-20%	summer	D	20	19	19	18	20	19	19	18	20	19	19	18
		Sh	19	18	18	17	19	18	18	17	19	18	18	17
	winter	D	20	19	19	18	19	18	18	17	18	17	17	16
		Sh	19	18	18	17	18	17	17	16	17	16	16	15
B 12-20%	summer	D	15	14	14	13	15	14	14	13	15	14	14	13
		Sh	14	13	13	12	14	13	13	12	14	13	13	12
	winter	D	20	19	19	18	20	19	19	18	19	18	18	17
		Sh	19	18	18	17	19	18	18	17	18	17	17	16

Tabla 1: Porcentaje de reducción máximo admisible de la altura del agua respecto de la altura en régimen natural (SNIFFER WFD 48, 2006)

Como se observa en la tabla, se establece un porcentaje de reducción admisible de altura entre el 5 y el 20%, en función de la clasificación del humedal, aunque de forma general se define un porcentaje máximo de cambio admisible del 20%. Además, se añade un criterio adicional y se establece que como máximo este porcentaje de cambio puede

representar un 1m, pues, según criterio de experto, es la variación de altura máxima admisible por los macrófitos.

3.2. Aplicación de técnicas de teledetección para la obtención de la evolución temporal de superficie inundada en humedales

En este apartado se analiza la aplicabilidad de técnicas de teledetección espacial en la obtención de la evolución temporal de la superficie inundada de un humedal. En primer lugar se ofrece una visión global acerca de la teledetección y las principales plataformas satelitales. Y en segundo lugar, se detallan las técnicas específicas, aplicadas a las imágenes de satélite Landsat 5 TM, que permiten identificar cuerpos de agua y traducir la información espectral de las imágenes satelitales en valores de superficie inundada.

3.2.1. TELEDETECCIÓN

La teledetección consiste en obtener información sobre objetos o fenómenos del sistema terrestre a partir de imágenes adquiridas a distancia, mediante mediciones de la energía electromagnética reflejada o emitida por los objetos o fenómenos de interés, desde plataformas espaciales.

La teledetección espacial tiene múltiples ventajas, ofrece una visión global del planeta completo, las imágenes se adquieren de forma instantánea y homogénea, posee una cobertura frecuente y periódica que permite analizar fenómenos temporalmente, las imágenes contienen información de regiones no visibles del espectro electromagnético por la vista humana y además el formato digital hace que puedan ser almacenadas con facilidad.

Existe una amplia lista de plataformas espaciales o satélites que toman imágenes, algunos de los más destacados son Landsat 5, Landsat 5 TM, Landsat 7, SPOT, IKONOS, SeaWiFS, Meteosat 7, MODIS y ASTER.

Las aplicaciones de la teledetección son muy variadas. Siempre que un determinado objeto o fenómeno tenga una respuesta peculiar frente a la energía electromagnética, puede ser estudiado a través de imágenes de satélite, seleccionando correctamente el sistema a utilizar. Algunos ejemplos de aplicaciones son (Sánchez Rodríguez, E., consultada en 2014):

- Análisis en tiempo real de masas nubosas

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

- Estimación de precipitaciones
- Control de la acumulación nival y de su fusión: disponibilidad de recursos hídricos
- Control del movimiento de icebergs en zonas polares
- Seguimiento de corrientes marinas
- Inventario de aguas superficiales
- Control de la calidad del agua
- Cartografía térmica del océano (circulación, recursos pesqueros...)
- Erosión de playas y arenales
- Cartografía geológica y exploración minera
- Cartografía de usos del suelo
- Inventarios forestales
- Evaluación stress de la vegetación: sequía, riesgo de incendios...
- Cartografía áreas afectadas por incendios
- Estadísticas agrarias
- Predicción del rendimiento de cultivos

Como se ha mencionado anteriormente las plataformas espaciales realizan mediciones de energía electromagnética reflejada o emitida. Cabe aclarar en este momento el concepto de espectro electromagnético, se trata del rango de todas las radiaciones electromagnéticas posibles o existentes. La sucesión de valores de longitud de onda es continua, pero se pueden establecer bandas en las que la radiación electromagnética tiene un comportamiento similar. La organización de estas bandas se denomina "espectro electromagnético". En la siguiente imagen se muestra el espectro electromagnético y sus intervalos característicos:

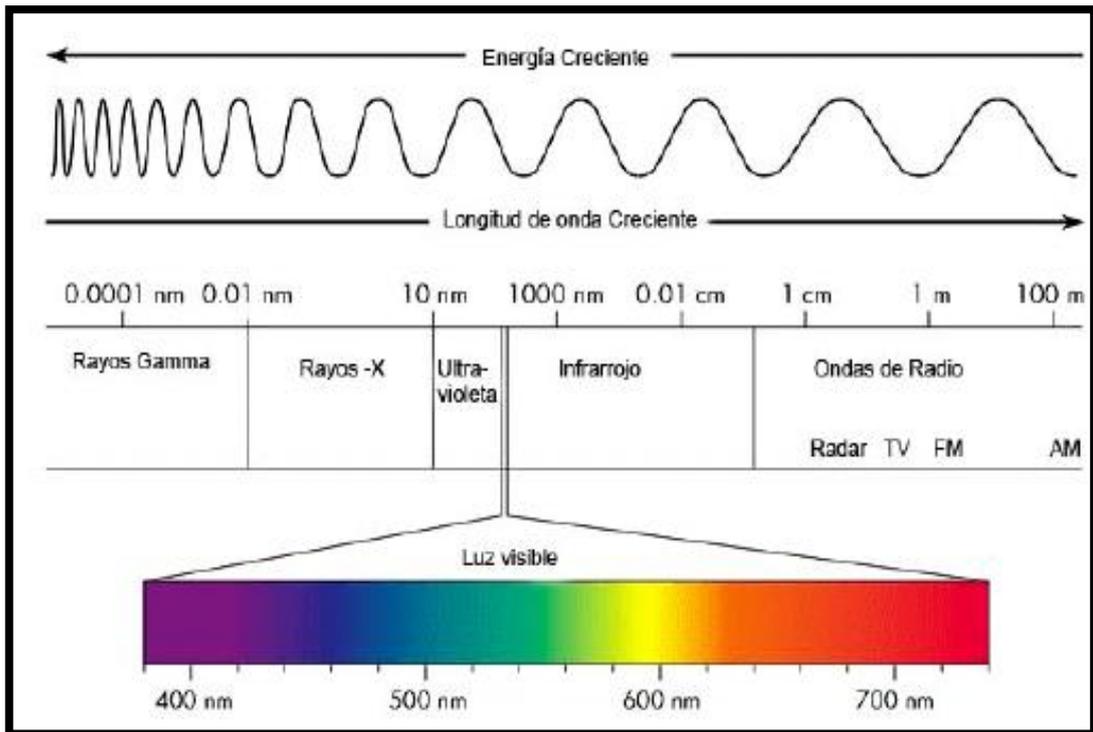


Figura 1: Espectro electromagnético (SRGIS, consultada en 2014)

A continuación se describen las principales divisiones del espectro electromagnético:

- El espectro de rayos gamma tiene una longitud de onda muy corta, que comprende valores inferiores a 0,01 nanómetros (nm).
- El espectro de rayos X comprende unos valores de longitud de onda entre 0,01 y 10 nm. Son de naturaleza similar a los rayos gamma.
- El espectro ultravioleta comprende unos valores de longitud de onda entre 10 y 380 nm. Se trata de una longitud muy afectada por la atmósfera. Suele aplicarse en estudios geológicos, para distinguir manchas de petróleo en agua y para analizar la cantidad de ozono.
- El espectro visible comprende unos valores de longitud de onda entre 0,38 y 0,73 micrómetros (μm). Coincide con los límites de sensibilidad de la visión humana y con el máximo de emisión solar. Se divide en tres bandas elementales: la banda azul, verde y roja.
- El infrarrojo comprende unos valores de longitud de onda entre 0,73 μm y 1mm.

- Las microondas comprenden unos valores de longitud de onda entre 1mm y 1m. Obtienen bajos niveles de energía debido a la gran longitud de onda. Las microondas son usadas en muchas aplicaciones, como radio, radar, televisión, Internet...

Las imágenes digitales abarcan regiones del visible e infrarrojo, de manera que muestran detalles invisibles al ojo humano, las medidas de reflectancia pueden revelar información sobre el contenido mineral de las rocas, la humedad del suelo, la salud de la vegetación, la composición física de los edificios, etc. Es lo que se denomina contenido espectral de la imagen de satélite. Tal información espectral es visible para el sensor digital debido a la reflectancia de energía que éste mide. La densidad, el contenido de agua, la composición química y otros factores y características no visibles de un objeto específico de la superficie, influyen globalmente en cómo interactúa la energía con dicho objeto en diversas longitudes de onda del espectro y en cómo se refleja en él. El sensor digital mide esta interacción espectral, que a su vez proporciona la comprensión de tales estados y características invisibles.

Las imágenes de satélite se caracterizan a través de la resolución. Existen cuatro tipos de resolución:

- Resolución espacial: está determinada por el tamaño sobre el terreno de la mínima unidad de información contenida en la imagen (pixel). Depende de la altura del sensor con respecto a la Tierra, el ángulo de visión, la velocidad de escaneado y las características ópticas del sensor. Es muy variada, desde 1x1 m del satélite Ikonos hasta los 5x5 km del Meteosat. La siguiente imagen muestra distintos rangos de resolución espacial:

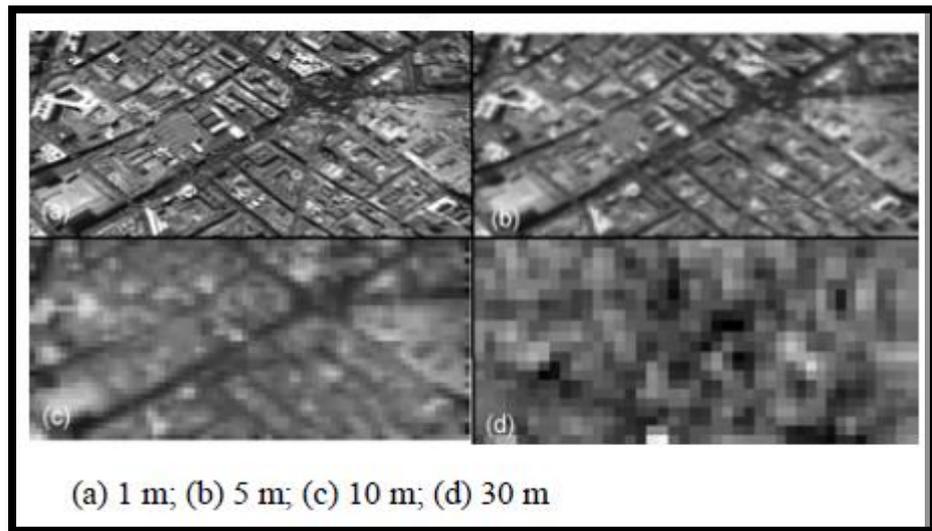


Figura 2: Distintos rangos de resolución espacial en sensores (Chuvieco, 2002)

- Resolución espectral: consiste en el número y anchura de los canales o bandas espectrales que es capaz de captar el sensor. Existen grandes diferencias entre sistemas de teledetección, Por ejemplo SPOT tiene una resolución espectral de 3 y Landsat de 7. Los nuevos sensores, llamados también espectrómetros o hiperspectrales llegan a tener hasta 256 canales con un ancho de banda muy estrecho (unos pocos nm) para poder separar de forma precisa distintos objetos por su comportamiento espectral.
- Resolución temporal: es la frecuencia con la que el sensor adquiere una imagen del mismo punto de la superficie terrestre. Depende fundamentalmente del tipo y altura de la órbita. Existen grandes diferencias entre sistemas, desde los 15 minutos del MSG hasta los 26 días del SPOT.
- Resolución radiométrica: Capacidad del sensor para detectar variaciones en el nivel de radiancia espectral que recibe. Se refiere a la cantidad de niveles de gris en que se divide la radiación recibida para ser almacenada y procesada posteriormente. Esto depende del conversor analógico digital usado. Se trata del número de niveles o valores digitales usados para codificar la información: 64, 128, 256, 1024 ó 2048 (6, 7, 8, 10 u 11 bits). En la siguiente imagen se muestran varios ejemplos de resolución radiométrica:

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

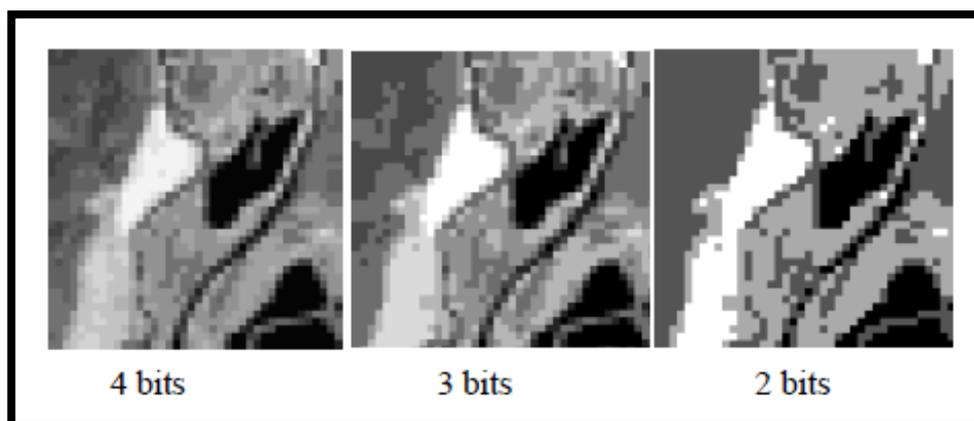


Figura 3: Distintos rangos de resolución espacial en sensores (Chuvieco, 2002)

En la siguiente tabla se caracterizan los diferentes tipos de resolución para los principales sistemas de teledetección espacial:

Satélite	Resolución			
	Espacial m	Espectral nº bandas	Temporal días	Radiométrica bits
Landsat 5	79	5	16	8
Landsat 5 TM	30	7	16	8
Landsat 7	15	8	16	8
SPOT	20	3	26	8
IKONOS2	4	4	programable	11
SeaWIFS	1100	8	1-2	10
Meteosat7	2500-5000	3	30min	6
MODIS	250-1000	36	1 - 2	12
ASTER	30-90	14	16	8

Tabla 2: Caracterización de la resolución de los principales sistemas de teledetección espacial (Sánchez Rodríguez, E., consultada en 2014)

3.2.2. USO DE IMÁGENES LANDSAT PARA LA OBTENCIÓN DE LA SUPERFICIE INUNDADA EN HUMEDALES.

La serie de satélites Landsat, Landsat 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7, ofrecen desde el año 1972 una de las mejores series históricas de imágenes de evolución del planeta.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

El satélite Landsat 5 TM fue puesto en órbita en 1995 por la NASA, desde entonces ha tomado imágenes de la tierra cada 16 días hasta noviembre de 2011, fecha en la que salió de servicio.

Las imágenes del satélite Landsat 5 poseen una resolución espacial de 30 m. El sensor TM de la plataforma dispone de lecturas en 7 canales o bandas, situadas en distintas zonas del espectro electromagnético. En la siguiente tabla se muestran las diferentes bandas y se caracteriza el rango espectral de cada una de ellas:

		Rango espectral (μm)
Band 1	Visible azul	0,45-0,52
Band 2	Visible verde	0,52-0,60
Band 3	Visible rojo	0,63-0,69
Band 4	Infrarrojo cercano	0,76-0,90
Band 5	Infrarrojo medio	1,55-1,75
Band 6	Térmico lejano	10,40-12,50
Band 7	Infrarrojo lejano o térmico próximo	2,08-2,35

Tabla 3: Rango espectral de las bandas del satélite Landsat 5TM

(Fernández-Copel, I. y Herrero, E., 2001).

La visualización de las distintas bandas del satélite y la combinación de ellas para hacer composiciones en color permite analizar visualmente las imágenes y detectar cuerpos de agua.

Las bandas sueltas del satélite se visualizan siempre en tonos de gris. Los valores más bajos de reflectancia se representan en tonos más oscuros, esto es debido a que al sensor llega menos energía. El análisis visual de las bandas y su comparación con imágenes aéreas permite detectar la presencia de agua e identificar masas de agua. En la siguiente imagen se puede observar la visualización de las diferentes bandas del satélite Landsat 5 TM. Del análisis y comparación entre ellas se observa que las bandas del infrarrojo representan de forma más clara los contornos de agua que las bandas del espectro visible.

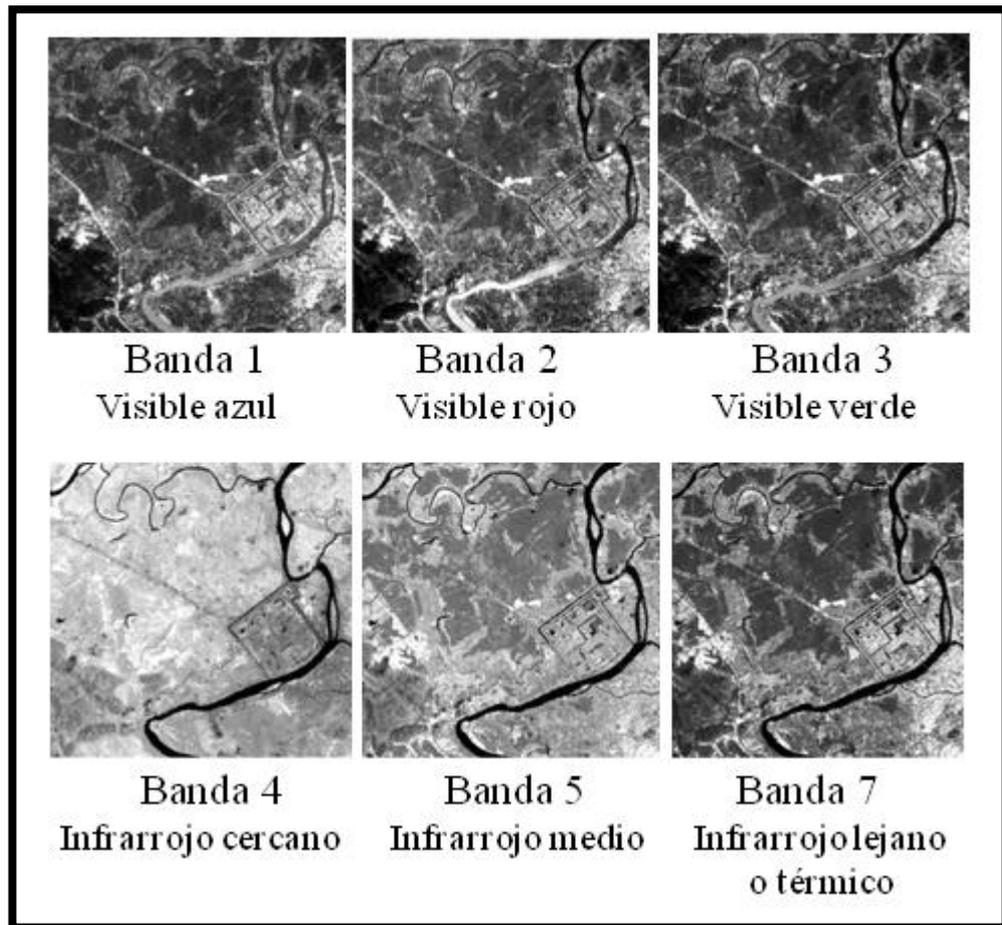


Figura 4: Visualización de las bandas de una imagen del satélite Landsat 5 TM
(SRGIS, consultada en 2014)

Existen referencias que apuntan a la banda 5 del satélite Landsat 5 TM, el infrarrojo medio, como la que mejores resultados ofrece, ya que la banda 4 puede incluir zonas urbanas en zona definida como agua y la 7 puede incluir zonas de cultivo. (Frazier, P. S. and Page, K. J., 2000). También hay referencias en cuanto a un valor umbral de reflectancia que debe ofrecer la banda para determinar un píxel como agua, se establece que un píxel es agua si el valor de reflectancia en la banda 5 es menor a 0,145 (Bustamante, J. et al., 2005).

Esta distinción entre suelo, vegetación y agua en una banda se debe a la diferente signatura espectral que poseen las diferentes cubiertas terrestres en cada banda del satélite. Esta signatura espectral de las cubiertas no es otra cosa que la respuesta espectral de las cubiertas en cada banda del sensor. A continuación se muestran un gráfico con la signatura espectral del agua, el suelo y la vegetación, en él se muestran los valores de reflectancia

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

característicos de las tres cubiertas en las diferentes bandas del satélite Landsat 5TM. Este gráfico puede orientar sobre qué bandas utilizar para estudiar una determinada cubierta.

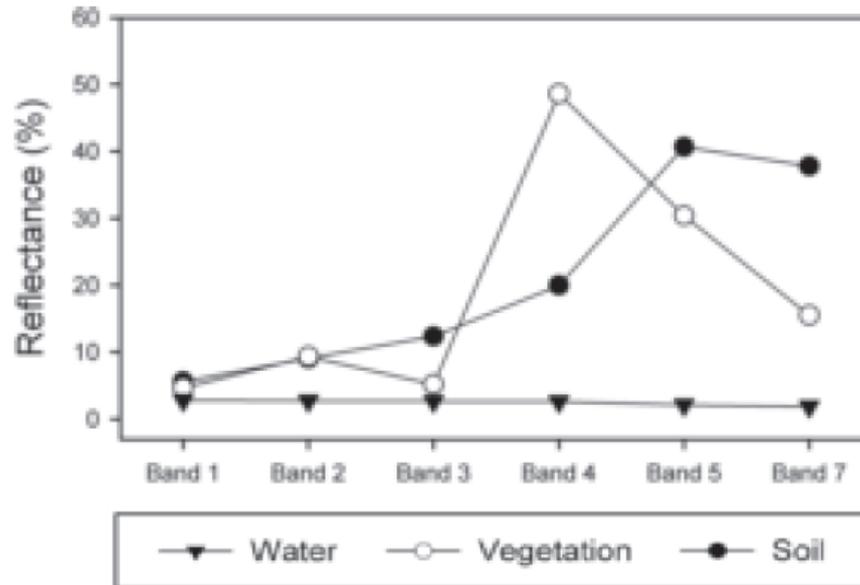


Figura 5: Signatura espectral de suelo, agua y vegetación (Lei, J. et al., 2009)

Como se puede comprobar en el gráfico anterior en las bandas del infrarrojo (banda 4, 5 y 7) es donde mayor diferencia existe entre las reflectancias características de las tres cubiertas terrestres.

Otra forma de analizar visualmente las imágenes de satélite es mediante combinaciones entre bandas. Las composiciones en color permiten visualizar a la vez más información (tres bandas de la imagen en lugar de una). De esta manera se facilita la interpretación de imágenes a través del uso del color. De las múltiples combinaciones existentes en la bibliografía se proponen 3, además de la combinación en color natural, para la identificación de contornos de agua. A continuación se describen las diferentes combinaciones (Fernández-Copel, I. y Herrero, E., 2001):

- Combinación en color natural: 321, constituye la combinación más próxima a la percepción de la tierra a través del ojo humano.
- Combinaciones en falso color:

432: Esta combinación suele llamarse “falso color infrarrojo” pues los colores resultantes en la imagen son similares a los de las fotografías obtenidas con

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

film infrarrojo color. Los tonos de rojo corresponden a vegetación, los tonos más oscuros se relacionan con la presencia de vegetación arbórea densa, mientras que los claros indican cultivos y praderas. El celeste corresponde a suelo desnudo o a zonas urbanas. El azul oscuro a negro se relaciona con agua clara en cursos o cuerpos de agua. Los colores verde a verde azulado corresponden a parcelas aradas o suelos descubiertos con mayor o menor contenido de humedad.

453: Esta combinación tiene ciertas similitudes con la combinación 432, pero al dar más peso a la región infrarroja (bandas 4 y 5) se ve realzada la diferencia de humedad en suelos y vegetales. Generalmente cuanto mayor es la humedad del suelo más oscuro aparecerá éste. Se realza con detalle los límites entre agua y tierra. La vegetación se muestra en colores marrones, verdes y naranjas.

742: Se trata de una combinación propuesta por la NASA. Las propiedades son similares a la combinación 453, con la diferencia de que el color verde indica vegetación y las aéreas urbanas aparecen en tonos magenta.

En la siguiente imagen se muestran las diferentes combinaciones mencionadas, la primera de ellas en color natural y las tres siguientes en falso color:

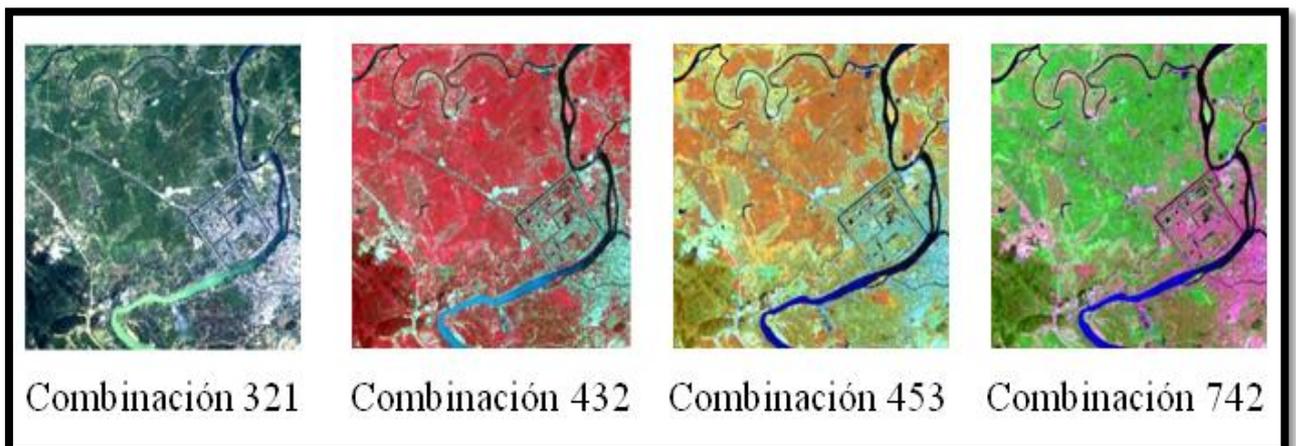


Figura 6: Visualización e una imagen del satélite Landsat 5 TM mediante diferentes combinaciones de bandas (SRGIS, consultada en 2014).

Para la obtención del valor de superficie inundada en humedales existen una serie de índices que traducen la información espectral de las imágenes satelitales en valores de superficie inundada. Esta traducción se lleva a cabo realizando operaciones matemáticas con las bandas. En la bibliografía consultada aparecen varios índices, de ellos, los más utilizados y recomendados son los siguientes (MAGRAMA, 2011):

- Normalized Difference Water Index, NDWI:

$$\text{NDWI} = (\text{Banda 2} - \text{Banda 4}) / (\text{Banda 2} + \text{Banda 4})$$

- Normalized Difference Vegetation Index, NDVI:

$$\text{NDVI} = (\text{Banda 4} - \text{Banda 3}) / (\text{Banda 4} + \text{Banda 3})$$

- Índice de Agua del CEDEX, I_ CEDEX:

$$\text{I_CEDEX} = (\text{Banda 4}/\text{Banda 3}) - (\text{Banda 4}/\text{Banda 5})$$

De la aplicación de estos índices en la obtención de superficie inundada en humedales se obtiene que el más adecuado es el NDWI. Ya que el NDVI únicamente es capaz de distinguir cuerpos de agua en ecosistemas con grandes profundidades y aguas claras, mientras que el índice propuesto por el CEDEX no ofrece buenos resultados.

Aunque el índice NDWI se ha definido con las bandas 2 y 4, existen diferentes propuestas con el fin de modificarlo y sustituir la banda 4 por la 5 o la 7. Del análisis de modificar su formulación y aplicarlo a diferentes ecosistemas acuáticos, se obtiene que el índice calculado con las bandas 2 y 5 ofrece mejores resultados, especialmente en los ecosistemas lago (Xu, H., 2006 & Lei, J. et al., 2009). La banda 4 ofrece buenos resultados en agua libres pero puede llevar a error en casos de aguas someras, turbias o con vegetación emergente o flotante (Bustamante, J. et al., 2005). En cambio el uso de la banda 7 puede llevar a confusión al incluir vegetación y zonas cultivadas como agua (Frazier, P. S. and Page, K. J., 2000).

En la siguiente figura se muestra la imagen de un lago y de un río y el resultado de aplicar el índice NDWI calculado mediante las bandas 2 y 4 u obtenido a partir de la 2 y la 5. Se puede observar como en el caso del río ambos índices reproducen la realidad e identifican la masa de agua. En cambio, en el caso del lago, la imagen obtenida de aplicar el índice NDWI operando con las bandas 2 y 5 ofrece claramente mejores resultados, pues es

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

capaz de identificar los cuerpos de agua, a diferencia del índice que opera con las bandas 2 y 4.

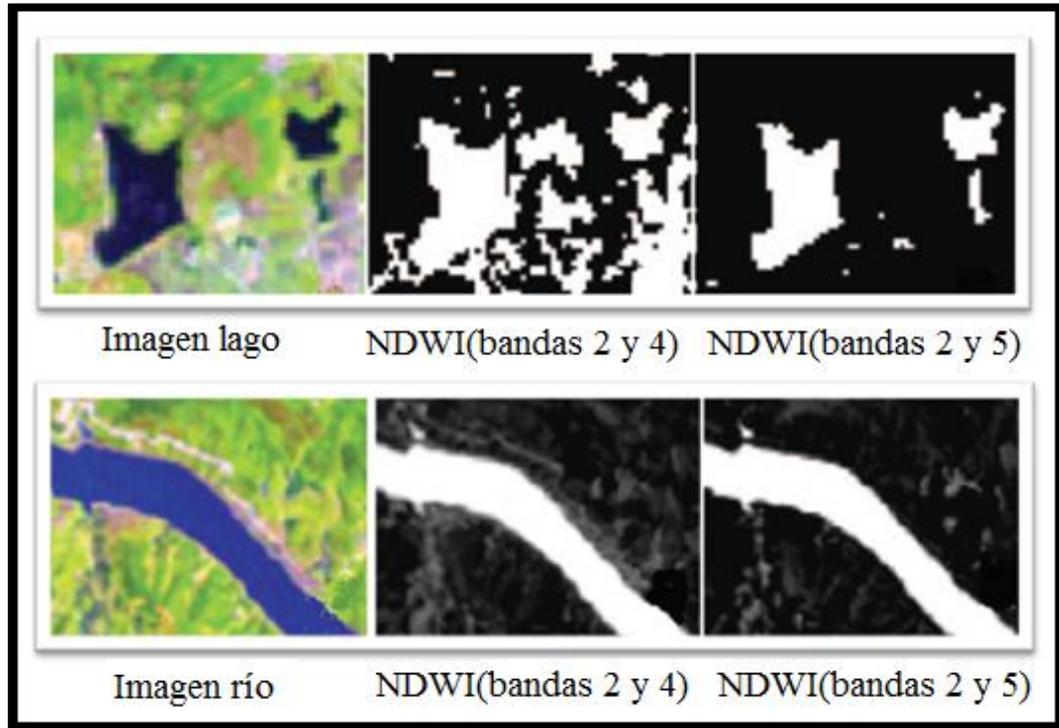


Figura 7: Diferentes propuestas de cálculo del índice NDWI aplicadas a dos imágenes de satélite Landsat 5 TM (Xu, H., 2006).

A este índice de agua que combina las bandas 2 y 5 se le ha denominado comúnmente MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index).

Cabe mencionar que los valores del índice varían entre -1 y 1, en todas las referencias consultadas se establece que hay agua cuando el índice ofrece valores mayores o iguales a 0. Aunque este valor umbral cambia cuando se analiza la presencia de más de una única cubierta terrestre en el pixel, es decir, cuando se asume que en el pixel puede haber una combinación de agua, suelo y vegetación. En la siguiente figura se muestran varias combinaciones posibles de las diferentes cubiertas en un pixel.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

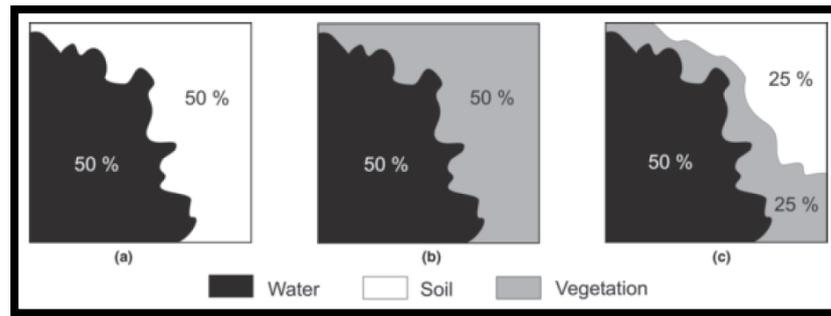


Figura 8: Ejemplos de diferentes combinaciones de suelo, agua y vegetación en un píxel

(Lei, J. et al., 2009)

Del análisis de la presencia de más de un tipo de cubierta en el píxel se determina que el valor umbral varía y deja de ser cero. Este valor umbral o de corte se modifica en función del porcentaje de agua-suelo-vegetación existente en el píxel. Aunque en los estudios publicados se hace referencia que no existen valores determinados para cada combinación, sino que han de ser analizados para cada caso de aplicación (Lei J. et al., 2009).

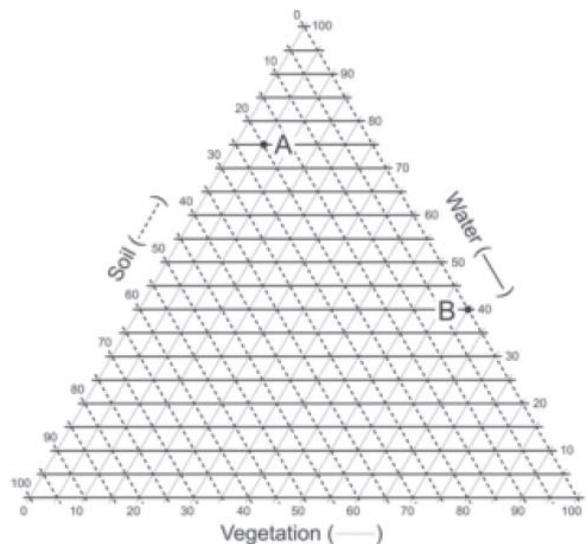


Figura 9: Diagrama ternario para diferentes combinaciones de agua, suelo y vegetación

(Lei J. et al., 2009)

La información recopilada vislumbra la aplicación de técnicas de teledetección como una herramienta adecuada y eficaz en la obtención de superficies inundadas en humedales. Aunque cabe destacar que para ello es necesario disponer de unas imágenes de satélite con una resolución espectral y espacial que se adecuen a las características de los ecosistemas

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

que se pretendan estudiar. Pues, como se ha visto, la aplicación de índices requiere de unas bandas concretas del sensor y además, el tamaño de la masa de agua va a limitar la resolución espacial mínima necesaria.

4. ÁMBITO DE APLICACIÓN

En el presente capítulo se hace una breve descripción de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, lugar en la que se ubican los cuatro humedales a estudiar, para posteriormente realizar una caracterización de cada uno de ellos basada en la información recopilada.

4.1. La Demarcación Hidrográfica del Júcar

A continuación se realiza una breve descripción del ámbito de aplicación del presente trabajo, la Demarcación Hidrográfica del Júcar, se revisa el ámbito territorial, el marco físico, la caracterización de la hidrología, el inventario de los recursos hídricos disponibles y por último, la determinación de caudales ecológicos. Toda esta información se recoge en el vigente Plan Hidrológico de cuenca de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

4.1.1. ÁMBITO TERRITORIAL

EL 5 de marzo de 1926 fueron creadas por Real Decreto las diversas confederaciones hidrográficas del Estado español que se encargan de la gestión de la administración hidráulica. Dichos organismos tienen como función las tareas de planificación hidrológica, gestión de los recursos del dominio público hidráulico, concesión de derechos de explotación de los recursos acuíferos, construcción y planeamiento de infraestructuras hidráulicas y gestión medioambiental, con especial atención a la preservación de recursos y la calidad del agua.

El ámbito territorial de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), situado geográficamente en el extremo central este de la Península Ibérica, viene definido por el RD 125/2007, de 2 de febrero, por el que se fija el ámbito territorial de las demarcaciones hidrográficas, modificado por Real Decreto 255/2013, de 12 de abril, por el que se establece la composición, estructura y funcionamiento del Consejo del Agua de la Demarcación Hidrográfica del Júcar y por el que se modifican diversas normas relativas al ámbito y constitución de dicha demarcación hidrográfica.

Como se muestra en la siguiente imagen, la DHJ está situada al este de la Península Ibérica, sobre la costa mediterránea, comprendida entre las latitudes 38º y 40º norte. Limita por el norte con la Agencia Catalana del Agua y la Confederación Hidrográfica del Ebro, por

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

el oeste con las Confederaciones Hidrográficas del Tajo, Guadiana y Guadalquivir, mientras que por el sur lo hace con la Confederación Hidrográfica del Segura. La superficie total que comprende es de 42.735 km².



Figura 10: Demarcaciones Hidrográficas de España (iagua, 2007)

En la DHJ se incluyen todas las cuencas hidrográficas que viertan sus aguas al Mar Mediterráneo, entre la desembocadura de los ríos Segura y Cenia, incluyendo también este último. Su ámbito se extiende por cinco comunidades autónomas (Aragón, Castilla-La Mancha, Cataluña, Comunidad Valenciana y Región de Murcia) y siete provincias: la totalidad de Valencia, gran parte de Albacete, Alicante, Castellón, Cuenca y Teruel, una pequeña zona de Tarragona y una zona muy pequeña de Murcia. Las provincias de la Comunidad Valenciana suponen la mayor parte del territorio de la cuenca sumando el 50% de su extensión total.

4.1.2. MARCO FÍSICO

Los principales rasgos geológicos, geomorfológicos, litológicos, climáticos e hidrográficos definen el marco físico de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

En el contexto geomorfológico, las principales características que se encuentran pueden agruparse de forma muy sintética en dos grandes ambientes o zonas: una interior montañosa, con altitudes que rebasan los 1.500 metros y cuyo punto culminante es el Peñarroya (2.028m), pero que casi siempre se desarrolla por debajo de los 1.000 metros y otra costera, constituida por llanuras litorales comúnmente conocidas como “planas”. Estas últimas se encuentran truncadas en algunos sectores en los que los relieves interiores se prolongan hasta la línea de costa.

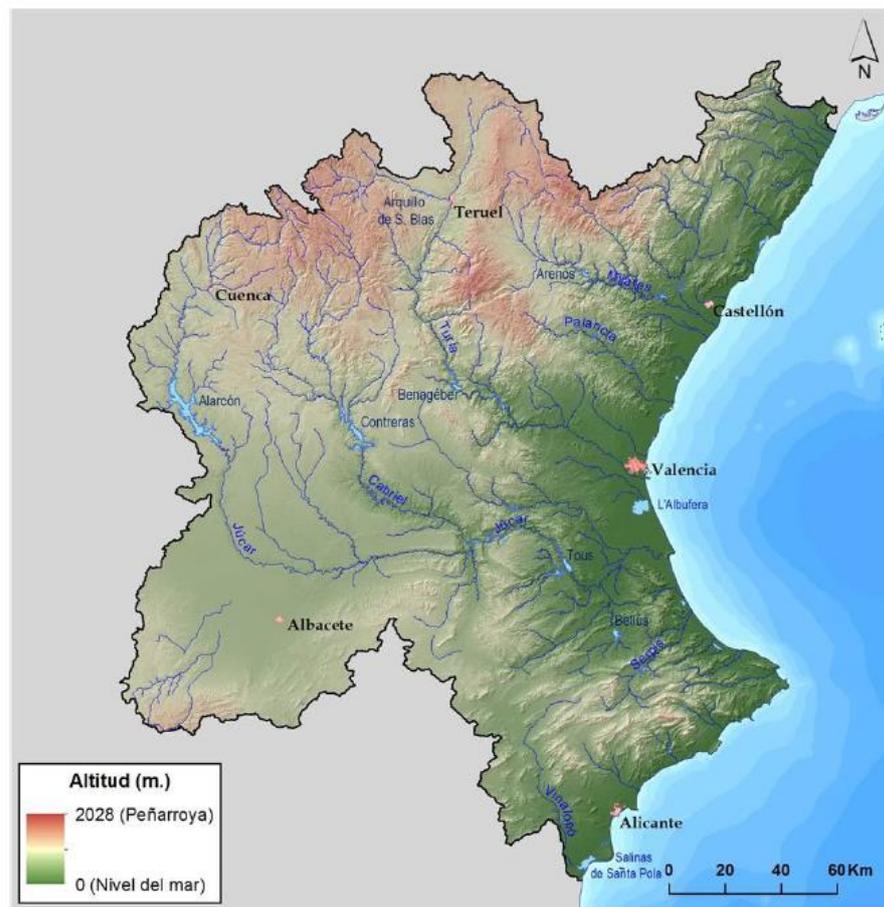


Figura 11: Red hidrográfica y modelo digital del terreno de la DHJ (PHJ, julio 2014)

La cadena montañosa de mayor entidad en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Júcar es el llamado Sistema Ibérico, que se extiende más allá de los límites del propio ámbito de gestión. El Sistema Ibérico actúa como una barrera para los frentes marinos,

forzando a las nubes cargadas de humedad a elevarse a capas atmosféricas más altas, favoreciéndose los episodios de precipitación en estas regiones de montaña.

En los Montes Universales nace el río Júcar, río principal del ámbito territorial de la DHJ, que a su vez da nombre a este organismo. Además, nacen los ríos Turia y Mijares. Los tres ríos proporcionan conjuntamente aproximadamente el 65% de la esorrentía media de todo el ámbito. En la región Sur y Suroeste se extiende el tramo final de las montañas del Sistema Bético, donde nacen los ríos Serpis y Vinalopó. Por su parte, la llanura costera es una plataforma aluvial neógena que se extiende a lo largo de la franja litoral costera, donde la riqueza en nutrientes del suelo sostiene la mayor parte de la producción agrícola de regadío y en la que se desarrolla y vive más del 80% de la población total existente. Finalmente, la llamada zona de La Mancha, ubicada en la región oeste del ámbito territorial, entre los sistemas montañosos Ibérico y Bético descritos, se caracteriza por presentar una superficie relativamente llana con una altura media de 650 m. Esta llanura alberga un acuífero de grandes dimensiones denominado acuífero de la Mancha Oriental, conectado al río Júcar cuando éste atraviesa la llanura. El acuífero y el río muestran claras interacciones de drenaje y recarga.

Un aspecto fundamental del marco físico es la litología existente en la zona, como se muestra en la siguiente figura. Las calcarenitas y las margas son los grupos predominantes, aunque también se tienen proporciones de calizas y material aluvial muy significativas. Este último grupo se encuentra fundamentalmente en los tramos finales de los ríos principales (Mijares, Júcar y Túrria).

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

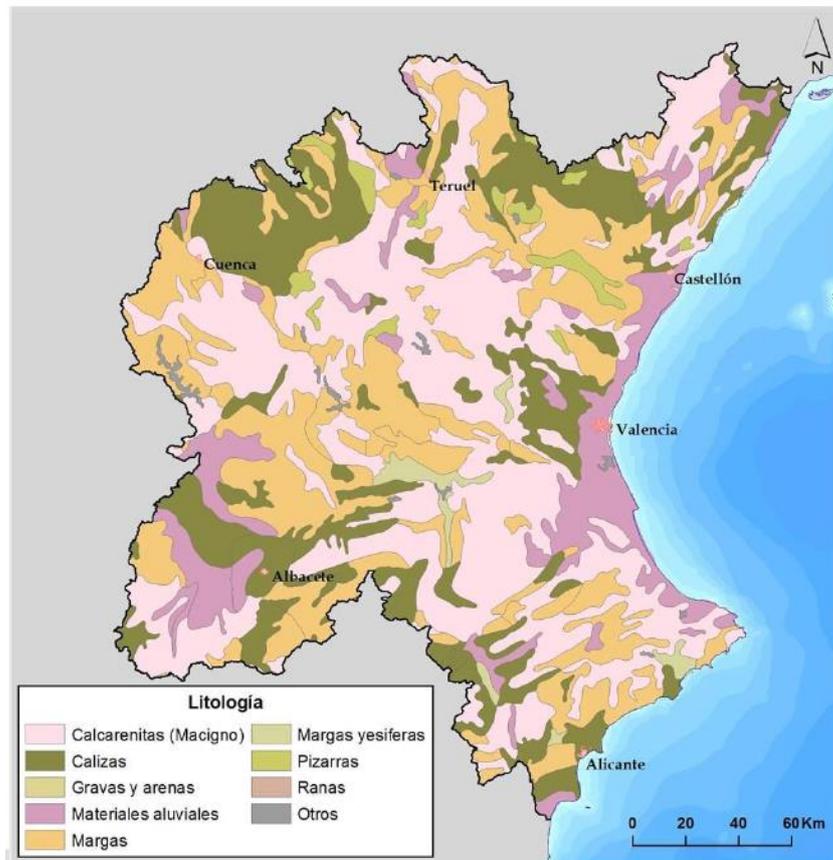


Figura 12: Mapa litológico de la DHJ (PHJ, julio 2014)

Este material sedimentario está constituido por los aportes sólidos de los ríos, que una vez alcanzan la costa son rápidamente dispersados por las corrientes marinas. La corriente marina predominante se mueve de norte a sur.

La costa presenta numerosos elementos geomorfológicos como playas, cordones dunares, acantilados y fondos de roca, que soportan un gran número de ricos ecosistemas. Los sistemas terrestres alimentan los ambientes marinos cercanos a la costa con materiales sedimentarios.

Sobre este territorio se desarrolla un clima mediterráneo con veranos cálidos y secos y con inviernos suaves. La excepción a este patrón climático es la llamada “gota fría”, fenómeno que tiene una mayor probabilidad de ocurrencia durante los meses de octubre y noviembre. Este fenómeno provoca precipitaciones repentinas y bruscas, pudiendo ser causantes de inundaciones devastadoras.

La red de drenaje localizada en el territorio de la Demarcación Hidrográfica del Júcar está articulada básicamente por los ríos Cenia, Mijares, Palancia, Turia, Júcar, Serpis y

Vinalopó, siendo los ríos Júcar y Turia, con una longitud de 512 y 280 Km respectivamente, los más importantes.

La aportación total de la red fluvial proviene mayoritariamente de la escorrentía subterránea, de ahí la importancia que tienen las aguas subterráneas en la demarcación.

Otra importante característica de este territorio es la longitud de su línea de costa, con un total de 574 Km, y el gran número de pequeñas islas, como por ejemplo las islas Columbretes o la isla de Tabarca, que pertenecen al término administrativo de la Comunidad Valenciana. Estas islas están protegidas por la legislación ambiental dada la gran diversidad de aves marinas que albergan. Ambas islas son de origen volcánico. Tabarca es la única isla poblada dentro del ámbito territorial de la demarcación. Se ha convertido, además, en un complejo turístico y ha sido recientemente declarada Reserva Marina por su riqueza y diversidad en vida marina.

En la costa son de destacar las zonas húmedas denominadas marjales, extensas llanuras de inundación alimentadas fundamentalmente por aguas subterráneas y en menor medida, por aguas superficiales. Cuatro de estos humedales están incluidos en la lista Ramsar, el Prat de Cabanes-Torreblanca, L'Albufera de Valencia, la Marjal de Pegó-Oliva y las Salinas de Santa Pola, de ellos el más destacado, por su singularidad, es el lago de L'Albufera.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

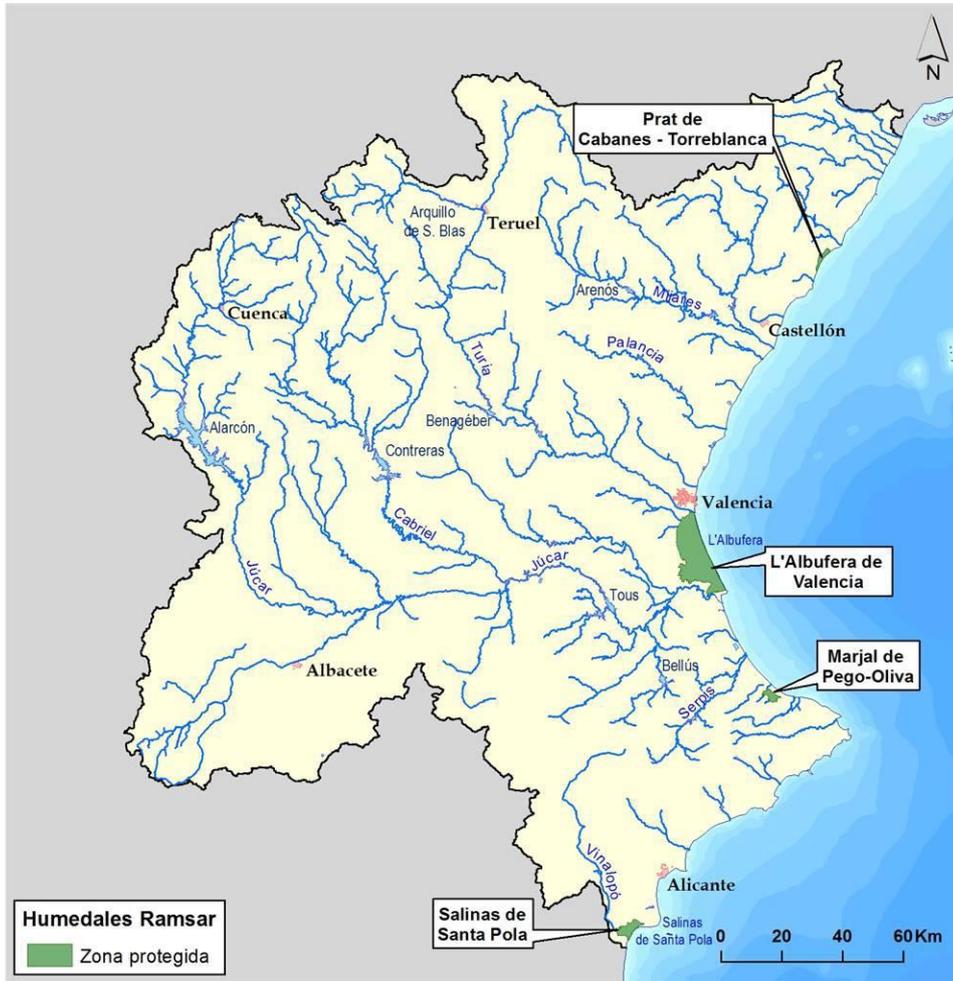


Figura 13: Humedales RAMSAR (PHJ, julio 2014)



Figura 14: Albufera de Valencia (www.CHJ.es)

El uso del suelo predominante dentro del ámbito territorial de la demarcación es el bosque y las zonas semi-naturales, que ocupa algo más del 50% del territorio, de acuerdo con el mapa de usos de suelo de CORINNE-LAND COVER del año 2000 (IGN, 2006). A este uso le sigue el de zonas agrícolas de secano, cubriendo un 36% del territorio y el de zonas agrícolas de regadío con un 10%, siendo éstos los usos predominantes en áreas costeras y en la zona de la Mancha. Las zonas urbanas e industriales cubren un 3% del territorio, y finalmente, una pequeña porción, que apenas alcanza el 1%, está cubierta por humedales y superficies acuáticas.

4.1.3. HIDROLOGÍA

La hidrología de la zona está compuesta por masas de agua superficiales y subterráneas, en esta primera clasificación se incluyen los ríos, los lagos y las aguas de transición y las costeras.

- **MASAS DE AGUA SUPERFICIALES**

El texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA) define en su artículo 40.bis la *masa de agua superficial como una parte diferenciada y significativa de agua superficial, como un lago, embalse, una corriente, río o canal, parte de una corriente, río o canal, unas aguas de transición o un tramo de aguas costeras.*

Las masas de agua superficial de la DHJ se clasifican en las categorías de ríos, lagos, aguas de transición y costeras.

Estas masas de agua se pueden clasificar a su vez según su naturaleza como naturales, artificiales o muy modificadas.

El TRLA define en su artículo 40.bis *Masa de agua artificial como una masa de agua superficial creada por la actividad humana y Masa de agua muy modificada como una masa de agua superficial que, como consecuencia de alteraciones físicas producidas por la actividad humana, ha experimentado un cambio sustancial en su naturaleza.* Estas últimas no pueden alcanzar un buen estado ecológico por la modificación de sus características hidromorfológicas, y su objetivo ecológico pasa a ser el buen potencial ecológico.

La red hidrográfica tiene por ríos principales al Júcar y al Turia, a los que se suman Cenia, Mijares, Palancia, serpis y Vinalopó. Los principales afluentes del Júcar son el Cabriel, el Cañoles y el Magro. Los cauces de la demarcación tienen un régimen marcadamente mediterráneo, caracterizado por unas fuertes sequías en verano e inundaciones en otoño.

CARACTERIZACIÓN DE RÍOS

En el ámbito de la demarcación se han definido 304 masas de agua en la categoría río, de las cuales 257 corresponden a ríos naturales, 43 a masas de agua muy modificadas y 4 a masas de agua artificiales. Estas masas suman unos 5.600 km. Su longitud media es de 18 km, siendo la longitud máxima de 99,4 km y la mínima de 1,6 km. En la siguiente figura se puede observar la distribución espacial de estas masas de agua.

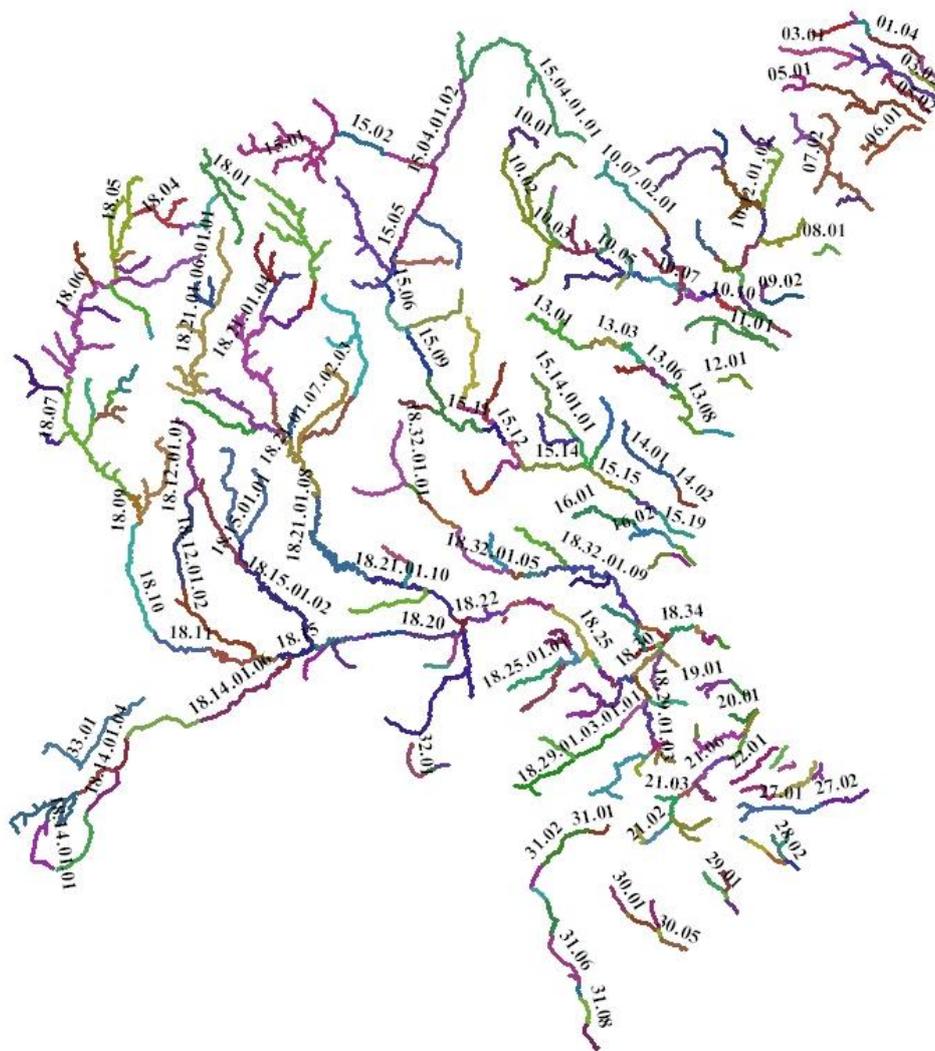


Figura 15: Masas de agua categoría río (Fuente: GeshidroLAN 2014)

CARACTERIZACIÓN DE LAGOS

El número total de masas de agua superficiales incluidas en esta categoría es de 19. De éstas, 16 se han definido como masas de agua naturales. Las tres restantes se han identificado como masas de agua muy modificadas. Cabe destacar que la designación definitiva de lagos muy modificados está pendiente de su realización al no disponerse de suficiente información para evaluar el efecto de las medidas que permiten alcanzar el buen estado ecológico. El único lago con designación definitiva como muy modificada es L'Albufera.

Código	Nombre
L01	Prat de Cabanes
L03	Marjal dels Moros
L04	Marjal de Rafalell y Vistabella
L05	Laguna de Talayuelas
L08	Laguna del Arquillo
L09	Laguna Ojos de Villaverde
L10	Laguna de Ontalafia
L11_a	Complejo lagunar de Fuentes (Laguna de los Cedazos)
L11_b	Complejo lagunar de Fuentes
L12	Complejo lagunar de las Torcas de Cañada Hoyo
L13	Complejo lagunar de Arcas/Ballesteros
L14	Laguna del Marquesado
L15	Marjal de la Safor
L16	Marjal de Pegó-Oliva
L17	Els Bassars - Clot de Galvany
L18	Ullals de L'Albufera

Tabla 4: Masas de agua de la categoría lago natural en la DHJ. (PHJ, julio 2014)

Código	Nombre
L02	Marjal y Estanys d'Almenara
L06	L'Albufera de Valencia
L07	Laguna de Uña

Tabla 5: Masas de agua de la categoría lago muy modificado en la DHJ. (PHJ, julio 2014)

A continuación se muestra un mapa en el que puede observarse la distribución espacial de los lagos:

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

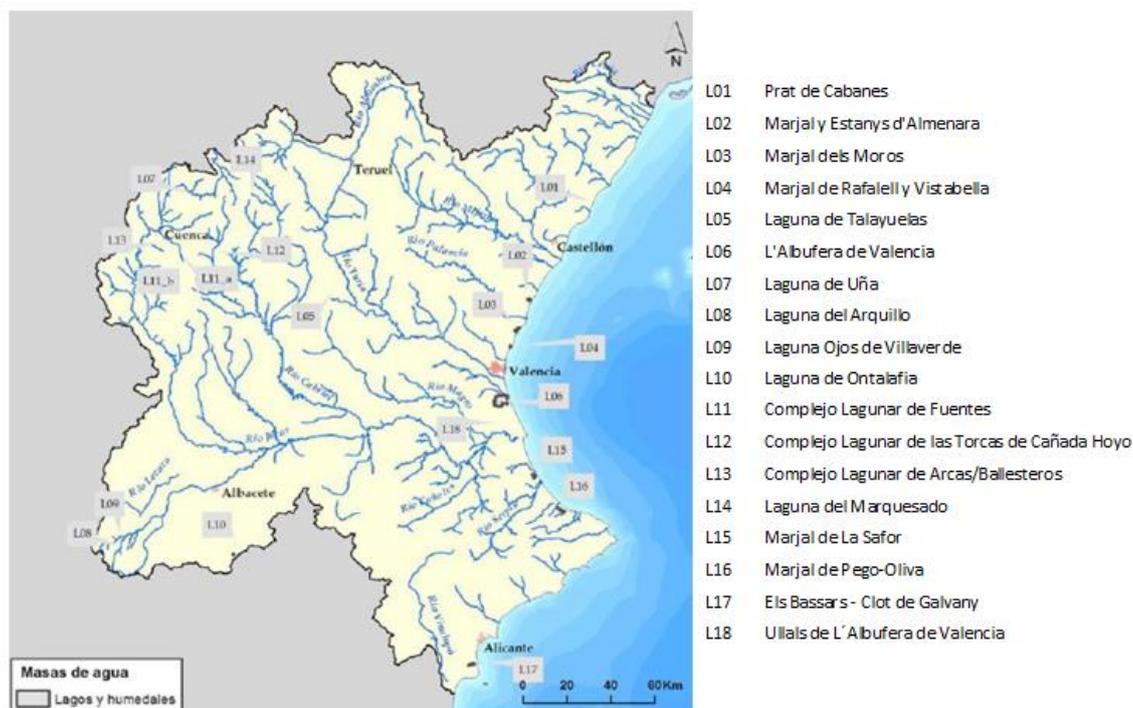


Figura 16: Masas de agua categoría lago (PHJ, julio 2014)

■ MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEAS

El texto refundido de la Ley de Aguas (TRLA) define en su artículo 40.bis la masa de agua subterránea como un volumen claramente diferenciado de aguas subterráneas en un acuífero o acuíferos.

En la DHJ se diferencian 90 masas de agua subterránea. Estas masas de agua cubren una superficie total en el ámbito de la demarcación de aproximadamente 40.550km², distribuida en el marco de cinco comunidades autónomas: Comunidad Valenciana (49,7%), incluyendo toda la provincia de Valencia y parte de las provincias de Castellón y Alicante; Castilla-La Mancha (37,9%), con la presencia parcial de las provincias de Cuenca y Albacete; Aragón (12,1%) con parte de la provincia de Teruel; Cataluña (0,2%) con tan sólo una pequeña parte del extremo meridional de la provincia de Tarragona y finalmente la Región de Murcia (0,1%) con una pequeña parte de la provincia de Murcia en el término de Yecla.

La ubicación y límites de las masas de agua subterránea definidas se muestran en la siguiente figura:

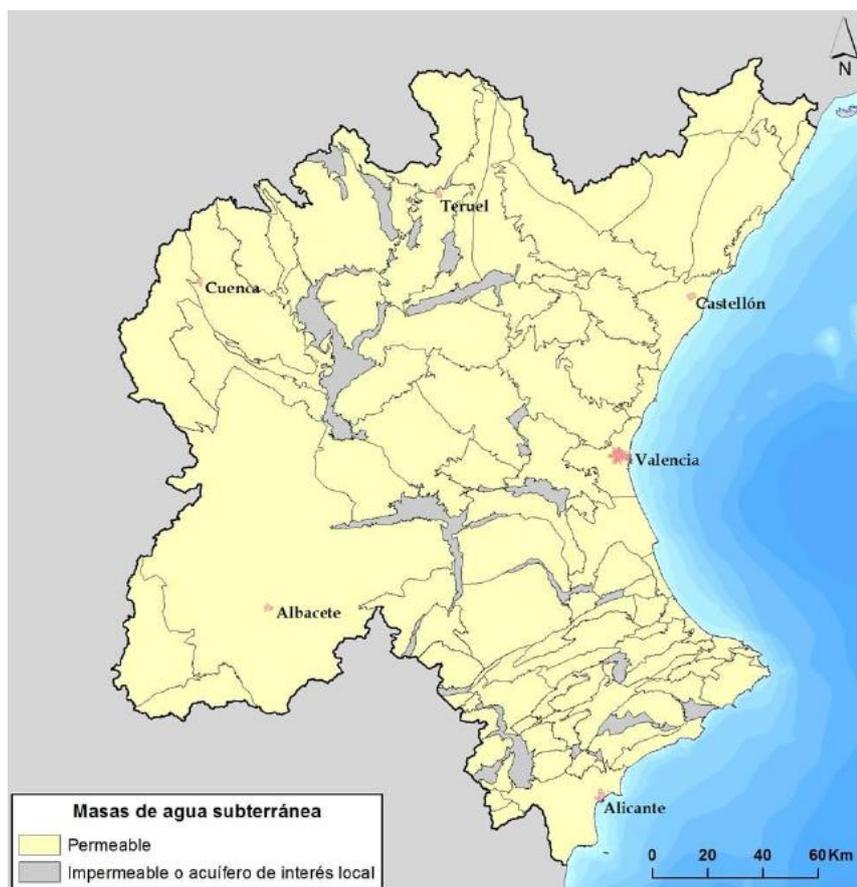


Figura 17: Delimitación de las masas de agua subterránea (PHJ, julio 2014)

4.1.4. INVENTARIO DE RECURSOS HÍDRICOS

En el plan hidrológico, de acuerdo con el apartado 2.4.4 de la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH), se recogen las principales características de las series hidrológicas de la demarcación y de los sistemas de explotación.

Los recursos hídricos disponibles en la demarcación están constituidos por los recursos hídricos propios, convencionales (superficiales y subterráneos) y no convencionales (reutilización y desalación), así como por los recursos hídricos externos (transferencias). Entre los recursos hídricos propios de la demarcación debe mencionarse la importancia que tienen los recursos hídricos subterráneos.

La evaluación de recursos hídricos se ha realizado mediante el modelo de simulación PATRICAL (Precipitación Aportación en Tramos de Red Integrados con Calidad del Agua), que simula el ciclo hidrológico de forma distribuida en el espacio, con una resolución de 1 Km x 1 Km, y con un paso de tiempo mensual (Pérez, M.A., 2005 y Pérez-Martín y otros, 2013).

Este modelo realiza la simulación del ciclo hidrológico en régimen natural aplicando la formulación de Témez (1977) en cada pequeño elemento en que se discretiza el territorio, incluyendo las transferencias laterales entre acuíferos, el movimiento del agua a través de la red fluvial, las relaciones río-acuífero (considerando la posibilidad de pérdidas en cauces) y la evolución de la piezometría media de los acuíferos.

▪ **MAPAS DE VARIABLES HIDROLÓGICAS**

A continuación se representan los mapas de valores medios de las variables precipitación, temperatura, evapotranspiración potencial, evapotranspiración real, recarga a los acuíferos y escurrimiento, tanto para la serie completa (1940/41–2008/09) como para la serie corta más reciente (1980/81–2008/09).

Precipitación

En la Demarcación Hidrográfica del Júcar, la precipitación total anual se encuentra en torno a los 500 mm, como media de los valores de la serie registrada en la red de pluviómetros existentes con datos desde el año 1940, oscilando entre valores máximos anuales de 780 mm en los años más húmedos y de poco más de 300 mm en los años más secos. En los últimos 10 años la media de la serie corta baja ligeramente, hasta 486 mm.

Por otra parte, la distribución temporal intraanual de estas precipitaciones se caracteriza por su heterogeneidad. Las precipitaciones de otoño suponen casi la mitad de la precipitación anual en la franja costera. En primavera se da el segundo máximo, que es el máximo absoluto en algunos puntos del interior. En verano las lluvias son casi inexistentes exceptuando las tormentas convectivas, siendo la época más seca del año.

Igual variabilidad sucede en cuanto a la distribución espacial de estas precipitaciones, existiendo zonas como la Marina Alta con valores medios de precipitación anual en torno a los 730 mm, con máximos de 1325 mm y zonas como el Vinalopó-Alacantí donde las precipitaciones son mucho más escasas, con valores medios anuales de 343 mm y mínimos de 190 mm.

La distribución espacial de las precipitaciones muestra la clara influencia del relieve. Las zonas de máxima pluviosidad son las del interior septentrional de la provincia de Castellón y las Sierras Béticas, en especial su fachada oriental. Los máximos registros se dan donde se aúna el efecto de la altitud y la cercanía al mar del relieve, expuesto a los flujos del

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

mar Mediterráneo. También el relieve explica la distribución de las zonas con menor precipitación: la franja meridional seca es debida al efecto pantalla de las Sierras Béticas, el valle de Ayora-Cofrentes, la cubeta de Casinos y sectores de la plana de Utiel-Requena, al ser lugares casi cerrados por montañas.

En el siguiente mapa, se muestra la distribución espacial de los valores medios anuales totales de precipitación.

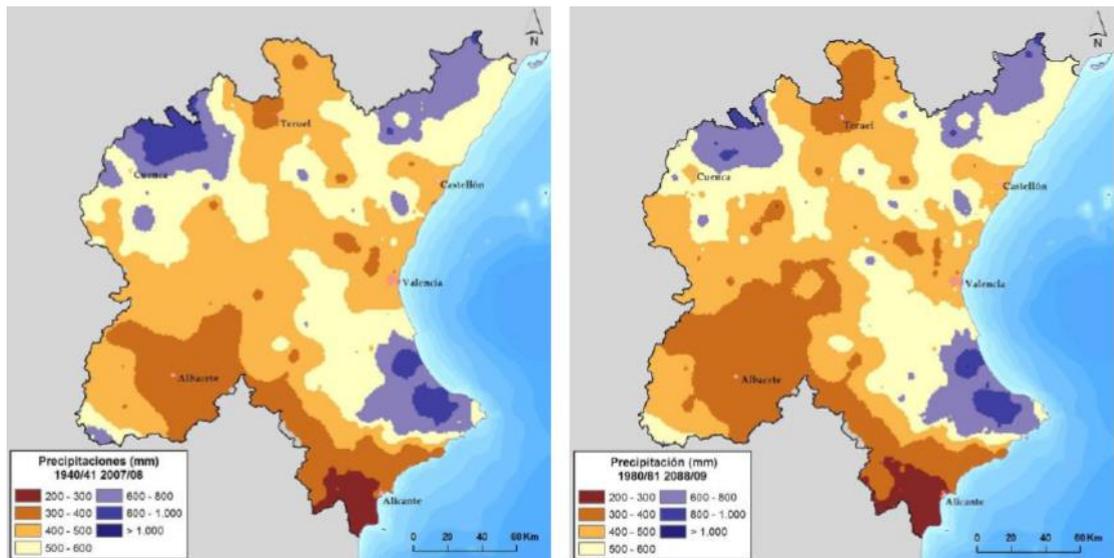


Figura 18: Distribución espacial de la precipitación total anual (mm/año) en la DHJ para las series 1940/41–2008/08 y 1980/81–2008/09. (PHJ, julio 2014)

Temperatura

Al igual que ocurre con el régimen pluviométrico, el térmico está también muy influenciado por la altitud, continentalidad y latitud, siendo estos dos últimos efectos preponderantes tan solo en el área del interior, donde se presenta un claro gradiente norte-sur siguiendo la dirección de los valles de los ríos principales.

En la zona interior de la demarcación, predomina el clima continental con inviernos fríos y largos, y veranos secos y calurosos. Es en la cabecera del Cabriel y del Júcar donde se dan las temperaturas más bajas, si bien a la altura de Cuenca los valores son semejantes a los de la zona turolense.

La zona de la Mancha presenta una temperatura media de 14 °C. Las temperaturas en esta zona de la demarcación, de clima continental, oscilan entre los valores medios de 7°C

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

en invierno, con valores mínimos de 3°C y máximos de 11°C, y los valores medios de verano, en torno a los 22°C, con valores máximos de 26°C.

En la zona de la Comunidad Valenciana, donde predomina el clima mediterráneo, con inviernos cortos y suaves, y veranos largos y calurosos, la temperatura media anual es de unos 16°C, con valores mensuales mínimos en invierno de 6°C y máximos en verano de unos 26°C.

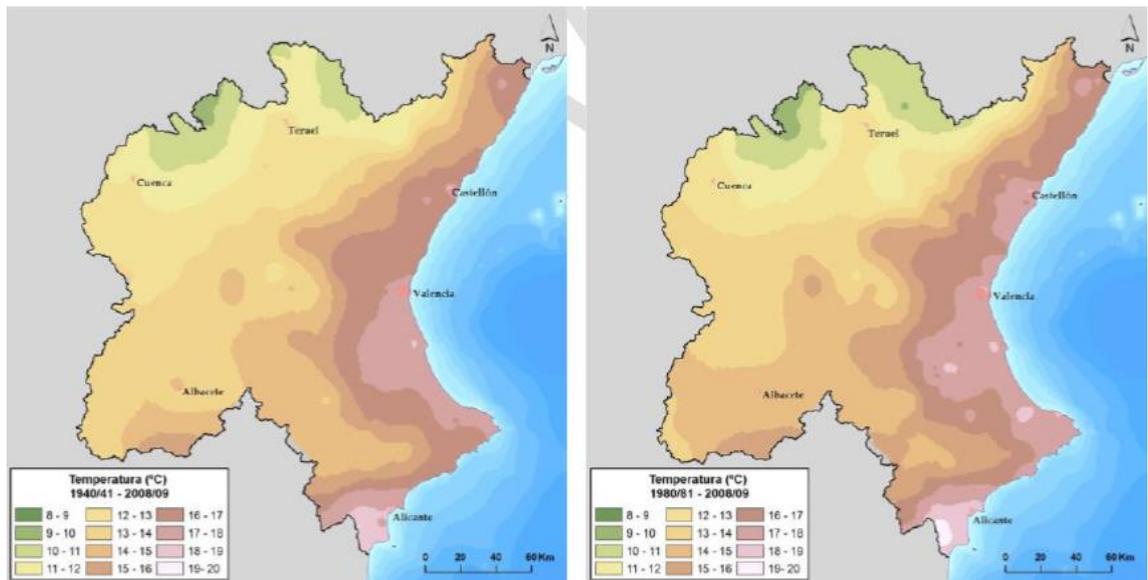


Figura 19: Distribución espacial de la temperatura media anual (°C) en la DHJ (períodos 1940/41-2008/09 y 1980/81-2008/09). (PHJ, julio 2014)

Evapotranspiración potencial (ETP)

El concepto de evapotranspiración potencial (ETP), introducido por Charles Thornthwaite en 1948, define esta variable como la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones y en el supuesto caso de no existir limitaciones en la disponibilidad de agua. Según esta definición, la magnitud de la ETP está regulada solamente por las condiciones meteorológicas o climáticas, según el caso, del momento o período para el cual se realiza la estimación.

Existe un claro gradiente norte-sur de la ETP, con valores que van desde los 600 mm/año en las zonas montañosas más septentrionales de la demarcación hasta los 1.100

mm/año, en la zona de la Mancha Oriental, al sur de Albacete, en la Marina Alta y en el entorno de la ciudad de Alicante.

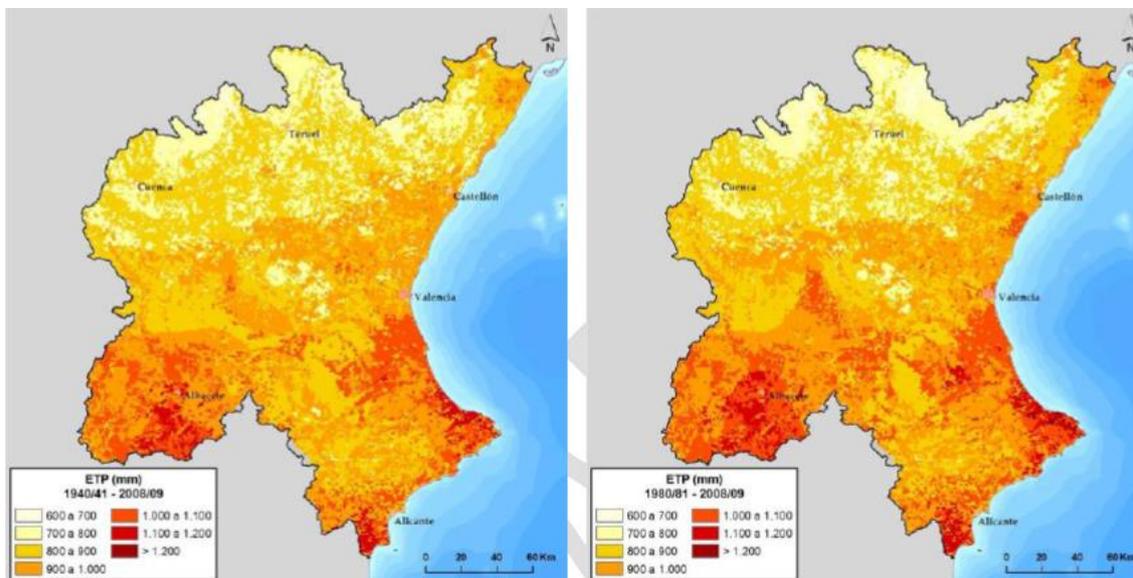


Figura 20: Distribución espacial de la evapotranspiración potencial total anual (mm/año) en la DHJ (Períodos 1940/41-2008/09 y 1980/81-2008/09). (PHJ, julio 2014)

Evapotranspiración real

La evapotranspiración incluye dos fenómenos físicos diferenciados: la evaporación y la transpiración. Por tanto, la evapotranspiración evalúa la cantidad de agua que pasa a la atmósfera en forma de vapor de agua a través de la evaporación y de la transpiración de la vegetación.

Es muy importante diferenciar entre evapotranspiración potencial (ETP) y evapotranspiración real (ETR). La ETP sería la evapotranspiración que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas. La ETR es la evapotranspiración real que se produce en las condiciones reales existentes, dependiendo, entre otras variables, de la precipitación, la temperatura, la humedad del suelo y del aire, del tipo de cobertura vegetal del suelo y del estado de desarrollo de la misma.

En la Demarcación Hidrográfica del Júcar, la ETR constituye un importante componente del ciclo y balance del agua: aproximadamente un 80% del total de agua recibida en forma de precipitación es devuelta a la atmósfera a través de este proceso, mientras que el 20% restante constituye la escorrentía superficial y subterránea. La ETR media anual está en torno a los 410 mm/año, con valores de la serie 1940/41- 2008/09 y de

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

400 mm/año si se toma serie corta. Los valores máximos de ETR se dan en los sistemas de explotación Cenia-Maestrazgo y Marina Alta, con valores de en torno a 450 mm/año. Los valores mínimos de ETR están en torno a los 300 mm/año y se dan en la zona Vinalopó-Alacantí, consecuencia de la falta de disponibilidad de agua debido a las bajas precipitaciones en la zona.

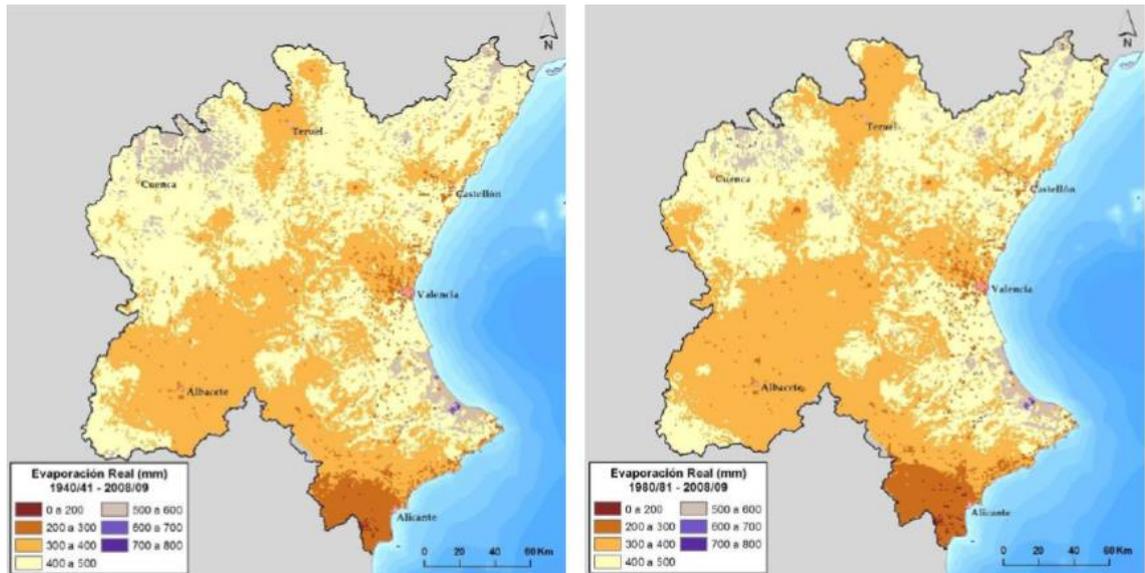


Figura 21: Distribución espacial de la evapotranspiración real total anual (mm/año). (Períodos 1940/41-2008/09 y 1980/81-2008/09). (PHJ, julio 2014)

Recarga al acuífero

La infiltración o recarga es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. En una primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie y posteriormente, superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos (escorrentía subterránea) e incluso a generar escorrentía superficial, cuando el suelo está saturado y se sobrepasa el umbral de escorrentía del suelo.

En la Demarcación Hidrográfica del Júcar la infiltración total anual media se estima en torno a 60 mm/año. En los siguientes mapas se muestra la distribución espacial de esta variable, que alcanza los valores máximos en los sistemas Serpis y Marina Alta.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

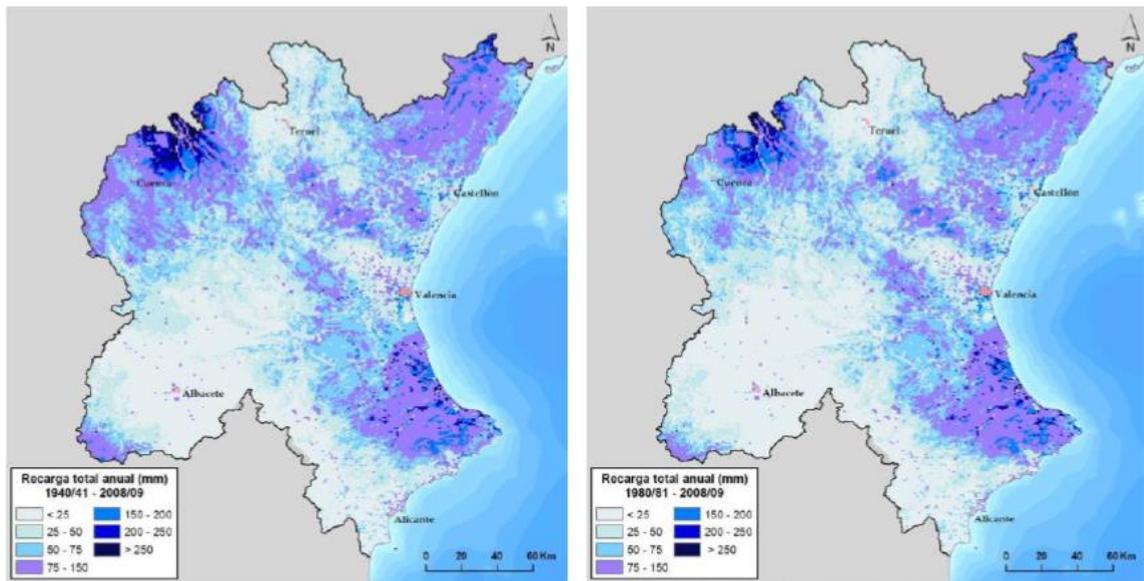


Figura 22: Distribución espacial de la infiltración/recarga total anual (mm/año) de la DHJ para el periodo completo 1940/41–2008/09 y para la serie reciente 1980/81–2008/09. (PHJ, julio 2014)

Escorrentía

La escorrentía es la lámina de agua que circula en una cuenca de drenaje, es decir la altura en milímetros de agua de lluvia escurrida y extendida dependiendo de la pendiente del terreno. En valores medios a largo plazo puede considerarse que es igual a la precipitación menos la evapotranspiración real.

En la Demarcación Hidrográfica del Júcar la escorrentía total interanual media para el período 1980/81-2008/09 es de unos 71 mm/año. Estacionalmente, los valores máximos de 7-8 mm/mes se producen en los meses de octubre a enero y los valores mínimos en torno a 3 mm/mes en los meses de julio y agosto. La distribución espacial de la escorrentía media anual se muestra en la Figura siguiente, donde se observa que en amplias zonas del territorio toma valores inferiores a los 10 mm.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

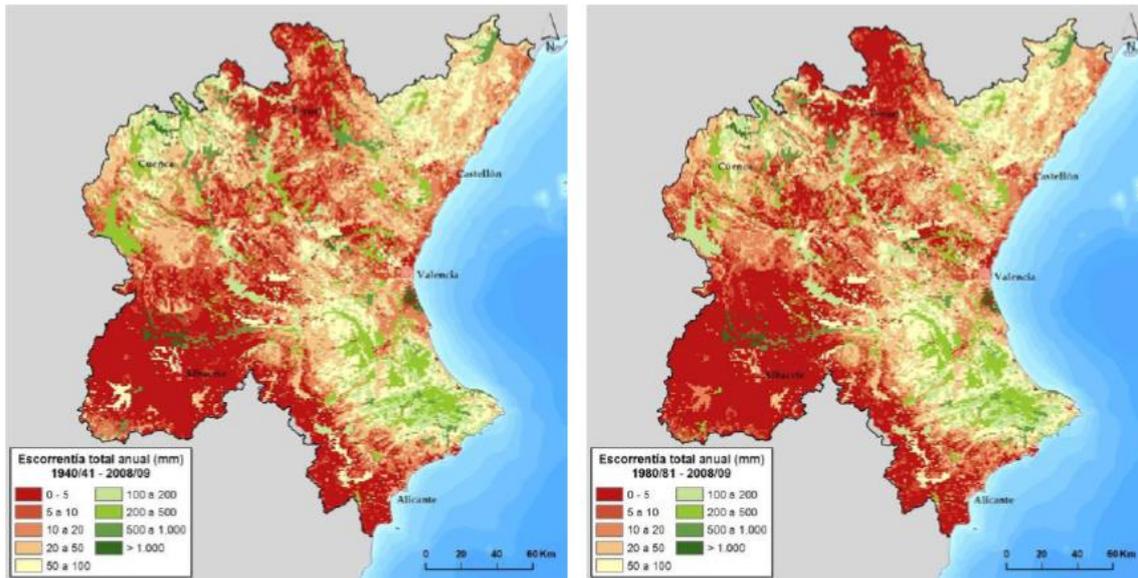


Figura 23: Distribución espacial de la escorrentía total anual (mm/año) en la DHJ (períodos 1940/41-2008/09 y 1980/81-2008/09). (PHJ, julio 2014)

Si en cada punto del territorio se calcula la suma de las escorrentías de todos los puntos situados aguas arriba, se obtiene el mapa de aportaciones acumuladas en cada punto de la red fluvial (Figura 35).

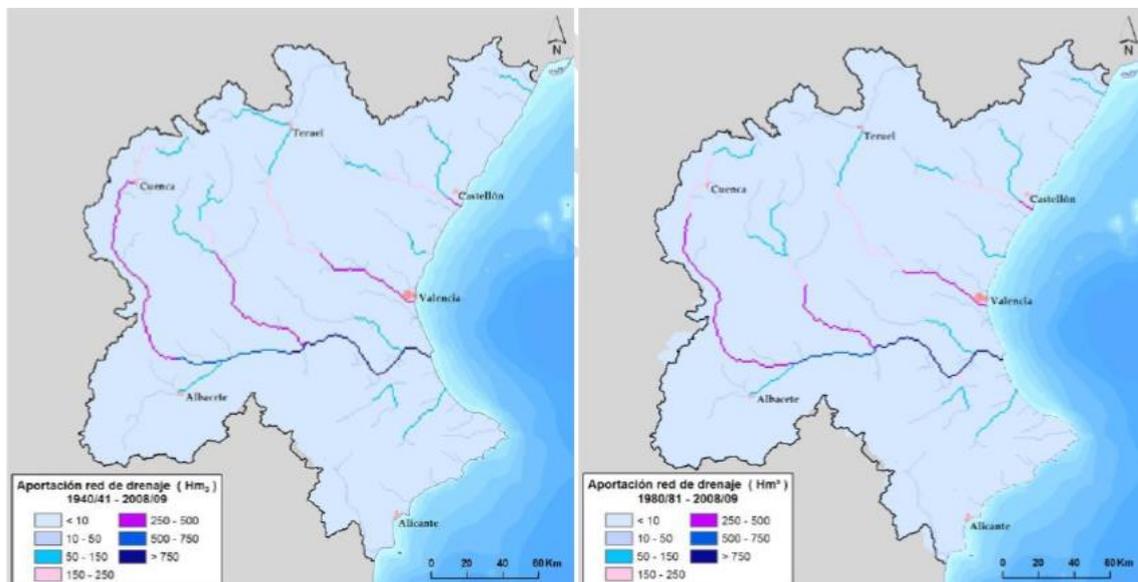


Figura 24: Acumulación a la red fluvial principal en la DHJ para el periodo completo 1940/41-2008/09 y para la serie reciente 1980/81-2008/09. (PHJ, julio 2014)

Con todo esto, la aportación total de la red fluvial, para los 9 sistemas de explotación, es de unos 3.280 hm³/año para el periodo 1940/41- 2008/09 y de unos 3.060 hm³/año para la serie corta del periodo 1980/81 – 2008/09.

4.1.5. CAUDALES ECOLÓGICOS

El régimen de caudales ecológicos es aquel que permite mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, contribuyendo a alcanzar el buen estado o potencial ecológico.

Aunque la gran mayoría de los profesionales del agua en el mundo están de acuerdo en que los caudales ecológicos o flujos ambientales son un elemento esencial para lograr una gestión sostenible de los recursos hídricos, muchos de ellos están también preocupados porque la asignación de agua para propósitos ambientales aumente los conflictos relacionados con el agua (Gupta, 2008). Además, en el caso de España los caudales ecológicos, según la Ley de Aguas, son una restricción a los usos del agua y no una demanda ambiental, lo que les confiere un papel todavía más condicionante en la planificación y gestión de los recursos hídricos.

- **DETERMINACIÓN DE CAUDALES MÍNIMOS EN RÍOS**

Los caudales mínimos del régimen de caudales ecológicos se han determinado mediante la aplicación de métodos hidrológicos y de modelación del hábitat de acuerdo con lo indicado en la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) y según el esquema metodológico que se muestra en la Figura adjunta.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

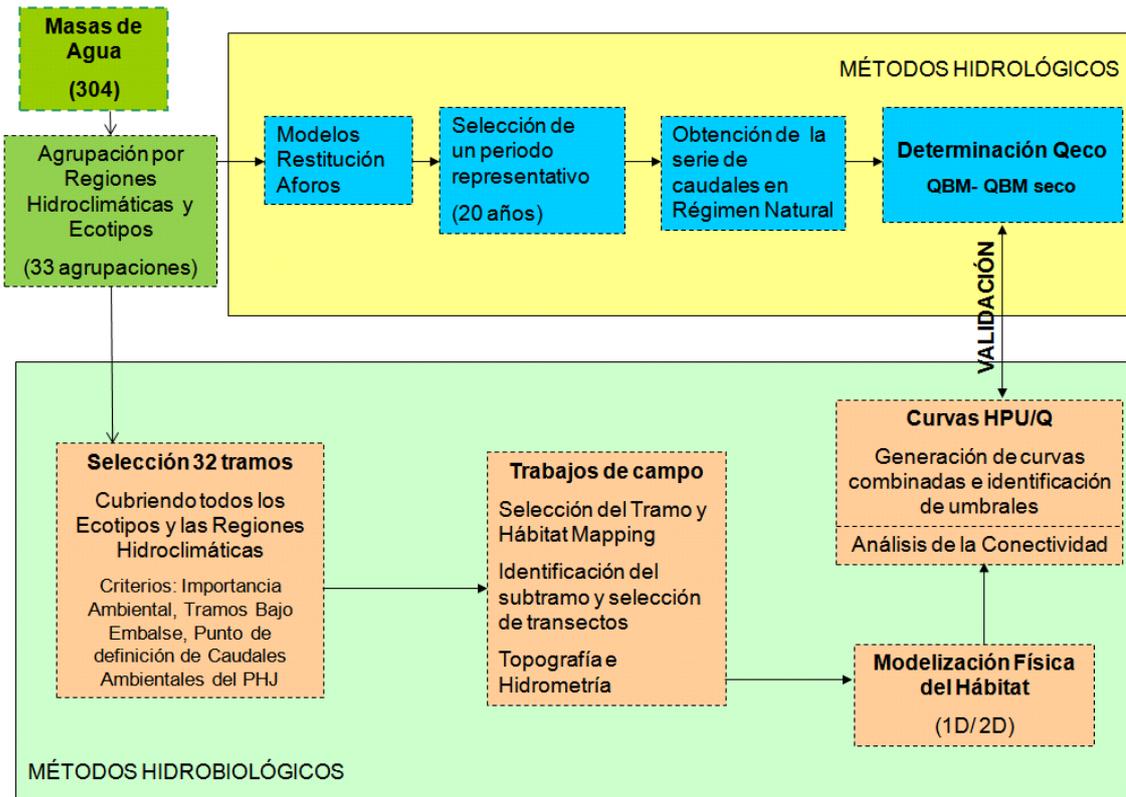


Figura 25: Esquema de las metodologías empleadas para la determinación del régimen de caudales mínimos. (PHJ, julio 2014)

La modelación de la idoneidad del hábitat se ha basado en la simulación hidráulica acoplada al uso de curvas de preferencia del hábitat físico para la especie o especies objetivo, obteniéndose curvas que relacionan el hábitat potencial útil con el caudal en los tramos seleccionados. En la Figura adjunta se muestra un esquema con la metodología utilizada.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

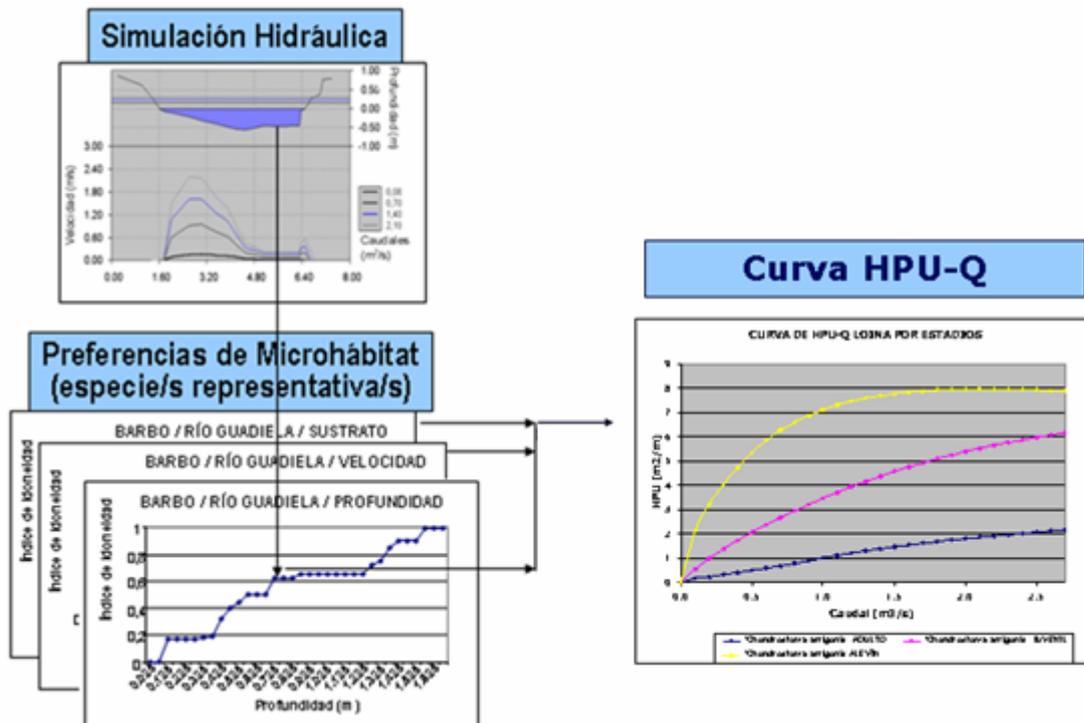


Figura 26: Esquema de la metodología empleada para la determinación de las curvas de hábitat. (PHJ, julio 2014)

La simulación del hábitat se ha realizado en 32 masas de agua, número que se ha considerado suficiente y que supera el mínimo del 10% del número total de masas de agua de la categoría río recomendado por la IPH. Estos tramos se han seleccionado dando prioridad a las masas de agua con mayor importancia ambiental o que estén situadas aguas abajo de grandes presas o derivaciones importantes y que puedan condicionar las asignaciones y reservas de recursos del plan hidrológico. La longitud de los tramos seleccionados se ha establecido de forma que incluyese una representación adecuada de la variabilidad física y ecológica del río.

A partir de las curvas de hábitat, para cada especie se ha generado una curva combinada para facilitar la toma de decisiones y la concertación sobre un único elemento, donde se ha reflejado el régimen propuesto correspondiente al estadio más restrictivo o más sensible.

Los caudales mínimos propuestos se han determinado, de acuerdo con la IPH, aplicando los siguientes criterios:

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

- a) Considerar el caudal correspondiente a un umbral del hábitat potencial útil comprendido en el rango 50-80% del hábitat potencial útil máximo, excepto en tramos que hayan sido calificados de muy alterados hidrológicamente, donde el rango podrá estar comprendido entre el 30% y el 80%.
- b) Considerar el caudal correspondiente a un cambio significativo de pendiente en la curva de hábitat potencial útil-caudal.

▪ DETERMINACIÓN DE REQUERIMIENTOS AMBIENTALES EN ZONAS HÚMEDAS

En el artículo 17 del vigente Plan de Cuenca de la Demarcación Hidrográfica del Júcar se determinan los requerimientos hídricos de los lagos y zonas húmedas de acuerdo con el artículo 18 del Reglamento de Planificación Hidrológica (RPH), en el que se establece que esta asignación debe incluirse en el régimen de caudales ecológicos de los Planes Hidrológicos de Cuenca.

Aunque la IPH establece un procedimiento para la determinación de requerimientos hídricos de zonas húmedas, una lectura detallada del mismo y su comparación con el procedimiento establecido para el caso de los ríos ponen de relieve que el grado actual del conocimiento en la determinación de las necesidades hídricas de las zonas húmedas es bastante inferior al de los ríos.

Los requerimientos hídricos de las masas de agua superficiales clasificadas como lagos y zonas húmedas en la demarcación se muestran en la siguiente tabla. Estos requerimientos hídricos son únicamente de origen subterráneo en todos los humedales, a excepción del caso de L'Albufera, y se han tenido en cuenta para estimar el recurso disponible de las masas de agua subterránea afectadas.

Esta estimación es una primera aproximación al problema de determinación de necesidades hídricas de las zonas húmedas de la demarcación.

Humedal	Masa de agua subterránea	Volumen subterráneo (hm ³)	Volumen subterráneo TOTAL (hm ³)
Prat de Cabanes	Maestrazgo Oriental	0,5	5,3
	Plana de Oropesa-Torreblanca	4,8	
Marjal d'Almenara	Plana de Castellón	0,6	14,3
	Plana de Sagunto	0,8	

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Humedal	Masa de agua subterránea	Volumen subterráneo (hm ³)	Volumen subterráneo TOTAL (hm ³)
	Medio Palancia	12,9	
Marjal dels Moros	Plana de Sagunto	2,2	2,2
Marjal de Rafalell i Vistabella	Plana de Valencia Norte	1,4	1,4
L'Albufera de Valencia	Plana de Valencia Norte	13,8	41,3
	Plana de Valencia Sur	27,5	
Laguna de Uña	Jurásico de Uña	0,5	0,5
Complejo lagunar de Fuentes	Cretácico de Cuenca Norte	0,2	0,2
Complejo lagunar de las Torcas de Cañada	Cretácico de Cuenca Norte	0,4	0,4
Complejo lagunar de Arcas/Ballesteros	Terciario de Alarcón	0,3	0,3
Laguna del Marquesado	Montes Universales	0,1	0,1
Laguna del Arquillo	Lezuza-El Jardín	0,2	0,2
Laguna Ojos de Villaverde	Lezuza-El Jardín	0,2	0,2
Marjal de La Safor	Plana de Jaraco	1,7	4,2
	Marchuquera-Falconera	2,5	
Marjal de Pego-Oliva	Almirante Mustalla	3,0	7,5
	Oliva-Pego	3,3	
	Alfaro-Segaria	1,2	
Els Bassars - Clot de Galvany	Bajo Vinalopó	0,2	0,2
TOTAL		78,3	78,3

Tabla 6: Requerimientos hídricos de origen subterráneo en las zonas húmedas de la DHJ. (PHJ, julio 2014)

En el caso de L'Albufera de Valencia, que constituye una de las zonas húmedas de mayor valor ecológico en España, se fijan unas necesidades hídricas mínimas de 167 Hm³/año, valor que corresponde con el percentil 95% de las aportaciones al lago desde el año hidrológico 1980-81. En este caso las necesidades mínimas establecidas no provienen únicamente del recurso subterráneo, pues como se puede observar en la anterior tabla el volumen subterráneo asignado es únicamente de 41,3 Hm³/año. En el vigente Plan Hidrológico se establece que el Organismo de cuenca realizará un control y seguimiento de los aportes a las zonas húmedas de L'Albufera, con el objetivo de garantizar el cumplimiento

de los volúmenes anuales requeridos. Este control y seguimiento tendrá como referencia la información proporcionada por la red de medida específica que controla el nivel en el lago y las salidas al mar a través de las golas y permite realizar los correspondientes balances. Además también puntualiza que en caso de que del seguimiento realizado se infiera que es probable que en un año concreto no se satisfagan los volúmenes anuales requeridos, se ejecutaran las actuaciones que permitan atender las necesidades hídricas del Lago de L'Albufera, requiriéndose un control y seguimiento de los efectos de esas actuaciones sobre el mismo.

Para la determinación de los requerimientos hídricos de los lagos y zonas húmedas se han tenido en cuenta los siguientes criterios, recogidos en el Anejo 5 del Plan de Cuenca:

- a) El régimen de aportes hídricos deberá contribuir a conseguir los objetivos ambientales.
- b) Si son dependientes de las aguas subterráneas, se deberá mantener un régimen de necesidades hídricas relacionado con los niveles piezométricos, de tal forma que las alteraciones debidas a la actividad humana no tengan como consecuencia:
 - Impedir alcanzar los objetivos medioambientales especificados para las aguas superficiales asociadas.
 - Cualquier perjuicio significativo a los ecosistemas terrestres asociados que dependan directamente de la masa de agua subterránea.
- c) Si están registrados como zonas protegidas, el régimen de aportes hídricos será tal que no impida el cumplimiento de las normas y objetivos en virtud del cual haya sido establecida la zona protegida.

En caso de sequías prolongadas, en las zonas incluidas en la red Natura 2000 o en la lista de humedales de importancia internacional de acuerdo con el Convenio de Ramsar, se considerará prioritario el mantenimiento del régimen de caudales ecológicos, aunque se aplicará la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones, según lo establecido por la normativa vigente.

4.2. Descripción de los humedales objeto de estudio

Aunque existe una amplia bibliografía en cuanto a estudios limnológicos, biológicos y de flora y fauna presente en los humedales, cabe mencionar que el conocimiento que se tiene del funcionamiento hidrológico de los ecosistemas lagos españoles es escaso, muy inferior al que se tiene de los ríos.

La información de partida de la que se dispone para caracterizar los humedales de la DHJ son unas fichas realizadas por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente para cada masa de agua tipo lago, que forman parte del estudio “Consultoría y asistencia para la realización de las tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos y las de las necesidades ecológicas de agua de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de la demarcación hidrográfica del Ebro, y de las demarcaciones hidrográficas del Segura y del Júcar” (MAGRAMA, 2010) y un estudio realizado por el IGME titulado “Estudio de los humedales y caracterización de la relación hidrogeológica existente entre los humedales y las masas de agua subterránea en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Júcar” IGME (2007).

En base a la información contenida en las citadas fichas y la obtenida de otros estudios llevados a cabo por diferentes administraciones e investigadores, se realiza una caracterización de cada uno de los cuatro humedales a analizar. En esta caracterización se realiza una descripción de cada humedal, se señalan sus figuras de protección legal, se recoge una descripción del sistema hídrico y por último se muestran los balances hídricos históricos realizados y las referencias a requerimientos hídricos.

4.2.1. LAGUNA DE TALAYUELAS

La Laguna de Talayuelas se encuentra situada dentro del término municipal de Talayuelas, en el extremo oriental de la provincia de Cuenca y cuenta con una extensión aproximada de 30 hectáreas. En la siguiente imagen se puede observar su ubicación.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

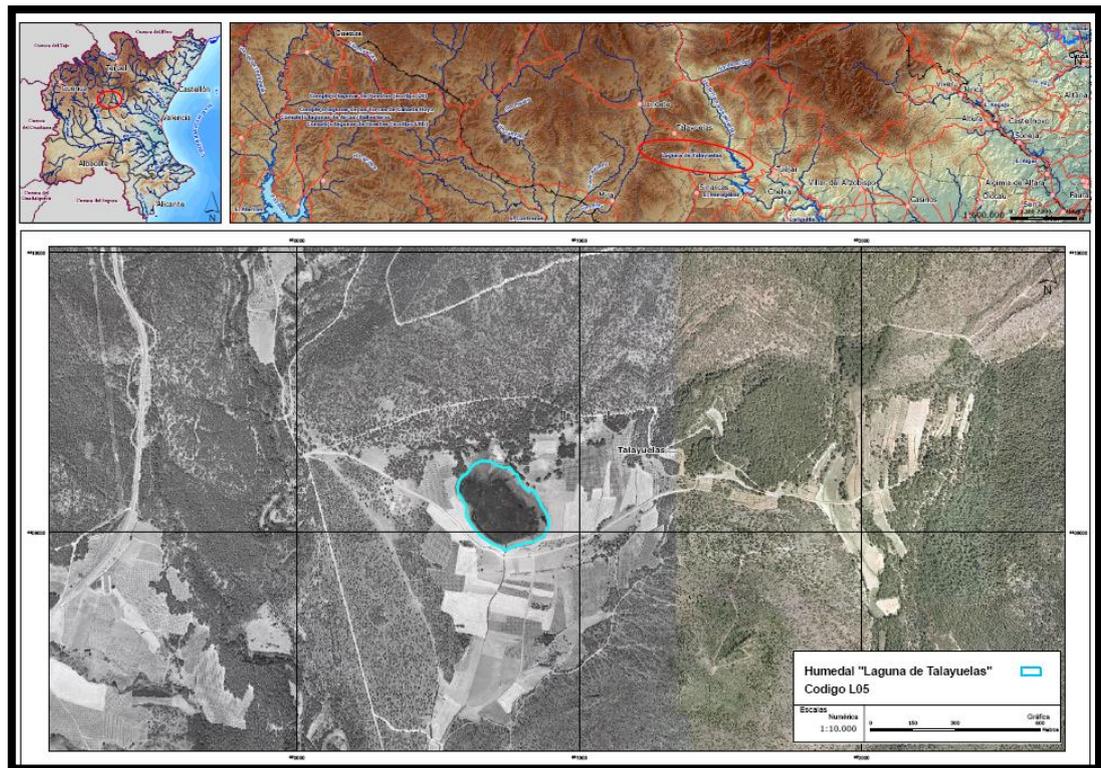


Figura 27: Plano de localización de la Laguna de Talayuelas (MAGRAMA, 2010)

La Laguna de Talayuelas es un humedal de fondo de valle rodeado por colinas, que debe su importancia a las particularidades de sus aguas y su paisaje, así como a su variada flora y a la fauna que alberga, constituyendo una auténtica isla de diversidad biológica. Se trata de un ecosistema bastante frágil, ya que tienen muy poca profundidad y se puede colmatar o desecar fácilmente.

Esta laguna de agua dulce es una excelente representación de humedal estacional, asentado sobre terrenos de arenas y arcillas. Alimentada fundamentalmente por las aguas subterráneas, su nivel oscila en función de las precipitaciones, siendo su recarga muy rápida y pudiendo llegar a secarse por completo en años de sequía. Los ciclos de inundación–desección, provocados por las características propias del clima mediterráneo, lejos de representar un inconveniente, provocan un incremento del valor ecológico de estas lagunas, pues determinan la presencia de una comunidad vegetal característica, con predominio de plantas anfibas (Camacho, A. et al., 2008 & Cirujano, S. y Medina, L., 2002).

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Constituye un humedal endorreico de importancia, por sus particularidades hidroquímicas y geomorfológicas, así como por su fauna y flora. Durante la época de inundación, la laguna se recubre de una densa pradera de macrófitos con una estructura en tres estratos, el inferior constituido por *Chara sp.*, el intermedio dominado por ranunculos y espiga de agua (*Ranunculus peltatus subsp. peltatus*, *Ranunculus trichophyllus* y *Potamogeton gramineus*), y finalmente un estrato de vegetación emergente compuesto mayoritariamente de junco de laguna (*Scirpus lacustris*) que recubre toda la superficie de la laguna. La dinámica productiva de los macrófitos determina totalmente la dominancia de los procesos de fotosíntesis y respiración en la laguna. Es necesaria la inundación anual para conservar la pradera macrófitos, este hecho se produce normalmente de forma habitual.

A continuación se muestra una ortofoto del humedal en la que se delimita su contorno:



Figura 28: Ortofoto de la Laguna de Talayuelas (Ministerio de Fomento, PNOA)

Según el tipo de alimentación hídrica este humedal es una laguna “Interior en cuenca de sedimentación, mineralización, temporal”, situada sobre la masa de agua subterránea de Mira (080.134).

▪ **FIGURAS DE PROTECCIÓN:**

El área en el que se encuentra está catalogada como LIC de las Sierras de Talayuelas y Aliaguilla (ES4230002), además en 2003 la laguna fue declarada Microrreserva (DOCM nº 22, de 21 de febrero de 2003. Decreto 17/2003, de 4 de febrero de 2003, por el que se aprueba el PORN y se declara la Microrreserva de la Laguna de Talayuelas), ocupando un espacio de 29,66 Ha.

▪ **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HÍDRICO:**

La Laguna de Talayuelas se encuentra a una altitud de 990 m.s.n.m. y los suelos hídricos ocupan una superficie aproximada de 6 Ha, se estima una profundidad máxima de 1,8 metros.

La laguna está alimentada fundamentalmente por aguas de escorrentía, no existe ningún tipo de relación con el acuífero subyacente, el nivel de la lámina de agua oscila en función de las precipitaciones, siendo su recarga muy rápida.

El drenaje o vaciado del humedal es cerrado, se produce fundamentalmente por evaporación, dando balance negativo durante los meses de mayor aridez, ya que carece de canales de drenaje naturales, aunque existía uno artificial actualmente inhabilitado.

El hidroperiodo es permanente fluctuante, la superficie piezométrica se encuentra normalmente situada por encima del terreno.

El régimen hidrológico es natural. Este régimen depende únicamente de las precipitaciones y la evaporación, al no presentar interferencias antrópicas relevantes.

▪ **BALANCE HÍDRICO HISTÓRICO:**

No se han encontrado referencias al respecto

▪ **REFERENCIAS A REQUERIMIENTOS HÍDRICOS:**

No se han encontrado referencias al respecto



Figura 29: Imagen de la Laguna de Talayuelas

4.2.2. LAGUNA DE MARQUESADO

La Reserva Natural de la Laguna del Marquesado ocupa una superficie de 373 hectáreas y se encuentra localizada en la provincia de Cuenca, en el término municipal de la Laguna del Marquesado. Se sitúa en la rama meridional del Sistema Ibérico, formando parte de la Serranía de Cuenca, al Sur de los Montes Universales. En la siguiente imagen se puede observar su ubicación:

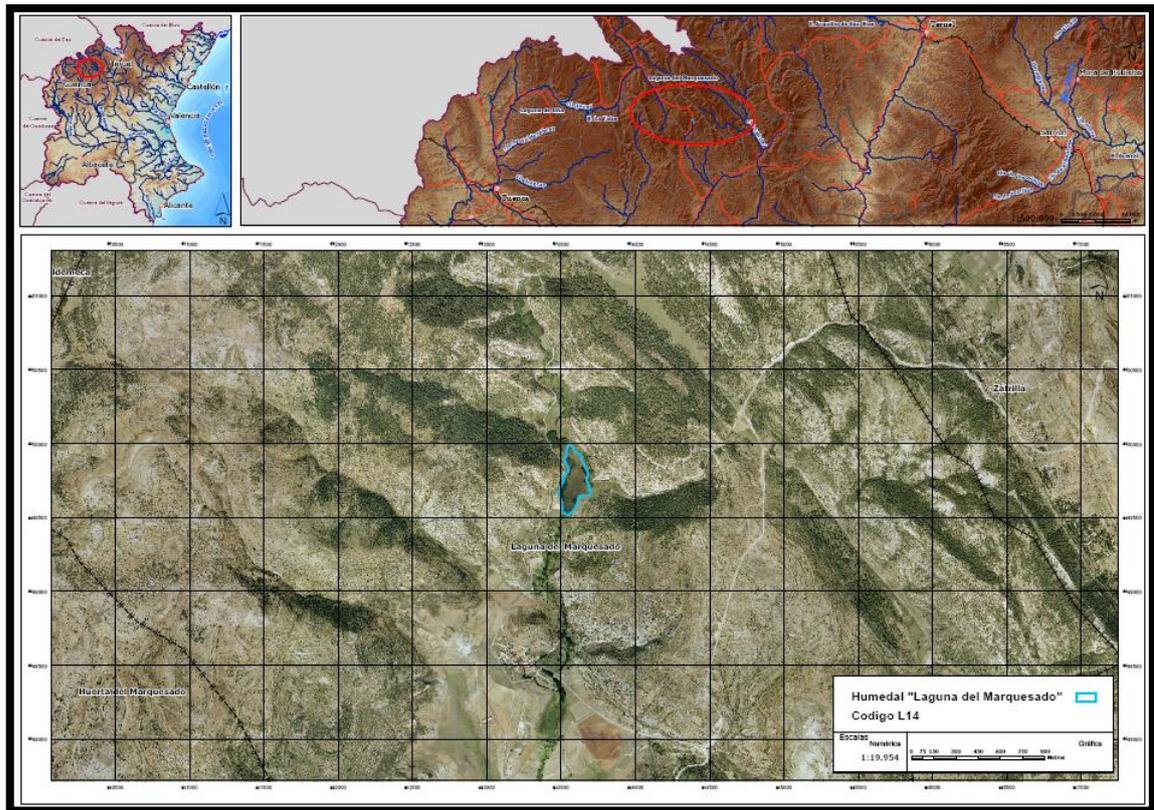


Figura 30: Plano de localización de la Laguna de Marquesado (MAGRAMA, 2010)

Se trata de un humedal natural de origen cárstico de pequeña dimensión, formado por el embalsamiento del Arroyo del Soto como consecuencia de la formación de una barrera tobáceca. Aguas abajo, esta barrera conforma unas pequeñas cascadas naturales, y está en parte ocupado por un antiguo molino y varios huertos. Existe en la zona uso ganadero y se practica la pesca, pero esto tiene un bajo nivel de presión sobre la laguna.

La laguna es oligomesotrófica, de aguas bien oxigenadas, con concentraciones de clorofila muy bajas (generalmente inferiores a 3 mg/m^3) aunque éstas se incrementan ligeramente en profundidad, y con concentraciones bajas de nitrógeno y fósforo disueltos en

sus aguas (Camacho *et al.*, 2007). La comunidad de macrófitos sumergidos de la Laguna del Marquesado es probablemente la más diversa de las lagunas conquenses (Cirujano y Medina, 2002; Camacho *et al.*, 2007). Se trata de un enclave de gran importancia por su flora acuática y palustre.

A continuación se muestra una ortofoto del humedal en la que se delimita su contorno:



Figura 31: Ortofoto de la Laguna de Marquesado (PNOA, Ministerio de Fomento)

En función del tipo de alimentación hídrica este humedal es una laguna “Cárstica, calcáreo, permanente, cierre travertínico”, natural o poco modificada, situada sobre la masa de agua subterránea, Montes Universales (080.115).

▪ **FIGURAS DE PROTECCIÓN:**

La Laguna del Marquesado se encuentra incluida en el Parque Natural de la Serranía de Cuenca (LIC: ES4230014 y ZEPA: ES000162), además el terreno ocupado por la laguna fue declarado reserva natural en 2004, (DOCM. nº 108, de 21 de junio de 2004, pág. 9835.

Decreto 222/2004, de 01-06-2004 por el que se aprueba el PORN y se declara la Reserva Natural de la Laguna del Marquesado).

▪ **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HÍDRICO:**

El origen de la laguna es cretácico por cierre travertínico. Se encuentra situada a 1330 m de altitud y los suelos hídricos ocupan una superficie de 5,8 Ha con una profundidad máxima estimada de 5,5 m.

La aportación es mixta, recibe aportaciones del arroyo del Soto, de precipitación directa y de escorrentía superficial. Está conectada con el freático aluvial. Recibe aportaciones de las aguas subterráneas procedentes de la carstificación de las calizas.

El drenaje o vaciado del humedal tiene lugar fundamentalmente por el río Laguna, además de las pérdidas por evaporación y una hipotética recarga hacia el acuífero.

El hidropериодо es permanente, la escasa fluctuación viene dada por la variación en el aporte del Arroyo del Soto, y se refiere fundamentalmente a la variación en el tiempo de renovación en función de dichos aportes, ya que el nivel de la laguna es muy estable y rebosa por el dique travertínico.

El régimen hidrológico es natural.

▪ **BALANCE HÍDRICO:**

No se han encontrado referencias al respecto.

▪ **REFERENCIAS A REQUERIMIENTOS HÍDRICOS:**

No se han encontrado referencias al respecto.



Figura 32: Imagen de la Laguna de Marquesado

4.2.3. MARJAL I ESTANYS D'ALMENARA

La Marjal de Almenara ocupa una superficie de 1488 hectáreas en los municipios de Almenara, Chilches, La Llosa y Moncófar, en la provincia de Castellón y en Benavites, Quartell y Sagunto en la provincia de Valencia. Originariamente ocupaba una zona más extensa en la que además de los municipios anteriormente reseñados también se incluían Burriana y Nules (Castellón) y Faura y Canet d'en Berenguer (Valencia). Se trata del segundo humedal en cuanto a dimensiones e interés naturalístico de la provincia de Castellón. Los límites naturales del mismo son: al Norte el río Belcaire, el río Palancia al Sur, al Oeste la Sierra de Espadán y al Este el mar Mediterráneo. En la siguiente imagen se puede observar su ubicación:

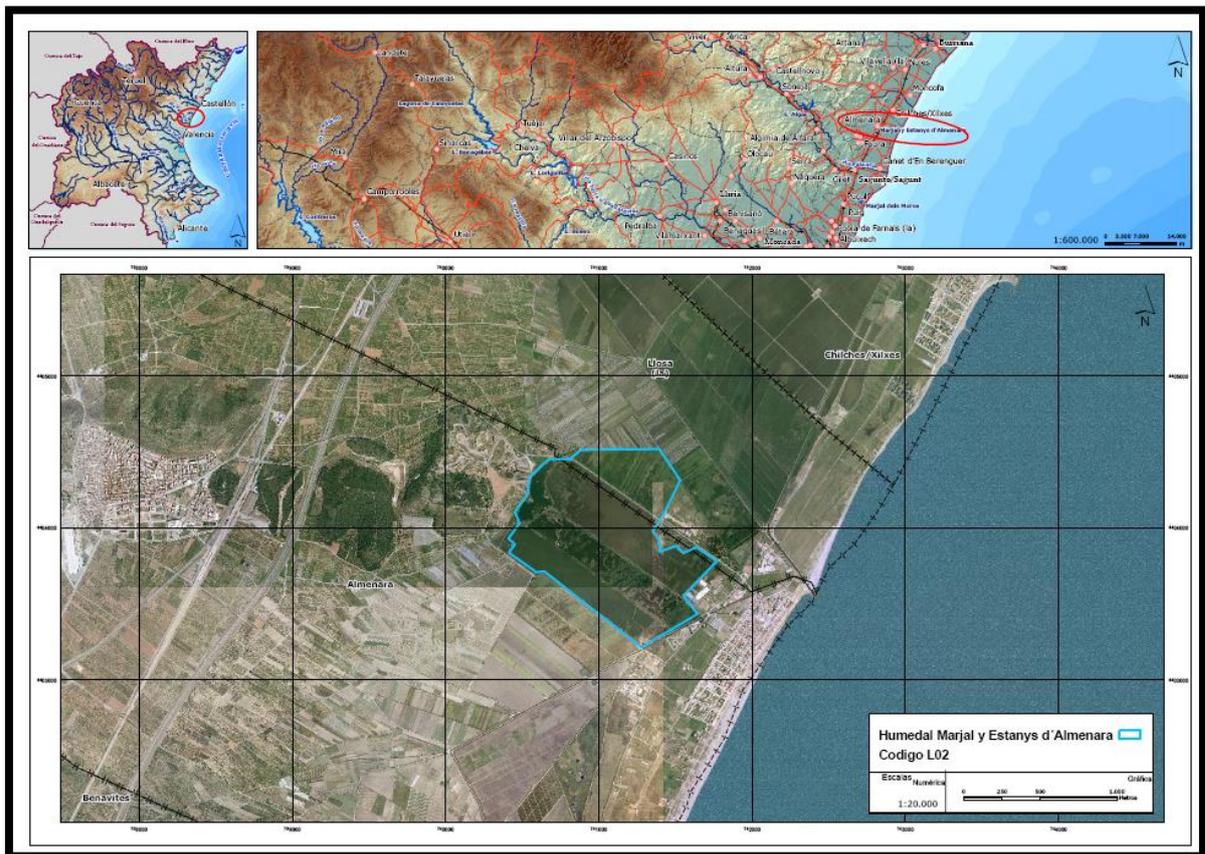


Figura 33: Plano de localización de la Marjal d'Almenara (MAGRAMA, 2010)

A continuación se muestra una ortofoto del humedal en la que se delimita su contorno:



Figura 34: Ortofoto de la Marjal d'Almenara (PNOA, Ministerio de Fomento)

En función del tipo de alimentación hídrica este humedal es una laguna litoral sin influencia marina, muy modificada o artificial, situada entre dos masas de agua subterránea (MAS), ocupando el límite norte de la Plana de Sagunto (080.128) y el límite sur de la Plana de Castellón (080.127), encima de los acuíferos del mismo nombre y que se encuentra relacionada con la MAS Medio Palancia (080.130) mediante los acuíferos del Salto del Caballo y el de Algar-Quart.

▪ **FIGURAS DE PROTECCIÓN:**

El Marjal de Almenara se encuentra incluido en los LICs de la Comunidad Valenciana, siendo la mayor parte del terreno ocupado por el marjal “suelo no urbanizable protegido”. La importancia de las comunidades presentes en Almenara queda manifiesta al encontrar en

este territorio las microrreservas de flora dels Estanys d'Almenara, de la Playa de Moncófar y, en proyecto, de Puerto Corinto o Reserva de Samaruc.

▪ **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HÍDRICO:**

El humedal se encuentra situado a nivel del mar y los suelos hídricos ocupan una superficie de 106 Ha.

La aportación se puede considerar mixta. Existen aportes subterráneos directos de las MAS sobre las que se asienta: Plana de Sagunto y Plana de Castellón, así como del acuífero Salto del Caballo, que mediante manantiales de borde da lugar a la conocida Balsa de Almenara. Además hay que considerar la precipitación caída directamente sobre su superficie y algún aporte puntual procedente de escorrentía superficial, de excedentes de regadíos, de canales de riego, etc.

El drenaje o vaciado del humedal es mixto. Se produce drenaje mediante canales que desembocan en la Gola de Casablanca, prácticamente la única salida superficial importante al mar, además se produce descarga subterránea al mar y evapotranspiración de la vegetación y lámina libre de agua.

El hidroperiodo es permanente fluctuante, la superficie piezométrica se encuentra normalmente situada por encima del terreno.

El régimen hidrológico es natural modificado, debido a que existe una regulación de la alimentación y del drenaje.

El funcionamiento hidráulico de este humedal tiene cierta complejidad. Por una parte están los encharcamientos del marjal propiamente dicho, y que dependen fundamentalmente del nivel piezométrico de los acuíferos detríticos sobre los que se asienta, Plana de Castellón (080.127.01) y Plana de Sagunto (080.128.01), y por otra está el aporte de agua más dulce que el acuífero mesozoico Salto del Caballo (080.0230.06) cede de forma directa mediante manantiales de borde a la conocida como Balsa de Almenara. Así mismo, el acuífero Salto de Caballo también transfiere lateralmente recurso hídricos subterráneos a las masas pliocuaternarias las cuales, dependiendo de la diferencia de cota piezométrica con la superficie del humedal, puede ceder agua a éste o tomarla e incorporarla a su flujo subterráneo hacia el mar. Finalmente, no se puede descartar la posibilidad de flujos verticales hacia la Balsa de Almenara procedentes del acuífero

mesozoico infrayacente al pliocuaternario sobre el que se dispone la zona húmeda (chj, 2001).

▪ **BALANCE HÍDRICO HISTÓRICO:**

A continuación se muestra el balance hídrico existente, estimado para el año 1981 por la Consejería de Agricultura y Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana, recogido en las fichas realizadas por el ministerio (MAGRAMA, 2010):

ENTRADAS (hm³/año)	
Agua de lluvia caída sobre su superficie.....	0,50
Aportes de agua subterránea procedente de los acuíferos detríticos infrayacentes.....	0,50
Aportes a las Balsas de Almenara procedentes del acuífero Salto del Caballo (manantiales de borde).....	3,00
Sobrantes de regadío de la zona.....	1,00
Escorrentía superficial, difusa y vertidos.....	14,00
TOTAL ENTRADAS.....	19,00
SALIDAS (hm³/año)	
Evapotranspiración.....	5,00
Salidas superficiales a mar (Gola Casablanca principalmente).....	4,00
Bombeos.....	9,00
Transferencias subterráneas a mar.....	1,00
TOTAL SALIDAS.....	19,00

Figura 35: Balance hídrico histórico de la Marjal d'Almenara (MAGRAMA, 2010)

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

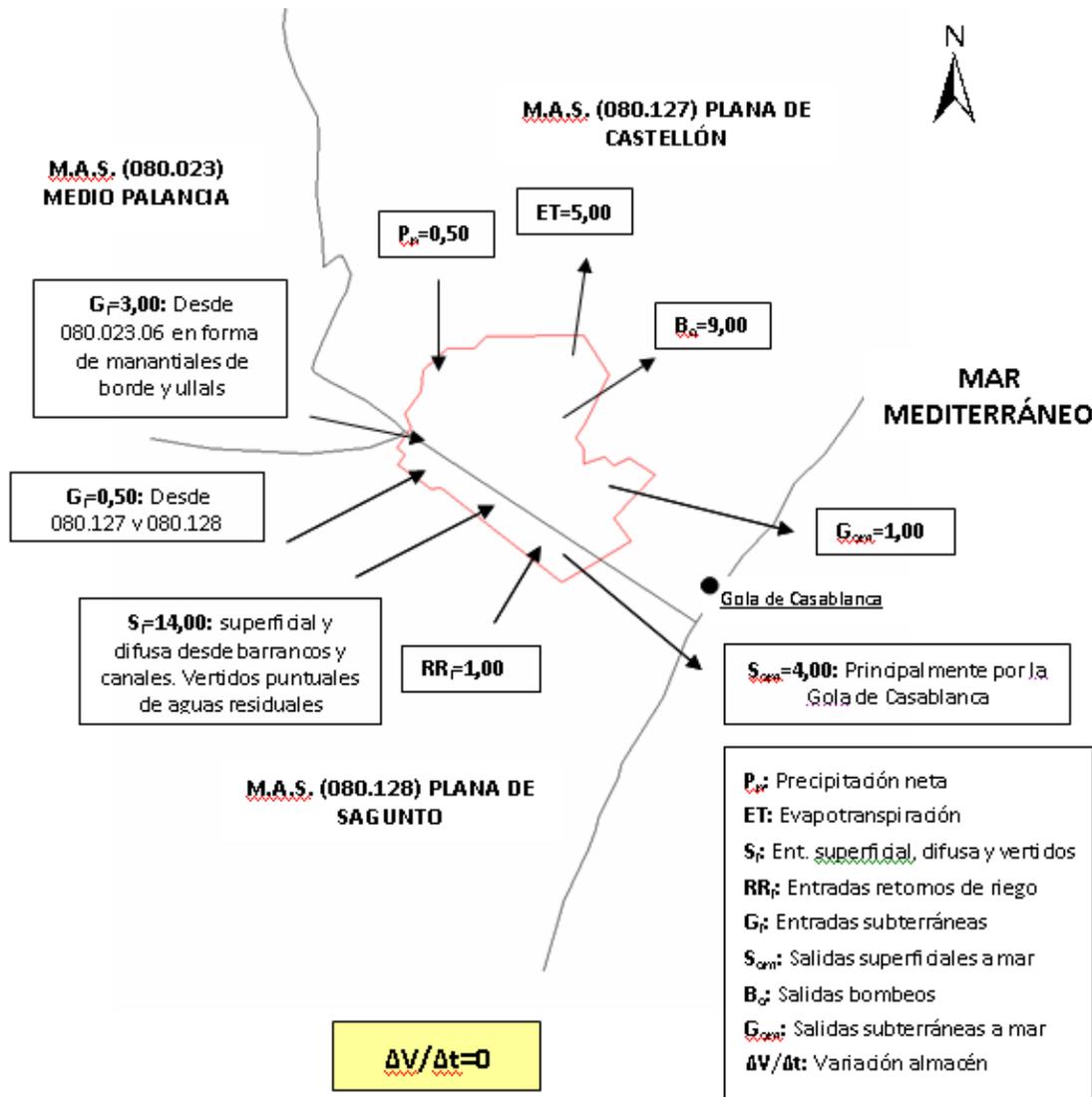


Figura 36: Esquema de funcionamiento hidráulico de la Marjal d'Almenara (MAGRAMA, 2010)

▪ **REFERENCIAS A REQUERIMIENTOS HÍDRICOS:**

En el Catálogo de Zonas Húmedas de la Comunidad Valenciana (Consejería de Agricultura y Medio Ambiente, 1995) se estimaba que se debía garantizar unos aportes hídricos medios del orden de los 15 hm³/año.

**DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS
CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN
HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.**



Figura 37: Imagen de La Marjal d'Almenara (Google Earth)

4.2.4. MARJAL DE PEGO-OLIVA

La Marjal de Pego-Oliva es una antigua albufera que debido al avanzado proceso de colmatación, constituye una extensión uniforme de carrizales con numerosas balsas de agua limpia. Una red de antiguas acequias y canales atraviesa la zona, destacando la presencia de dos ríos que flanquean el marjal: el río Bullent por la parte norte y el río Racons, por el sur.

El Parque Natural del Marjal de Pego-Oliva, situado entre las provincias de Valencia y Alicante, tiene una extensión de 1.255 hectáreas. Se encuentra rodeado por las sierras de Mostalla, Migdia y Segària que forman una herradura abierta al Mediterráneo, en cuyo centro se encuentra el marjal. En la siguiente imagen se puede observar su ubicación:

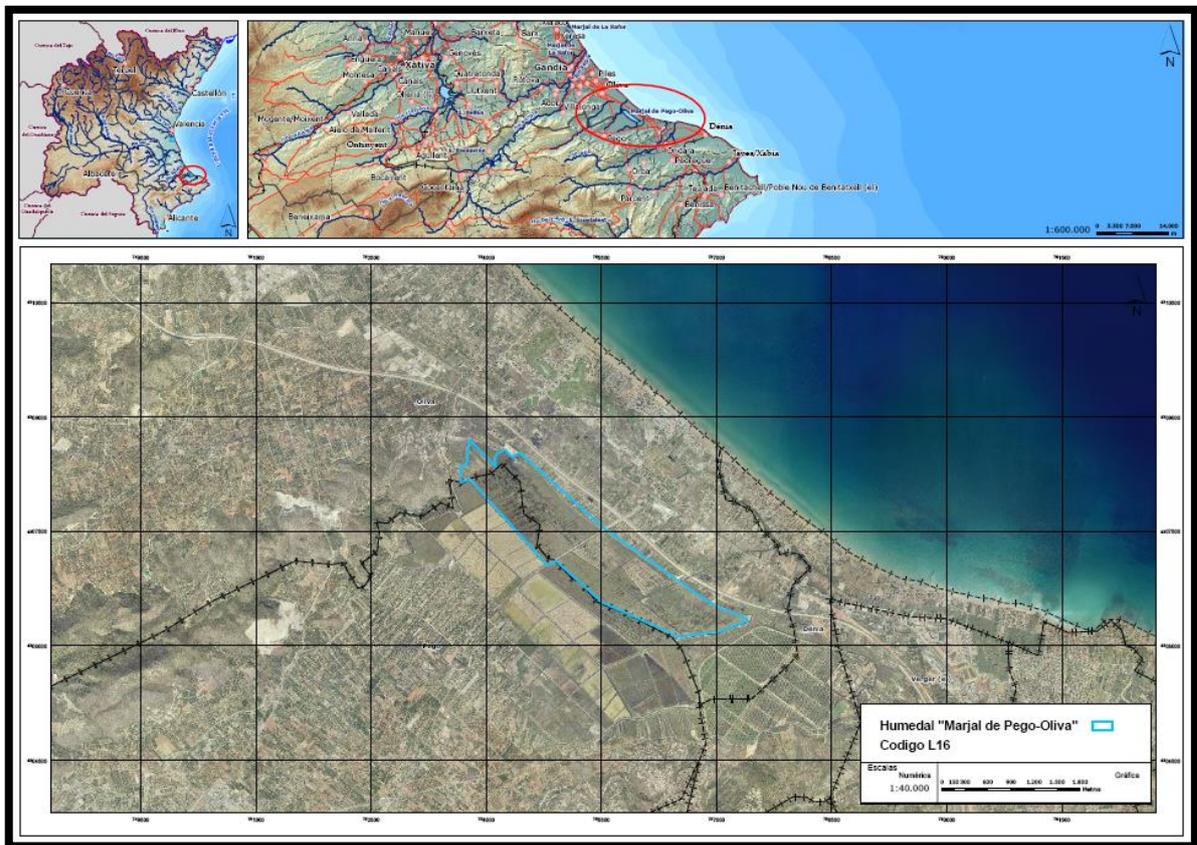


Figura 38: Plano de localización de la Marjal de Pego-Oliva (MAGRAMA, 2010)

A continuación se muestra una ortofoto del humedal en la que se delimita su contorno:

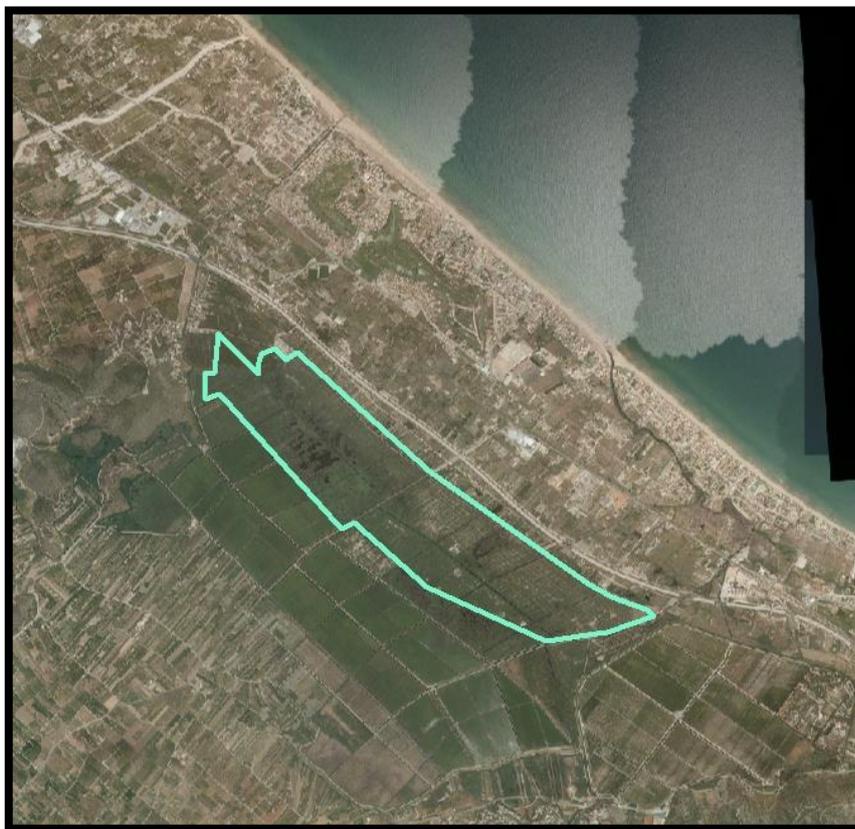


Figura 39: Ortofoto de la Marjal de Pego-Oliva (PNOA, Ministerio de Fomento)

En función del tipo de alimentación hídrica este humedal es una “laguna litoral sin influencia marina”, muy modificada o artificial, situada sobre la masa de agua subterránea de la plana de Oliva-Pego (080.163), encima del acuífero del mismo nombre.

Se trata de un sistema palustre instalado en la zona más deprimida del conjunto, con poca pendiente y a nivel del mar. El ecosistema es de gran productividad, acoge y sirve de hábitat a una fauna rica y variada, con algunos endemismos, y a una vegetación muy bien conservada. Es una zona de almacenamiento y descarga de aguas subterráneas, atenuando así los efectos de las inundaciones y regulando la calidad del agua. También es vital para los movimientos migratorios de las aves, por lo que el conjunto tiene unos importantes valores naturales, científicos, paisajísticos, agrícolas, culturales, educativos y recreativos.

▪ **FIGURAS DE PROTECCIÓN:**

Por estas razones, las Cortes Valencianas, para salvaguardar la riqueza natural y compatibilizarla con el aprovechamiento económico y actividades recreativas, decidieron declarar la zona Parque Natural, mediante la Ley 11/94, de 27 de diciembre. Además, dada su gran relevancia, también está incluido este marjal en el Convenio Ramsar (1971) de protección mundial de zonas húmedas, es zona de especial protección de aves (zona ZEPA) y también se encuentra dentro de la Red Natura 2000 de la Comunidad Económica Europea.

▪ **DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HÍDRICO:**

El marjal se encuentra situado entre cero y un metro por encima del nivel del mar y los suelos hídricos ocupan una superficie de 279 Ha.

La aportación es probablemente hipogénica estricta además de puntual a partir de manantiales y difusa a través de cauces. Además se debe tener en cuenta la precipitación directa y la escorrentía superficial.

El drenaje o vaciado del humedal se considera mixto, existe un drenaje abierto, se produce descarga subterránea al mar y evapotranspiración, además de regulación de los flujos superficiales.

La salida superficial se produce mediante tres compuertas, las compuertas del Río Bullent, del Vall de la Llosa y del Barranquet. Estas compuertas están muy reguladas para evitar los cambios bruscos de nivel hídrico.

El hidroperiodo es permanente fluctuante, la superficie piezométrica normalmente está situada por encima del terreno o próxima a la superficie.

El régimen hidrológico es natural modificado. Se realiza regulación de la alimentación, regulación de la gola y drenaje artificial en canales de antiguo arrozal.

El marjal de Pegó-Oliva es una zona del acuífero detrítico de Pegó en el que la superficie piezométrica se ha situado, históricamente de forma permanente, por encima de su superficie topográfica. Esto ha producido su encharcamiento constante, hasta que de forma artificial para su saneamiento y posterior cultivo, se ha ejecutado poco a poco el sistema de drenaje actual.

Este encharcamiento y su disposición geomorfológica ha producido que en el área ocupada históricamente por el marjal, se hayan depositado unos sedimentos, característicos

de zonas palustres, procedentes de la escorrentía superficial que se depositan en un medio de aguas someras donde es claro el predominio de la decantación, por estar compuestos de materiales de pequeño calibre (arenas, limos y arcillas). Al mismo tiempo la abundancia de agua posibilita la existencia de una densa vegetación hidrófila, cuyos restos, al depositarse en un medio anaerobio, escaso en oxígeno, se encuentran mínimamente descompuestos dando lugar a la formación de turbas cuyo espesor es de unos 2 a 3 m.

▪ **BALANCE HÍDRICO HISTÓRICO:**

Se presenta a continuación el balance hídrico medio correspondiente a la zona del marjal donde se concentran la mayoría de los espejos o lagunas. El balance ha sido estimado para el año 2007 y proviene del estudio “Determinación de la relación entre zonas húmedas y acuíferos asociados mediante modelos de flujo y transporte. Aplicación a la gestión sostenible del acuífero Pegó-Dénia” (IGME, 2007).

ENTRADAS (hm³/año)	
Aportes del río Bullens: sobrantes de riego procedentes de derivaciones para riego de arrozales.....	2,90
Precipitación directa.....	2,80
Aportes de recursos subterráneos emergidos a través de ullales.....	1,50
TOTAL ENTRADAS.....	7,20
SALIDAS (hm³/año)	
Drenaje río Racons a través de los ríos Regalacho y Barranquet.....	3,80
Evapotranspiración.....	3,40
TOTAL SALIDAS.....	7,20

Figura 40: Balance hídrico histórico de la Marjal de Pegó-Oliva (IGME, 2007)

La siguiente imagen muestra el funcionamiento hidráulico del marjal y del acuífero de Pegó-Oliva sobre el que se ubica:

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

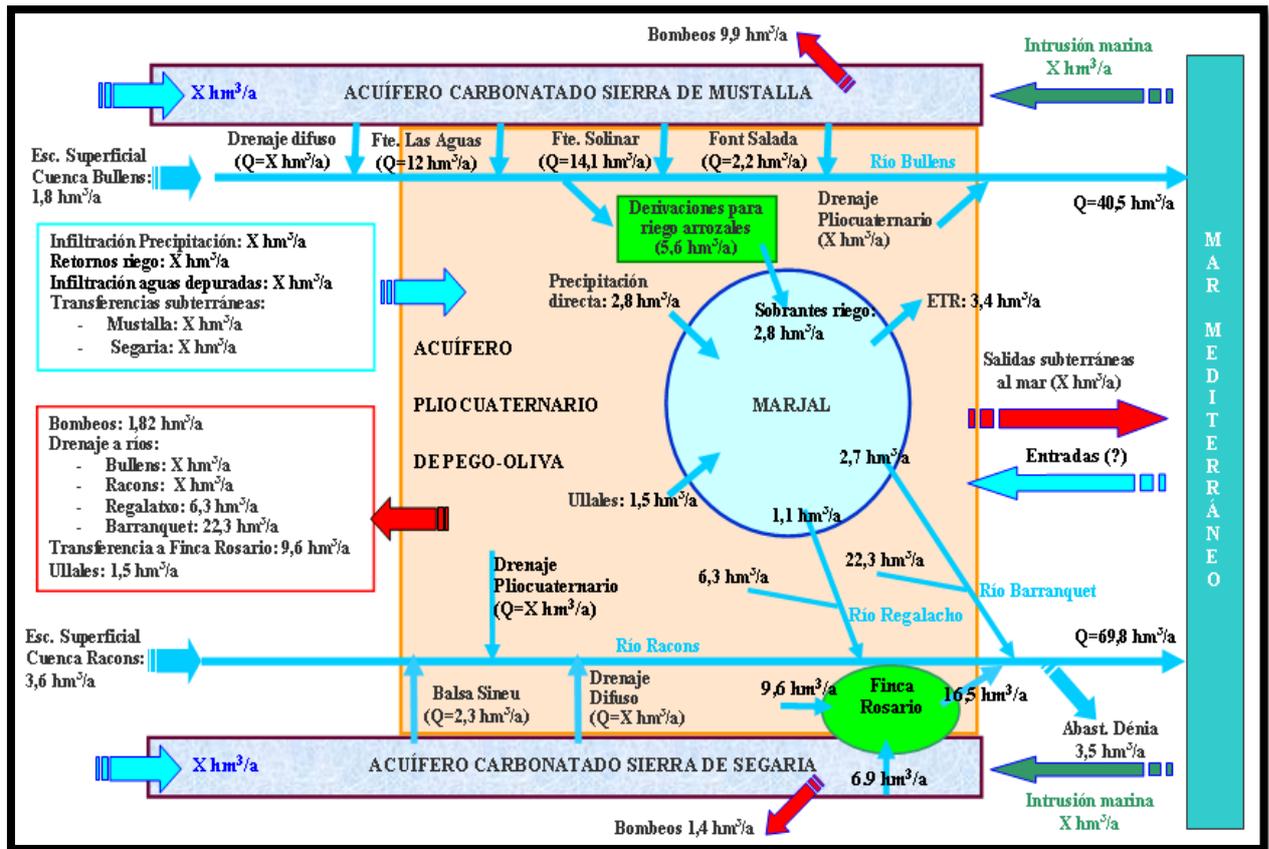


Figura 41: Esquema de funcionamiento hidráulico de la Marjal de Pego-Oliva (IGME, 2007)

▪ **REFERENCIAS A REQUERIMIENTOS HÍDRICOS:**

Según Barba y Rosell (2002) se estima que se deben garantizar unos aportes hídricos medios del orden de los 25 hm³/año para todo el entorno del humedal.

**DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS
CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN
HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.**

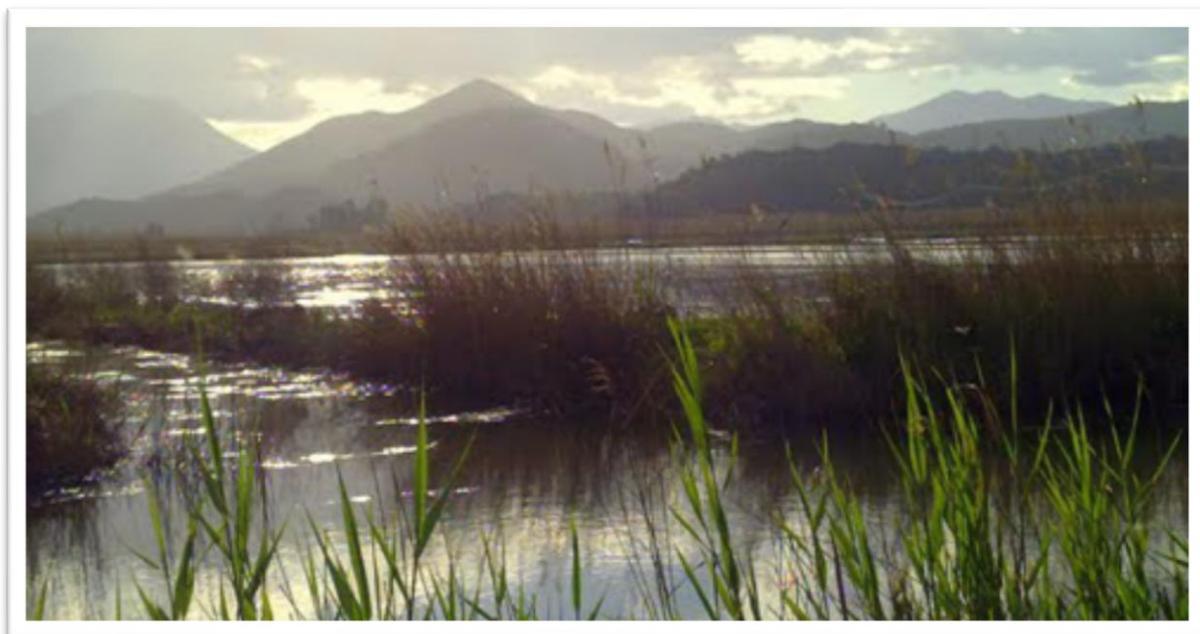


Figura 42: Imagen de la Marjal de Pego-Oliva (Google Earth)

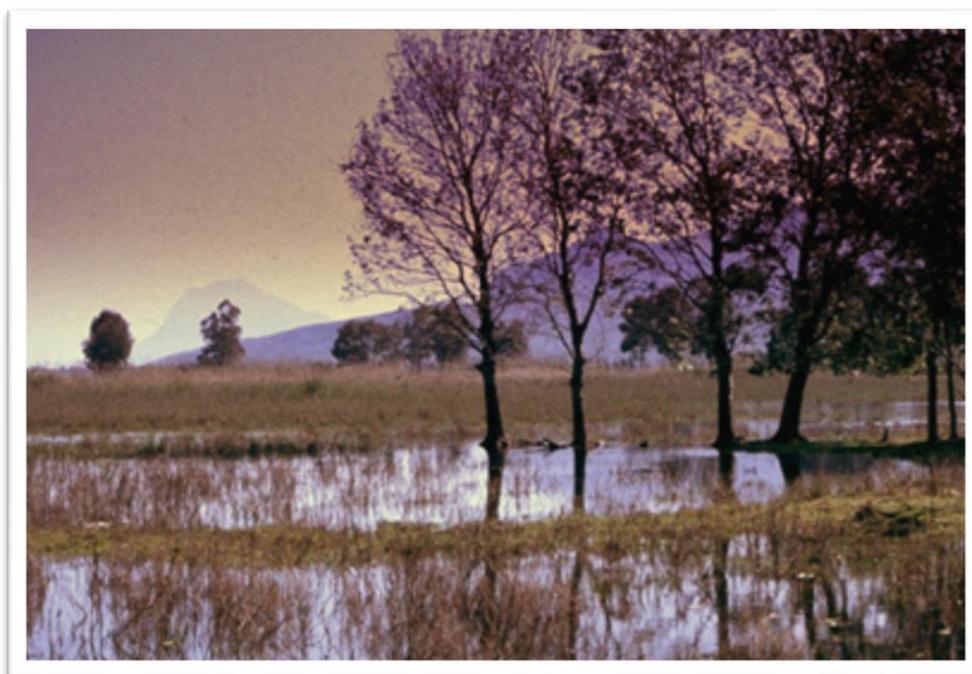


Figura 43: Imagen de la Marjal de Pego-Oliva (Google Earth)

5. METODOLOGÍA

Este capítulo está dedicado a describir la metodología que se propone para poder llegar a realizar una propuesta de requerimientos hídricos en lagos y zonas húmedas, en el presente apartado se va a exponer de forma detallada la forma de proceder.

5.1. Metodología general

Para realizar una propuesta de requerimientos hídricos se va a simular el comportamiento de los humedales de forma individualizada mediante un modelo matemático de balance hídrico, que a continuación será detallado.

Este modelo va a ser alimentado mediante unas series hidrológicas de aportaciones o entradas de agua al humedal y una batimetría de la cubeta que contiene las aguas, esta batimetría permite traducir datos de volumen de agua almacenado en nivel o altura de agua y en superficie inundada, y viceversa.

Para conseguir que el modelo sea capaz de reproducir la realidad ha de ser calibrado con datos reales u observados. He aquí uno de los principales problemas asociados a este tipo de modelaciones, que es la falta de una serie consistente de datos reales u observados que sea representativa del comportamiento del humedal. Debido a esta problemática se va a analizar de forma paralela la aplicación de técnicas de teledetección, con el fin de obtener series temporales de evolución de superficie inundada en humedales que permitan caracterizar los ecosistemas y calibrar los modelos de balance hídrico planteados.

Finalmente, se va a realizar una propuesta de requerimientos hídricos de cada zona húmeda estudiada en función de un análisis estadístico de las aportaciones, proponiendo unos volúmenes mínimos de entrada de agua al humedal que no comprometan los niveles de éste y aseguren su funcionalidad a largo plazo.

A continuación se muestra un esquema en el que se sintetiza la metodología propuesta:

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

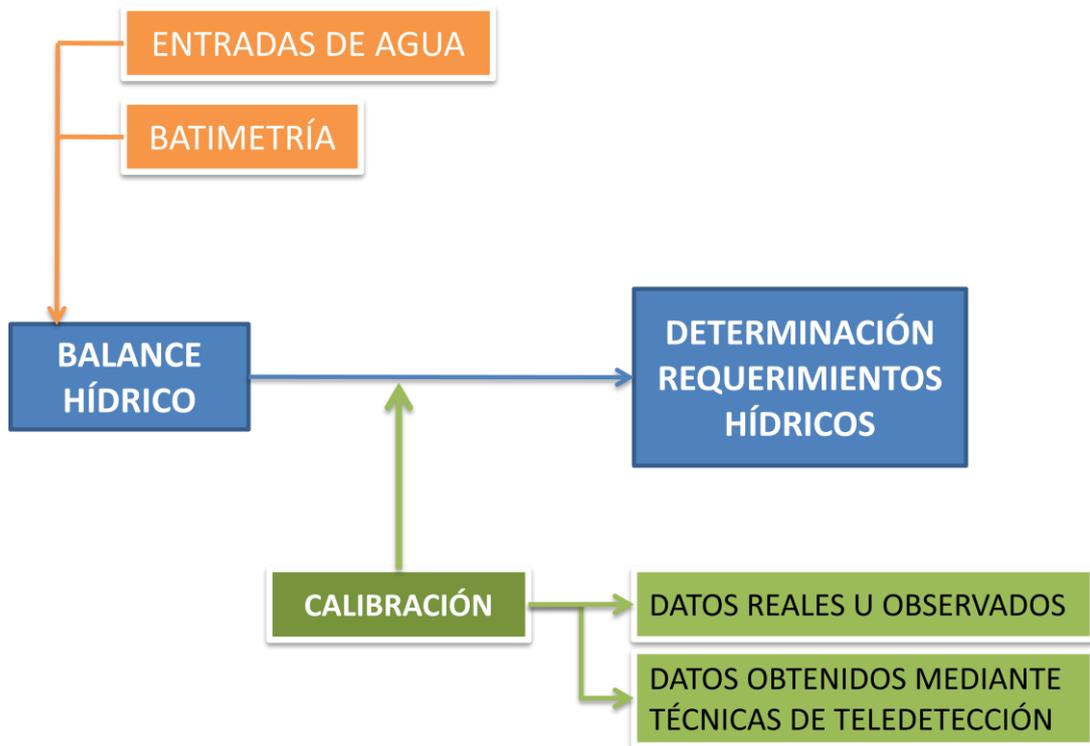


Figura 44: Esquema de la metodología propuesta

5.2. Balance hídrico

Para modelar el comportamiento de los humedales se va a plantear un modelo matemático de balance hídrico para cada uno de ellos, con el objetivo de conseguir reproducir la realidad y los fenómenos que en ellos tienen lugar.

El balance de agua medio se formula mediante una ecuación que expresa la igualdad de entradas y salidas de agua en un sistema (*Ecuación 1*). Se refiere a un periodo de tiempo lo suficientemente largo como para que la diferencia entre ambas tenga una magnitud despreciable. Suelen emplearse valores promedio tanto de las entradas al sistema como de las salidas.

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} \quad (\text{Ecuación 1})$$

En cambio si reducimos el periodo de tiempo y analizamos una situación puntual, la diferencia entre las entradas y salidas será el incremento del volumen, positivo o negativo, almacenado en el humedal (*Ecuación 2*).

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \Delta \text{Volumen} \quad (\text{Ecuación 2})$$

El balance hídrico se va a realizar a nivel mensual, tiempo de simulación que se suele adoptar en los balances de recursos hídricos y tiempo para el que se dispone de los datos de entrada.

Se va a modelar su comportamiento para el periodo 1940–2011, aunque de forma paralela se va a caracterizar el periodo 1980–2011, pues a partir de la década de los '80 se aprecian cambios significativos en la tendencia que siguen la series hidrológicas, además se asume que este periodo es más representativo de la situación actual de disponibilidad de recursos hídricos.

Las entradas de agua al sistema que se contemplan son entradas por precipitación directa sobre el humedal y entradas subterráneas (*Ecuación 3*), pues son los datos de los que se dispone. Aunque cabe destacar la importancia de las entradas subterráneas, que suelen ser la fuente principal de alimentación de los humedales, se trata de una entrada bastante continua de agua que es la encargada de mantener un nivel de agua más o menos estable en los humedales con patrón de inundación permanente. Las precipitaciones suelen ser menos importantes en cantidad y suelen generar variaciones puntuales de niveles.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

$$\text{Entradas totales} = \text{Precipitación} + \text{Entrada subterránea} \quad (\text{Ecuación 3})$$

Los datos de entradas de agua al humedal son los datos utilizados en la CHJ, del modelo PATRICAL, utilizado en la Demarcación para evaluar los recursos hídricos.

Las salidas de agua del sistema que se plantean son salidas por evapotranspiración, salidas por infiltración al acuífero, salidas superficiales y salidas subterráneas al mar (Ecuación 4).

$$\text{Salidas totales} = \text{Evapotranspiración} + \text{Infiltración} + \text{Salida superficial} + \text{Salida subterránea al mar} \quad (\text{Ecuación 4})$$

La salida por evapotranspiración se calcula de forma aproximada en función de la evapotranspiración potencial (ETP) característica del lugar donde se ubica el humedal y la superficie inundada a final del mes anterior (Ecuación 5).

$$\text{Evapotranspiración}_t = \text{ETP}_t \cdot S_{t-1} \quad (\text{Ecuación 5})$$

ETP_t = evapotranspiración potencial

S_{t-1} = superficie inundada a final del mes anterior

Las salidas subterráneas al mar y las salidas por infiltración se calculan aplicando la siguiente ecuación, mediante un coeficiente que simula la velocidad a la que se produce las salidas y una altura umbral que simula la carga mínima necesaria para que se produzcan estas salidas.

$$\text{Infiltración} = k \cdot H^{3/2} \quad (\text{Ecuación 6})$$

$$\text{Salida subterránea al mar} = k \cdot H^{3/2} \quad (\text{Ecuación 7})$$

Para el cálculo de las salidas superficiales, se plantea en primer lugar aplicar la hidráulica de canales, en concreto la ecuación de aliviadero de caída libre y pared vertical:

$$Q = C \cdot L \cdot H^{3/2} \quad (\text{Ecuación 8})$$

C = coeficiente de desagüe

L = longitud de la compuerta

H = altura de la lámina de agua sobre coronación de la compuerta

(altura de la lámina de agua – altura umbral de la compuerta)

Una vez programado el modelo surgen problemas de inestabilidad numérica, y pese a realizar hasta siete iteraciones no se consigue que los resultados converjan. Mediante esta

modelación de las salidas superficiales, las salidas más importantes del sistema, se obtiene un sistema de respuesta muy rápida, de manera que al producirse una entrada de agua el humedal, éste se llena inmediatamente y seguidamente se vacía. Con esta modelación no se reproduce el comportamiento real de los humedales, que son elementos de almacenamiento de agua, con una respuesta más lenta, en el que las salidas se producen de forma laminada.

De modo que se realiza una segunda propuesta basada en la hipótesis de acuífero unicelular, modelando el humedal como un elemento de almacenamiento, con una respuesta más lenta. De esta forma se consiguen evitar los problemas de inestabilidad numérica y se consigue reproducir mejor el comportamiento del humedal. A continuación se muestra la ecuación para la obtención del volumen almacenado en el humedal, bajo la hipótesis de acuífero unicelular:

$$V_t = V_{t-1} \cdot e^{\alpha \Delta t} + R_t / \alpha \cdot (1 - e^{\alpha \Delta t}) \quad (\text{Ecuación 9})$$

V_{t-1} = volumen almacenado a final del mes anterior

R_t = recarga neta que recibe el acuífero (Entradas totales – Evaporación)

α = parámetro del modelo, simula la velocidad de salida de agua del acuífero

Δt = incremento de tiempo

Seguidamente, una vez calculado el volumen almacenado y las salidas por evaporación, infiltración y las salidas subterráneas al mar, se calcula la salida superficial de aplicar la ecuación de continuidad de balance hídrico (Ecuación 2).

$$\text{Salida superficial } t = \text{Entradas totales } t - \text{Evaporación } t - \text{Salida subterránea } t - \text{Infiltración } t$$

(Ecuación 10)

El modelo requiere de una condición inicial, que es la altura de agua inicial en el humedal en el primer mes de simulación, es decir, en octubre de 1940.

A continuación se detallan los parámetros del modelo:

- Coeficiente reducción entradas.

Parámetro que permite corregir las entradas introducidas al modelo en caso de que se disponga de una información fiable que contradiga los datos introducidos.

- Parámetro α (alfa).

Parámetro que simula la velocidad con las que se producen las salidas superficiales, a mayor valor las salidas se producen con mayor rapidez, mientras que si su valor es menor se consigue retener más agua y laminar las salidas.

- Altura umbral (h umbral).

Altura a partir de la cual se producen las salidas superficiales, altura a partir de la cual se produce vertido.

- Parámetro K.

Parámetro que simula la velocidad con las que se producen las salidas por infiltración al acuífero o las salidas subterráneas al mar.

- Altura umbral' (humbral').

Altura a partir de la cual se producen las salidas por infiltración o las subterráneas al mar, es el valor de la carga de altura de agua mínima necesaria para que se produzcan estas salidas.

Para realizar un balance hídrico en un lago o zona húmeda es necesario conocer la morfología de la cubeta, únicamente en base a esta información es posible determinar cómo evolucionan temporalmente las alturas de agua y la superficie inundada en función del volumen de agua calculado.

Se pretende generar una batimetría completa de la zona húmeda a partir de información batimétrica disponible en la OPH de diferentes estudios y el uso de un Modelo Digital del Terreno (MDT) y herramientas GIS (Geographic Information System), que va a permitir comprobar la información disponible y completarla. A continuación se distingue la manera de proceder entre los humedales de interior y los costeros.

Los humedales de interior se caracterizan por ser ecosistemas más bien pequeños, cuya cubeta se encuentra llena de agua o de forma estacional en función de su régimen de inundación. A continuación se muestra un croquis de la caracterización física realizada para los humedales de interior:

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

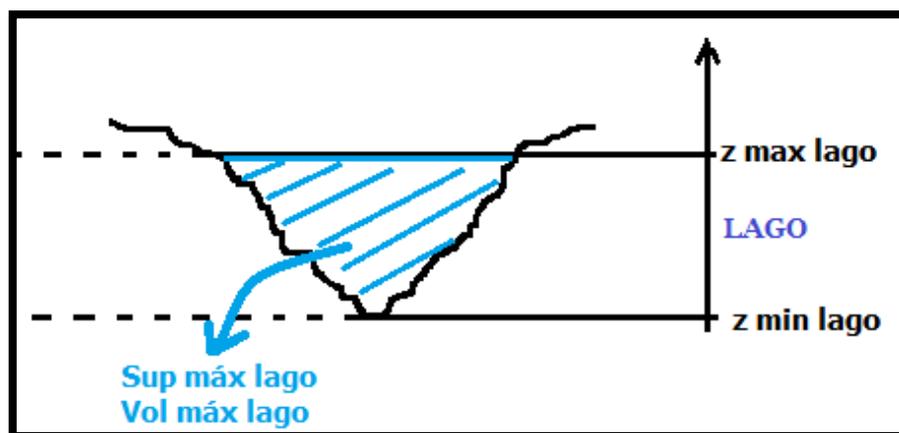


Figura 45: Caracterización física de los humedales de interior.

La metodología a seguir va a consistir en comprobar la información batimétrica disponible con el MDT disponible, analizando si la cota de referencia de la línea de nivel que representa la lámina de agua coincide con la cota del MDT, en el caso de que no sean coincidentes se realiza una corrección de las alturas de las líneas de nivel en base a la información proporcionada por el MDT.

Los humedales costeros son ecosistemas mucho más grandes y menos heterogéneos que los de interior. Se caracterizan por tener una gran extensión, la cual generalmente no se encuentra totalmente cubierta de aguas, sino que suelen disponer de una zona más profunda de aguas permanentes con nivel variable, y la inundación de todo el humedal en muchos casos no es un hecho habitual, sino más bien puntual.

En este tipo de ecosistemas se decide definir dos niveles, un primer nivel llamado lago, de aguas permanentes, y un segundo nivel llamado humedal, que abarque la totalidad de la superficie. A continuación se muestra un croquis de la caracterización física realizada para los humedales costeros:

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

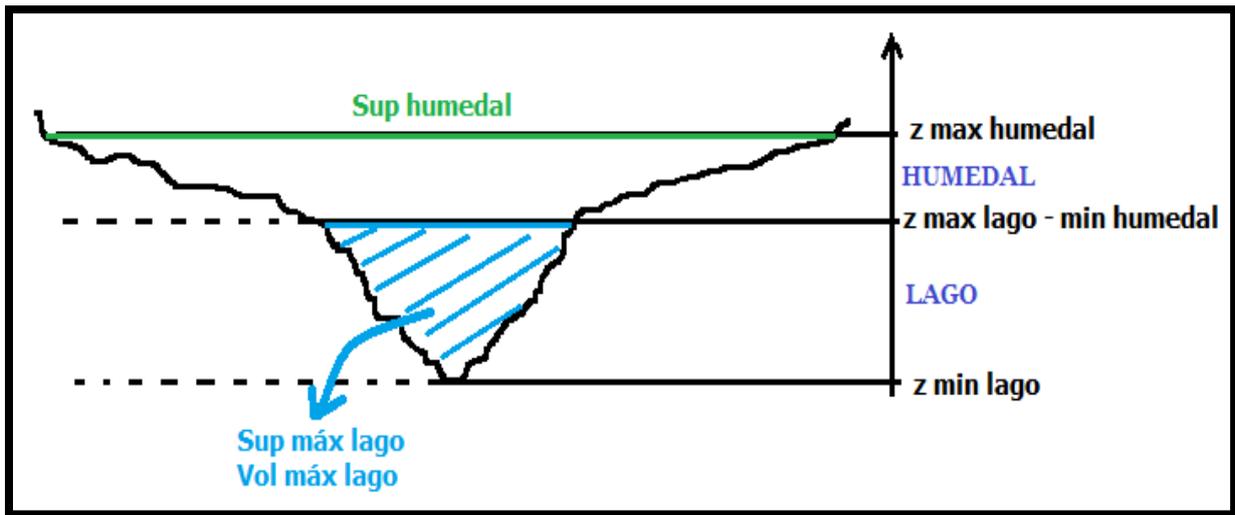


Figura 46: Caracterización física de los humedales costeros.

Al igual que en el caso de los humedales de interior, la metodología a seguir va a consistir en comprobar la información batimétrica con el MDT disponible. Y así cuando sea correspondiente realizar las pertinentes correcciones en las cotas de referencia. En el caso en que falte información batimétrica del nivel humedal se propone generar la batimetría mediante el uso del MDT y herramientas GIS (Geographic Information System).

5.3. Calibración

Una vez introducidos los datos necesarios al modelo y obtenidos los resultados de la simulación es necesario contrastar y calibrar éstos con datos reales. De esta manera comprobaremos que nuestro modelo se ajusta a la realidad y es capaz de reproducirla.

Para realizar la calibración es necesario hacer una recopilación de los datos reales disponibles de alturas tomados en los humedales. Una vez recopilada esta información debe analizarse para establecer el grado de incertidumbre asociado a estos datos. Y posteriormente introducirla en el modelo correspondiente para poder compararla con los resultados generados.

Como ya se ha mencionado, existen muy pocos datos reales, lo que dificulta la calibración del modelo. Por este motivo se va a generar una serie temporal de evolución de superficie inundada para cada uno de los cuatro humedales que permitirá alimentar al modelo y disponer de unos datos para calibrarlo.

En el siguiente capítulo se describen y analizan las técnicas de teledetección y su aplicabilidad para la obtención de la evolución temporal de superficie inundada de un humedal, se propone una metodología que define la forma proceder para obtener esta serie de datos y por último, se aplica esta metodología a los 4 humedales objeto de estudio.

5.4. Propuesta de requerimientos hídricos

La propuesta de requerimientos hídricos se va a basar en un análisis de la influencia del régimen de entradas subterráneas sobre los niveles en el humedal. Se analizan las entradas subterráneas porque son las principales entradas que se producen en este tipo de ecosistemas, como se ha descrito, el funcionamiento de los humedales está ligado a su relación con las aguas subterráneas. De esta manera se pretende analizar si un descenso mínimo de las aportaciones compromete los niveles y la funcionalidad del humedal, o por lo contrario si es necesario un gran descenso de los volúmenes de entrada para que se produzca una variación significativa en los niveles.

Se va utilizar la serie de aportaciones de 1980-2011, pues como ya se ha mencionado es más representativa de la situación actual de disponibilidad de recursos hídricos.

El análisis va a consistir en proponer varios porcentajes de reducción de las entradas subterráneas y estudiar los niveles que se generan. Se van a analizar los casos de que las entradas subterráneas correspondan con el 100%, el 95%, el 90%, el 60%, el 50%, el 30%, el 10% y el 5% de las totales. Y se van a caracterizar las series de altura media de agua en el humedal, de altura máxima y mínima y los percentiles 95, 50 y 5 característicos de la serie.

De forma adicional se va a comprobar si estos niveles cumplen los criterios recogidas en la guía desarrollada por El Scotland & Northern Ireland Forum For Environmental Research y el grupo de investigación UKTAG (SNIFFER WFD 48, 2006), basada en información científica y criterio de experto (SNIFFER WFD 48, 2006), vistas en el anterior capítulo de la memoria. En la guía se establece que el porcentaje de disminución máximo admisible de los niveles de agua es del 20% y que este 20% no puede superar un 1m, pues es el cambio de nivel máximo admisible por los macrófitos, según criterio de experto.

También se propone calcular el número de renovaciones que se producirían en el lago en función de las aportaciones recibidas. Este número de renovaciones se obtiene en función de la capacidad del humedal. Aunque no se han encontrado referencias a un número concreto de renovaciones “ideales o convenientes” para que los humedales se encuentren en buen estado, este parámetro se perfila como un elemento clave a tener en cuenta.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

En base a esta información descrita y su análisis se deben establecer unos volúmenes anuales de entradas de agua al humedal que asegure el mantenimiento de unos niveles mínimos y su funcionalidad a largo plazo.

6. APLICACIÓN. ANÁLISIS DE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN

Ante la problemática de falta de datos reales, o en su caso, la falta de una serie lo suficientemente larga para que sea representativa del comportamiento del humedal, se investigan metodologías complementarias para la generación de este tipo de información. Entre estas metodologías destaca el uso de técnicas de teledetección aplicadas en la identificación de contornos de masas de agua. Llegados a este punto se analizan las imágenes de satélite disponibles y la aplicación de estas técnicas para la obtención de la evolución temporal de la superficie inundada en las masas de agua categoría lago que se pretenden estudiar.

6.1. Información disponible

En la OPH de la CHJ se dispone de imágenes de dos satélites diferentes, por una parte del satélite Landsat 5 TM y por otra del satélite MODIS. Como ya se ha visto en el capítulo 2 del presente trabajo, el primero ofrece una resolución de 25 m, frente a los 250 m que ofrece el satélite MODIS. Esta es la razón en la que basa la elección de trabajar con imágenes Landsat, pues en el presente estudio se incluye el análisis de humedales pequeños, algunos con una superficie menor a 6 ha, como La Laguna de Marquesado, por lo que cuanto mayor sea la resolución de las imágenes más precisos deben ser los resultados que se obtengan.

La serie de imágenes Landsat disponible proviene del Plan Nacional de Teledetección (PNT) llevado a cabo por el Ministerio de Fomento. Se dispone de un total de 202 imágenes de la Demarcación corregidas radiométrica y geográficamente, aunque cabe mencionar que para abarcar toda la superficie de la DHJ son necesarias 6 imágenes Landsat. En la siguiente figura se muestra una imagen de la DHJ en la que se identifican sus límites, y en rosa se pueden observar los contornos de las 6 imágenes de satélite de que abarcan la totalidad de la demarcación:

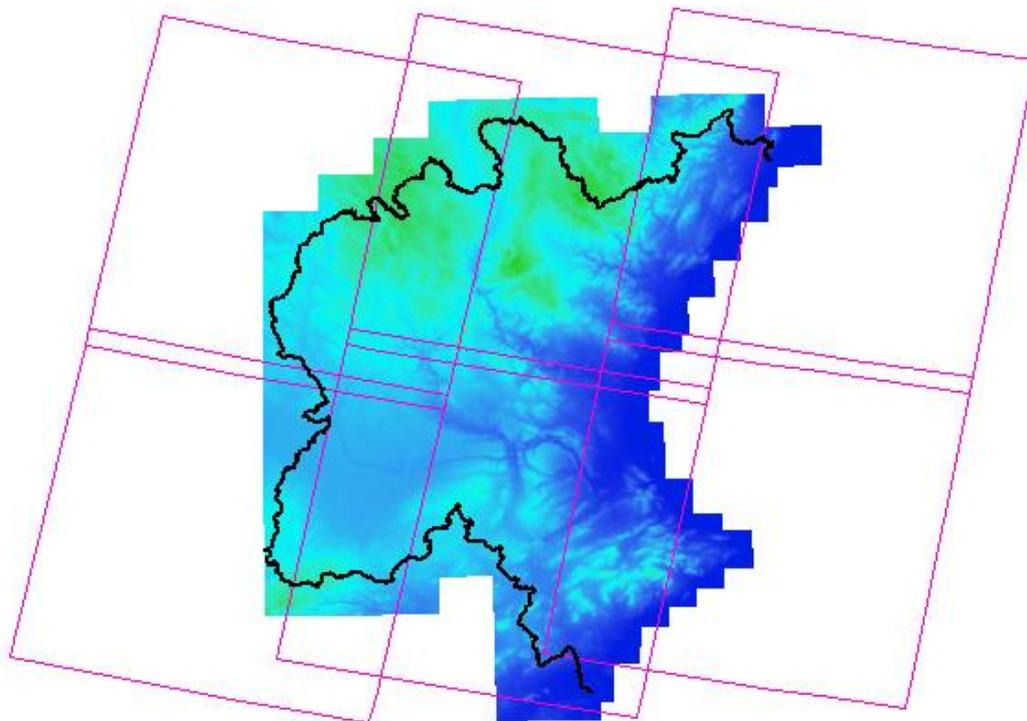


Figura 47: Imagen de la DHJ con identificación de los contornos de la imágenes Landsat disponibles

Aunque existen imágenes Landsat 5 TM tomadas cada 16 días desde 1982, la serie existente en la OPH se inicia en 1999 y finaliza en 2011. Se debe puntualizar que no se dispone de una serie completa para este intervalo de años, sino que la fecha de las imágenes existentes es aleatoria y puntual, pues para la misma fecha tampoco se dispone de las 6 imágenes que abarcan la Demarcación.

6.2. Técnicas de teledetección. Aplicación en la identificación de masas de agua.

En este apartado se van a analizar las diferentes bandas del satélite Landsat 5 TM y las diferentes combinaciones de bandas en las que, según la bibliografía consultada, mejor se distinguen las masas de agua.

La metodología seguida consiste en buscar una imagen de satélite para cuya fecha exista una ortofoto, de esta manera se puede comprobar mediante un análisis visual si lo que muestra la imagen de satélite se corresponde con lo que puede observarse en la ortofoto. Se decide comparar las imágenes de satélite con ortofotos debido a la gran precisión de la ortofotos existentes, de 50 cm, aunque se dispone de muy pocas, de dos a seis en función de la zona, y algunas de ellas sin fecha asociada.

Se proponen tres casos de análisis, el de La Marjal d'Almenara, en caso de máxima y mínima inundación (según lo que muestran los ortofotos) y además el caso del embalse de Alarcón, aunque no es caso del presente estudio se quiere analizar cómo funcionan las técnicas de teledetección en el caso de aguas profundas y bien delimitadas.

En la siguiente imagen se muestra una ortofoto de La Marjal d'Almenara, tomada en agosto de 2008, fecha en la que también se dispone de imagen de satélite. Esta es la fecha definida como situación de máxima inundación.

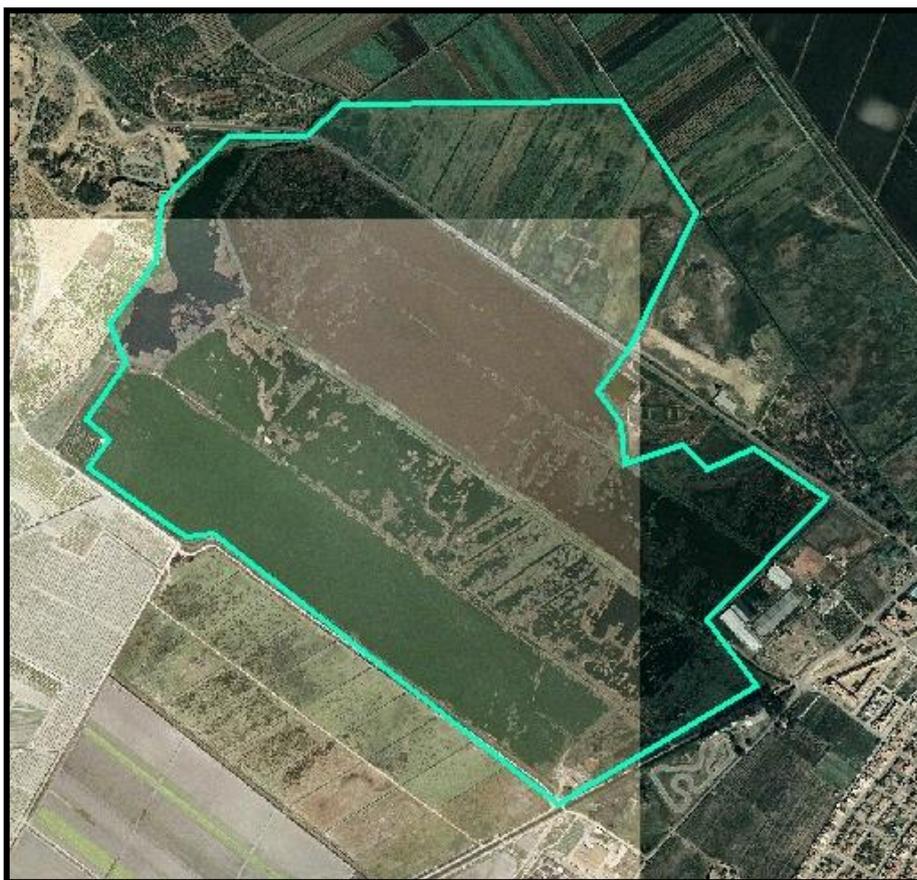


Figura 48: Ortofoto de la Marjal d'Almenara tomada en agosto de 2008 con delimitación del humedal (PNOA, Ministerio de Fomento)

En la siguiente imagen se muestra una ortofoto de La Marjal d'Almenara, tomada en agosto de 2000, fecha en la que también se dispone de imagen de satélite. Esta es la fecha definida como situación de mínima inundación. Aunque la imagen no aparece completa es la única ortofoto en la que no se ha detectado prácticamente presencia de agua, únicamente se intuye la presencia de una pequeña cantidad de agua en la parte izquierda superior (vaso del Estany) y en la zona inferior derecha.

**DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS
CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN
HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.**



Figura 49: Ortofoto de la Marjal d'Almenara tomada en agosto de 2000 con delimitación del humedal (PNOA, Ministerio de Fomento)

En la siguiente imagen se muestra una ortofoto del embalse de Alarcón, tomada en julio de 2009, fecha en la que también se dispone de imagen de satélite:

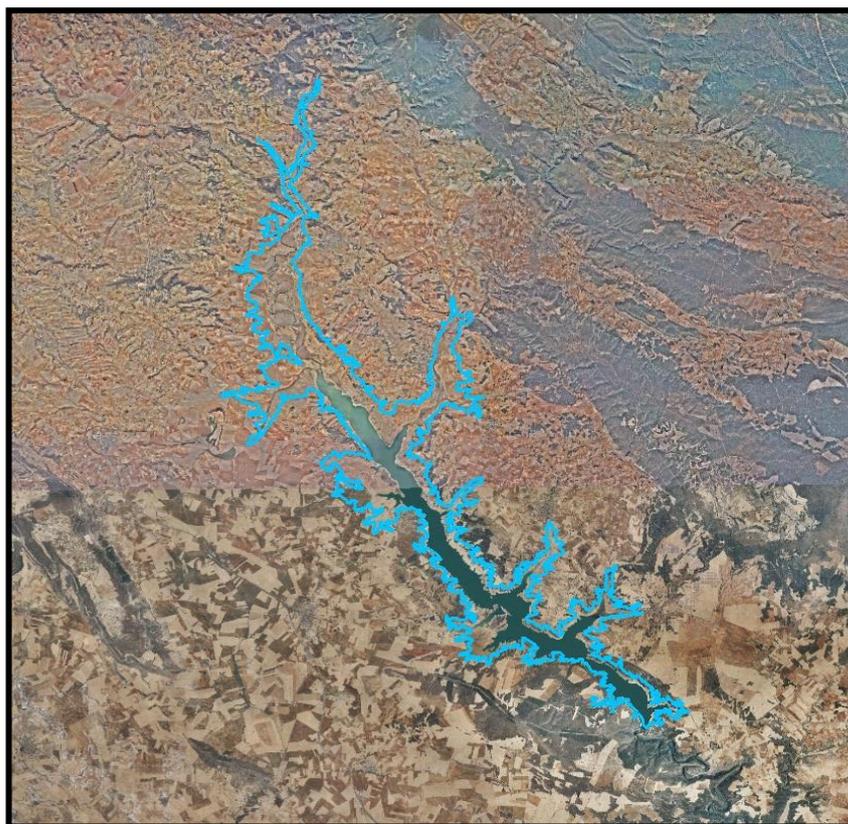


Figura 50: Ortofoto del embalse de Alarcón tomada en julio de 2009 con delimitación de su contorno (PNOA, Ministerio de Fomento)

Seguidamente se procede a analizar la información que proporcionan las bandas del satélite en las diferentes imágenes seleccionadas. El siguiente gráfico, ya visto en el capítulo 2, muestra como únicamente las bandas del infrarrojo (banda 4, 5 y 7) son las que distinguen la reflectancia del agua de la del suelo y la vegetación. Este gráfico puede orientar sobre qué bandas utilizar para estudiar una determinada cubierta y sobre los resultados que debe proporcionar el análisis de una banda determinada.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

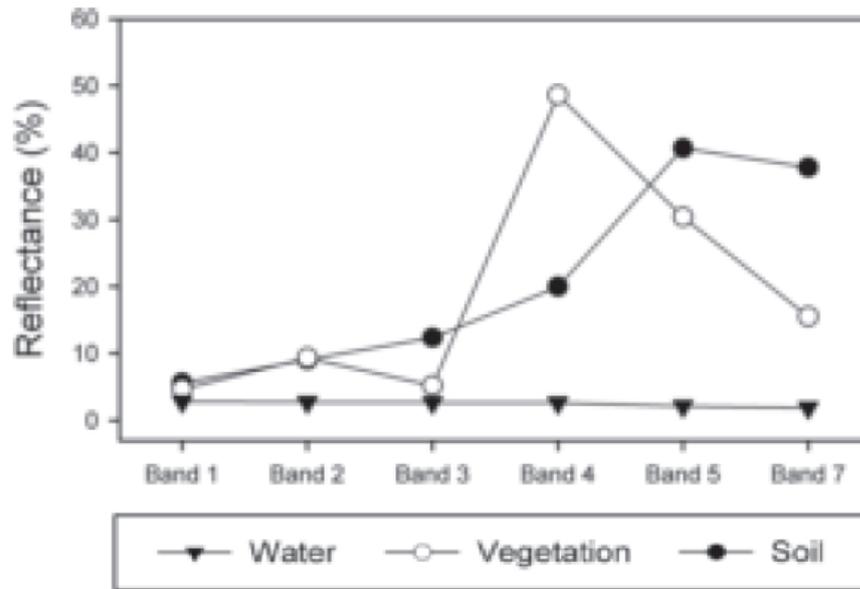


Figura 51: Reflectancia del agua, el suelo y la vegetación en las diferentes bandas del satélite (Lei Ji et al., 2009)

Seguidamente se analizan de forma individual las diferentes bandas del satélite para las tres imágenes de satélite seleccionadas. Las bandas sueltas del satélite se visualizan siempre en tonos de gris y los valores más bajos de reflectancia se representan en tonos más oscuros, debido a que al sensor llega menos energía.

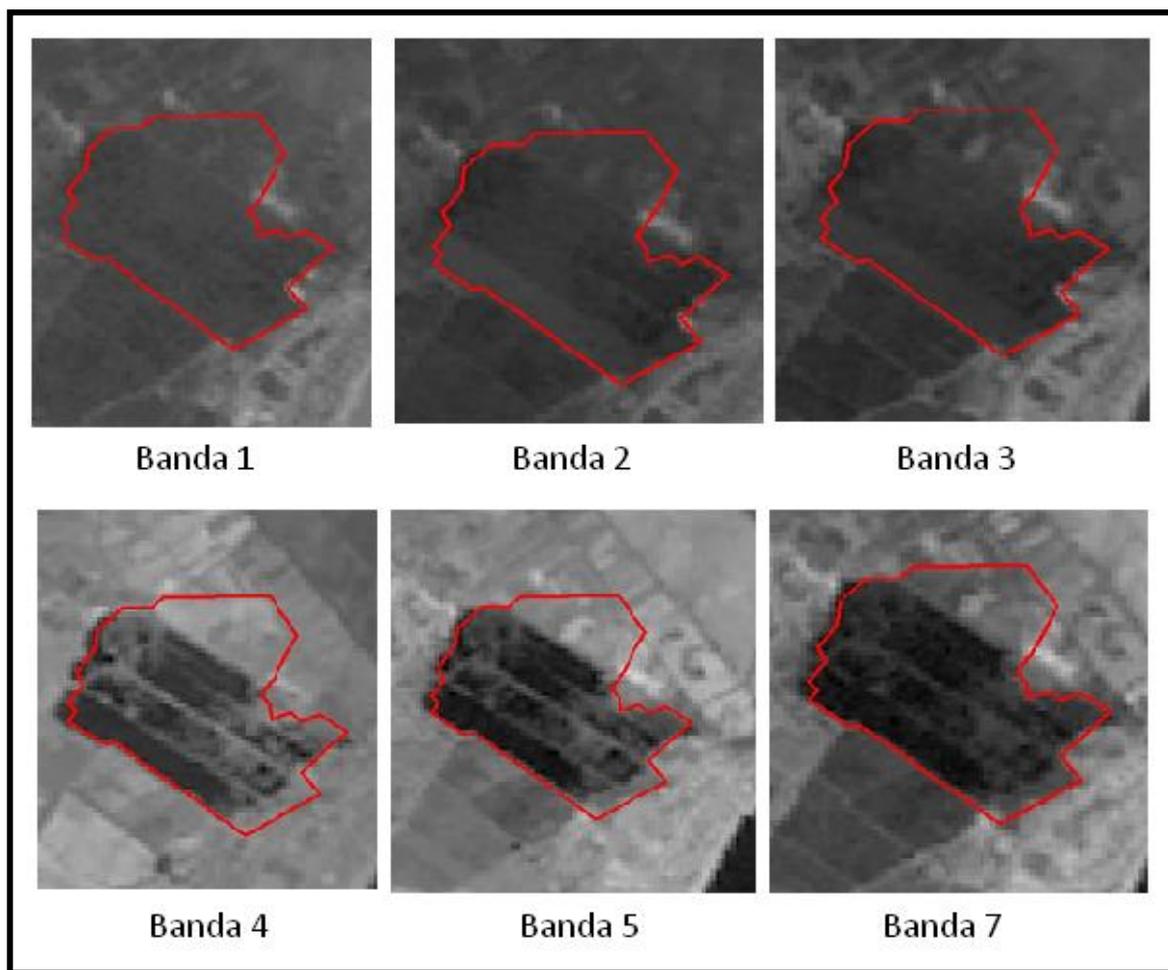


Figura 52: Visualización de las diferentes bandas del satélite de una imagen Landsat de la Marjal d'Almenara tomada en agosto del 2008

Como puede comprobarse en la imagen anterior, en las bandas del infrarrojo es donde mejor se distingue el agua del suelo y la vegetación, además se observa como en las bandas 4 y 5 se identifica de forma más clara los cuerpos de agua. El tono más oscuro representa la presencia de agua, ya que como se ha visto en el gráfico anterior la reflectancia del agua en todas las bandas es mínima. En estas bandas se representa lo que la imagen muestra, una inundación casi completa del humedal, a excepción de la zona norte.

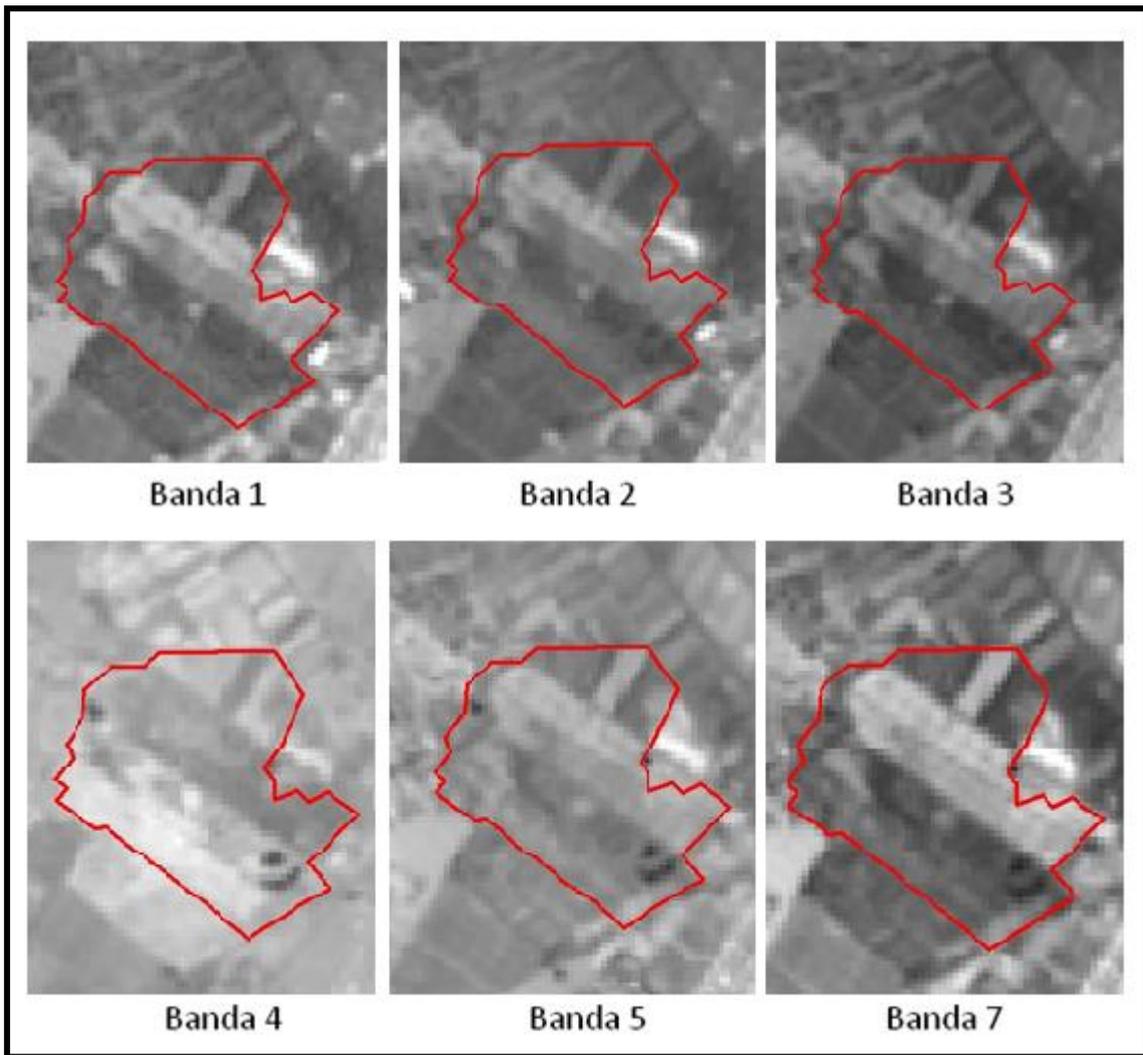


Figura 53: Visualización de las diferentes bandas del satélite de una imagen Landsat de la Marjal d'Almenara tomada en agosto del 2000

Al igual que el caso anterior, en la imagen tomada en agosto de 2000 también puede comprobarse como en las bandas del infrarrojo se distingue mejor el agua del suelo y vegetación, y como en las bandas 4 y 5 se identifica de forma más clara los cuerpos de agua, que en este caso son unas pequeñas manchas ubicadas en la zona oeste, en los estanys, y en la zona sudeste.

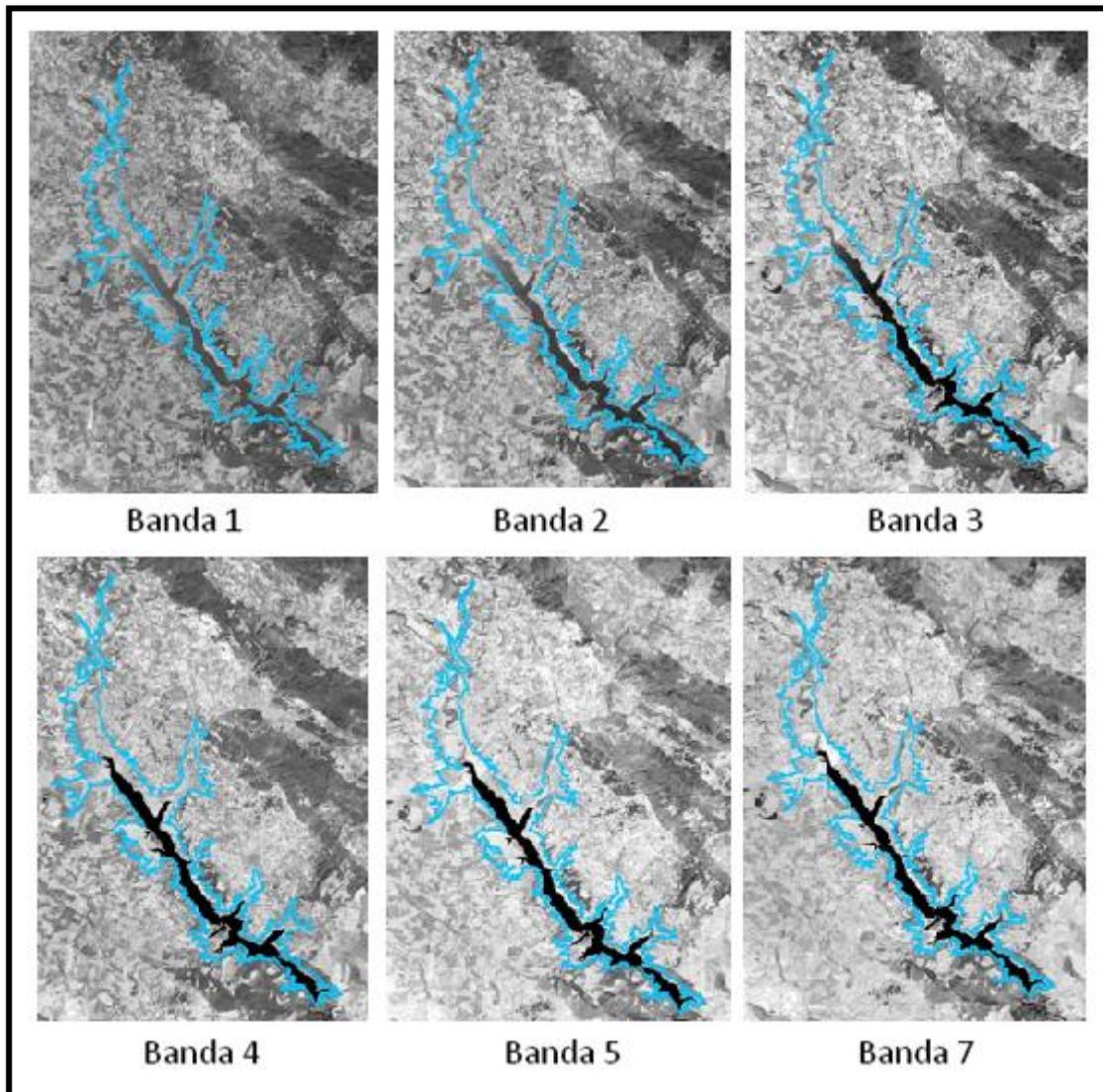


Figura 54: Visualización de las diferentes bandas del satélite de una imagen Landsat de embalse de Alarcón tomada en julio del 2009

En el caso del embalse de Alarcón en todas las bandas se distingue la masa de agua, aunque también se puede comprobar cómo en las bandas del infrarrojo es donde mejor se distingue el agua del suelo y vegetación, y como en las bandas 4 y 5 se identifica de forma más clara los cuerpos de agua.

A continuación se analizan las diferentes combinaciones de bandas en las que, según los estudios consultados, mejor se distinguen las masas de agua. Para ello se analiza la combinación en color natural (combinación 321) y tres combinaciones en falso color (la

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

combinación 432, 541 y 742). En la siguiente imagen se puede observar el resultado de aplicar estas combinaciones para el caso de La Marjal d'Almenara y el embalse de Alarcón:

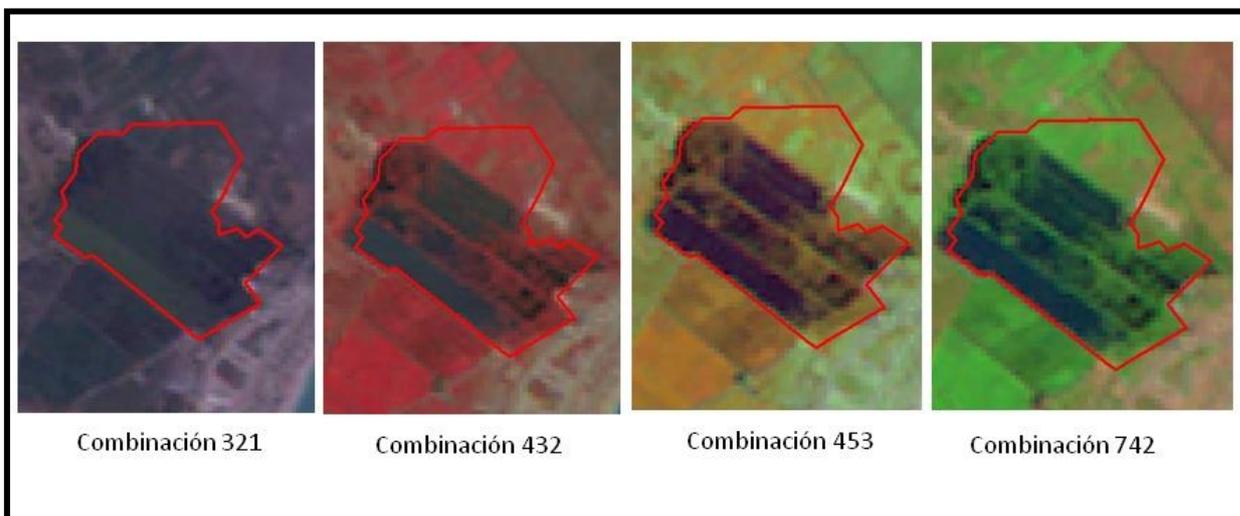


Figura 55: Visualización de diferentes combinaciones de color de una imagen Landsat de la Marjal d'Almenara tomada en agosto del 2008

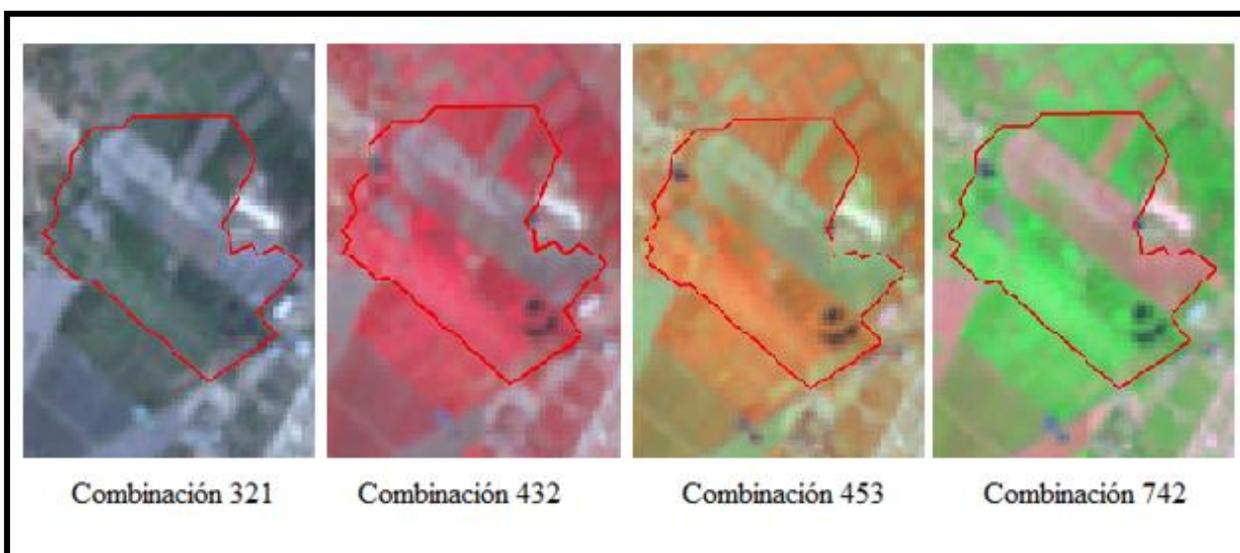


Figura 56: Visualización de diferentes combinaciones de color de una imagen Landsat de la Marjal d'Almenara tomada en agosto del 2000

**DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS
CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN
HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.**

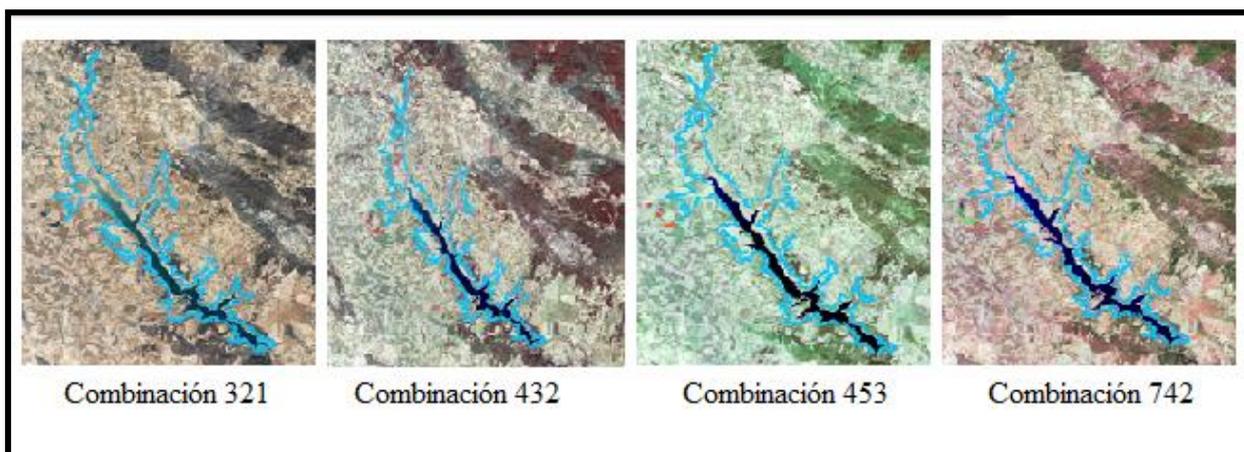


Figura 57: Visualización de diferentes combinaciones de color de una imagen Landsat del embalse de Alarcón tomada en julio del 2009

Como se puede observar en las figuras anteriores las combinaciones en color ayudan a detectar de forma visual la presencia de agua y distinguirla de los otros tipos de cubierta.

6.3. Índices de agua

Existen una serie de índices que permiten traducir la información espectral de las imágenes de satélite en valores de superficie inundada. Esta traducción consiste en realizar operaciones matemáticas entre las bandas del satélite. De los índices propuestos por diferentes autores se decide analizar la aplicabilidad de tres de ellos a nuestros humedales, estos índices son:

- Índice de Vegetación Normalizado, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)
- Índice de Agua Normalizado, NDWI (Normalized Difference Water Index)
- Índice de Agua Normalizado Modificado, MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)

Seguidamente se muestra como se obtienen estos índices, su formulación:

- $NDVI = (B4 - B3) / (B4 + B3)$
- $NDWI = (B4 - B5) / (B4 + B5)$
- $MNDWI = (B2 - B5) / (B2 + B5)$

Leyenda:

Banda 1: visible azul

Banda 2: visible verde

Banda 3: visible rojo

Banda 4: infrarrojo próximo

Banda 5: infrarrojo lejano

Banda 7: térmico próximo

En los diferentes estudios consultados se proponen unos valores de referencia o valores umbrales de los índices que permiten determinar la presencia o no de agua. Para el caso del NDVI se establece la presencia de agua si el valor del índice es menor o igual a 0, aunque en información consultada se hace mención a que la vegetación inundada adquiere valores positivos. Para el caso del NDWI se establece que valores altos se correlacionan con la presencia de agua, aunque no se ha encontrado ningún valor numérico de referencia. Para el caso del MNDWI se establece que hay agua si su valor es mayor o igual a 0. Y por último, si el índice propuesto por el CEDEX ofrece valores menores a 0,4 se establece que el pixel es agua.

Al igual que en el caso anterior la metodología seguida consiste en comprobar visualmente si lo que muestran los índices aplicados a la imagen de satélite se corresponde con lo que puede observarse en la ortofoto.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Las siguientes imágenes muestran los diferentes índices que se han aplicado a las imágenes de satélite seleccionadas. En la gama de azules se identifican los píxeles que se asume son agua, obtenidos de aplicar los valores de corte mencionados anteriormente:

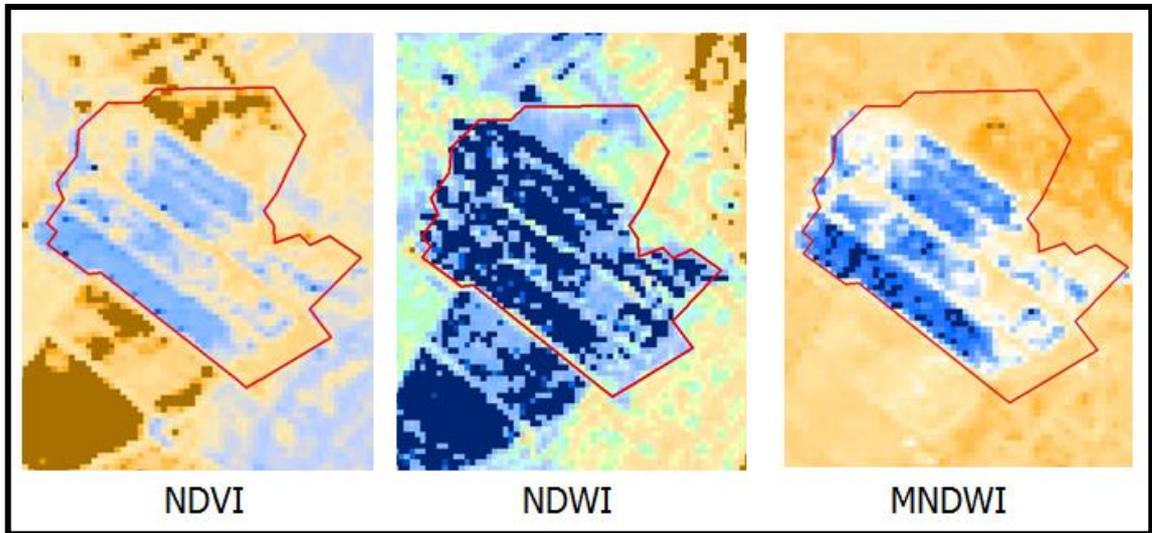


Figura 58: Cálculo de diferentes índices de agua a partir de una imagen Landsat de la Marjal d'Almenara tomada en agosto del 2008

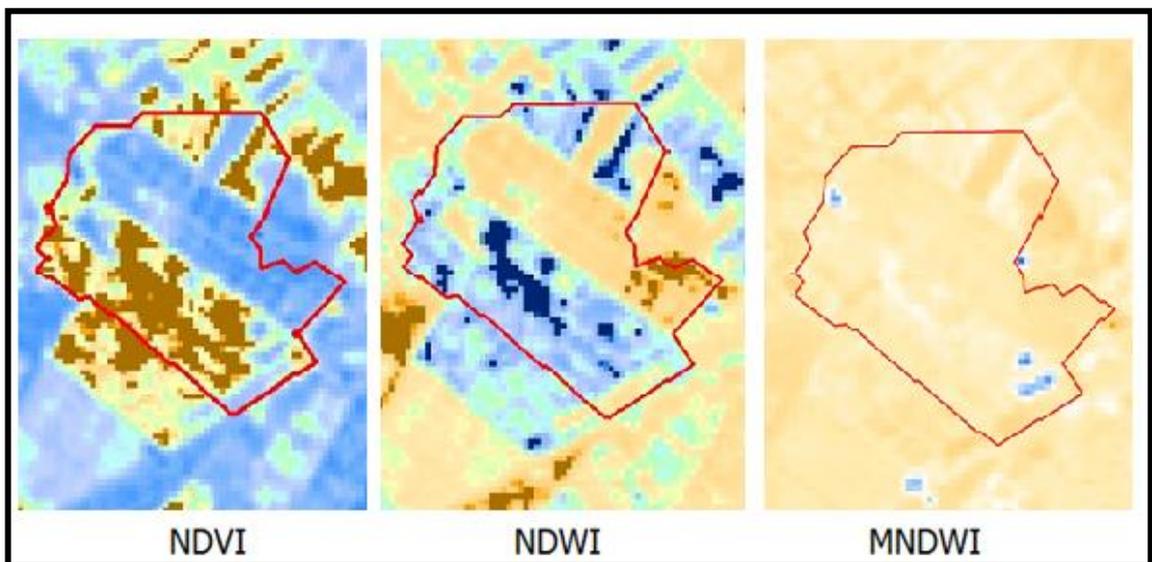


Figura 59: Cálculo de diferentes índices de agua a partir de una imagen Landsat de la Marjal d'Almenara tomada en agosto del 2000

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

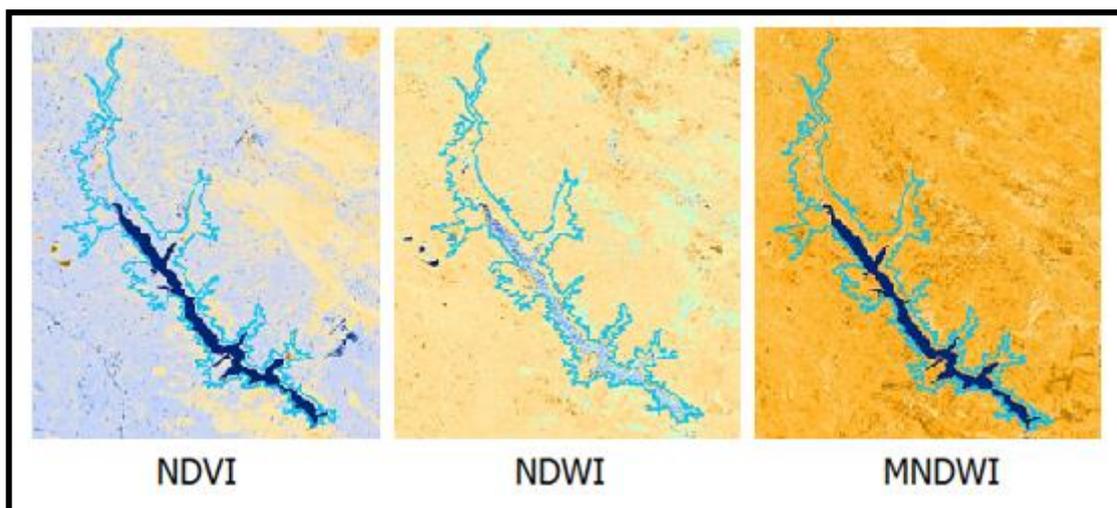


Figura 60: Cálculo de diferentes índices de agua a partir de una imagen Landsat del embalse de Alarcón tomada en julio del 2009

Seguidamente se muestra para cada índice propuesto los resultados de su aplicación a las imágenes seleccionadas junto con la ortofoto existente. De esta manera se pueden comparar ambas situaciones y analizar.

Las siguientes imágenes muestran los resultados de aplicar el índice NDVI a cada imagen seleccionada y la ortofoto existentes:

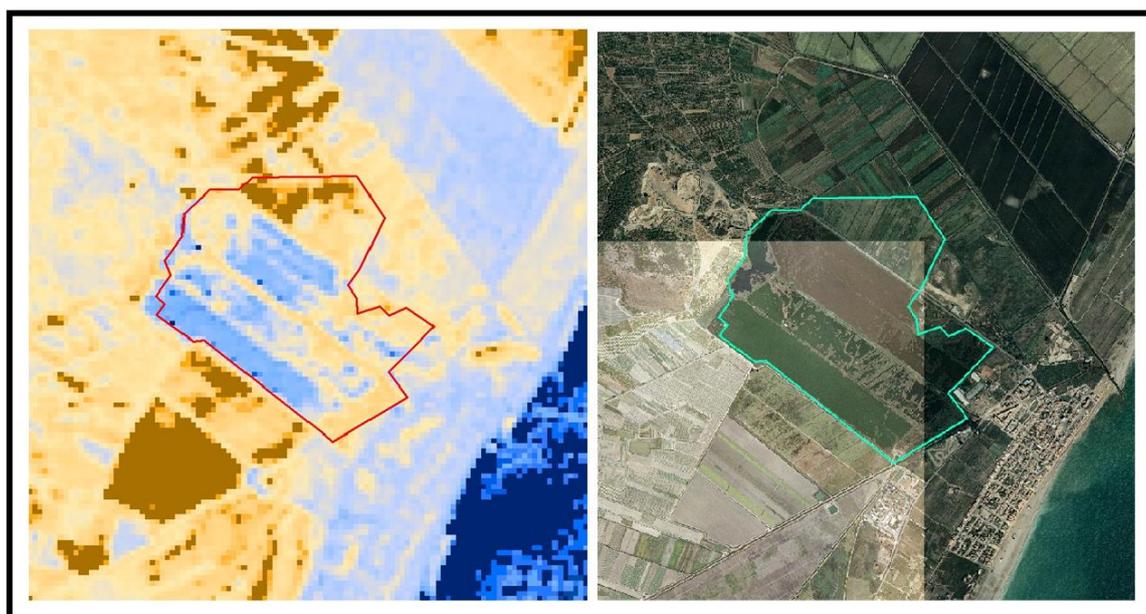


Figura 61: Índice NDVI obtenido de una imagen Landsat y ortofoto de La Marjal d'Almenara de fecha agosto 2008

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS
CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCA-
CIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

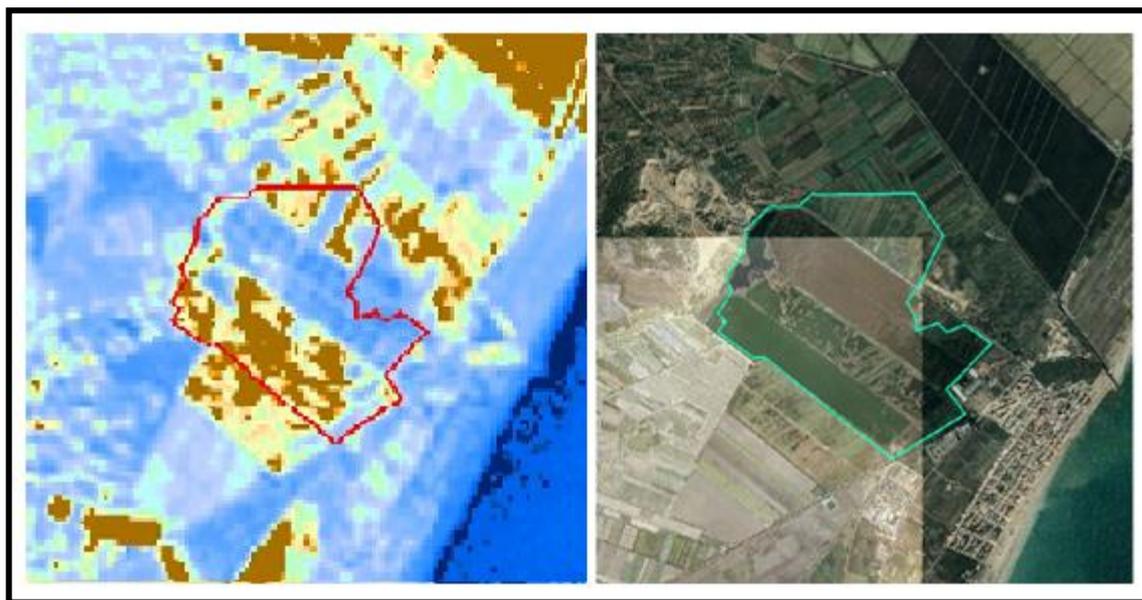


Figura 62: Índice NDVI obtenido de una imagen Landsat y ortofoto de La Marjal d'Almenara de fecha agosto 2000

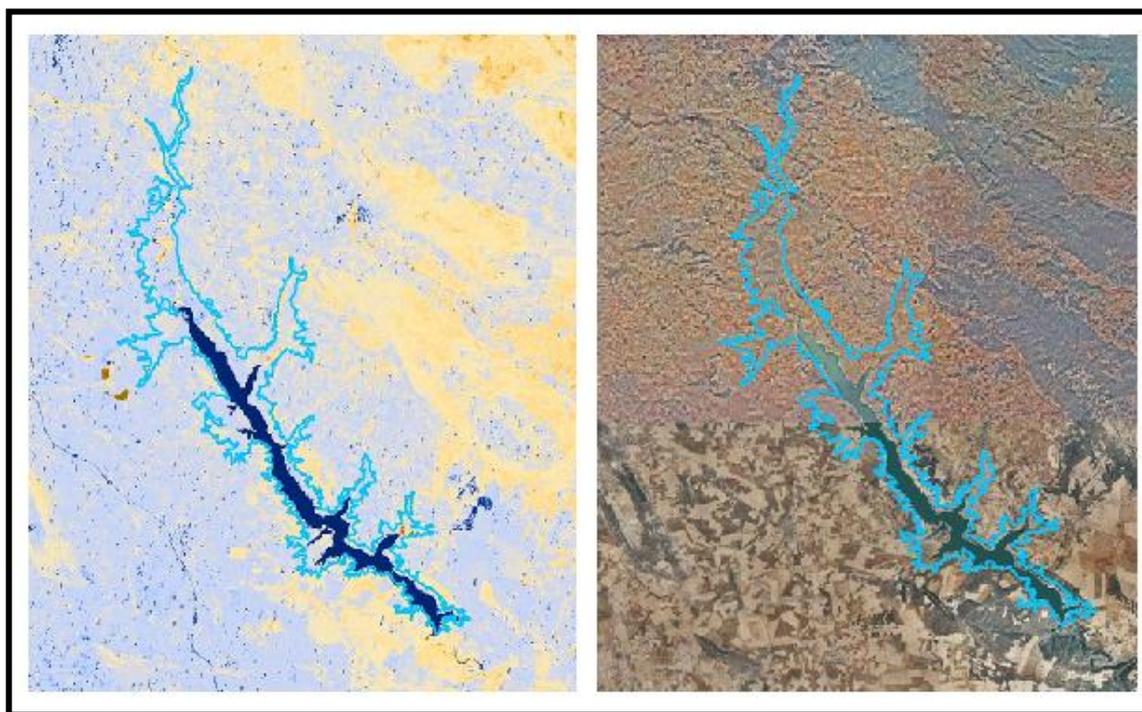


Figura 63: Índice NDVI obtenido de una imagen Landsat y ortofoto del embalse de Alarcón de fecha julio 2009

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Como se observa en las tres imágenes anteriores el índice identifica como agua píxeles que no lo son en la ortofoto. El índice NDVI es muy utilizado para la identificación de cubiertas vegetales, pero a la vista de los resultados se pone en duda su aplicabilidad para la identificación de cuerpos de agua.

Las siguientes imágenes muestran los resultados de aplicar el índice NDWI a cada imagen seleccionada y la ortofoto existentes:

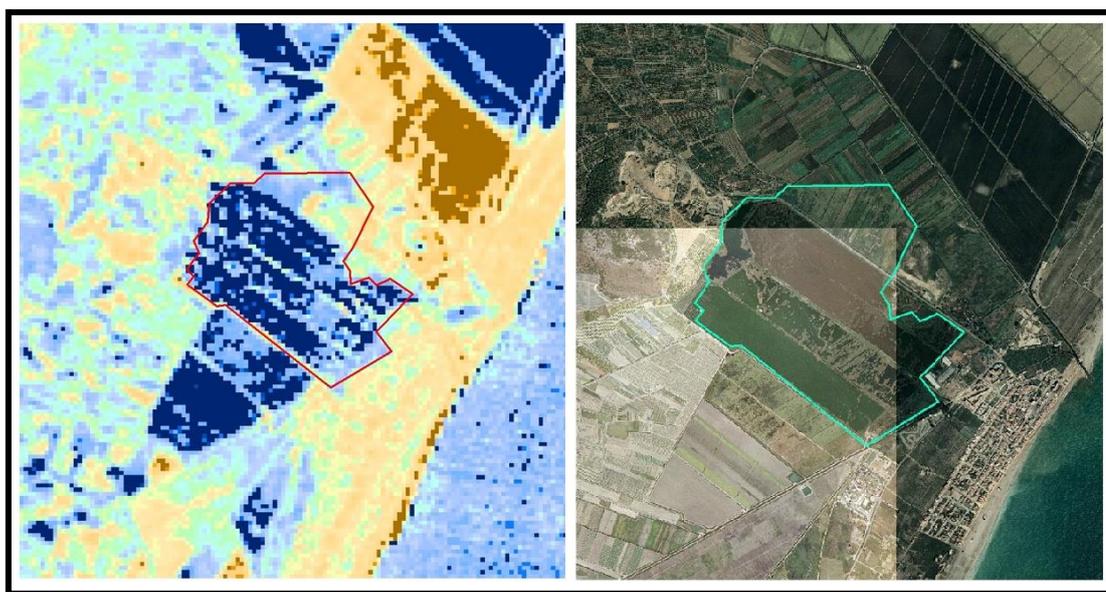


Figura 64: Índice NDWI obtenido de una imagen Landsat y ortofoto de La Marjal d'Almenara de fecha agosto 2008

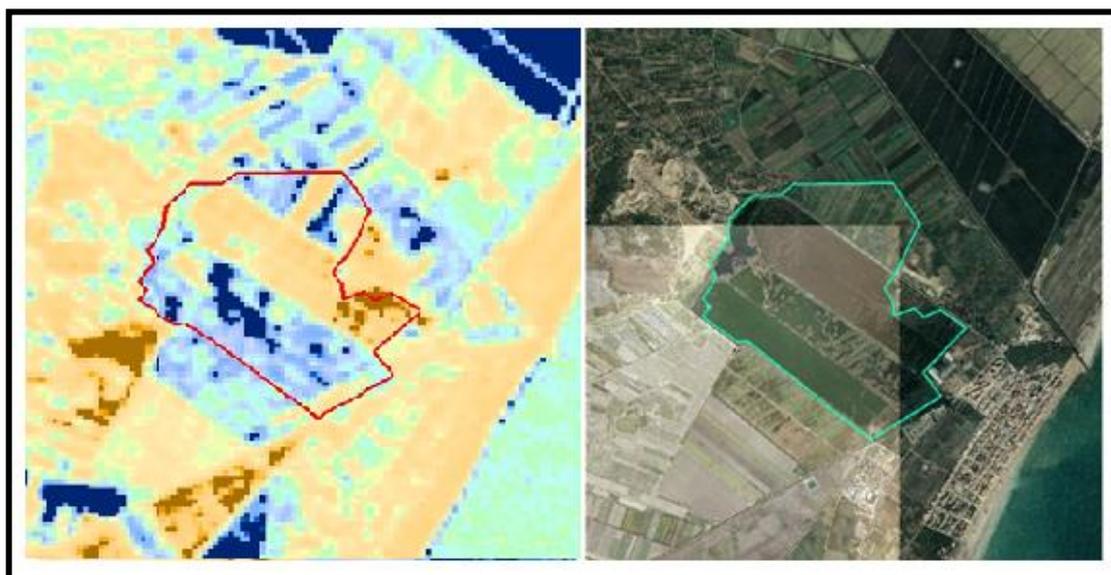


Figura 65: Índice NDWI obtenido de una imagen Landsat y ortofoto de La Marjal d'Almenara de fecha agosto 2000

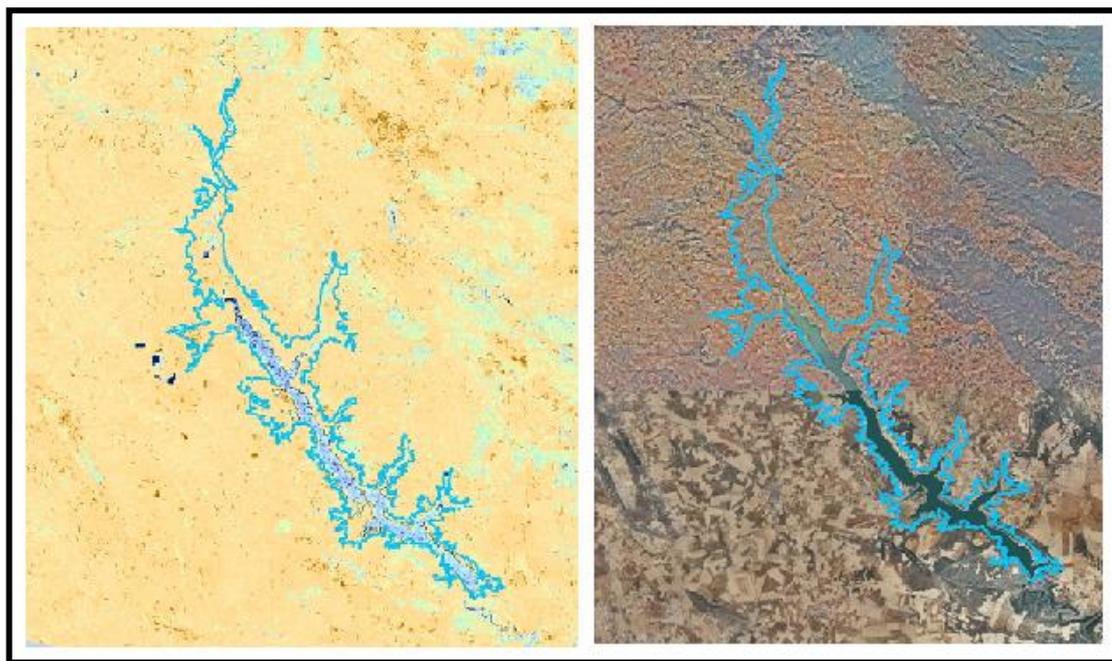


Figura 66: Índice NDWI obtenido de una imagen Landsat y ortofoto del embalse de Alarcón de fecha julio 2009

En las dos primeras imágenes se observa que el índice identifica como agua píxeles que no lo son realmente en la ortofoto. Parece que el índice esté confundiendo vegetación con agua. Aunque en el caso del embalse de Alarcón parece que únicamente se identifique como agua lo que en la ortofoto se corresponde como tal, se duda de la aplicabilidad del índice NDWI para la identificación de cuerpos de agua, pues no parece ofrecer buenos resultados en humedales.

Las siguientes imágenes muestran los resultados de aplicar el índice MNDWI a cada imagen seleccionada y la ortofoto existentes:

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS
CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN
HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

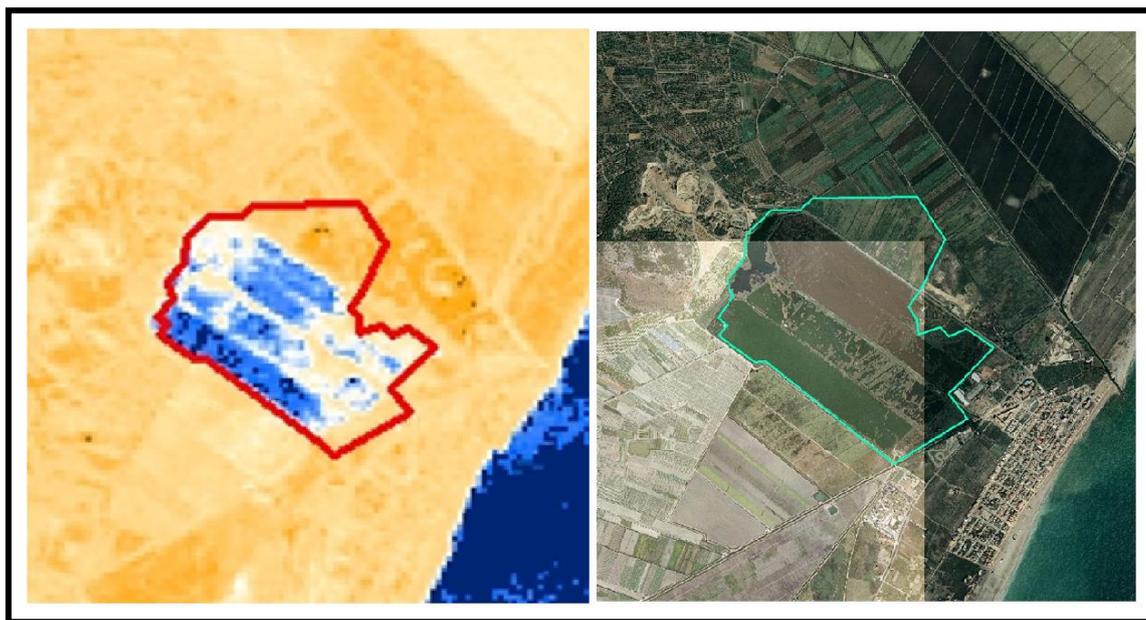


Figura 67: Índice MNDWI obtenido de una imagen Landsat y ortofoto de La Marjal d'Almenara de fecha agosto 2008

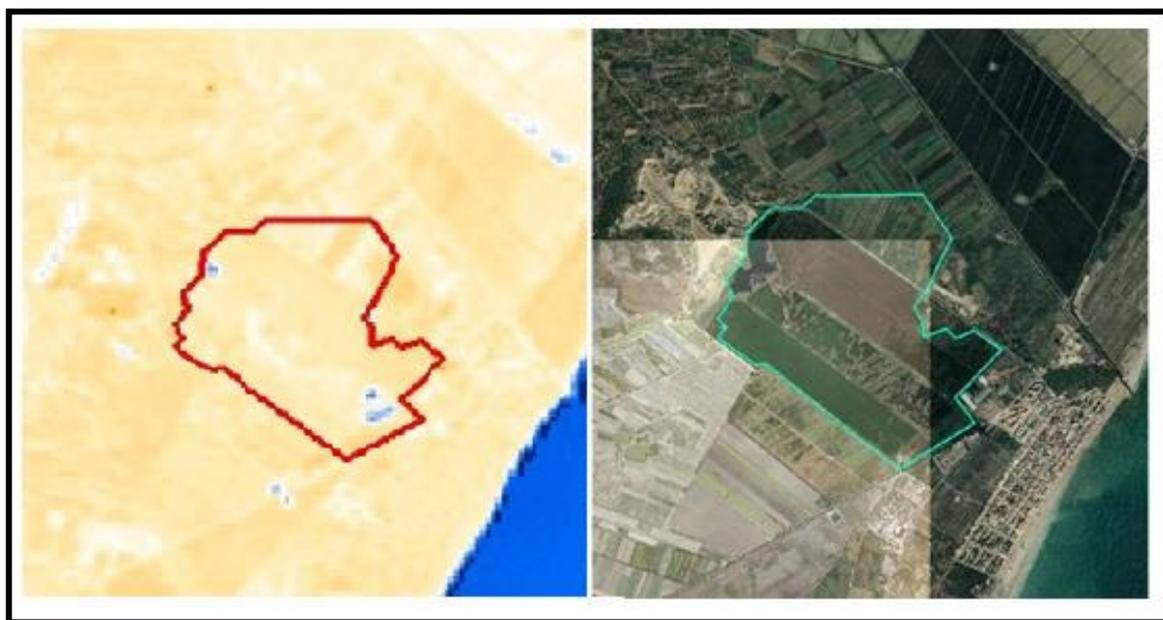


Figura 68: Índice MNDWI obtenido de una imagen Landsat y ortofoto de La Marjal d'Almenara de fecha agosto 2008

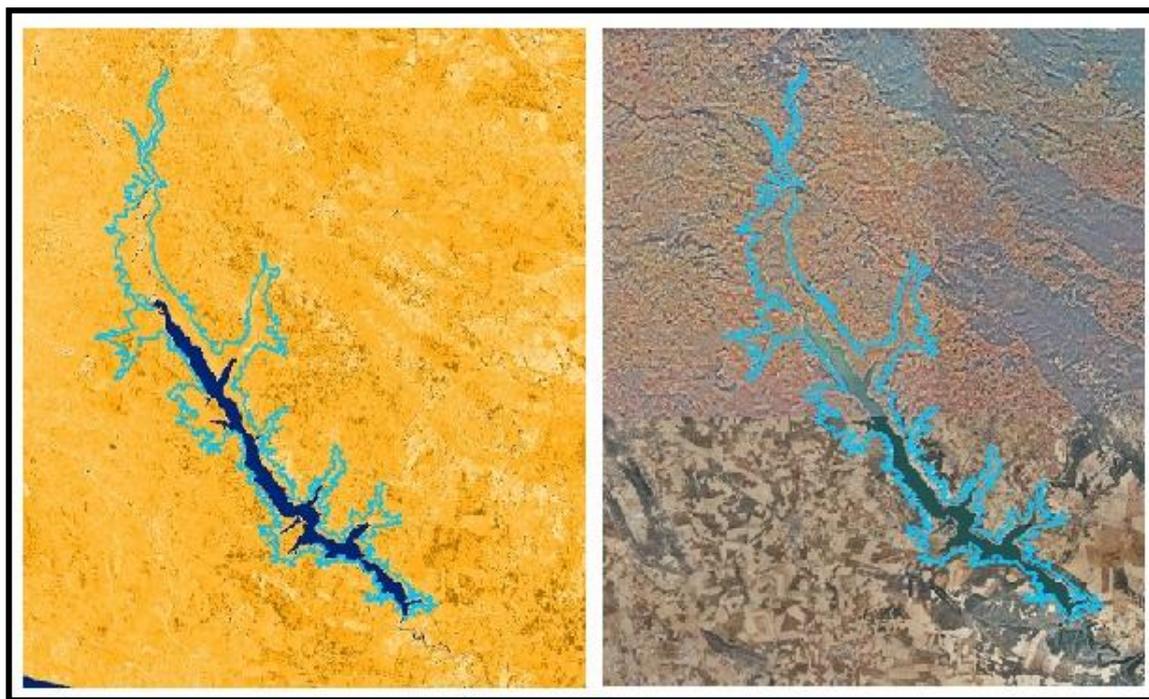


Figura 69: Índice MNDWI obtenido de una imagen Landsat y ortofoto del embalse de Alarcón de fecha julio 2009

En este caso parece que el índice únicamente identifica como agua los píxeles que en la ortofoto corresponden a agua. Aunque no parece distinguir entre suelo y vegetación, si parece distinguir agua de lo que no es agua, que es el objetivo perseguido.

6.4. Metodología propuesta para la obtención de la evolución de la superficie inundada en humedales

Después de un análisis de la información que proporcionan las diferentes bandas, combinaciones e índices propuestos, se decide utilizar el índice MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index) para la obtención de superficie inundada en humedal, pues como se ha comprobado en apartado anterior es el que mejores resultados ofrece. Este resultado es coherente con los estudios consultados, en los que el índice obtenido como combinación entre las bandas 2 y 5 se perfilaba como el que mejor resultados ofrecía.

De forma adicional se propone que si han de hacerse comprobaciones de los resultados que ofrecen los índices se realice un análisis visual mediante ortofotos existentes para la misma fecha, y en el frecuente caso de no haber, que se realice un análisis de las imágenes de satélite utilizando las bandas del infrarrojo y las combinaciones a color. Las combinaciones a color permiten identificar visualmente los cuerpos de agua. Y por su parte las bandas del infrarrojo son las bandas que muestran una mayor diferencia entre la reflectancia de suelo, agua y vegetación, además de la visualización individual de las tres debe comprobarse como el agua mantiene la misma tonalidad negra oscura en todas ellas.

Seguidamente se detalla el proceso a seguir para generar una serie temporal de evolución de superficie inundada para cada humedal. Este proceso consta de cuatro pasos a llevar a cabo mediante herramientas GIS. En primer lugar, se calcula el índice MNDWI para cada imagen de satélite operando con las bandas, en segundo lugar se obtiene el índice únicamente en la superficie delimitada como humedal, en tercer lugar se establece el valor umbral de corte que identifica lo que es agua de lo que no, acorde con la bibliografía consultada se establece que todos los píxeles con valor igual o mayor a cero están inundados, y por último, se calcula que superficie que abarcan los píxeles inundados. En la siguiente figura se muestra de forma visual los pasos a seguir:

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

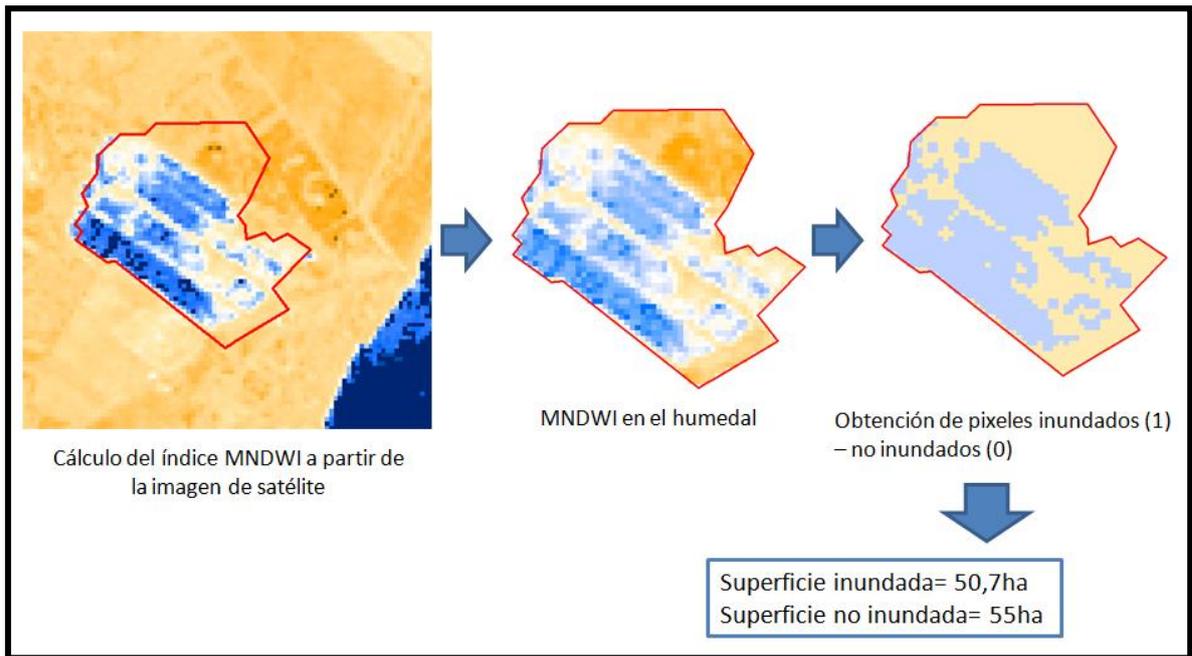


Figura 70: Esquema del proceso a seguir para la obtención de la superficie inundada en un humedal a partir de una imagen Landsat

Esta tarea debe repetirse para cada imagen de satélite y con cada uno de los cuatro humedales a analizar. Debido a la complejidad del proceso se decide automatizar lo máximo posible el proceso. Para ello se programa una toolbox, caja de herramientas, en ArcGIS 10.2.1. de manera que únicamente hay que seleccionar las dos variables consideradas, que son el humedal a analizar y el listado de imágenes de satélite que contienen ese humedal. Una vez ejecutada la herramienta se obtiene en una base de datos la superficie inundada correspondiente a cada imagen analizada. A continuación se muestra la toolbox programada y utilizada:

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

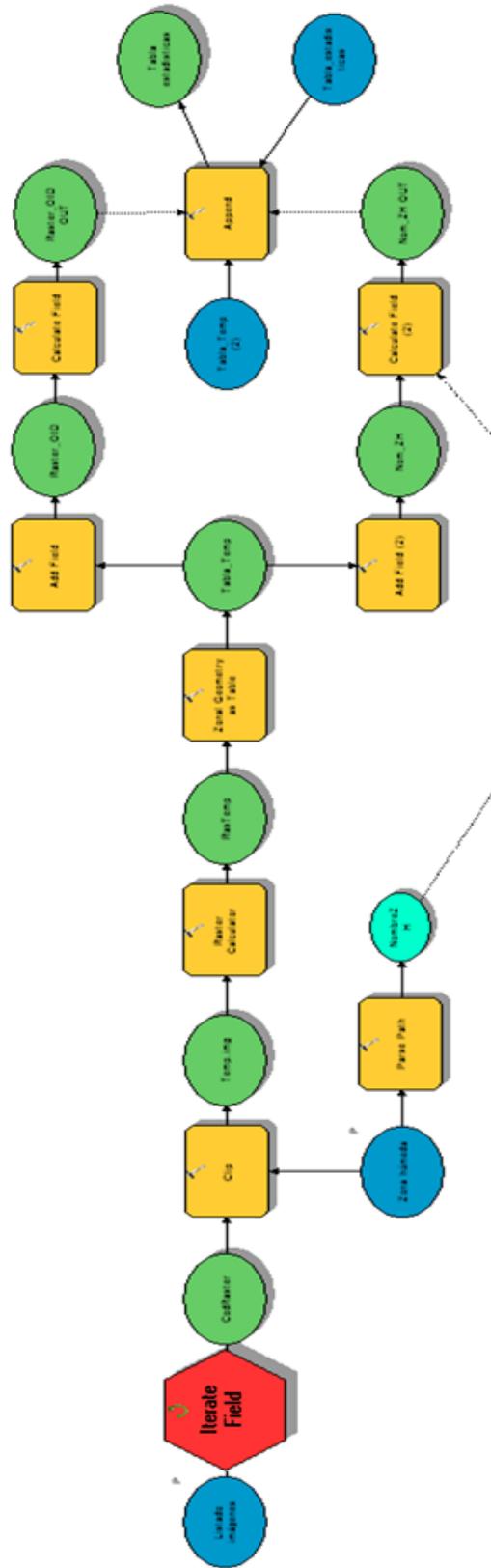


Figura 71: Toolbox programada en ArcGIS 10.2.1. para la obtención automática de la evolución temporal de superficie inundada de un humedal a partir de imágenes de satélite Landsat

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Cabe mencionar que el proceso no puede automatizarse al 100%, pues se requiere de un filtrado previo manual de las imágenes que se van a utilizar. Es necesario visualizar todas las imágenes para comprobar la no presencia de nubes, pues la presencia de éstas ofrece resultados engañosos. Las bandas del satélite no son capaces de obtener información de lo que se encuentra bajo de ellas.

A continuación se muestra como la presencia de nubes puede falsear los resultados obtenidos al aplicar el índice MNDWI. En la imagen de satélite, a la izquierda, se identifica la presencia de nubes sobre La Marjal d'Almenara, cuyo contorno se distingue mediante una línea roja, mientras que en la imagen de la derecha se puede observar como al aplicar el índice, este no es capaz de detectar la presencia de agua en La Marjal.

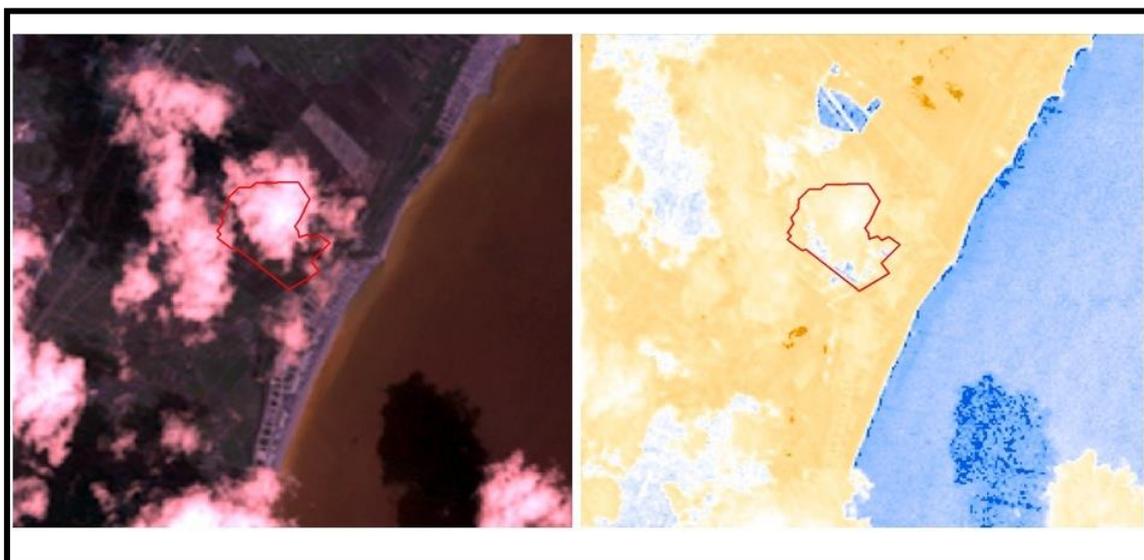


Figura 71: Visualización de una imagen Landsat con presencia de nubes de la Marjal d'Almenara y del índice MNDWI obtenido

6.5. Resultados obtenidos de la aplicación

A continuación se aplica la metodología descrita en el apartado anterior a los cuatro humedales seleccionados y se procede a realizar un análisis de la situación de máxima y mínima inundación obtenida de aplicar el índice de agua propuesto.

6.5.1. LAGUNA DE TALAYUELAS

En este caso se han obtenido 19 datos mensuales de superficie inundada mediante técnicas de teledetección. La superficie inundada corresponde a una imagen tomada un día determinado, por lo que se asume que la superficie obtenida mediante una imagen de satélite es representativa de del mes en el que fue tomada. En el caso de que existan dos imágenes para un mismo mes, pues las imágenes de satélite Landsat se toman cada 16 días, la superficie característica de dicho mes se obtiene como el promedio de las dos superficies obtenidas.

A continuación se muestra una tabla con los resultados de superficie inundada obtenidos y un gráfico que representa la evolución de la superficie inundada en la Laguna de Talayuelas:

fecha	superficie inundada (ha)	% superficie inundada	superficie no inundada (ha)	% superficie no inundada
nov-04	5.50	92%	0.50	8%
may-05	4.50	75%	1.50	25%
jun-08	2.31	39%	3.69	61%
ago-08	0.06	1%	5.94	99%
mar-09	5.56	93%	0.44	7%
jun-09	3.00	50%	3.00	50%
jul-09	2.00	33%	4.00	67%
sep-09	2.31	39%	3.69	61%
oct-09	4.38	73%	1.63	27%
abr-10	3.00	50%	3.00	50%
may-10	5.88	98%	0.13	2%
jul-10	3.50	58%	2.50	42%
ago-10	3.88	65%	2.13	35%
sep-10	4.19	70%	1.81	30%
oct-10	5.25	88%	0.75	13%
nov-10	5.31	89%	0.69	11%
may-11	3.92	65%	2.08	35%

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

fecha	superficie inundada (ha)	% superficie inundada	superficie no inundada (ha)	% superficie no inundada
jun-11	2.94	49%	3.06	51%
ago-11	4.13	69%	1.88	31%

Tabla 7: Datos de superficie inundada en la Laguna de Talayuelas obtenidos mediante técnicas de teledetección

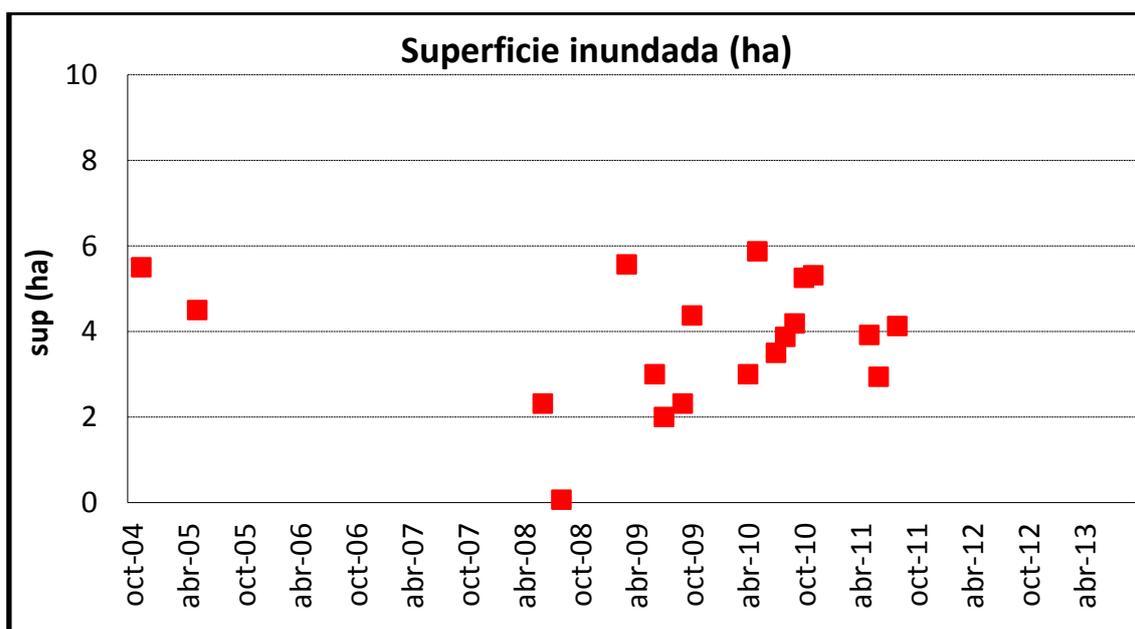


Figura 72: Evolución de la superficie inundada en la Laguna de Talayuelas obtenida mediante técnicas de teledetección

En el gráfico anterior se observa la variación de la superficie inundada en la Laguna de Talayuelas, esta variación oscila entre las 2 y 6 ha aproximadamente, a excepción de la superficie obtenida para agosto de 2008, en la que la laguna debía encontrarse prácticamente vacía, según estos datos.

A continuación se realiza un análisis de las imágenes Landsat que proporcionan la máxima y mínima inundación, para intentar así comprobar si reproducen la realidad. Como en este caso no se dispone de ortofotos para las fechas seleccionadas, se analizan las imágenes Landsat, obteniendo la combinación de bandas 742 y visualizando las bandas del infrarrojo de forma individual.

La situación de mínima inundación se produce en agosto de 2008. En la siguiente figura se muestra la combinación 742 y las bandas 4, 5 y 7 de la imagen seleccionada:

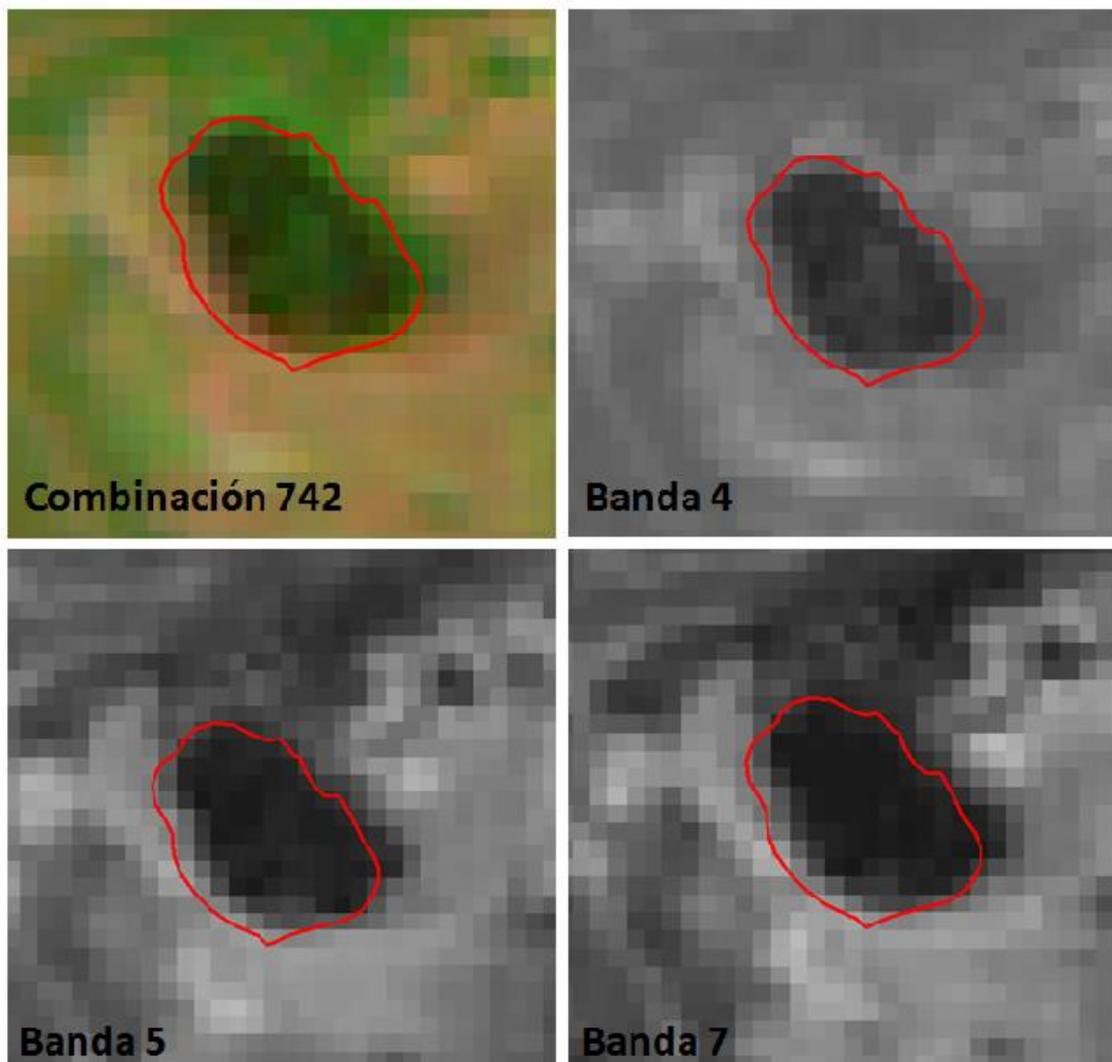


Figura 73: Análisis de la imagen Landsat de la Laguna de Talayuelas que proporciona la mínima inundación

La combinación 742 muestra los píxeles del interior de la laguna en tonos azules y verdes, por lo que no está muy claro si lo que identifica es agua, vegetación o una combinación de ambas. En las bandas del infrarrojo se distinguen los píxeles del interior de la laguna en una tonalidad oscura, aunque si fuera agua debería representarse mediante un negro muy intenso, debido a la baja reflectancia del agua. Además, la reflectancia del agua en las diferentes bandas no cambia y en este caso parece que el color que muestra la banda 4 no es exactamente el mismo que las otras. De modo que parece que la imagen Landsat no

esté identificando agua en la laguna, aunque debido a la resolución de la imagen tampoco puede realizarse un análisis muy preciso.

La situación de máxima inundación se produce en mayo de 2010. En la siguiente figura se muestra la combinación 742 y las bandas 4, 5 y 7 de la imagen seleccionada:

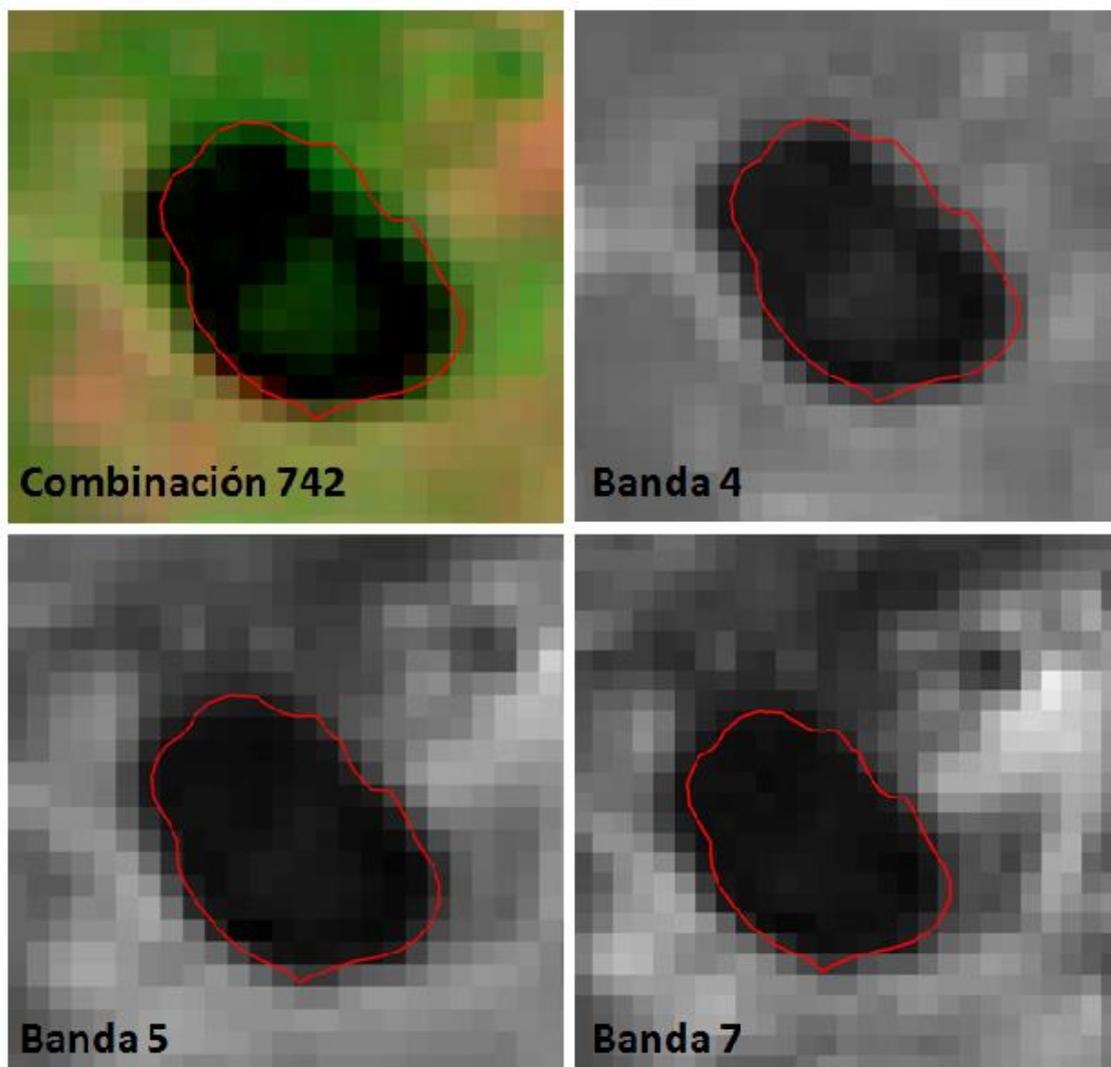


Figura 74: Análisis de la imagen Landsat de la Laguna de Talayuelas que proporciona la máxima inundación

La combinación 742 muestra claramente los píxeles del interior de la laguna en tonos azules oscuros, que identifican la presencia de agua, mientras que en las bandas del infrarrojo se puede ver que los píxeles del interior de la laguna tienen siempre la misma tonalidad de negro oscuro, lo que identifica la presencia de agua.

6.5.2. LAGUNA DE MARQUESADO

En este caso se han obtenido 30 datos mensuales de superficie inundada mediante técnicas de teledetección.

A continuación se muestra una tabla con los resultados de superficie inundada obtenidos y un gráfico que representa la evolución de la superficie inundada en la Laguna de Talayuelas:

fecha	superficie inundada (ha)	% superficie inundada	superficie no inundada (ha)	% superficie no inundada
ago-00	4,75	82%	1,05	18%
nov-04	2,88	50%	2,93	50%
may-05	3,50	60%	2,30	40%
jun-05	3,38	58%	2,43	42%
oct-05	3,25	56%	2,55	44%
jun-08	1,50	26%	4,30	74%
ago-08	1,88	32%	3,93	68%
sep-08	2,72	47%	3,08	53%
oct-08	0,75	13%	5,05	87%
nov-08	3,69	64%	2,11	36%
ene-09	4,81	83%	0,99	17%
mar-09	3,33	57%	2,47	43%
jun-09	1,34	23%	4,46	77%
jul-09	2,40	41%	3,40	59%
ago-09	2,25	39%	3,55	61%
sep-09	3,38	58%	2,43	42%
oct-09	3,00	52%	2,80	48%
nov-09	3,06	53%	2,74	47%
dic-09	2,00	34%	3,80	66%
abr-10	1,69	29%	4,11	71%
jul-10	2,53	44%	3,27	56%
ago-10	1,81	31%	3,99	69%
sep-10	3,34	58%	2,46	42%
oct-10	3,52	61%	2,28	39%
nov-10	3,06	53%	2,74	47%
feb-11	3,13	54%	2,68	46%
may-11	3,63	63%	2,17	37%
jun-11	3,38	58%	2,43	42%

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

fecha	superficie inundada (ha)	% superficie inundada	superficie no inundada (ha)	% superficie no inundada
ago-11	2,88	50%	2,93	50%
sep-11	3,19	55%	2,61	45%

Tabla 8 : Datos de superficie inundada en la Laguna de Talayuelas obtenidos mediante técnicas de teledetección

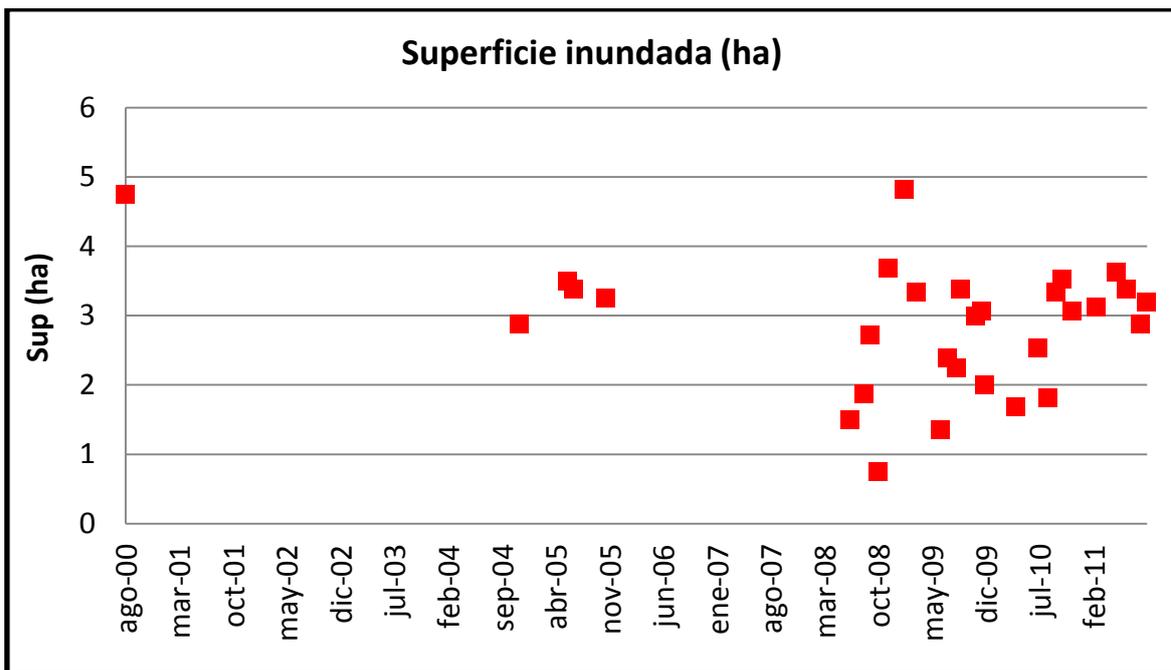


Figura 75: Evolución de la superficie inundada en la Laguna de Talayuelas obtenida mediante técnicas de teledetección

En el gráfico anterior se observa una gran variabilidad en los datos de superficie inundada de la Laguna de Marquesado, aunque las referencias encontradas y la visita de campo vislumbran la laguna como un ecosistema de niveles prácticamente constantes.

A continuación se realiza un análisis de las imágenes Landsat que proporcionan la máxima y mínima inundación, para intentar así comprobar si reproducen la realidad. Como en este caso tampoco se dispone de ortofotos para las fechas seleccionadas se analizan las imágenes Landsat, obteniendo la combinación de bandas 742 y visualizando las bandas del infrarrojo de forma individual, que son las que más información proporcionan.

La situación de mínima inundación se produce en octubre de 2008. En la siguiente figura se muestra la combinación 742 y las bandas 4, 5 y 7 de la imagen seleccionada:

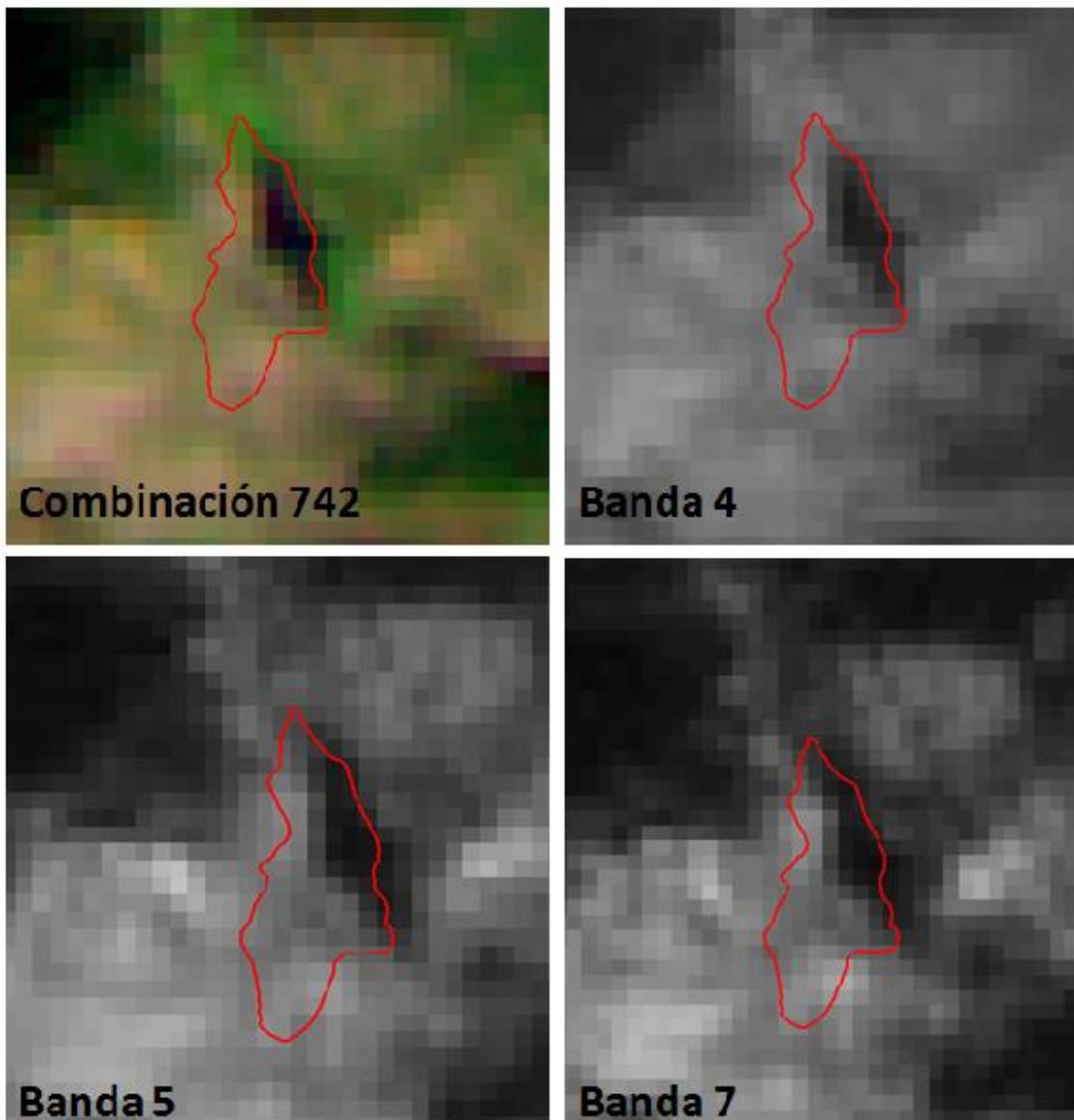


Figura 76: Análisis de la imagen Landsat de la Laguna de Marquesado que proporciona la mínima inundación

La combinación 742 muestra únicamente unos píxeles en la zona superior derecha de la laguna en tonos azules, por lo que no parece identificar agua en toda la laguna. En las bandas del infrarrojo, al igual que en la combinación en color, se distinguen en una tonalidad negra oscura unos píxeles ubicados en la parte superior derecha. De modo que parece que la imagen Landsat solo esté identificando agua en dicha zona de la laguna, aunque debido a la resolución de la imagen tampoco puede realizarse un análisis muy preciso.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

La situación de máxima inundación se produce en enero de 2009. En la siguiente figura se muestra la combinación 742 y las bandas 4, 5 y 7 de la imagen seleccionada:

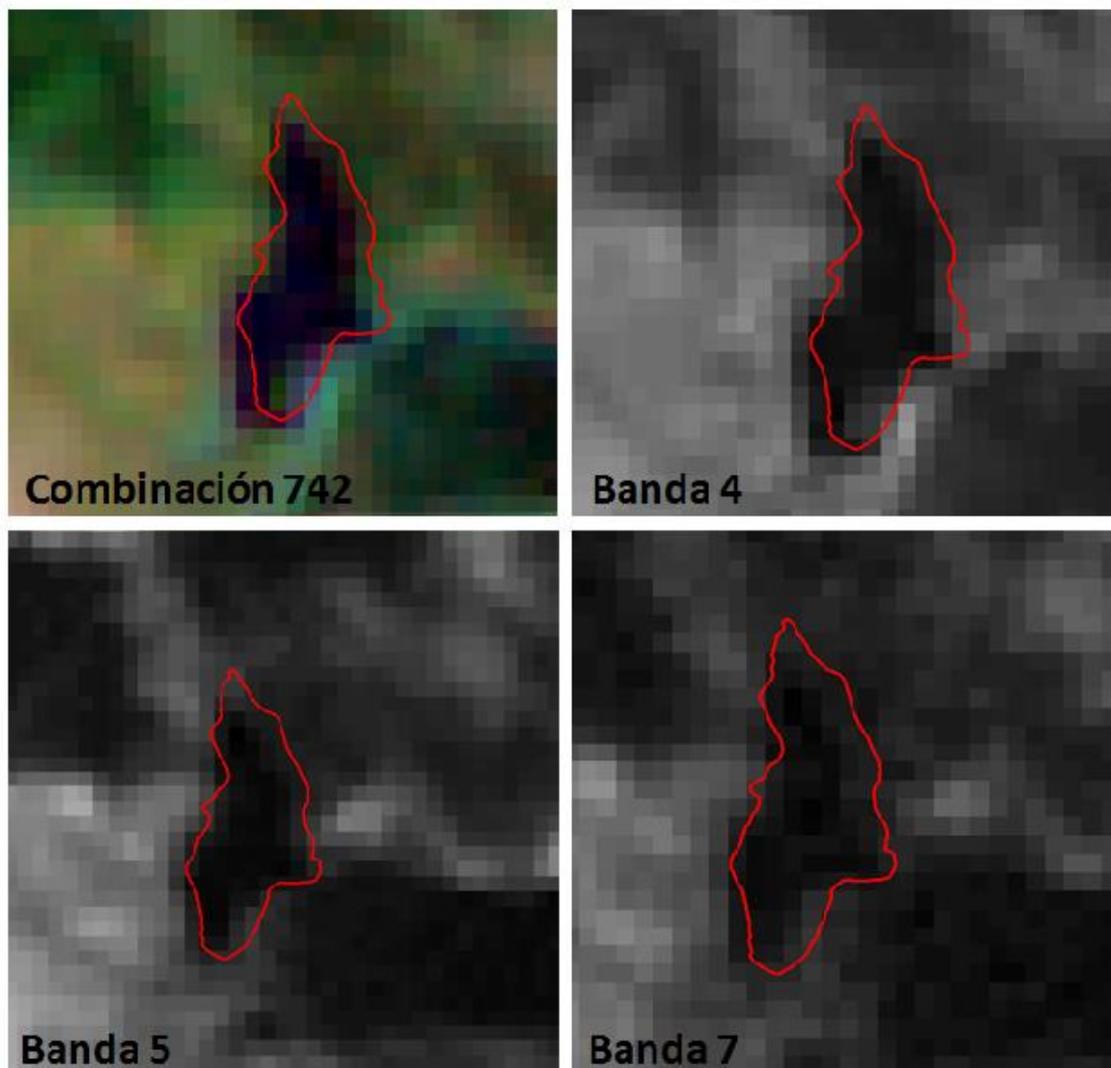


Figura 77: Análisis de la imagen Landsat de la Laguna de Marquesado que proporciona la máxima inundación

La combinación 742 muestra claramente los píxeles del interior de la laguna en tonos azules oscuros, que identifican la presencia de agua, mientras que en las bandas del infrarrojo se puede ver que los píxeles del interior de la laguna tienen siempre la misma tonalidad de negro oscuro, lo que identifica la presencia de agua.

Del análisis de diferentes imágenes de satélite se descubre que muchas de las imágenes están mal georreferenciadas. En la siguiente figura se muestran unos ejemplos de mala georreferenciación. Como se puede comprobar la zona de aguas que se identifica en

las imágenes como la Laguna de Marquesado no coincide con la capa que delimita la superficie de esta. No se trata de un problema puntual, ya que se encuentran estos problemas en la mayoría de las imágenes. Debido a que georreferenciar imágenes de satélite es una tarea complicada de la cual no se disponen conocimientos se decide descartar los datos de superficie inundada obtenidos mediante técnicas de teledetección, pues podrían falsear los resultados que proporciona el modelo.

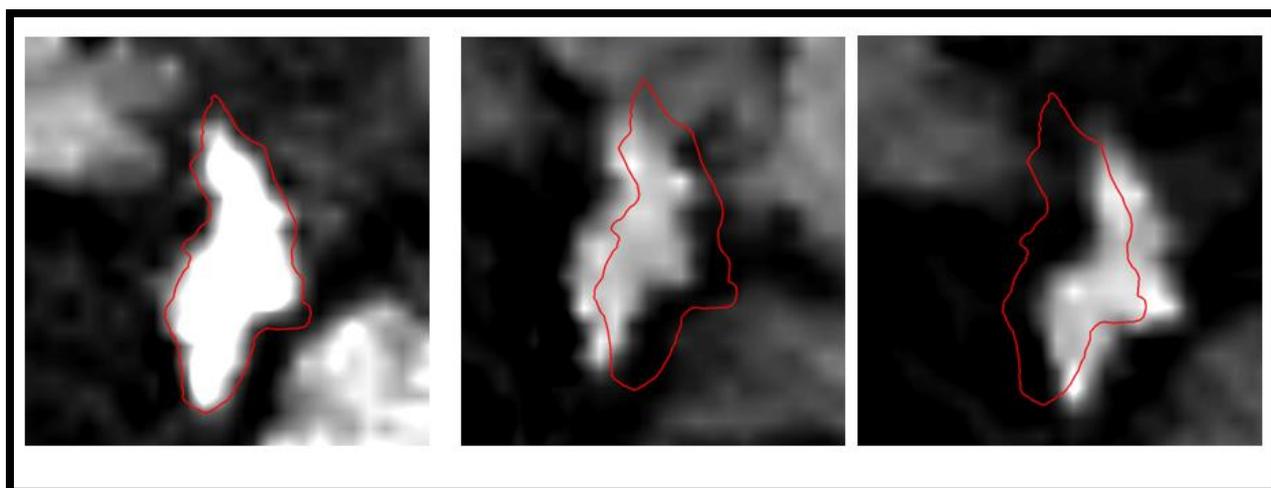


Figura 78: Análisis de problemas de georreferenciación en las imágenes Landsat de la Laguna de Marquesado

6.5.3. MARJAL D'ALMENARA

En este caso se han obtenido 32 datos mensuales de superficie inundada mediante técnicas de teledetección.

A continuación se muestra una tabla con los resultados de superficie inundada obtenidos y un gráfico de evolución de la superficie inundada en la Marjal d'Almenara:

fecha	superficie inundada (ha)	% superficie inundada	superficie no inundada (ha)	% superficie no inundada
sep-99	6.94	7%	abr-00	93%
ago-00	2.00	2%	abr-00	98%
oct-04	62.91	59%	feb-00	41%
nov-04	61.56	58%	feb-00	42%
may-05	52.13	49%	feb-00	51%
abr-06	52.88	50%	feb-00	50%
jun-08	50.84	48%	feb-00	52%

**DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS
CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN
HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.**

fecha	superficie inundada (ha)	% superficie inundada	superficie no inundada (ha)	% superficie no inundada
ago-08	49.96	47%	feb-00	53%
sep-08	54.94	52%	feb-00	48%
nov-08	36.44	34%	mar-00	66%
feb-09	33.31	31%	mar-00	69%
mar-09	47.03	44%	feb-00	56%
abr-09	57.88	55%	feb-00	45%
may-09	47.31	45%	feb-00	55%
jun-09	41.88	40%	mar-00	60%
jul-09	50.00	47%	feb-00	53%
ago-09	50.50	48%	feb-00	52%
sep-09	50.69	48%	feb-00	52%
nov-09	43.92	41%	mar-00	59%
feb-10	50.28	47%	feb-00	53%
mar-10	49.44	47%	feb-00	53%
may-10	50.25	47%	feb-00	53%
jul-10	52.94	50%	feb-00	50%
ago-10	42.60	40%	mar-00	60%
sep-10	51.44	49%	feb-00	51%
oct-10	49.96	47%	feb-00	53%
nov-10	47.97	45%	feb-00	55%
feb-11	46.06	43%	feb-00	57%
abr-11	46.13	44%	feb-00	56%
may-11	46.20	44%	feb-00	56%
jun-11	51.84	49%	feb-00	51%
ago-11	49.92	47%	feb-00	53%

Tabla 9 : Datos de superficie inundada en la Marjal d'Almenara obtenidos mediante técnicas de teledetección

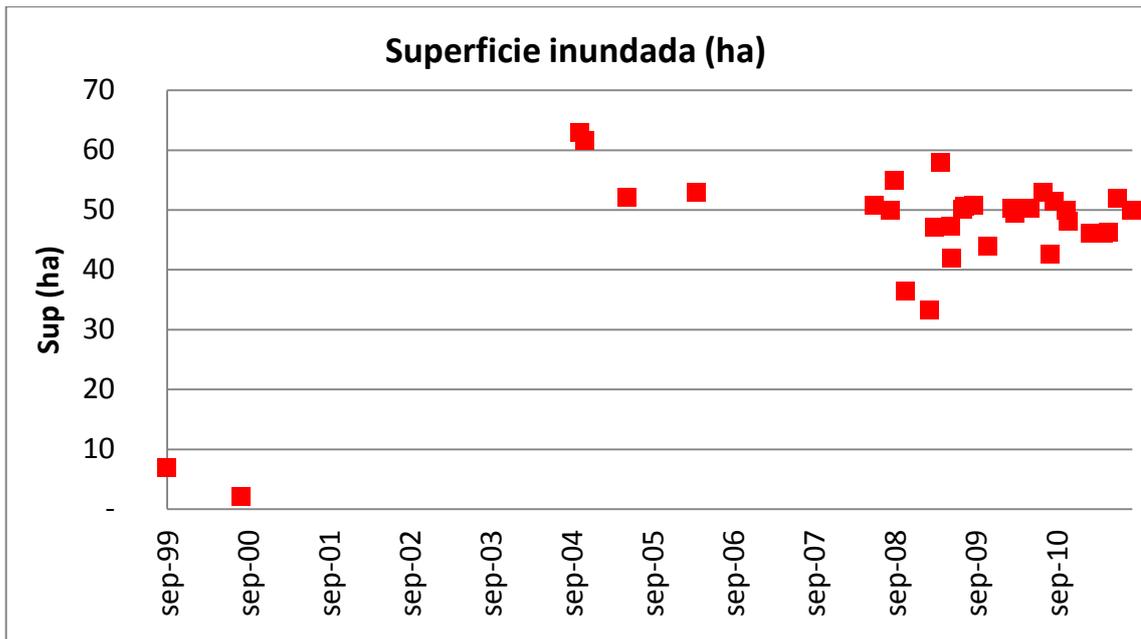


Figura 79 : Evolución de la superficie inundada en la Marjal d'Almenara obtenida mediante técnicas de teledetección

En el gráfico anterior se observa que la variación de la superficie oscila entre las 35 y 65 ha aproximadamente, a excepción de los dos primeros datos en los que la superficie es inferior a las 10ha.

Aunque todos los datos se encuentran en un intervalo y los dos primeros datos difieren de esta situación, esto se justifica en que el año 2001 se llevo a cabo un proyecto sobre la Marjal, “Plan de Protección de Recursos Hídricos de la zona húmeda de Almenara, CHJ” en el que se limitaban las extracciones para asegurar su mantenimiento, por lo que se supone que las medidas tomadas han tenido un efecto sobre la Marjal, de forma que han aumentado las entradas y consecuentemente los niveles en el lago.

En los aportados anteriores del presente capítulo ya se realizó un análisis de las imágenes Landsat que proporcionaban la situación de máxima y mínima inundación en la Marjal d'Almenara para comprobar si reproducían la realidad. Como en este caso para las fechas en las que fueron tomadas las imágenes que representaban la mínima y máxima inundación existían ortofotos, la alta resolución de éstas permitió realizar un análisis visual que verificó que lo que mostraban las imágenes de satélite y sus productos se correspondía con lo que se observaba en las ortofotos.

6.5.4. MARJAL DE PEGO-OLIVA

En este caso se han obtenido 21 datos mensuales de superficie inundada mediante técnicas de teledetección.

A continuación se muestra una tabla con los resultados de superficie inundada obtenidos y un gráfico que representa la evolución de la superficie inundada en la Marjal de Pego-Oliva:

fecha	superficie inundada (ha)	% superficie inundada	superficie no inundada (ha)	% superficie no inundada
ago-00	29.19	10%	249.81	90%
oct-04	8.06	3%	270.94	97%
abr-06	29.56	11%	249.44	89%
jun-08	8.06	3%	270.94	97%
ago-08	2.81	1%	276.19	99%
sep-08	2.81	1%	276.19	99%
nov-08	21.25	8%	257.75	92%
feb-09	10.69	4%	268.31	96%
mar-09	0.06	0%	278.94	100%
jun-09	3.25	1%	275.75	99%
ago-09	2.13	1%	276.88	99%
sep-09	3.16	1%	275.84	99%
nov-09	2.56	1%	276.44	99%
dic-09	1.88	1%	277.13	99%
feb-10	6.31	2%	272.69	98%
mar-10	49.94	18%	229.06	82%
ago-10	3.00	1%	276.00	99%
sep-10	2.38	1%	276.63	99%
oct-10	3.59	1%	275.41	99%
jun-11	2.13	1%	276.88	99%
ago-11	1.63	1%	277.38	99%

Tabla 10: Datos de superficie inundada en la Marjal de Pego-Oliva obtenidos mediante técnicas de teledetección

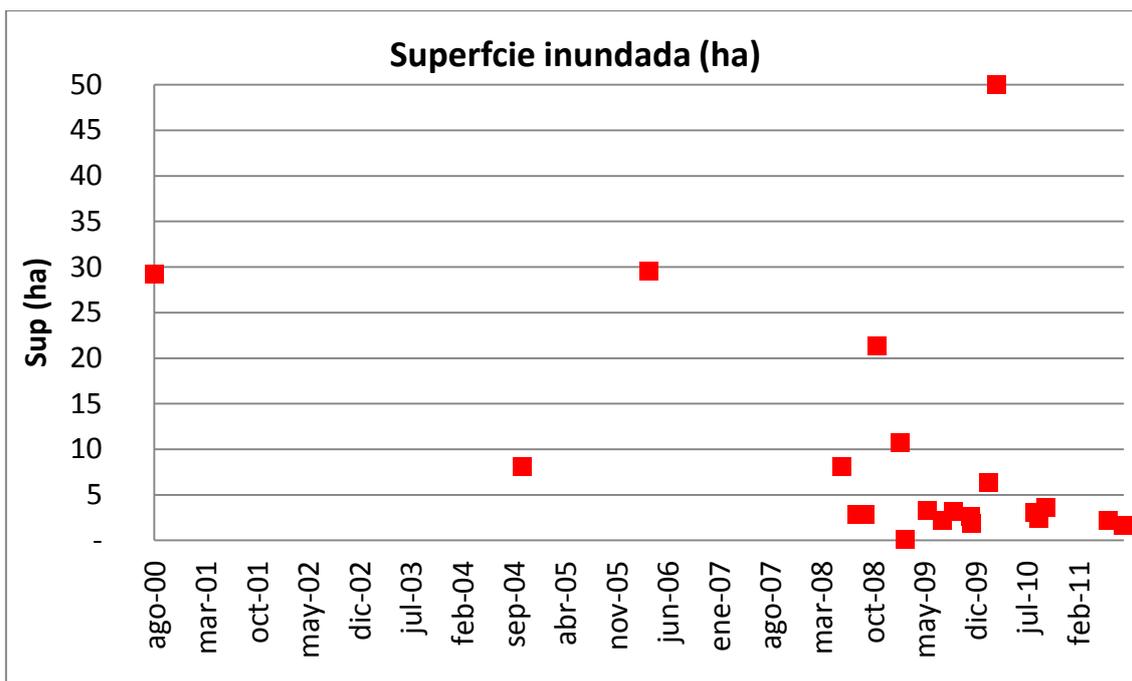


Figura 80: Evolución de la superficie inundada en la Marjal de Pego-Oliva obtenida mediante técnicas de teledetección

En el gráfico anterior se observa como la mayoría de los datos ofrecen una superficie inundada inferior a 10 ha, habiendo un caso puntual con una superficie prácticamente nula y cuatro situaciones de mayor inundación, con unas superficies entre 25 y 50 ha.

A continuación se realiza un análisis de las imágenes Landsat que proporcionan la máxima y mínima inundación, para intentar así comprobar si reproducen la realidad. Como en este caso no se dispone de ortofotos para las fechas seleccionadas se analizan las imágenes Landsat, obteniendo la combinación de bandas 742 y visualizando las bandas del infrarrojo de forma individual, que son las que más información proporcionan.

La situación de mínima inundación se produce en marzo de 2009. En la siguiente figura se muestra la combinación 742 y las bandas 4, 5 y 7 de la imagen seleccionada:

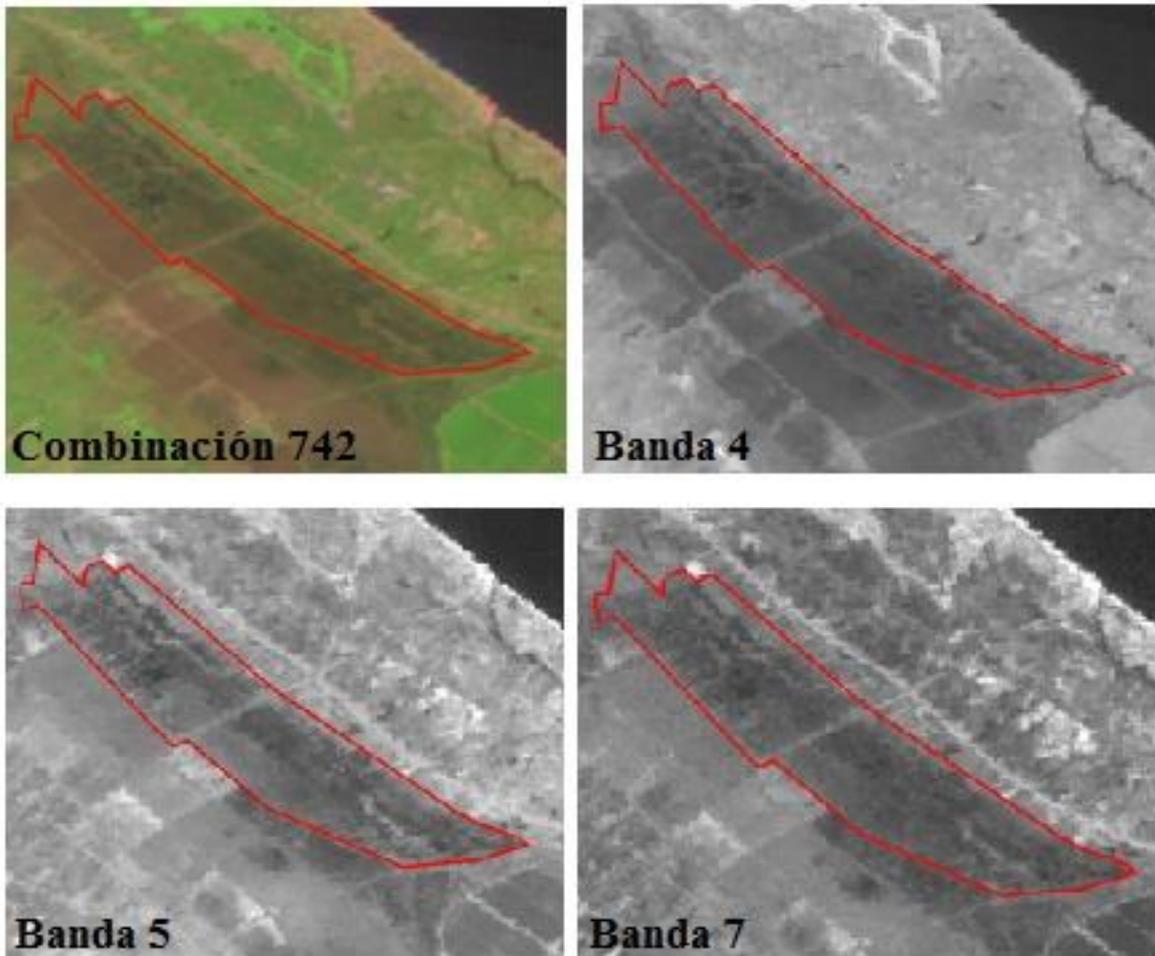


Figura 81: Análisis de la imagen Landsat de la Marjal de Pego-Oliva que proporciona la mínima inundación

La combinación 742 muestra los píxeles del interior de la laguna en diferentes tonalidades de verde, únicamente se intuye un pequeño conjunto de píxeles en la zona norte de la marjal en tonos azul oscuro. En las bandas del infrarrojo se distinguen los píxeles del interior de la laguna en una tonalidad oscura, aunque si fuera agua debería representarse mediante un negro muy intenso, debido a la baja reflectancia del agua. En la zona superior se identifica un conjunto de píxeles en negro oscuro, debido a que la reflectancia del agua en las diferentes bandas no cambia este tono negro oscuro debería ser igual en todas las bandas, y aunque en este caso parece que estos píxeles aparecen siempre en tonalidades oscuras, el color que muestra la banda 4 no es exactamente el mismo que las

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

otras. De modo que parece que la imagen Landsat no esté identificando agua en la marjal, aunque este análisis visual tampoco puede ser muy preciso.

En el gráfico y la tabla vistos anteriormente, que representan la evolución de la superficie inundada en la Marjal de Pego-Oliva, se identifica la superficie obtenida en marzo de 2010, de 49,94 ha, como la máxima superficie obtenida de las imágenes Landsat. Aunque cabe mencionar que para dicho mes se dispone de dos imágenes, por lo que la superficie inundada ha sido calculada mediante el promedio de los dos datos obtenidos. Las dos superficies obtenidas en marzo de 2010 son de 93,5 ha para una imagen tomada el día 14 y de 6,3 ha para otra imagen tomada el día 30. Estos datos representan una gran variabilidad de superficie inundada para dos situaciones que distan únicamente 16 días.

A continuación se analiza la situación de máxima inundación, producida en marzo de 2010. En la siguiente figura se muestra la combinación 742 y las bandas 4, 5 y 7 de la imagen seleccionada:

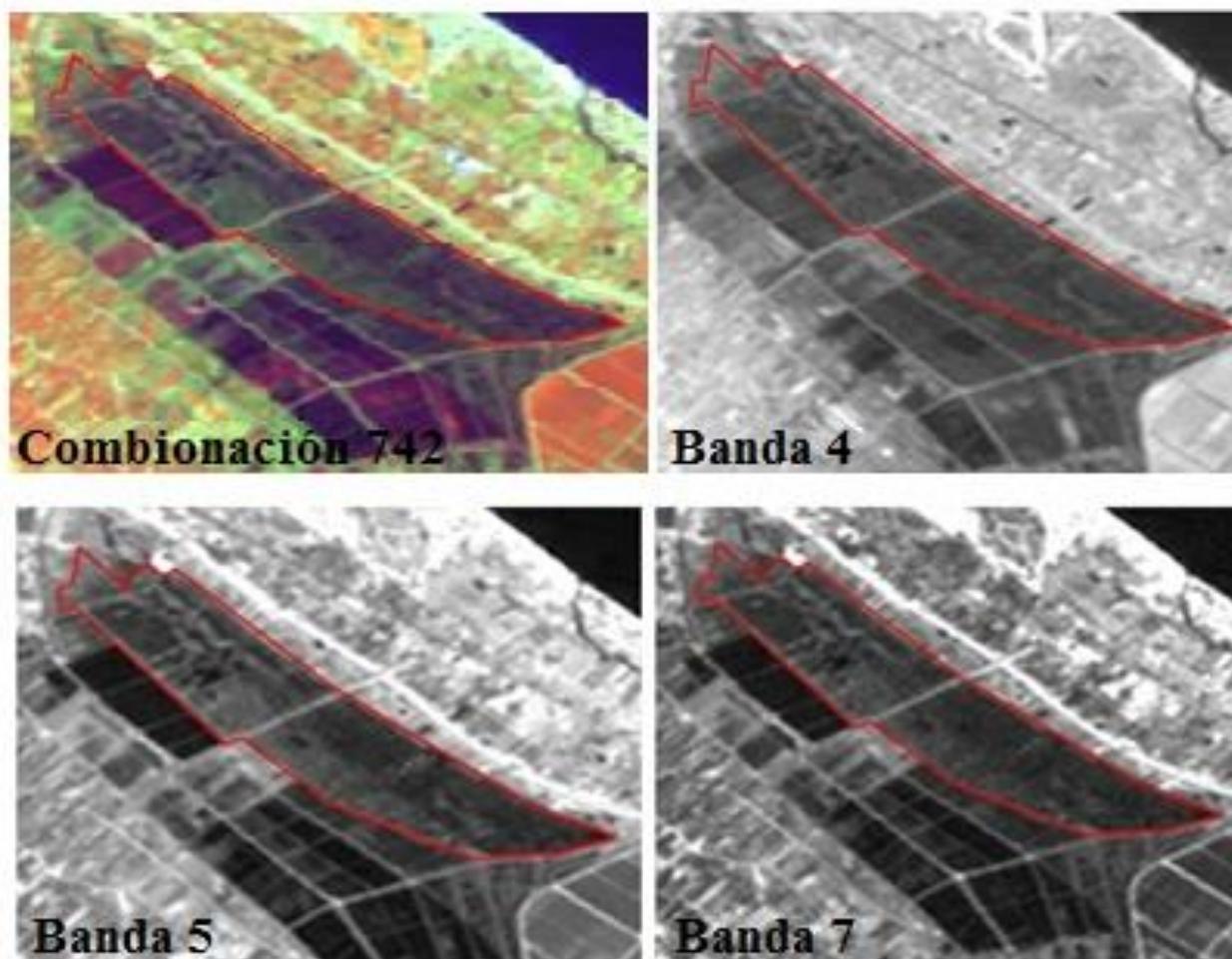


Figura 82: Análisis de la imagen Landsat de la Marjal de Pego-Oliva que proporciona la máxima inundación

La combinación 742 muestra la zona Norte y la zona de la margen derecha en tonos azul oscuros, que identifican la presencia de agua, mientras que parece que los píxeles más cercanos a la margen izquierda se identifiquen en tonalidades de verde. En las bandas del infrarrojo también se identifica en la zona Norte y en la zona de la margen derecha unas tonalidades de negro más oscuro, aunque se observa en todas ellas un conjunto de píxeles en la zona Norte de un negro más intenso al resto. Esta última zona definida parece que identifique de forma clara la zona inundada, pero en cambio se pone en duda que el resto de píxeles identificados como agua realmente lo sean.

Del análisis visual realizado se llega a la conclusión de que puede que se esté confundiendo agua con lo que realmente es un suelo con alto contenido de humedad y vegetación. Como se vio en el capítulo 3 del presente trabajo, Estado del arte, existen estudios que hacen referencia a que cuando en un mismo píxel hay más de un tipo de cubierta, es decir, una combinación de agua, suelo y vegetación, el valor del índice MNDWI varía y deja de ser cero. Este puede ser el caso de la Marjal de Pego-Oliva, una zona de aguas someras de gran extensión que parece no encontrarse inundada totalmente, en la que existe mucha vegetación y en la que el suelo debe tener un alto contenido en humedad, aunque no se encuentre cubierto de aguas. Cabe destacar que en las referencias consultadas se establece que no existe un valor de corte definido, ni siquiera para una combinación concreta de agua, suelo y vegetación, sino que este valor se ha de estudiar y determinar para cada ecosistema de forma individual.

De modo que se procede a analizar el valor umbral del índice MNDWI para el caso de la Marjal de Pego-Oliva. En primer lugar se analiza la imagen que representa la situación de máxima inundación, y se procede a definir y aplicar diferentes valores umbrales del índice hasta obtener una superficie inundada nula. En la siguiente figura se muestra una tabla y un gráfico que muestran como varía la superficie inundada en función del valor de corte adoptado. Como se observa la superficie decae exponencialmente hasta anularse.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

AGUA SI MNDWI>	AREA (Ha)
0	93,56
0,01	81,13
0,05	54,56
0,1	27,19
0,15	13,19
0,2	6,5
0,25	2,5
0,3	0,81
0,35	0,44
0,4	0,25

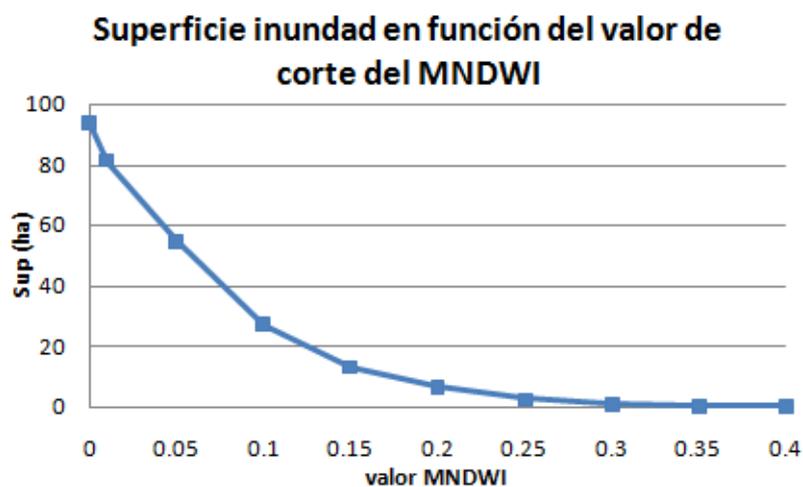


Figura 83: Evolución de la superficie inundada en función del valor de corte del índice MNDWI adoptado. Aplicado a una imagen Landsat de la Marjal de Pego-Oliva tomada el 16 de marzo del 2010

A continuación se visualizan las diferentes situaciones de superficie inundada obtenidas en función del valor de corte del MNDWI. En azul se identifican los píxeles que son agua, es decir los píxeles en los que el índice ofrece resultados mayores al valor umbral definido.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS
CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCA-
CIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

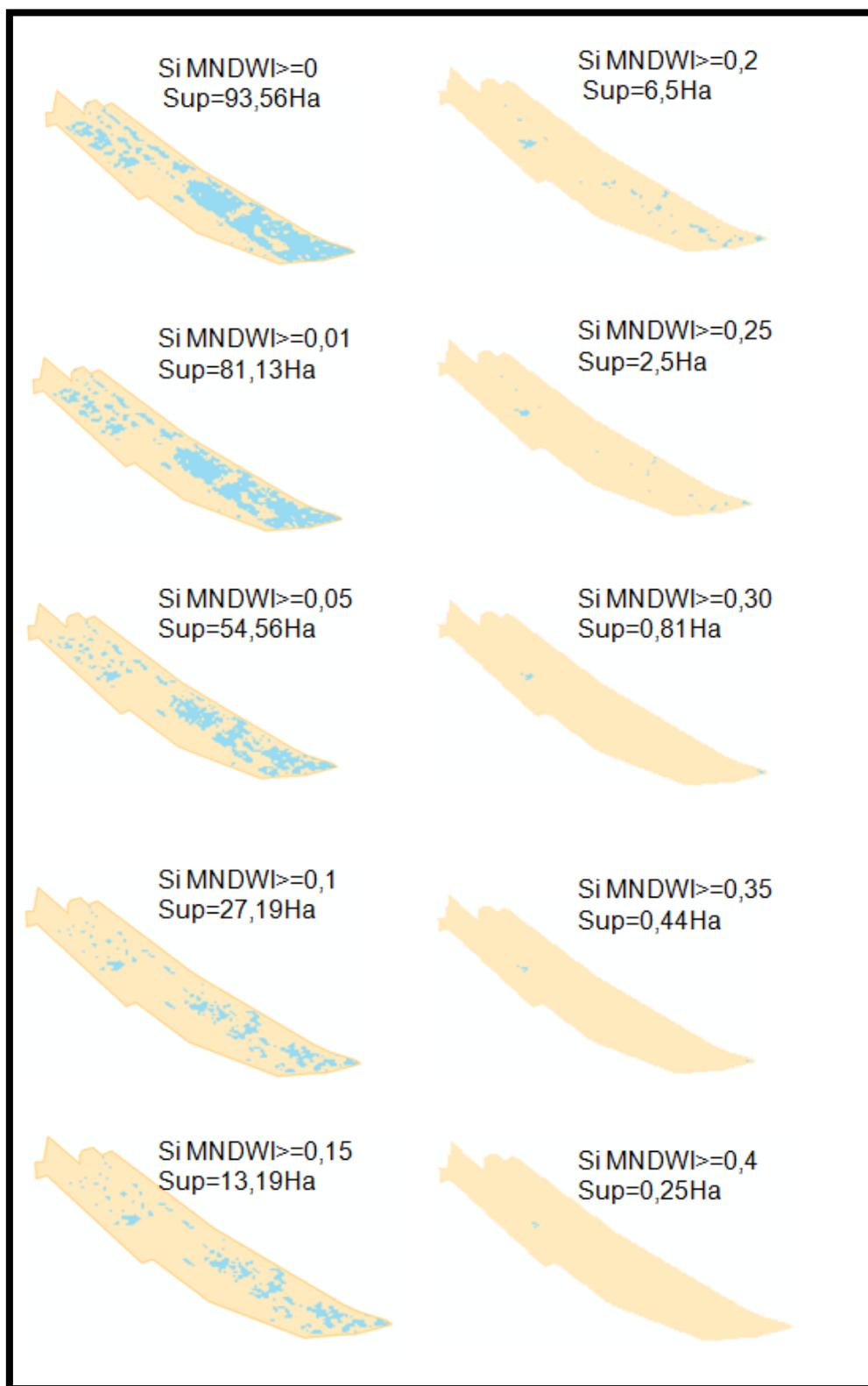


Figura 84: Visualización de la evolución de la superficie inundada en función del valor de corte del índice MNDWI adoptado. Aplicado a una imagen Landsat de la Marjal de Pego-Oliva tomada el 16 de marzo del 2010

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Seguidamente se realiza un análisis para todos los datos de superficie inundada obtenidos mediante técnicas de teledetección en la marjal. De manera que se procede a estudiar cómo evoluciona la superficie inundada en la Majal de Pegó-Oliva en función del valor de corte del índice MNDWI. Se definen tres valores de corte o valor umbral (0,1, 0,15 y 0,2) y se obtienen las diferentes evoluciones de superficie inundada para cada uno de ellos, como se muestra en el siguiente gráfico:

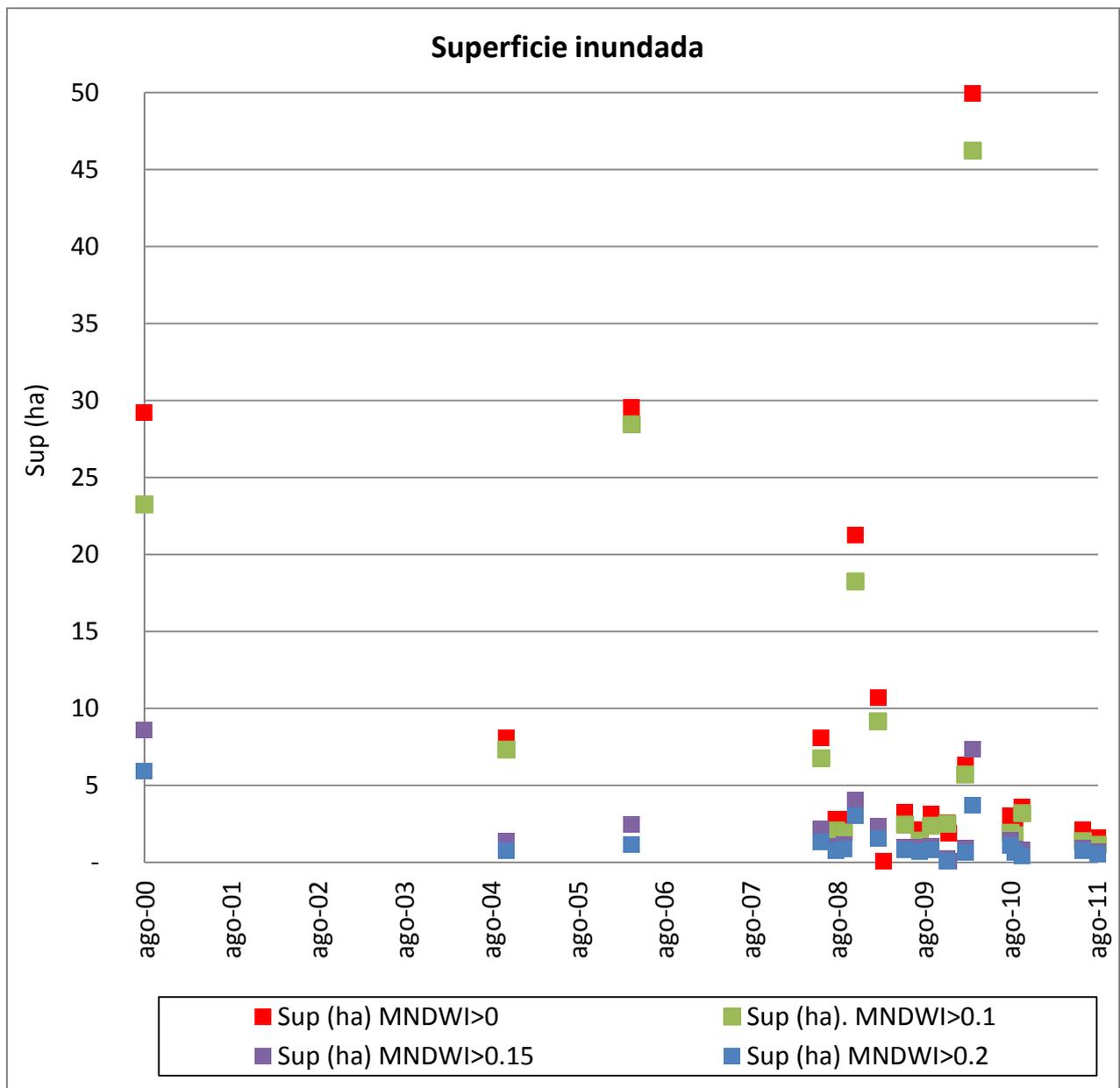


Figura 85: evolución de la superficie inundada en la Marjal de Pegó-Oliva en función del valor de corte del índice MNDWI

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

A la vista del gráfico se observa la gran variabilidad de los datos de superficie obtenidos en función del valor umbral aplicado. Se decide proponer como nuevo valor de corte 0,1 pues si aumentamos el valor de éste se pierde la variabilidad de los datos.

6.6. Conclusiones

Se han aplicado las técnicas de teledetección a la serie de imágenes Landsat 5 TM disponibles en la OPH, que provienen del Plan Nacional de Teledetección Aérea llevado a cabo por el Ministerio de Fomento. Se han utilizado imágenes de dicho satélite pues eran las imágenes disponibles de mayor resolución espacial (25m). Además cabe mencionar que frente a otros estudios realizados, y revisados en el capítulo 3, en los que únicamente se seleccionaron dos o tres imágenes para caracterizar situaciones representativas de los ecosistemas, en el presente estudio se ha utilizado la serie completa de imágenes disponible, descartando solo aquellas con presencia de nubes.

Se ha comprobado como la elección de las imágenes de satélite se ha de realizar de forma adecuada, pues para realizar estos trabajos es necesario disponer de lecturas de unas bandas concretas del sensor, además otro parámetro clave es la resolución espacial, pues ésta puede comprometer los resultados obtenidos en el caso de humedales de interior debido a su pequeño tamaño.

Mediante el análisis realizado se han detectado problemas de georreferenciación, por lo que antes de proceder a operar con las imágenes es necesario comprobar que estén bien georreferenciadas, pues de lo contrario se pueden obtener resultados engañosos.

Respecto al análisis de diferentes índices, el índice MNDWI se ha perfilado como el índice más adecuado para obtener la superficie inundada de un humedal mediante una imagen satelital. Se ha visto como este índice es únicamente el que permite distinguir agua de suelo y vegetación en el caso de humedales.

El análisis del valor de corte o valor umbral del índice MNDWI realizado en el caso de la Marjal de Pegó-Oliva ha mostrado como esta tarea debe tenerse en cuenta, especialmente en humedales similares de aguas someras con mucha vegetación inundada, en los que la vegetación puede enmascarar la presencia de agua y falsear los resultados de respuesta espectral que recoge el sensor del satélite.

La visualización de imágenes mediante combinaciones de bandas en color ha ayudado a detectar de forma visual la presencia de agua y distinguirla de los otros tipos de cubierta, del análisis de las diferentes combinaciones se ha visto como la combinación 742 propuesta por la NASA es una de las que más fácilmente identifica la presencia de agua.

Por otra parte, la visualización individual de las bandas del satélite y su análisis ha permitido definir las bandas del infrarrojo como las más útiles en la identificación visual de cuerpos de agua, pues en estas bandas existe una mayor diferencia entre la reflectancia de suelo, agua y vegetación. Además de la visualización individual de las tres debe comprobarse como el agua mantiene la misma tonalidad negra oscura en todas ellas, pues la reflectancia del agua, a diferencia de la de la vegetación y el suelo, tiene el mismo valor en todas las bandas.

Finalmente, aunque el caso de embalses no es competencia del presente estudio, el análisis realizado con embalse de Alarcón ha permitido advertir como el caso de los embalses es más sencillo, pues todas las combinaciones, bandas e índices (a excepción del NDVI) identifican el cuerpo de agua claramente.

7. APLICACIÓN. MODELACIÓN DE HUMEDALES.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de la modelación de los cuatro humedales objeto de estudio. La información a mostrar se estructura en 6 apartados, en primer lugar se muestra el análisis de los datos de partida existentes y generados para alimentar al modelo. En segundo lugar se caracteriza el régimen de aportaciones al humedal y seguidamente se encuentra la caracterización física del humedal. En cuarto lugar se muestran los parámetros del modelo y a continuación los resultados generados de niveles de agua, superficies inundadas y volúmenes almacenados. Y finalmente se expone la propuesta de requerimientos hídricos realizada.

7.1. Laguna de Talayuelas

7.1.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

▪ DATOS OBSERVADOS

En el caso de la Laguna de Talayuelas se dispone de cuatro datos mensuales de altura de la lámina de agua.

Tres datos provienen de sensores instalados por Comisaría Aguas, los sensores toman mediciones cada 10 min, por lo que se ha calculado el dato mensual como el promedio de todas las mediciones tomadas dicho mes. La fecha de estos datos es de abril, mayo y junio de 2013 y sus unidades son m.s.n.m.

A continuación se muestra un gráfico con los niveles medidos por los sensores cada 10 minutos, y seguidamente se muestra otro en el que se representan los niveles de agua diarios obtenidos.

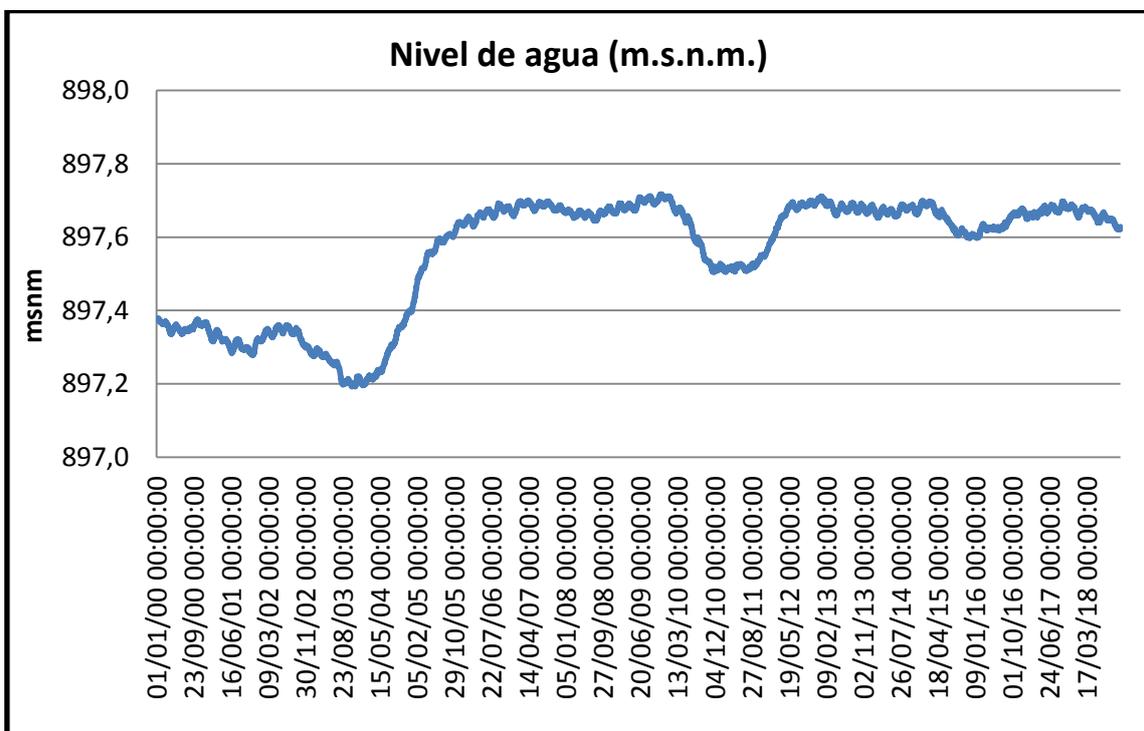


Figura 86 : Niveles de agua medidos por los sensores de Comisaría de Aguas ubicados en la Laguna de Talayuelas

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

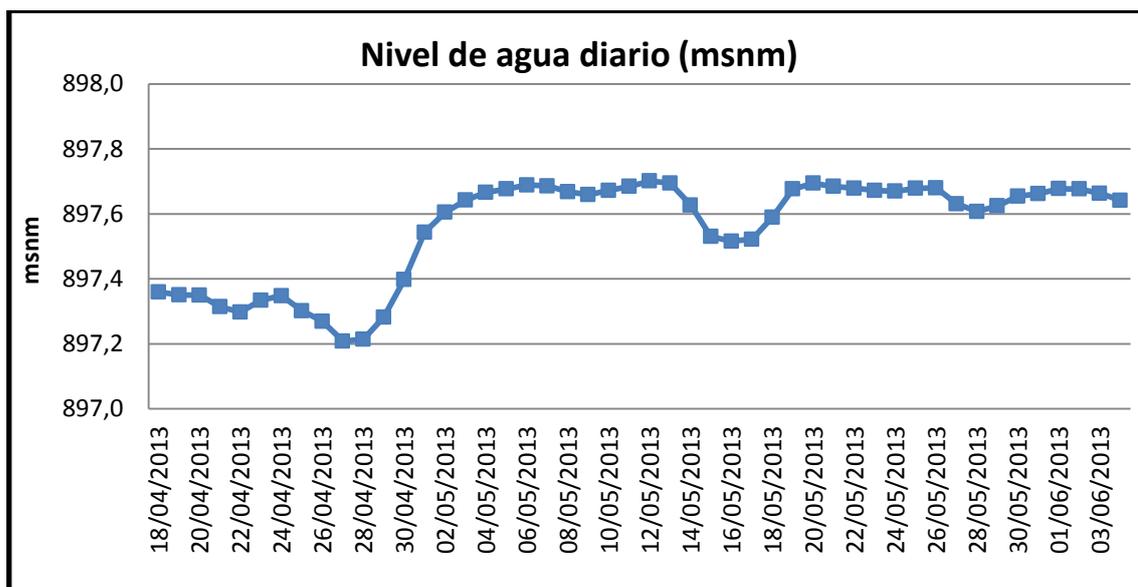


Figura 87 : Niveles de agua diarios obtenidos de los sensores de Comisaría de Aguas ubicados en la Laguna de Talayuelas

Como se puede observar en los gráficos anteriores la variación máxima de la lámina de agua según los datos no alcanza lo 50 cm en los tres meses en que existen mediciones. A partir del 28 de abril se observa un incremento de los niveles que se mantiene bastante constante hasta el final de la serie, a excepción del 15 al 18 de mayo, días en que los niveles son más bajos.

Por otro lado, el dato de altura restante proviene del estudio “Estudio morfométrico y batimétrico en las cubetas de lagos naturales en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar” (MAGRAMA, 2013), se trata de un dato puntual con fecha 23/11/2012 y medido en m.s.n.m.

Cabe destacar que ninguno de los cuatro datos existentes se encuentra georreferenciado, por lo que no se conoce el punto geográfico exacto en el que han sido tomadas las mediciones.

Seguidamente se muestra una tabla con los datos disponibles:

Fecha	Medición (msnm)	Fuente de información
nov-12	895.43	“Trabajos de levantamiento y post-procesado de datos batimétricos y de seguimiento de niveles en lagos naturales del ámbito de la CHJ”

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Fecha	Medición (msnm)	Fuente de información
abr-13	897.31	Sensores de Comisaría de Aguas
may-13	897.64	Sensores de Comisaría de Aguas
jun-13	897.67	Sensores de Comisaría de Aguas

Tabla 11: Datos disponibles de altura de lámina de agua en la Laguna de Talayuelas

Como se observa en la tabla anterior los datos obtenidos de los sensores de Comisaría de Aguas son del mismo orden de magnitud, únicamente varían unos centímetros, en cambio difieren más de dos metros del dato del estudio “Trabajos de levantamiento y post-procesado de datos batimétricos y de seguimiento de niveles en lagos naturales del ámbito de la CHJ”, esto puede ser debido a que los datos han sido tomados en dos puntos geográficos diferentes, no pudiendo ser así comprables.

▪ **DATOS OBTENIDOS MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN**

Como ya se ha mostrado en el anterior capítulo, en el caso de la Laguna de Talayuelas se han obtenido 19 datos mensuales de superficie inundada mediante técnicas de teledetección.

A continuación se muestra una tabla con los resultados de superficie inundada obtenidos y un gráfico que representa la evolución de la superficie inundada en la laguna:

fecha	superficie inundada (ha)	% superficie inundada	superficie no inundada (ha)	% superficie no inundada
nov-04	5.50	92%	0.50	8%
may-05	4.50	75%	1.50	25%
jun-08	2.31	39%	3.69	61%
ago-08	0.06	1%	5.94	99%
mar-09	5.56	93%	0.44	7%
jun-09	3.00	50%	3.00	50%
jul-09	2.00	33%	4.00	67%
sep-09	2.31	39%	3.69	61%
oct-09	4.38	73%	1.63	27%
abr-10	3.00	50%	3.00	50%
may-10	5.88	98%	0.13	2%
jul-10	3.50	58%	2.50	42%

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

fecha	superficie inundada (ha)	% superficie inundada	superficie no inundada (ha)	% superficie no inundada
ago-10	3.88	65%	2.13	35%
sep-10	4.19	70%	1.81	30%
oct-10	5.25	88%	0.75	13%
nov-10	5.31	89%	0.69	11%
may-11	3.92	65%	2.08	35%
jun-11	2.94	49%	3.06	51%
ago-11	4.13	69%	1.88	31%

Tabla 12: Datos de superficie inundada en la Laguna de Talayuelas obtenidos mediante técnicas de teledetección

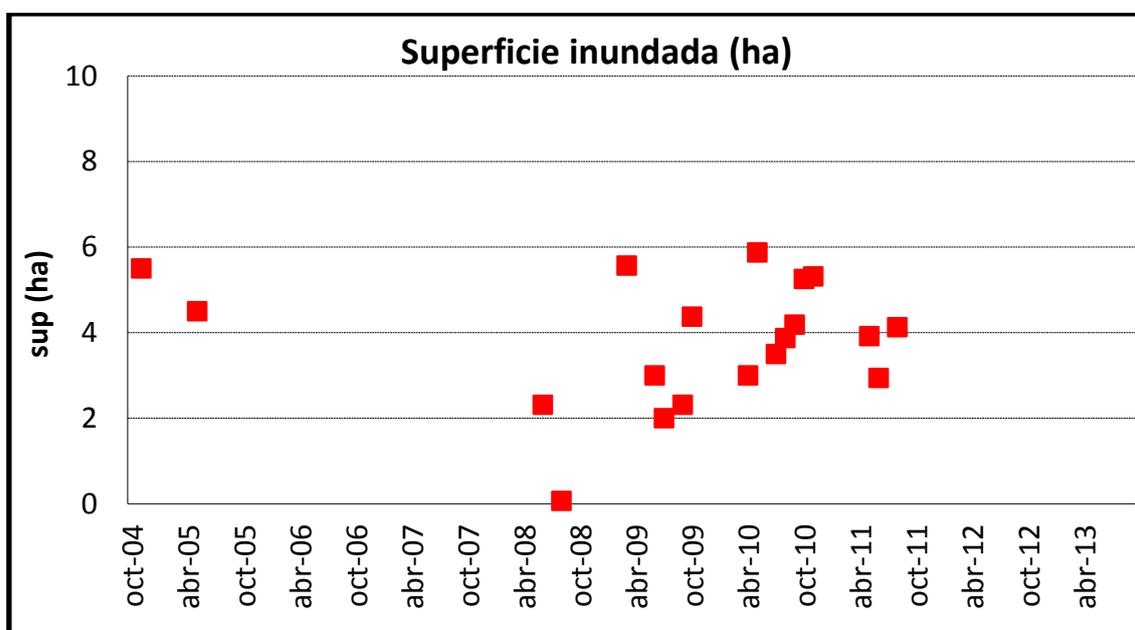


Figura 88: Evolución de la superficie inundada en la Laguna de Talayuelas obtenida mediante técnicas de teledetección

7.1.2. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE APORTACIONES

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, los datos de aportaciones introducidos en el modelo son los datos mensuales utilizados en la CHJ, provenientes del modelo PATRICAL, utilizado en la Demarcación para evaluar los recursos hídricos.

A continuación se representa la evolución temporal de las aportaciones anuales para los dos periodos caracterizados en la modelación, el periodo 1940-2011 y el periodo 1980-2011. Y seguidamente se caracteriza el año medio para ambos periodos.

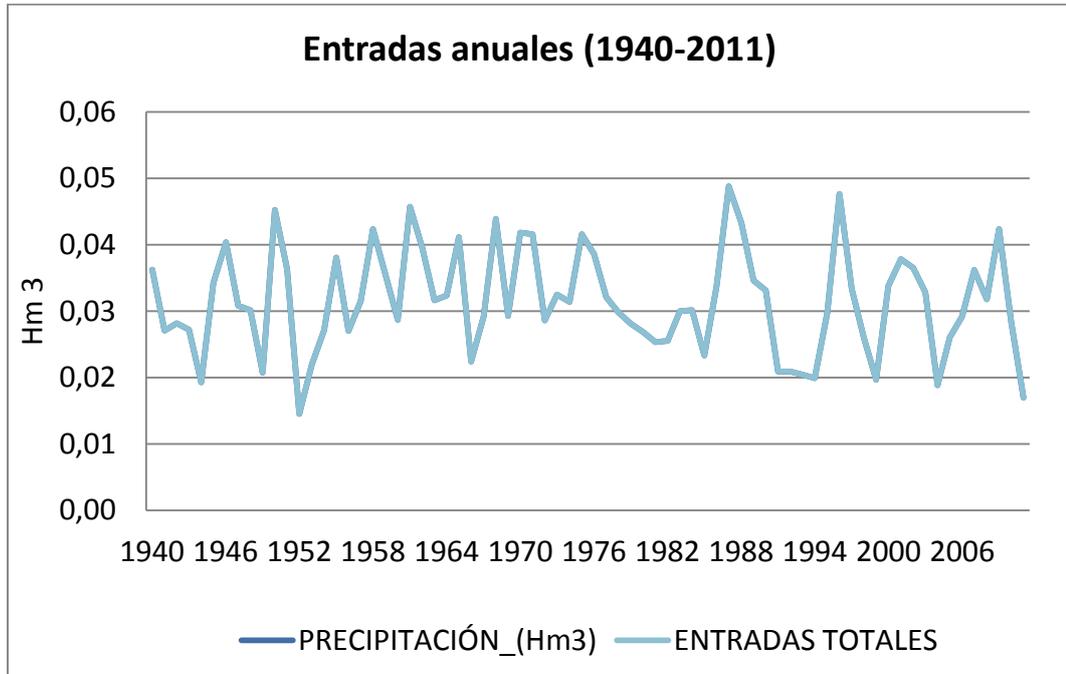


Figura 89: Entradas de agua anuales a la Laguna de Talayuelas en el periodo 1940-2011

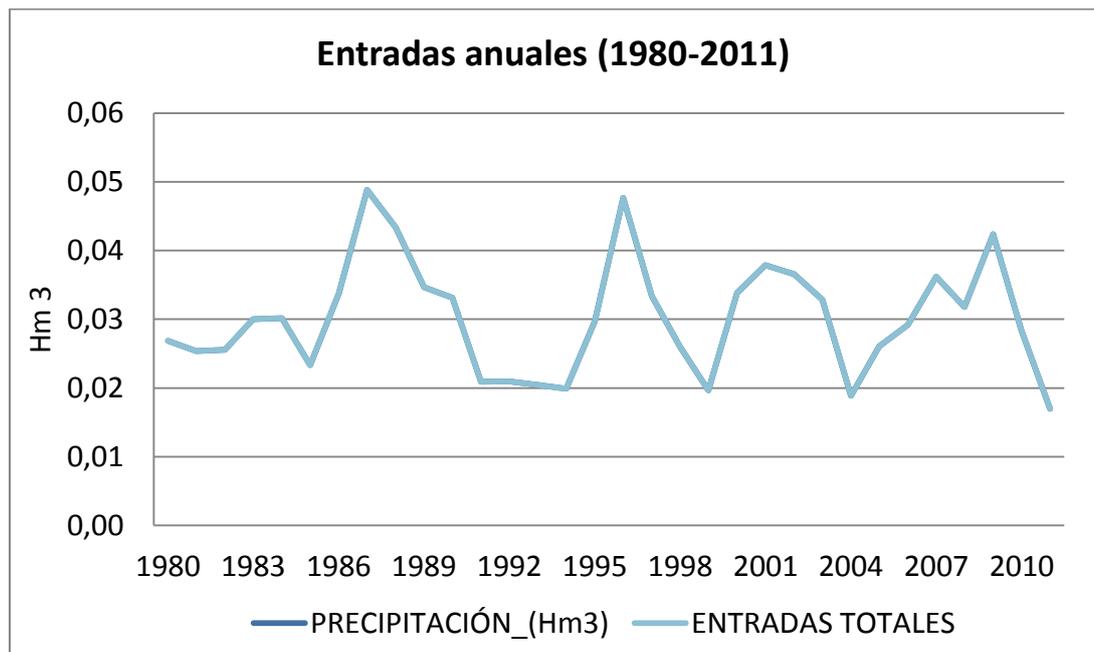


Figura 90: Entradas de agua anuales a la Laguna de Talayuelas en el periodo 1980-2011

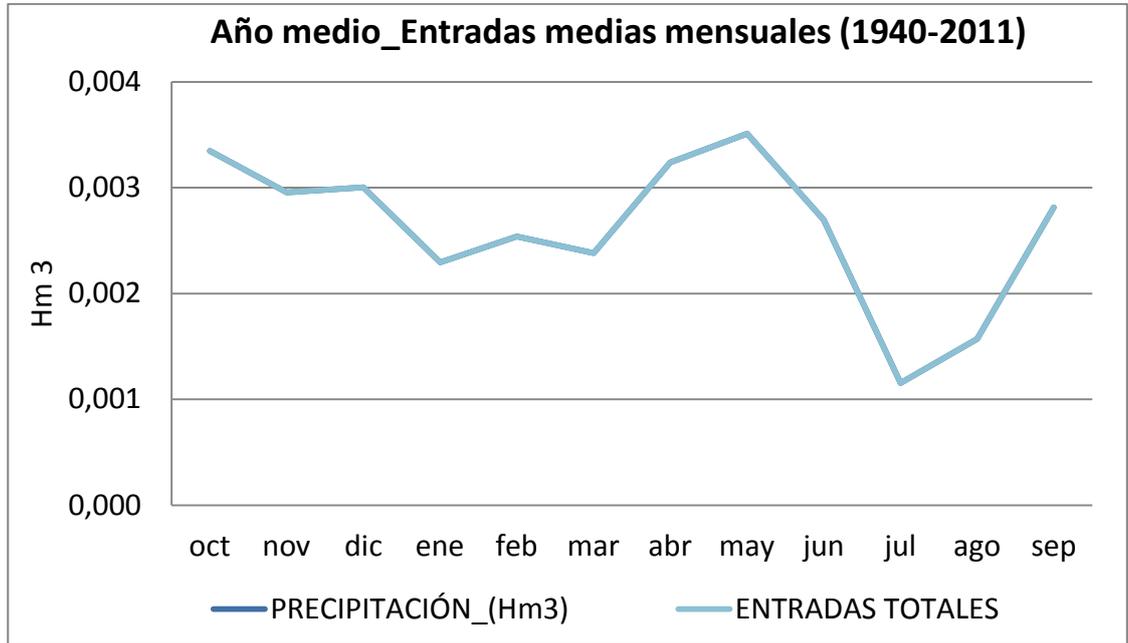


Figura 91: Año medio, promedio de entradas de agua mensuales a la Laguna de Talayuelas en el periodo 1940-2011

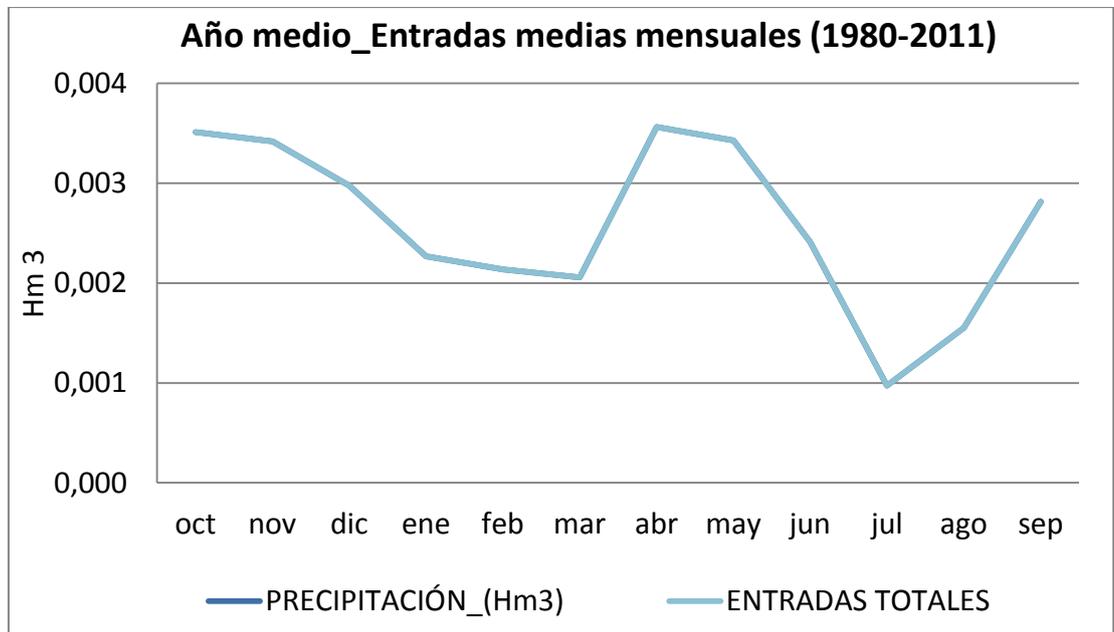


Figura 92: Año medio, promedio de entradas de agua mensuales a la Laguna de Talayuelas en el periodo 1980-2011

Como se observa en los gráficos anteriores únicamente se contemplan las entradas de agua al humedal por precipitación directa sobre éste, por lo que las entradas por precipitación coinciden con las entradas totales al humedal. Se trata de un ecosistema con unas aportaciones totales muy bajas, con una media inferior a los $0,03 \text{ hm}^3$ anuales. De modo que la variación en los niveles vendrá dada por la variabilidad en las precipitaciones.

7.1.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL HUMEDAL

A continuación se detalla la caracterización física de la Laguna de Talayuelas. La batimetría ha sido generada a partir de unas curvas batimétricas que provienen del estudio “Estudio morfométrico y batimétrico en las cubetas de lagos naturales en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar” (MAGRAMA, 2013).

En la imagen se muestra una ortofoto de La Laguna de Marquesado, las líneas en amarillo muestran las diferentes líneas de nivel del estudio mencionado, mientras que la línea azul identifica el contorno del humedal.

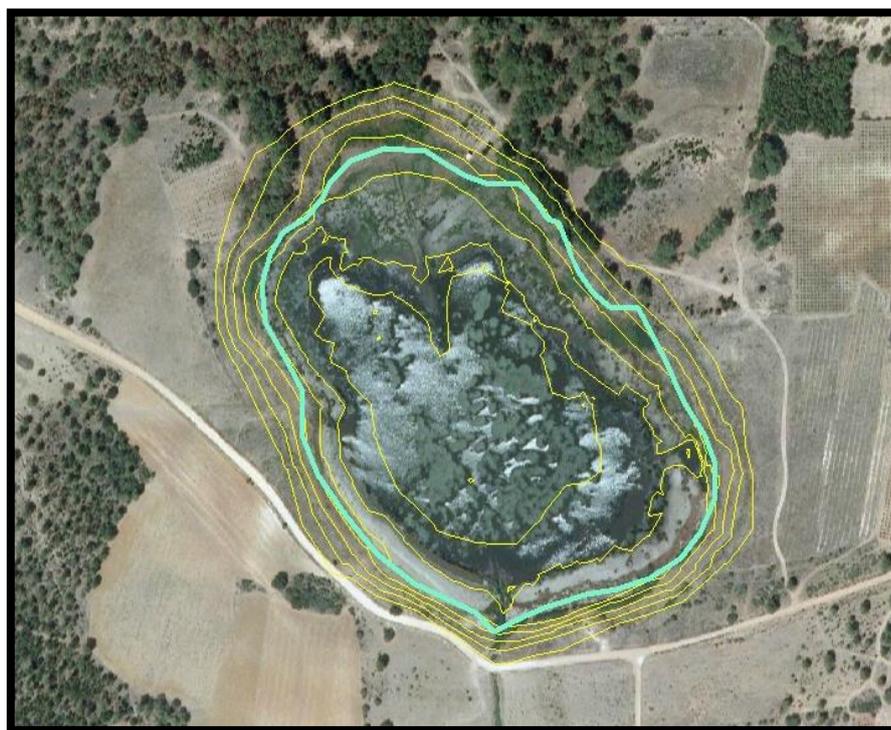


Figura 93: Ortofoto de la Laguna de Marquesado con identificación del contorno y curvas batimétricas

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

En el siguiente croquis se esquematiza la morfología de la cubeta, en él se puede observar la cota de solera o cota mínima (894,5 m.s.n.m) y la cota máxima de la batimetría (898 m.s.n.m). La altura umbral (Umbral) representa la altura a partir de la cual se producen las salidas superficiales, en este caso la altura corresponde con la altura de un canal ubicado en la zona sur del humedal, que evacua las aguas en caso de que estas alcancen dicha altura, esta altura ha sido obtenida a partir del MDT disponible de 5m. En el croquis también se identifica el máximo volumen que puede almacenar (0,23 hm³) la cubeta, desde la cota de solera hasta la máxima cota batimétrica, y la superficie que abarcaría este volumen (9,92 ha).

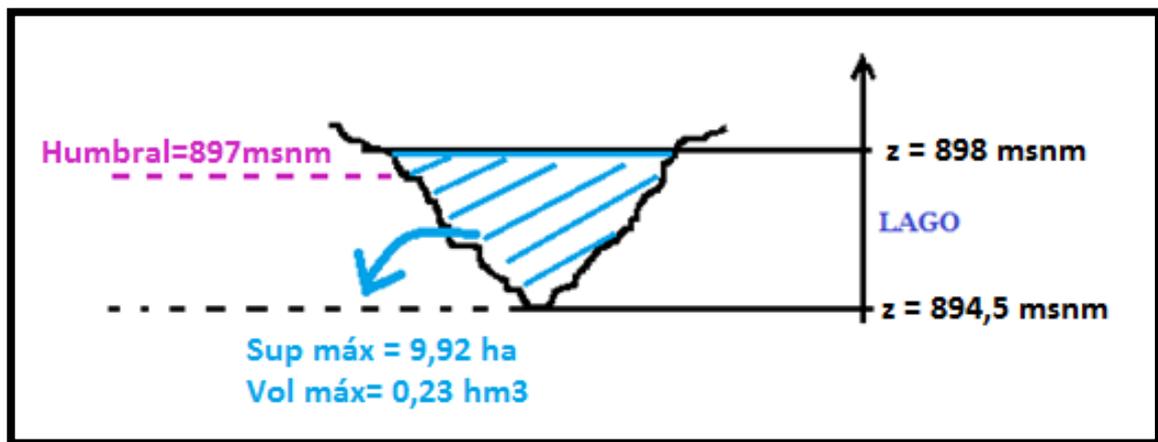


Figura 94: Caracterización física de la cubeta de la Laguna de Talayuelas

A continuación se muestran las curvas altura de agua – superficie inundada y altura de agua – volumen almacenado características de la cubeta del humedal:

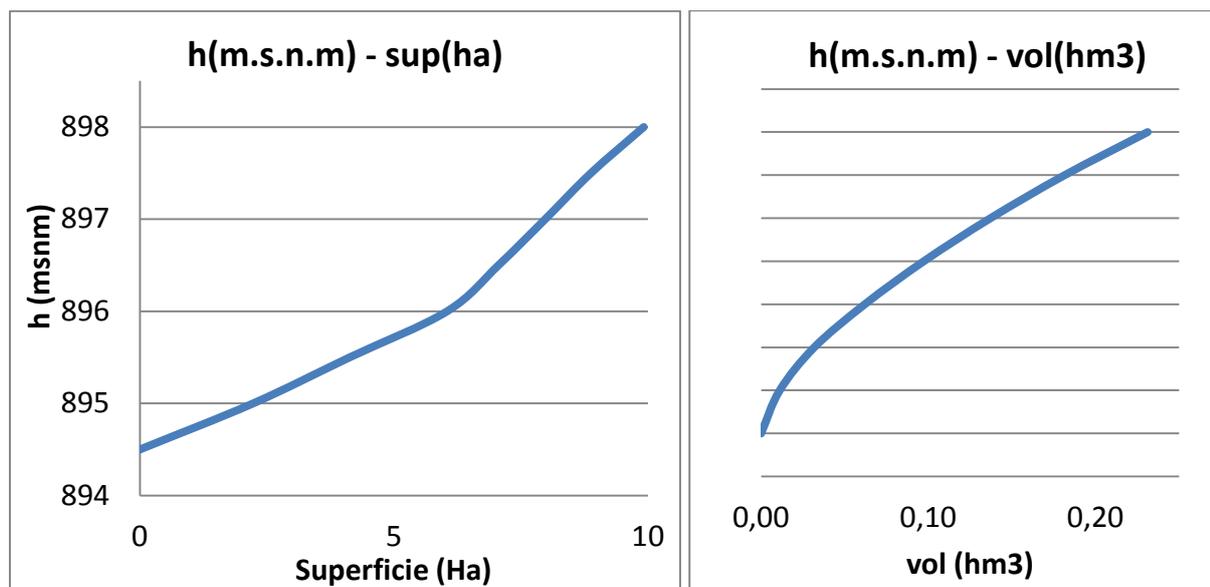


Figura 95: Curvas batimétricas características de la Laguna de Talayuelas

Estas curvas caracterizan la morfología de la cubeta de la Laguna de Talayuelas. Como se observa a medida que aumenta la altura el volumen almacenado en ésta aumenta casi de forma lineal, en cambio en la curva que relaciona altura de agua superficie inundada se observa un cambio de tendencia en la serie.

7.1.4. PARÁMETROS DEL MODELO

En la siguiente tabla se muestran los diferentes parámetros que se utilizan para calibrar el modelo y el valor que se les ha asignado:

Término del balance	Parámetro	Valor	Comentarios
Entrada subterránea	Coefficiente de reducción	0%	No existe conexión con el acuífero
Salida superficial	alfa (α)	-	
	Humbral (msnm)	897	Cota del canal en zona S según el MDT 5m (PNOA)
Salida por infiltración	Humbral (msnm)	-	No existe conexión con el acuífero
	k	-	

Tabla 13: Parámetros del modelo de la Laguna de Talayuelas

Como se muestra en la tabla, a las entradas subterráneas se les ha aplicado un coeficiente corrector de modo que se anulan, esta corrección se justifica en que el humedal

no tiene ningún tipo de relación con el acuífero infrayacente. Por este mismo motivo tampoco se han modelado las salidas por infiltración al acuífero.

La altura umbral, como se ha mencionado anteriormente, representa la altura a partir de la cual se producen salidas superficiales, esta altura (897 m.s.n.m) coincide con la cota de un antiguo canal en desuso, según las referencias consultadas, ubicado en la zona sur, lugar por el que se evacuarían las aguas en caso de alcanzar este nivel. El parámetro alfa(α) no tiene ningún valor debido a que las entradas son tan pequeñas que el agua únicamente sale por evaporación y nunca llegan a producirse salidas superficiales, por lo que el parámetro no tiene ninguna influencia en el modelo de balance hídrico planteado.

7.1.5. RESULTADOS DEL MODELO

En la siguiente tabla se recogen las entradas y salidas anuales que caracterizan el régimen hídrico del humedal en cuestión, se caracterizan los periodos 1940-2011 y 1980-2011:

			Periodo 40-11	Periodo 80-11
ENTRADAS	PRECIPITACIÓN	Hm3/año	0.03	0.03
	SUBTERRÁNEA	Hm3/año	0	0
	SUPERFICIAL	Hm3/año	0	0
	TOTAL	Hm3/año	0.03	0.03
SALIDAS	ET	Hm3/año	0.03	0.03
	INFILTRACIÓN	Hm3/año	0	0
	SUBTERRÁNEA (mar)	Hm3/año	0	0
	SUPERFICIAL	Hm3/año	0	0
	TOTAL	Hm3/año	0.03	0.03

Tabla 14: Caracterización del régimen hídrico de la Laguna de Talayuelas para los periodos 1940-2011 y 1980-2011

Como se observa en la tabla únicamente se han contemplado salidas por evapotranspiración, pues según las referencias consultadas, no existe ningún tipo de relación entre el humedal y el acuífero infrayacente. El comportamiento de este humedal es muy sencillo, el agua que recibe de precipitación sale del sistema únicamente a través de la evaporación de la lámina de agua.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

A continuación se muestran unos gráficos con los resultados de la modelación. Se representa la evolución de los niveles (en m y en m.s.n.m), de la superficie inundada (ha) y del volumen almacenado (hm^3). En estos gráficos también se representan los diferentes datos disponibles, indicando su origen, estos datos han sido utilizados para calibrar el modelo. En primer lugar los gráficos muestran la evolución para todo el periodo de simulación (1940-2011), y a continuación se muestra de forma más detallada la evolución de los últimos años en los que se dispone de datos reales u observados.

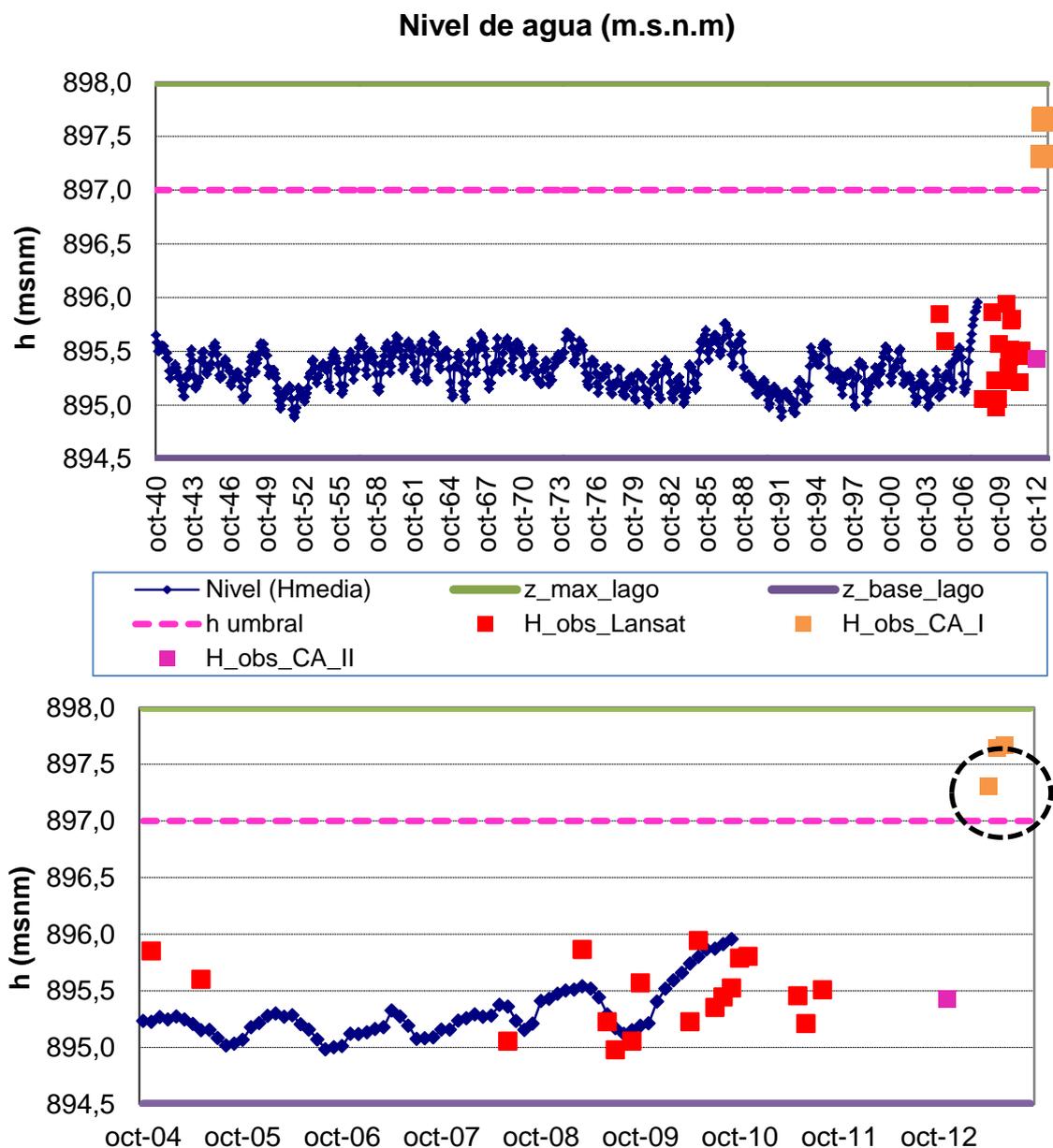


Figura 96: Representación de la evolución de la altura de agua, en msnm, en la Laguna de Talayuelas

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

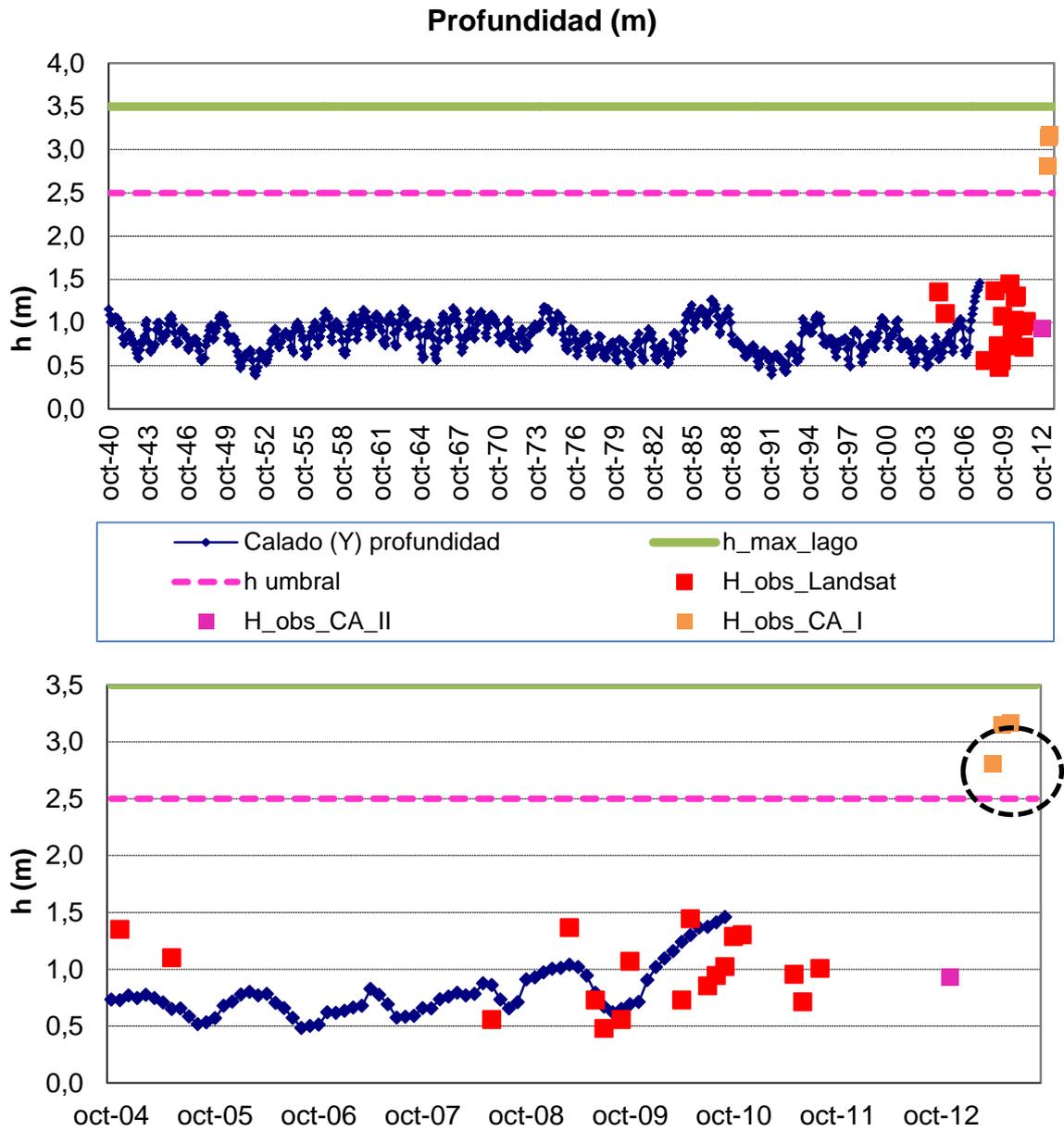


Figura 97: Representación de la evolución de la profundidad de agua, en m, en la Laguna de Talayuelas

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

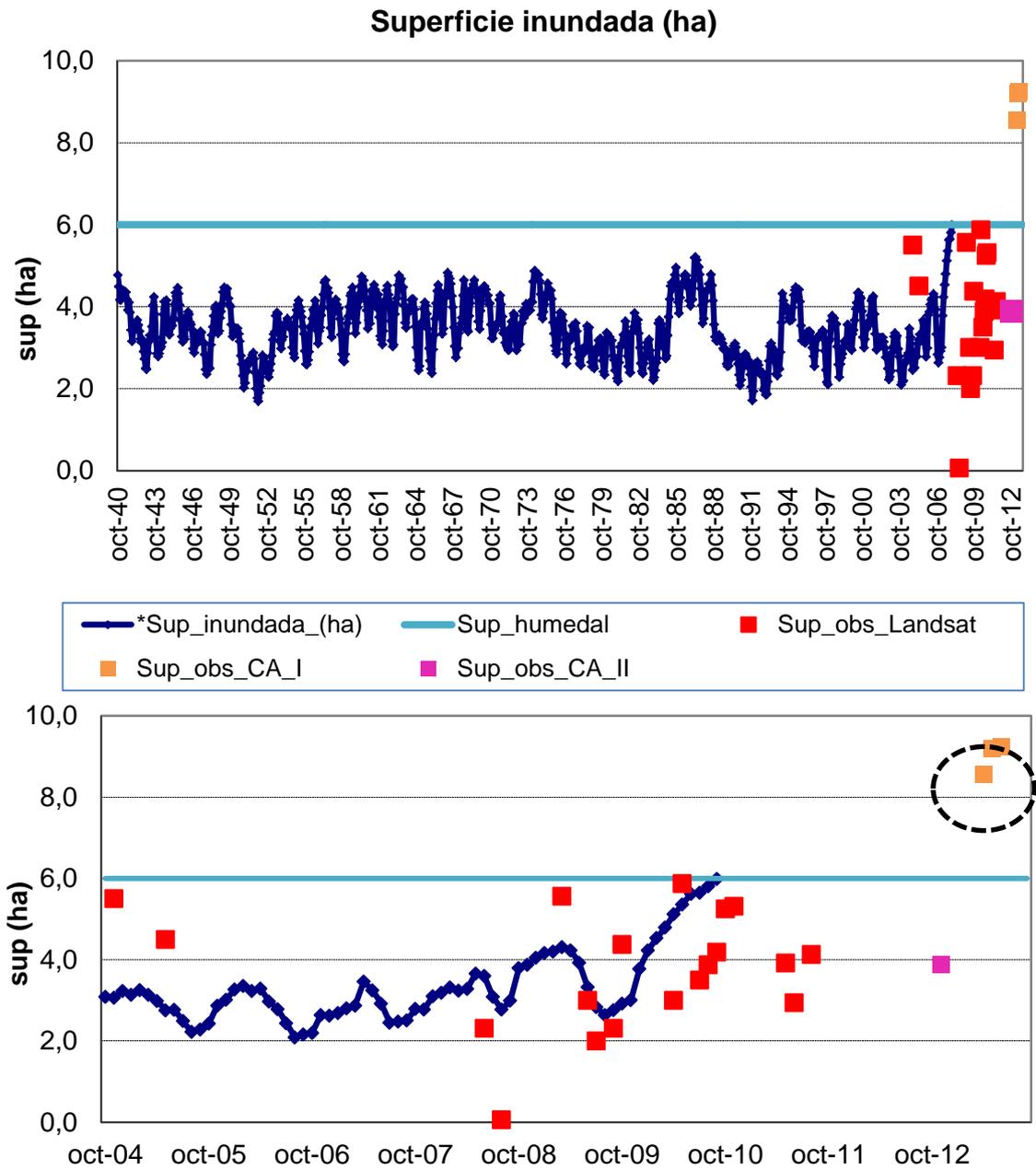


Figura 98: Representación de la evolución de la superficie inundada, en ha, en la Laguna de Talayuelas

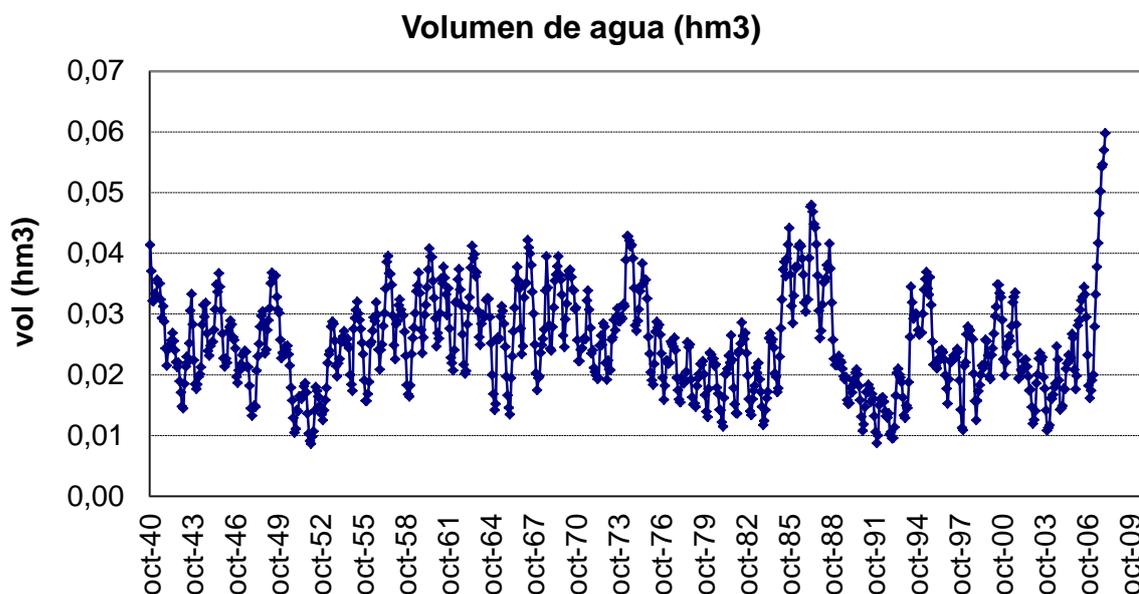


Figura 99: Representación de la evolución del volumen de agua almacenado, en hm^3 , en la Laguna de Talayuelas

Como se puede observar en todos los gráficos, los datos obtenidos de los sensores de Comisaría de Aguas (CA_I) difieren bastante de los datos obtenidos mediante técnicas de teledetección y el dato puntual obtenido del “Estudio morfométrico y batimétrico en las cubetas de lagos naturales en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar” (MAGRAMA, 2013), (CA_II). Además estos datos de altura se traducen en unos datos de superficie mayores a la superficie del humedal, de 6 ha. Puesto que las mediciones no están georreferenciadas se pone en duda que estos datos puedan ser comparados con el resto. En cambio los datos obtenidos mediante técnicas de teledetección y el dato puntual se adaptan bastante bien a la evolución marcada por el modelo, aunque no es posible que el modelo coincida de forma exacta con todos los datos disponibles.

7.1.6. PROPUESTA DE REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

Puesto que no se contemplan entradas subterráneas a la laguna no se puede realizar un análisis de la influencia de las aportaciones subterráneas sobre los niveles de agua en el humedal ni determinar unos volúmenes mínimos de origen subterráneo.

En este caso parece más conveniente establecer como el volumen mínimo de entrada de agua al humedal la evapotranspiración que se produce, que corresponde con $0,03 \text{ hm}^3$ anuales. Se trata de unas aportaciones muy bajas, aunque las referencias consultadas afirman que los bajos niveles que se producen e incluso los periodos de desecación, lejos de representar un inconveniente, provocan un incremento del valor ecológico de estas lagunas, pues determinan la presencia de una comunidad vegetal característica, con predominio de plantas anfibias (Camacho, A. et al., 2008 & Cirujano, S. y Medina, L., 2002).

De forma adicional se ha calculado el número de renovaciones que se producirían en laguna en función de las aportaciones recibidas. No se han encontrado referencias a un número concreto de renovaciones “ideales o convenientes” para que los humedales se encuentren en buen estado, pero este parámetro se perfila como un elemento clave a tener en cuenta. Este número de renovaciones se obtiene en función de la capacidad del humedal, puesto que la capacidad de la laguna es de $0,23 \text{ hm}^3$ se comprueba que no llega a producirse ni una renovación anual y dista de hacerlo.

7.2. Laguna de Marquesado

7.2.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

▪ DATOS OBSERVADOS

En el caso de la Laguna de Marquesado se dispone de cuatro datos mensuales de altura de la lámina de agua.

Tres datos provienen de sensores instalados por Comisaría Aguas, los sensores toman mediciones cada 10 min, por lo que se ha calculado el dato mensual como el promedio de todas las mediciones tomadas dicho mes. La fecha de estos datos es de julio, agosto y septiembre de 2013 y sus unidades son m.s.n.m.

A continuación se muestra un gráfico con los niveles medidos por los sensores cada 10 minutos, y seguidamente se muestra otro en el que se representan los niveles de agua diarios obtenidos.

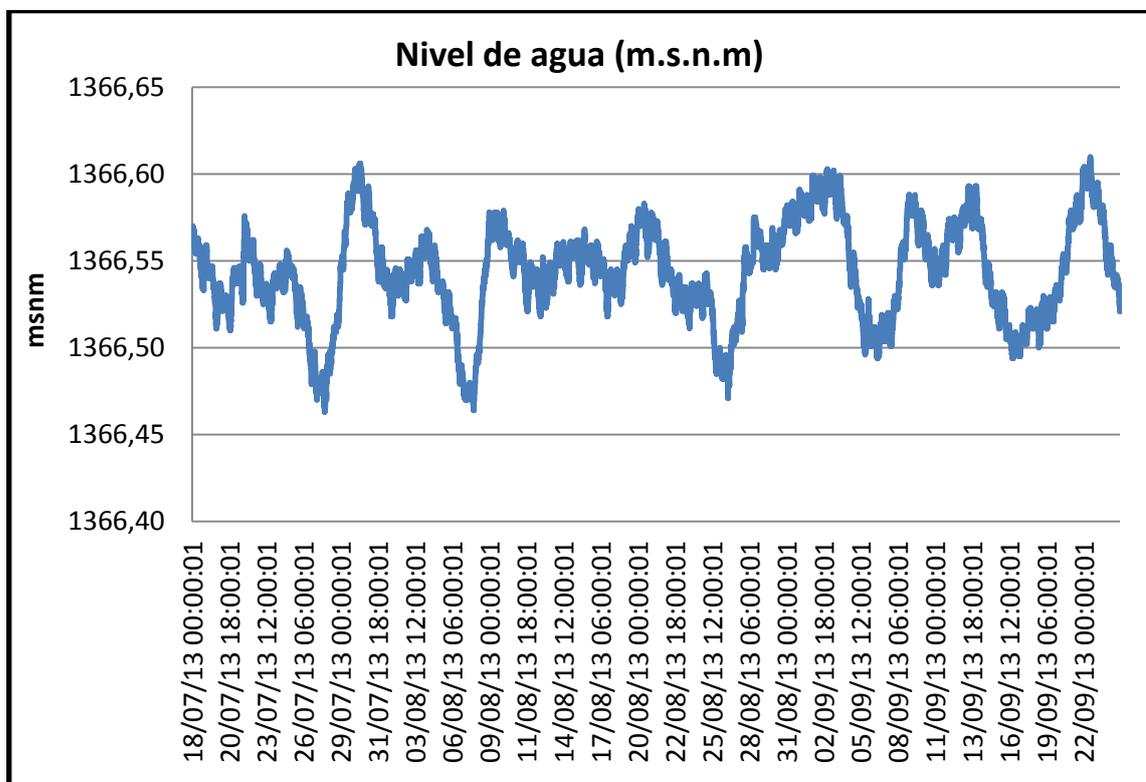


Figura 100: Niveles de agua medidos por los sensores de Comisaría de Aguas ubicados en la Laguna de Talayuelas

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

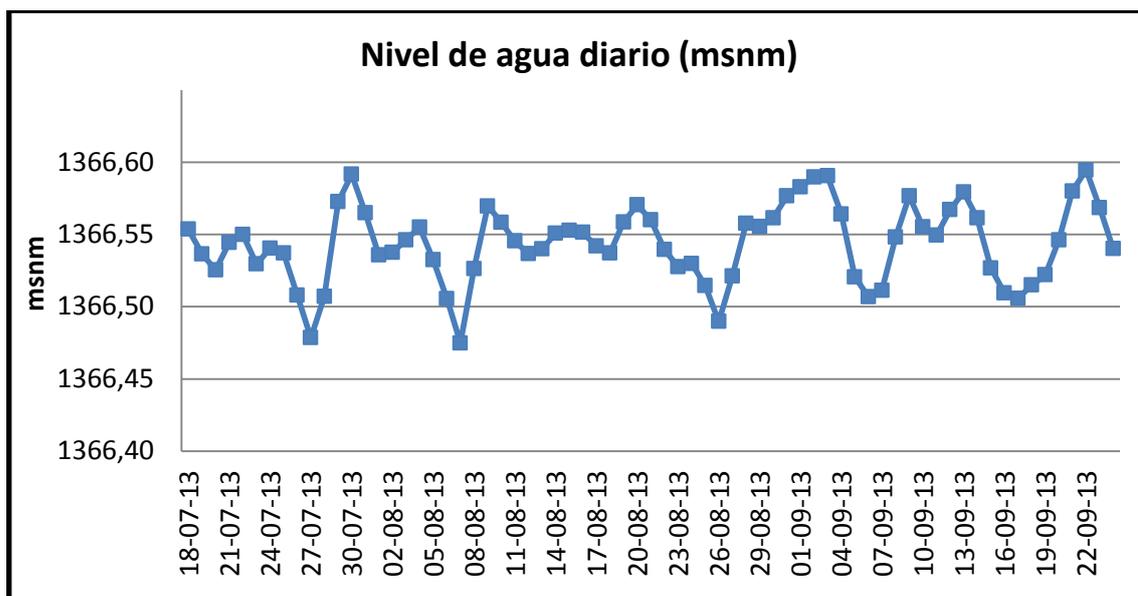


Figura 101: Niveles de agua diarios obtenidos de los sensores de Comisaría de Aguas ubicados en la Laguna de Marquesado

Como se puede observar en los dos gráficos anteriores la variación de la lámina de agua según los datos es mínima, con un máximo de variación de unos 10 cm en los tres meses en que existen mediciones.

Por otra parte, el dato de altura restante proviene del estudio “Estudio morfométrico y batimétrico en las cubetas de lagos naturales en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar” (MAGRAMA, 2013), se trata de un dato puntual con fecha 22/11/2012 y medido en m.s.n.m.

Cabe destacar que ninguno de los cuatro datos existentes se encuentra georreferenciado, por lo que no se conoce el punto geográfico exacto en el que han sido tomadas las mediciones.

Seguidamente se muestra una tabla con los datos disponibles:

Fecha	Medición (msnm)	Fuente de información
nov-12	1366,56	“Trabajos de levantamiento y post-procesado de datos batimétricos y de seguimiento de niveles en lagos naturales del ámbito de la CHJ”
jul-13	1366,54	Sensores de Comisaría Aguas
ago-13	1366,54	Sensores de Comisaría Aguas

Fecha	Medición (msnm)	Fuente de información
sep-13	1366,55	Sensores de Comisaría Aguas

Tabla 15: Datos disponibles de altura de lámina de agua en la Laguna de Talayuelas

Como se observa en la tabla anterior los datos obtenidos de los sensores de Comisaría de Aguas y el dato puntual del estudio realizado por el ministerio (MAGRAMA, 2013) son idénticos, únicamente existe 1cm de variación entre ellos

▪ **DATOS OBTENIDOS MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN**

Como ya se ha mostrado en el anterior capítulo, en el caso de la Laguna de Talayuelas se han descartado los datos de superficie inundada obtenidos mediante técnicas de teledetección, pues se detectó que muchas de las imágenes estaban mal georreferenciadas, lo que podría falsear los resultados que proporciona el modelo.

7.2.2. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE APORTACIONES

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, los datos de aportaciones introducidos en el modelo son los datos mensuales utilizados en la CHJ, provenientes del modelo PATRICAL, utilizado en la Demarcación para evaluar los recursos hídricos.

A continuación se representa la evolución temporal de las aportaciones anuales para los dos periodos caracterizados en la modelación, el periodo 1940-2011 y el periodo 1980-2011. Y seguidamente se caracteriza el año medio para ambos periodos.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

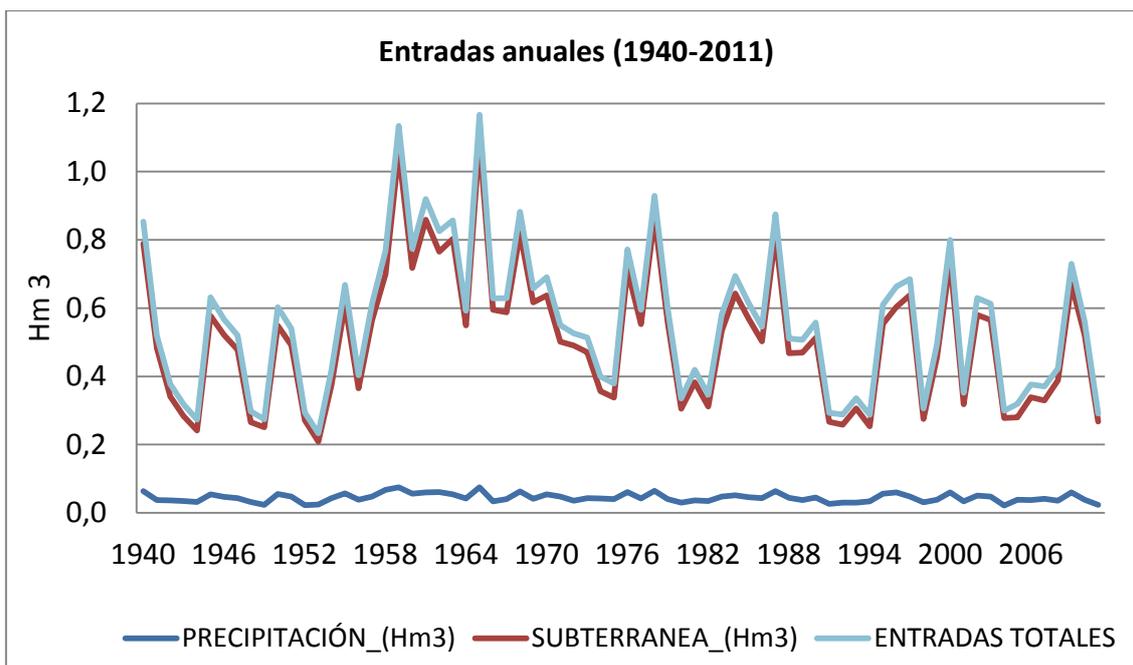


Figura 102: Entradas de agua anuales a la Laguna de Marquesado en el periodo 1940-2011

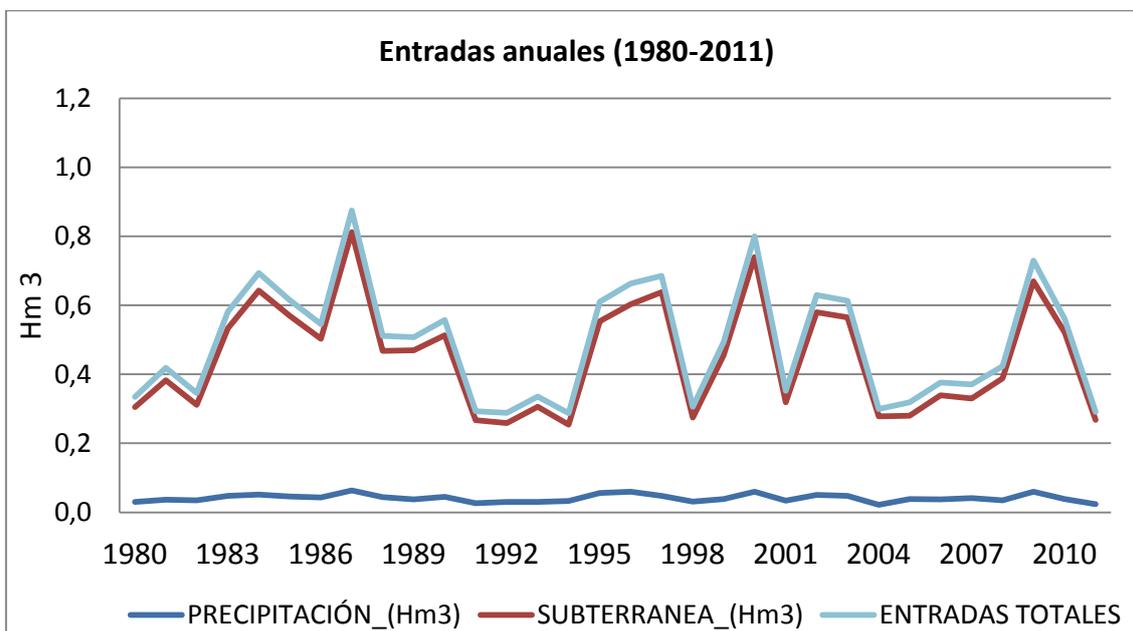


Figura 103: Entradas de agua anuales a la Laguna de Marquesado en el periodo 1980-2011

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

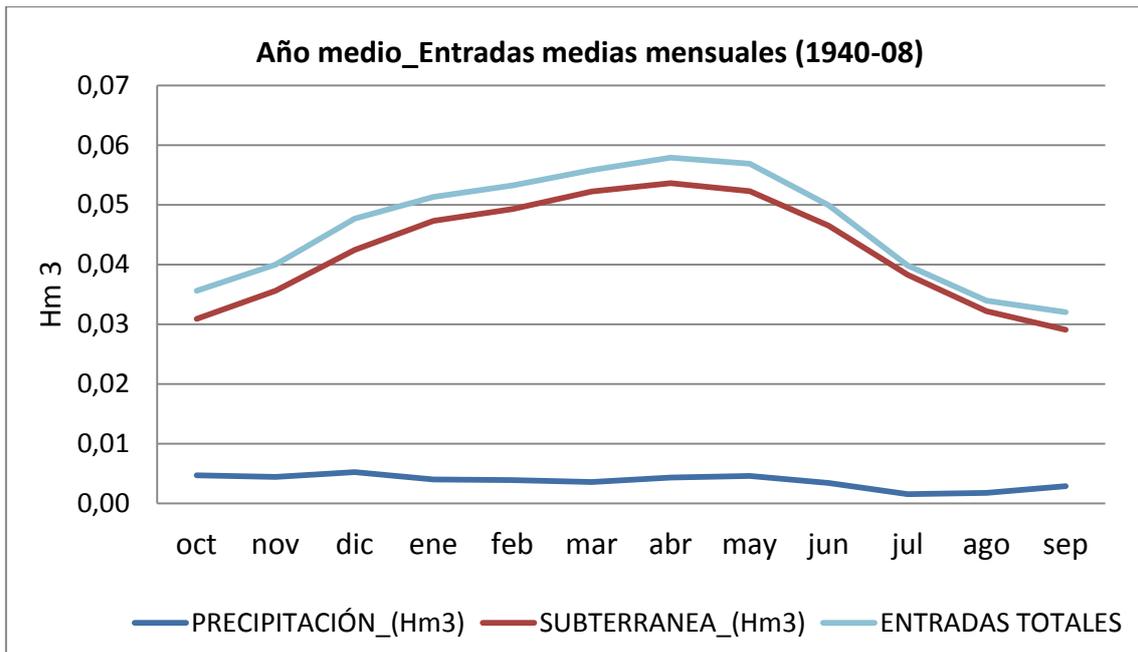


Figura 104 : Año medio, promedio de entradas de agua mensuales a la Laguna de Marquesado en el periodo 1940-2011

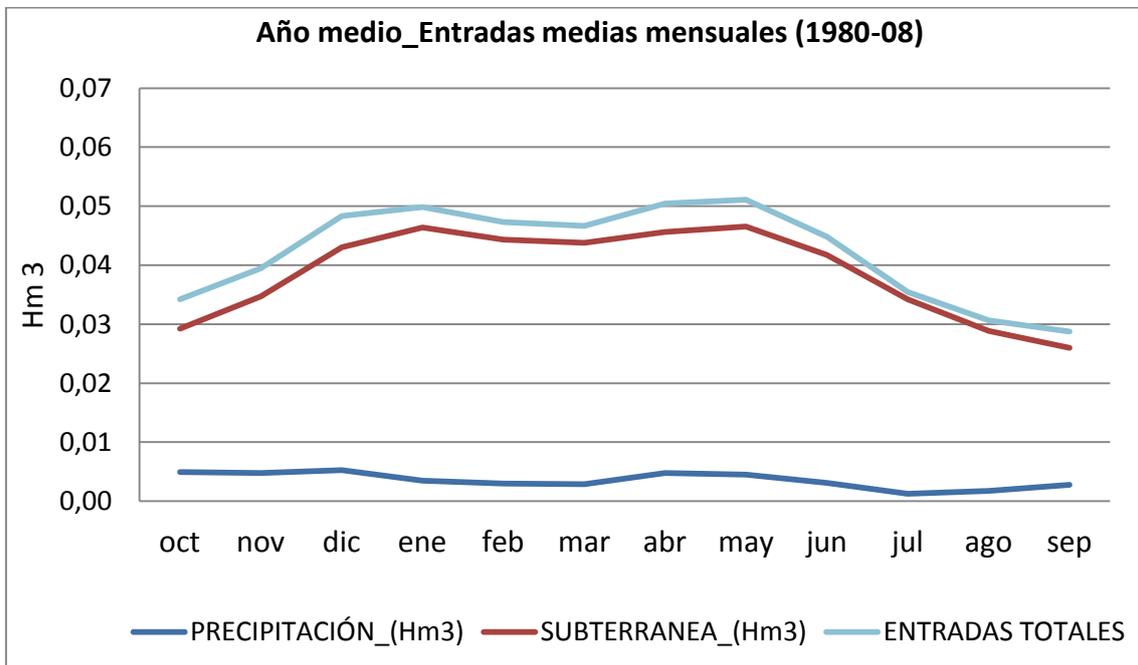


Figura 105 : Año medio, promedio de entradas de agua mensuales a la Laguna de Marquesado en el periodo 1980-2011

Como se observa en los gráficos se contemplan dos tipos de entradas de agua al humedal, por precipitación directa y entradas de origen subterráneo, como se puede observar las entradas subterráneas representan prácticamente la totalidad de las entradas. Por la descripción que conocemos del ecosistema, se trata de un humedal con unas aportaciones subterráneas importantes que lo mantienen inundado permanentemente y con un nivel de agua muy estale, el exceso de agua sale del sistema mediante un dique travertínico ubicado en la zona sur.

7.2.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL HUMEDAL

A continuación se detalla la caracterización física de la Laguna de Marquesado. La batimetría ha sido generada a partir de unas curvas batimétricas que provienen del estudio “Estudio morfométrico y batimétrico en las cubetas de lagos naturales en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar” (MAGRAMA, 2013).

En la imagen se muestra una ortofoto de La Laguna de Marquesado, las líneas en naranja muestran las diferentes líneas de nivel del estudio mencionado, mientras que la línea roja identifica el contorno del humedal.

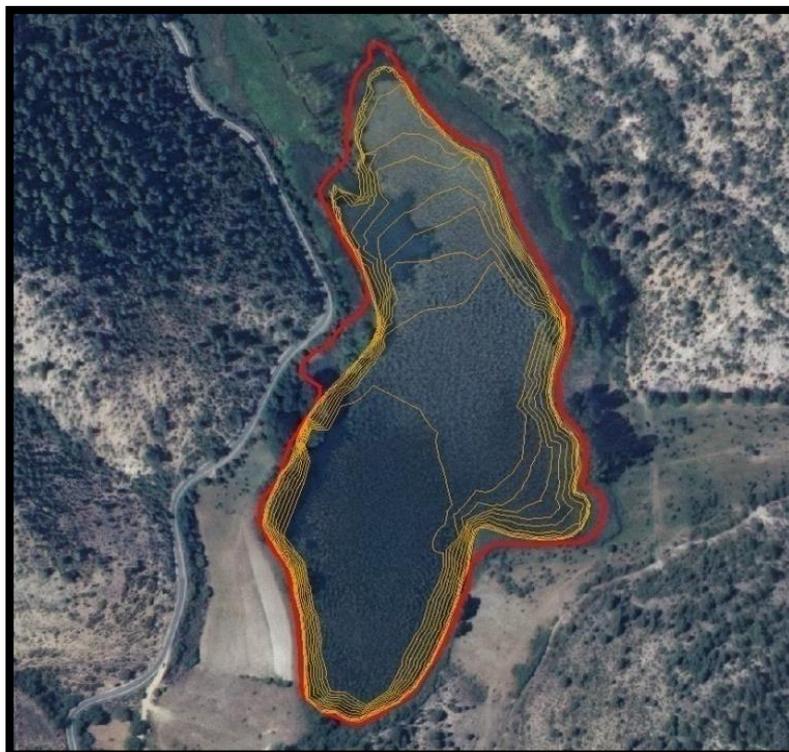


Figura 106: Ortofoto de la Laguna de Marquesado con identificación del contorno y curvas batimétricas

En el siguiente croquis se esquematiza la morfología de la cubeta, en él se puede observar la cota de solera o cota mínima (1361 msnm) y la cota máxima de la batimetría (1366,5 msnm). La altura umbral (Humbral) representa la altura a partir de la cual se producen las salidas superficiales, en este caso la altura corresponde con la altura del dique travertínico localizado en la zona Sur por donde se evacúan las aguas en caso de que estas alcancen dicha altura, esta altura ha sido obtenida a partir del MDT disponible de 5m. En el croquis también se identifica el máximo volumen que puede almacenar (0,22 hm³) la cubeta y la superficie que abarcaría este volumen (5,24 ha).

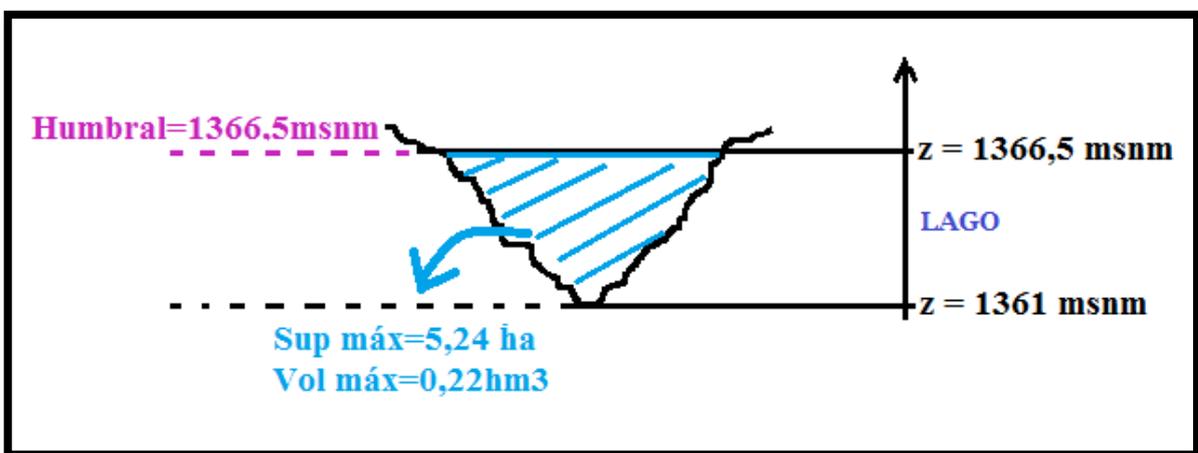


Figura 107: Caracterización física de la cubeta de la Laguna de Marquesado

A continuación se muestran las curvas altura de agua – superficie inundada y altura de agua – volumen almacenado características de la cubeta del humedal:

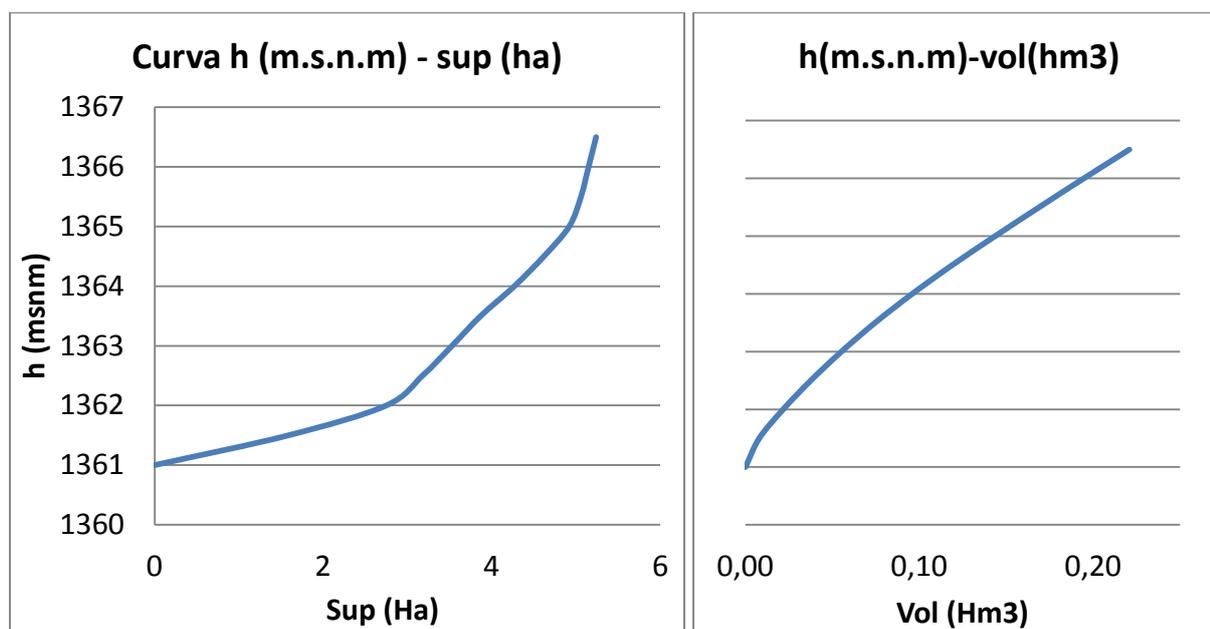


Figura 108: Curvas batimétricas características de la Laguna de Marquesado

Estas curvas caracterizan la morfología de la cubeta de la Laguna de Marquesado. Como se observa a medida que aumenta la altura el volumen almacenado en ésta aumenta de forma lineal, en cambio en la curva que relaciona altura de agua superficie inundada se observan dos cambios de tendencia en la serie.

7.2.4. PARÁMETROS DEL MODELO

En la siguiente tabla se muestran los diferentes parámetros que se utilizan para calibrar el modelo y el valor que se les ha asignado:

Término del balance	Parámetro	Valor	Comentarios
Entrada subterránea	Coefficiente de reducción	100%	No se aplica ningún coeficiente.
Salida superficial	alfa (α)	5	Cota del dique travertínico según el MDT 5m (PNOA)
	Humbral (msnm)	1366,5	
Salida por infiltración	Humbral (msnm)	1366,5	Parámetros para el cálculo de la infiltración
	k	0,01	

Tabla 16: Parámetros del modelo de la Laguna de Marquesado

Como se muestra en la tabla, a las entradas subterráneas no se les ha aplicado ningún coeficiente corrector, pues no se han encontrado referencias que indiquen que estas entradas sean distintas a las introducidas en el modelo.

En el caso de las salidas superficiales, la altura umbral representa, como se ha mencionado anteriormente, la altura a partir de la cual se producen salidas superficiales, esta altura (1366,5 m.s.n.m) coincide con la cota del dique travertínico, ubicado en la zona Sur, por el que se evacúan las aguas cuando alcanzan dicho nivel. Al parámetro alfa (α) se le asigna un valor de 5, este parámetro simula la velocidad con la que el agua sale del sistema.

Para el cálculo de las salidas por infiltración al acuífero se ha establecido la misma altura umbral que en el caso anterior (1366,5 m.s.n.m), en este caso el parámetro representa la carga mínima para que se produzcan infiltraciones al acuífero. Al parámetro k, que simula la velocidad con las que se producen estas salidas, se le ha asignado un valor de 0,01. Cabe mencionar que las salidas por infiltración tienen poca influencia sobre el modelo, aunque se les aplique otros valores a los parámetros. Estos parámetros no pueden ser calibrados con exactitud pues las salidas del humedal no están cuantificadas y tampoco se han encontrado referencias.

7.2.5. RESULTADOS DEL MODELO

En la siguiente tabla se recogen las entradas y salidas anuales que caracterizan el régimen hídrico del humedal en cuestión, se caracterizan los periodos 1940-2011 y 1980-2011:

			Periodo 40-12	Periodo 80-12
ENTRADAS	PRECIPITACIÓN	Hm3/año	0.04	0.04
	SUBTERRÁNEA	Hm3/año	0.51	0.45
	SUPERFICIAL	Hm3/año	0	0
	TOTAL	Hm3/año	0.55	0.49
SALIDAS	ET	Hm3/año	0.04	0.04
	INFILTRACIÓN	Hm3/año	0.01	0.01
	SUBTERRÁNEA (mar)	Hm3/año	0	0
	SUPERFICIAL	Hm3/año	0.51	0.45
	TOTAL	Hm3/año	0.55	0.49

Tabla 17: Caracterización del régimen hídrico de la Laguna de Marquesado para los periodos 1940-2011 y 1980-2011

Como se observa en la tabla se contemplan salidas por evapotranspiración, por infiltración al acuífero y salidas superficiales. El agua sale mayoritariamente del sistema superficialmente a través del dique travertínico, mientras que una pequeña cantidad lo hace mediante evaporación a la atmosfera y una cantidad aún más pequeña mediante infiltración al acuífero.

A continuación se muestran unos gráficos con los resultados de la modelación. Se representa la evolución de los niveles (en m y en m.s.n.m), de la superficie inundada (ha) y del volumen almacenado (hm^3). En estos gráficos también se representan los diferentes datos disponibles, indicando su origen, estos datos han sido utilizados para calibrar el modelo. En primer lugar los gráficos muestran la evolución para todo el periodo de simulación (1940-2011), y a continuación se muestra de forma más detallada la evolución de los últimos años en los que se dispone de datos reales u observados.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

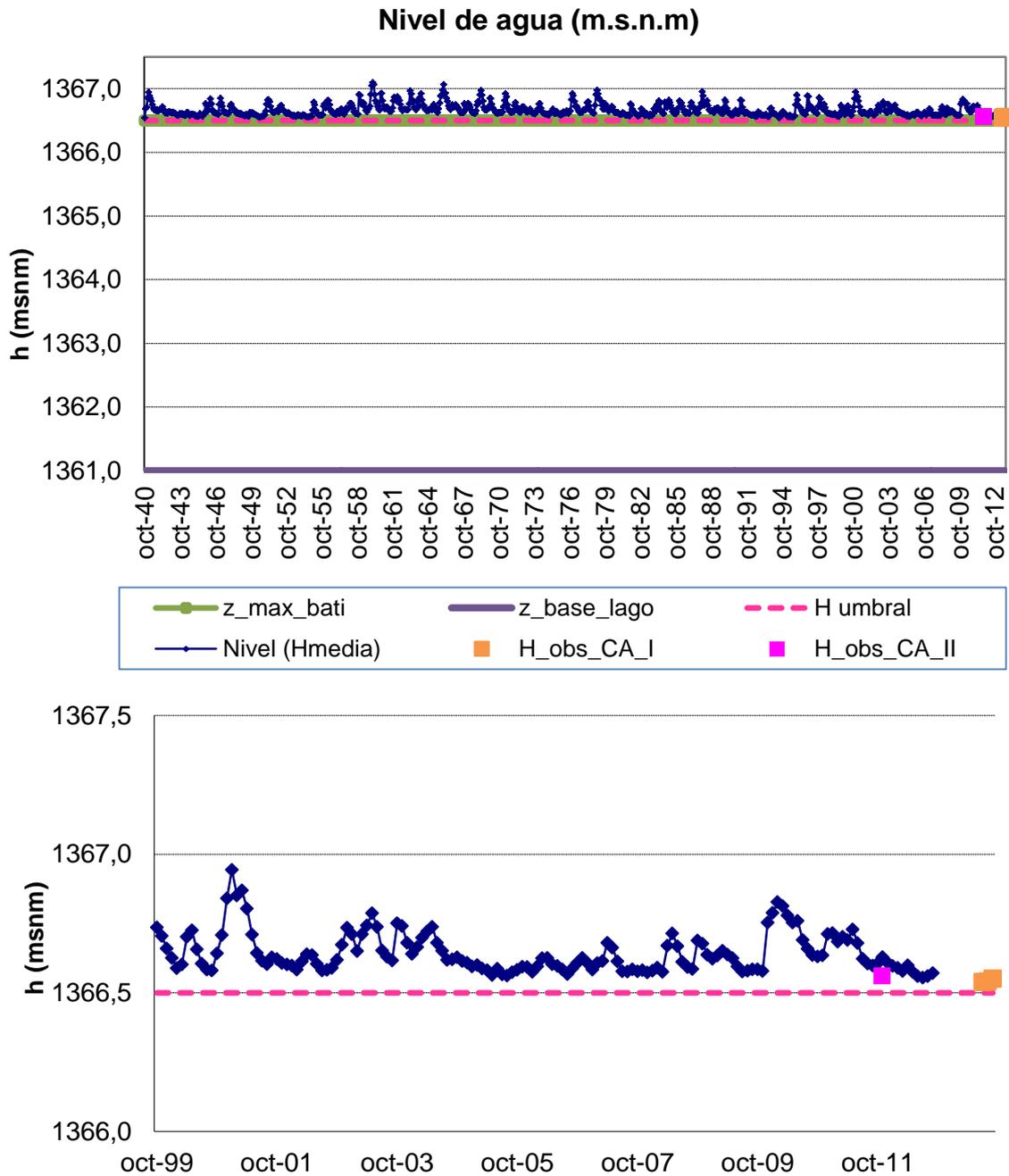


Figura 109: Representación de la evolución de la altura de agua, en msnm, en la Laguna de Marquesado

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

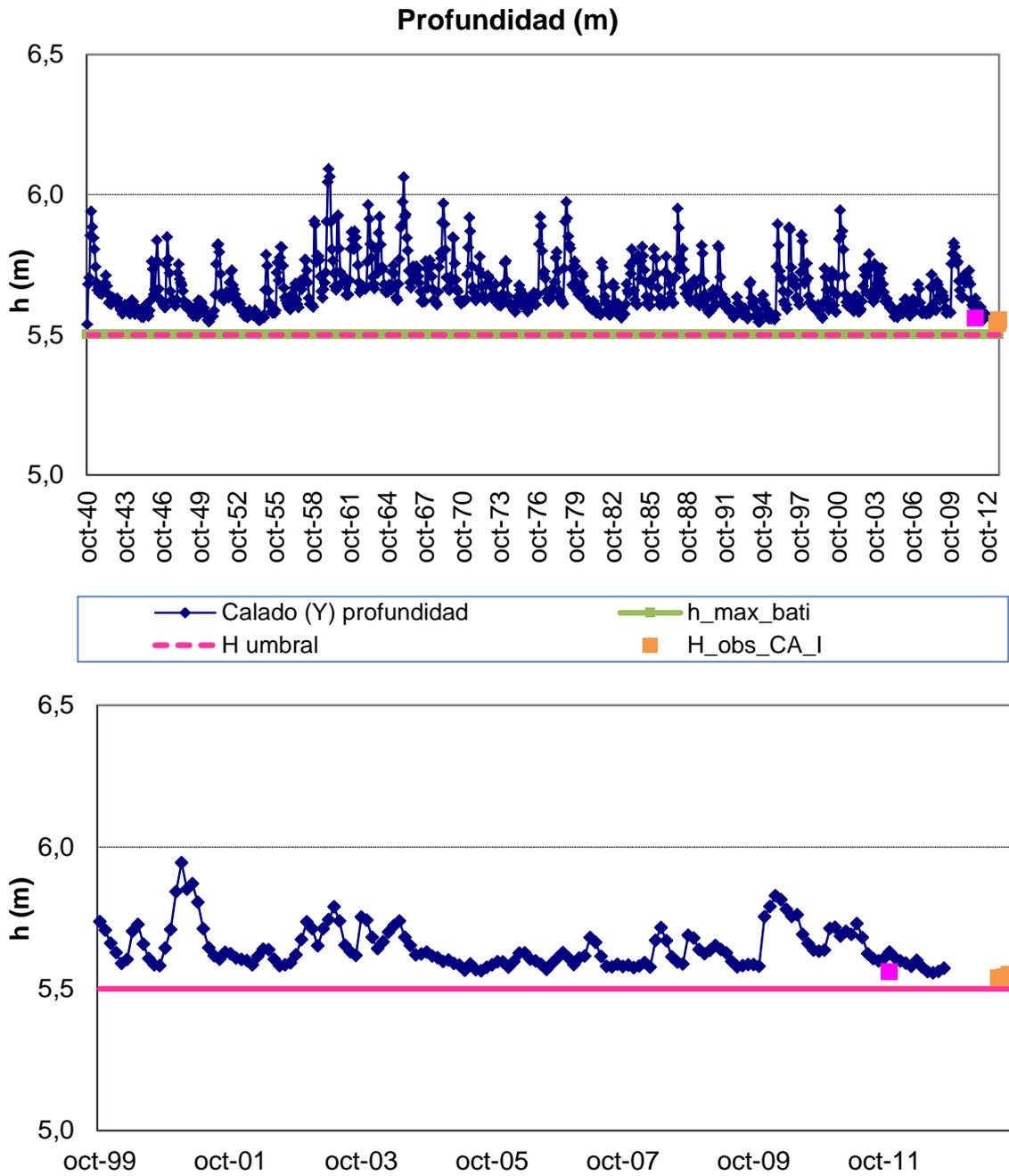


Figura 110: Representación de la evolución de la profundidad de agua, en m, en la Laguna de Marquesado

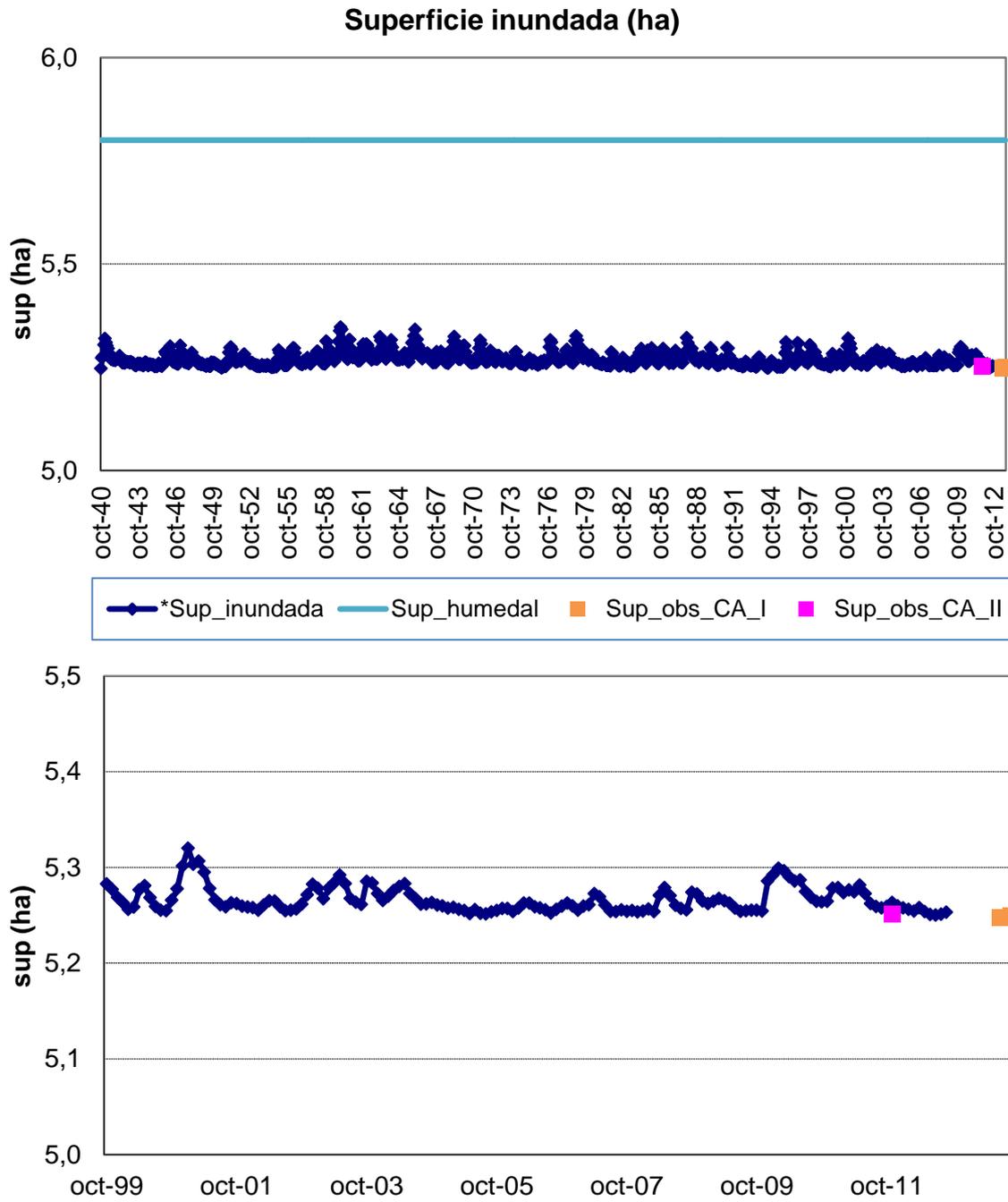


Figura 111: Representación de la evolución de la superficie inundada, en ha, en la Laguna Marquesado

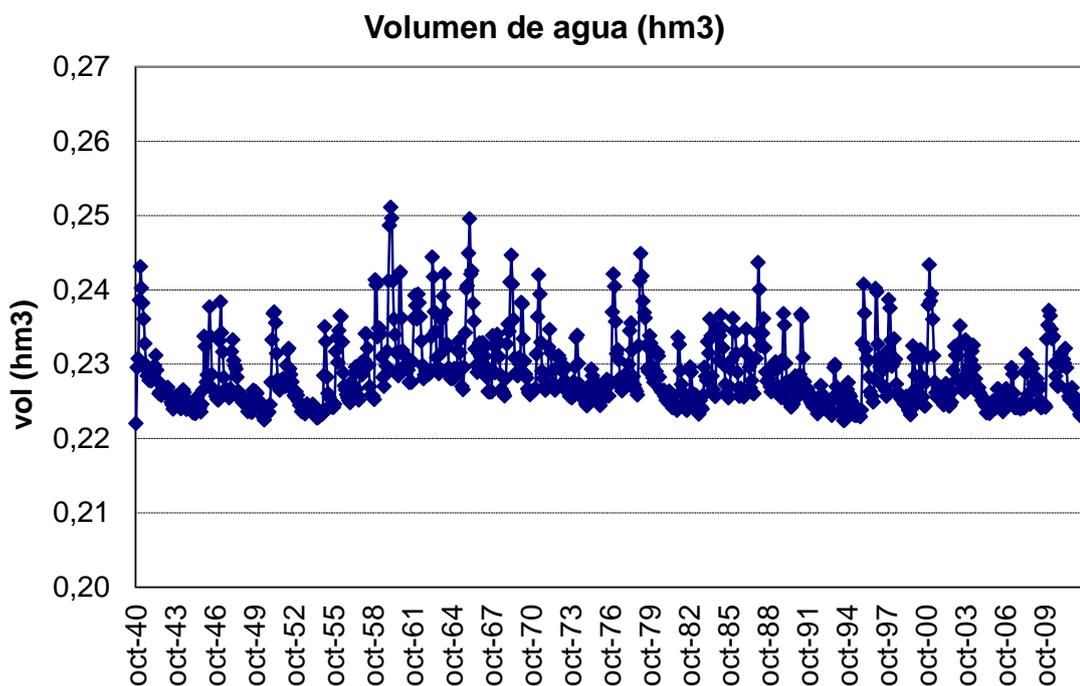


Figura 112: Representación de la evolución del volumen de agua almacenado, en hm³, en la Laguna de Marquesado

Como se puede observar en los gráficos anteriores, el modelo reproduce un sistema de niveles y superficies bastante constante, con pequeñas variaciones. Aunque únicamente se dispone de 4 datos sin ninguna variabilidad entre ellos, el modelo se ajusta a éstos.

7.2.6. PROPUESTA DE REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

A continuación se muestran las diferentes evoluciones de niveles obtenidas del modelo para los diferentes porcentajes de aportaciones subterráneas definidos:

Aportación subterránea	h media mensual (m)	h máxima (m)	P95 (m)	P50 (m)	P5 (m)	h mínima (m)
5%	5,44	5,59	5,55	5,49	5,24	5,10
10%	5,50	5,60	5,56	5,52	5,36	5,20
30%	5,55	5,67	5,61	5,54	5,51	5,42
50%	5,58	5,75	5,67	5,56	5,53	5,51
60%	5,59	5,79	5,70	5,58	5,54	5,52
90%	5,63	5,91	5,78	5,61	5,56	5,54
95%	5,64	5,93	5,79	5,61	5,56	5,54
100%	5,65	5,95	5,81	5,62	5,57	5,54

Tabla 18: Alturas de agua (m) características de la Laguna de Marquesado en función de las aportaciones subterráneas recibidas

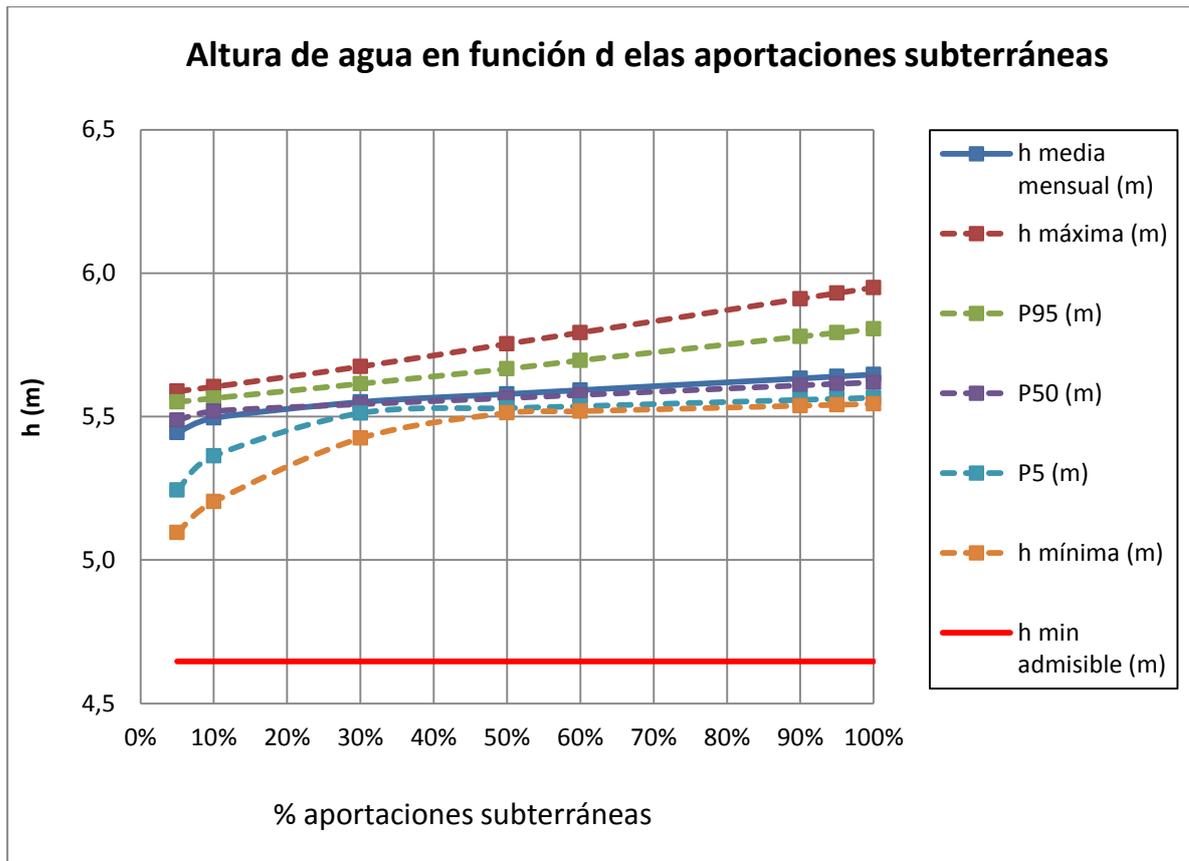


Figura 113: Evolución de los niveles en la Laguna de Marquesado en función de las aportaciones subterráneas recibidas

En el gráfico anterior se puede observar cómo evoluciona la altura media mensual, la altura máxima y mínima y los percentiles 95, 50 y 5 característicos de la serie, en función de los diferentes porcentajes de aportaciones definidos (5, 10, 30, 50, 60, 90 y 95). La línea roja identifica la altura mínima de agua admisible (4,65 m) calculada en función de los criterios definidos en la guía desarrollada por el SNIFFER y el grupo de investigación UKTAG (SNIFFER WFD 48, 2006).

Los criterios definidos en la citada guía son que el porcentaje de disminución máximo admisible de niveles es del 20% y que este 20% no puede superar un 1m, pues es el cambio de nivel máximo admisible por los macrófitos, según criterio de experto. Siguiendo estos criterios aunque se anulen las aportaciones subterráneas, únicamente con el resto de entradas los niveles que se producirían cumplirían estos criterios.

Del análisis de la evolución de la línea que representa la altura media de agua en el humedal se observa un pequeño descenso de niveles a medida que descienden las

aportaciones subterráneas, aunque no se observa ningún cambio de tendencia brusco en la serie. Parece que únicamente con las entradas de precipitación se mantienen unos niveles aceptables en el humedal. Este comportamiento explicaría el funcionamiento del humedal visto en la visita de campo, caracterizado por unas grandes salidas superficiales, de modo que parece que el agua que entre salga inmediatamente de forma superficial.

En las series que representan el percentil 5 y la altura mínima sí que se observa un cambio de tendencia asociado a un incremento de la pendiente cuando las aportaciones subterráneas son inferiores al 30%, por lo que para ser más conservacionistas se podrían establecer estas entradas como las mínimas que debería recibir el humedal. Estas aportaciones corresponden con un volumen anual de 0,14 hm³ que junto con las entradas por precipitación directa representan un volumen total anual de entrada de agua al humedal de 0,18 hm³.

De forma adicional se ha calculado el número de renovaciones que se producirían en el laguna en función de las aportaciones recibidas. Este número de renovaciones se obtiene en función de su capacidad.

	Entradas anuales (hm3)	nº renovaciones anuales
5% aportaciones	0,06	0,3
10% aportaciones	0,09	0,4
30% aportaciones	0,18	0,8
50% aportaciones	0,27	1,2
60% aportaciones	0,31	1,4
90% aportaciones	0,45	2,0
95% aportaciones	0,47	2,1
100% aportaciones	0,49	2,2

capacidad (hm3)
0,22

Tabla 19: Renovaciones anuales de la Laguna de Marquesado en función de las aportaciones subterráneas recibidas

En la tabla se como actualmente se producen 2 renovaciones anuales. Aunque no se han encontrado referencias a un número concreto de renovaciones “ideales o convenientes” para que los humedales se encuentren en buen estado, este parámetro se perfila como un elemento clave a tener en cuenta.

7.3. Marjal d'Almenara

7.3.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

- **DATOS OBSERVADOS**

En el caso de la Marjal d'Almenara no se dispone de información de alturas de agua de los sensores de Comisaría de Aguas ni del estudio "Estudio morfométrico y batimétrico en las cubetas de lagos naturales en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar" (MAGRAMA, 2013). Esto se debe a que el humedal está clasificado como muy modificado, y el estudio mencionado y el seguimiento de niveles por parte de Comisaría de aguas únicamente se ha llevado a cabo para los humedales naturales.

En el caso de la Marjal d'Almenara se ha conseguido recopilar dos datos de niveles de aguas de dos escalas en desuso actual, estos datos han sido facilitados por Comisaría de Aguas y se muestran a continuación:

Fecha	Medición (m)	Comentarios
27/07/2011	7,4	Punto medio del Estany d'Almenara, representativo de "la parte más profunda de la masa de agua" según el Protocolo FT.
16/05/2012	2,56	Ubicación más cercana al borde norte de la misma laguna, que se podría considerar más representativa de la profundidad media del transecto que recorre el eje mayor de la laguna. Más somera y quizás más representativa de la vegetación acuática.

Tabla 20: Datos disponibles de altura de lámina de agua en la Marjal d'Almenara

Se trata de mediciones de profundidad no georreferenciadas y ubicadas en lugares distintos, según los comentarios.

- **DATOS OBTENIDOS MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN**

Como ya se ha mostrado en el anterior capítulo, en el caso de la Marjal d'Almenara se han obtenido 32 datos mensuales de superficie inundada mediante técnicas de teledetección.

A continuación se muestra una tabla con los resultados de superficie inundada obtenidos y un gráfico con la evolución de la superficie inundada en la marjal:

**DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS
CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN
HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.**

fecha	superficie inundada (ha)	% superficie inundada	superficie no inundada (ha)	% superficie no inundada
sep-99	6.94	7%	abr-00	93%
ago-00	2.00	2%	abr-00	98%
oct-04	62.91	59%	feb-00	41%
nov-04	61.56	58%	feb-00	42%
may-05	52.13	49%	feb-00	51%
abr-06	52.88	50%	feb-00	50%
jun-08	50.84	48%	feb-00	52%
ago-08	49.96	47%	feb-00	53%
sep-08	54.94	52%	feb-00	48%
nov-08	36.44	34%	mar-00	66%
feb-09	33.31	31%	mar-00	69%
mar-09	47.03	44%	feb-00	56%
abr-09	57.88	55%	feb-00	45%
may-09	47.31	45%	feb-00	55%
jun-09	41.88	40%	mar-00	60%
jul-09	50.00	47%	feb-00	53%
ago-09	50.50	48%	feb-00	52%
sep-09	50.69	48%	feb-00	52%
nov-09	43.92	41%	mar-00	59%
feb-10	50.28	47%	feb-00	53%
mar-10	49.44	47%	feb-00	53%
may-10	50.25	47%	feb-00	53%
jul-10	52.94	50%	feb-00	50%
ago-10	42.60	40%	mar-00	60%
sep-10	51.44	49%	feb-00	51%
oct-10	49.96	47%	feb-00	53%
nov-10	47.97	45%	feb-00	55%
feb-11	46.06	43%	feb-00	57%
abr-11	46.13	44%	feb-00	56%
may-11	46.20	44%	feb-00	56%
jun-11	51.84	49%	feb-00	51%
ago-11	49.92	47%	feb-00	53%

Tabla 21 : Datos de superficie inundada en la Marjal d'Almenara obtenidos mediante técnicas de teledetección

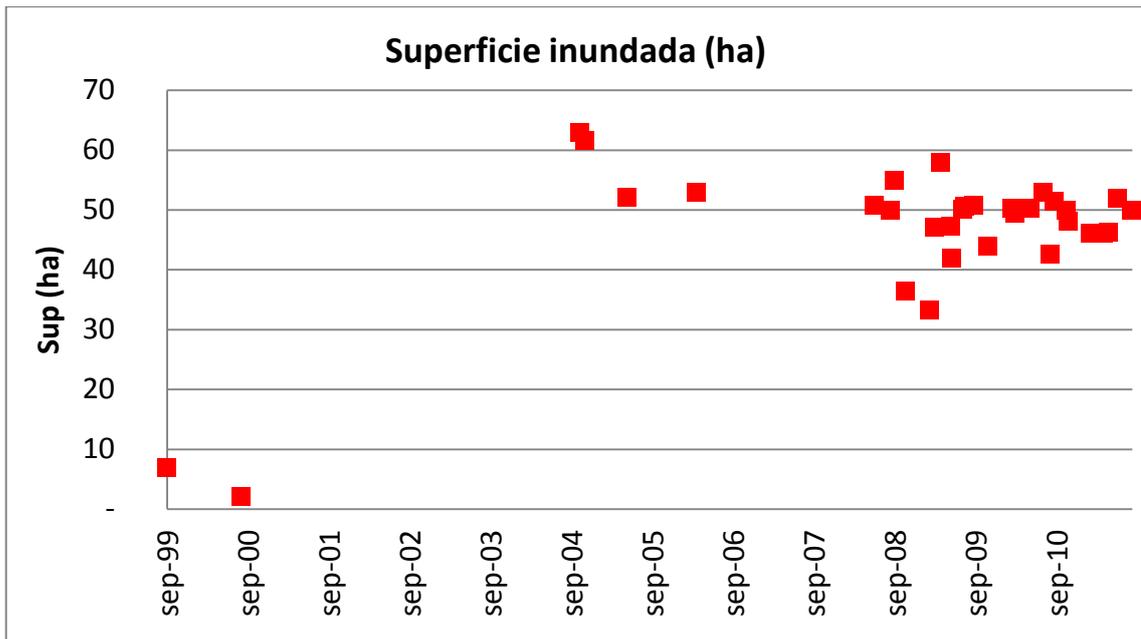


Figura 114 : Evolución de la superficie inundada en la Marjal d'Almenara obtenida mediante técnicas de teledetección

7.3.2. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE APORTACIONES

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, los datos de aportaciones introducidos en el modelo son los datos mensuales utilizados en la CHJ, provenientes del modelo PATRICAL, utilizado en la Demarcación para evaluar los recursos hídricos.

A continuación se representa la evolución temporal de las aportaciones anuales para los dos periodos caracterizados en la modelación, el periodo 1940-2011 y el periodo 1980-2011. Y seguidamente se caracteriza el año medio para ambos periodos.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

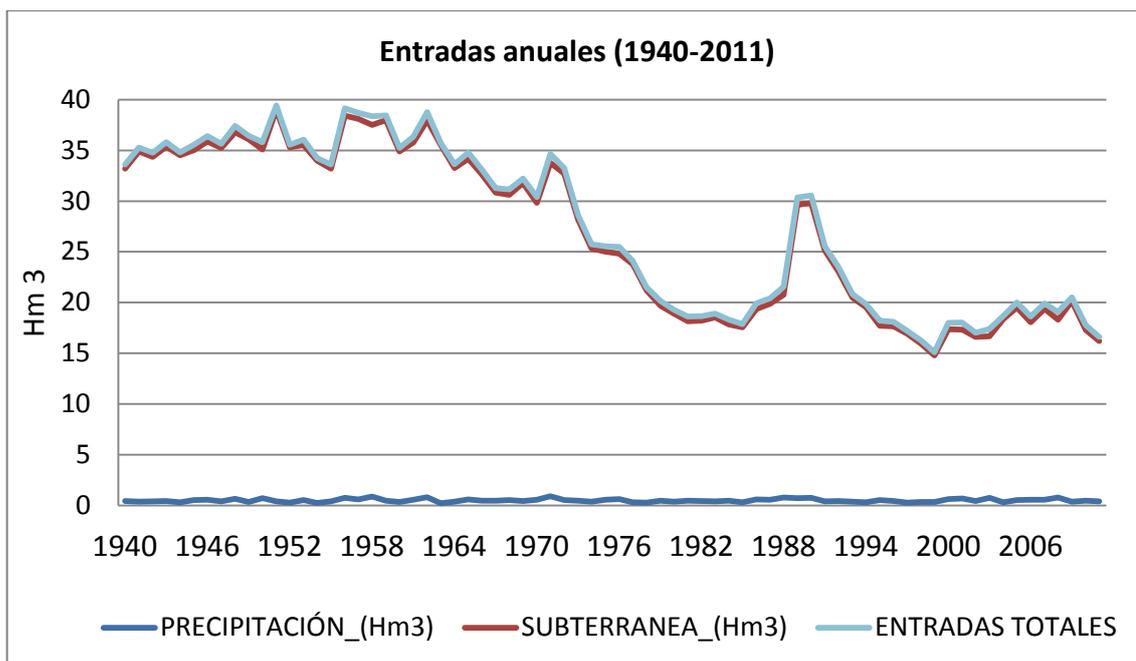


Figura 115: Entradas de agua anuales a la Marjal d'Almenara en el periodo 1940-2011

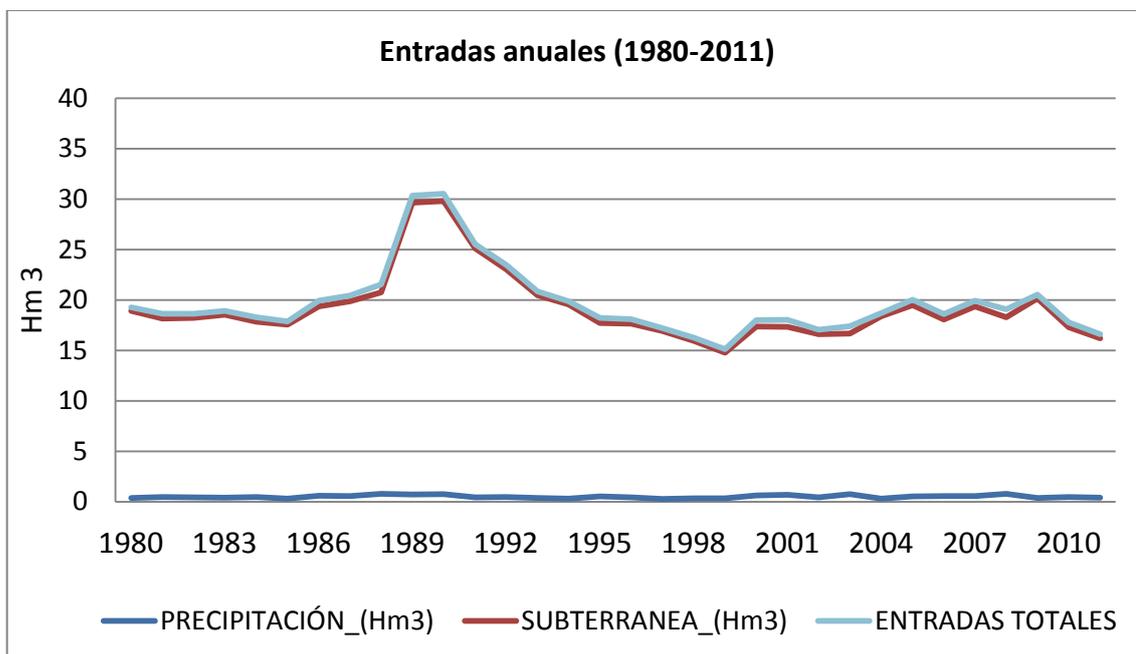


Figura 116: Entradas de agua anuales a la Marjal d'Almenara en el periodo 1980-2011

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

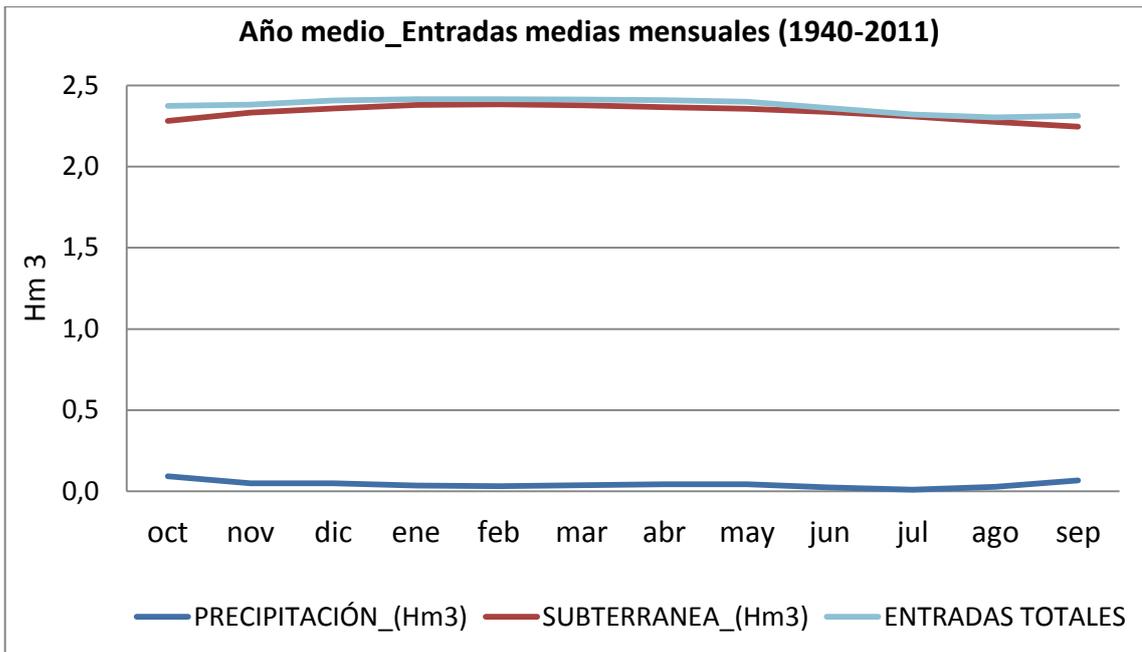


Figura 117: Año medio, promedio de entradas de agua mensuales a la Marjal d'Almenara en el periodo 1940-2011

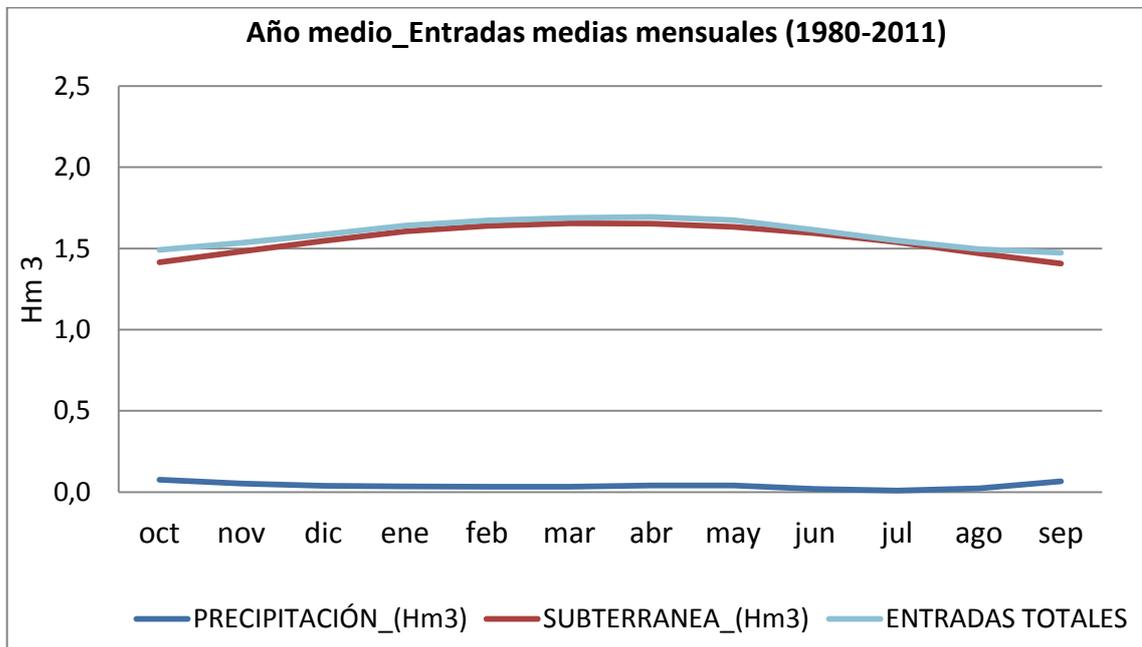


Figura 118: Año medio, promedio de entradas de agua mensuales a la Marjal d'Almenara en el periodo 1980-2011

Como se observa en los gráficos se contemplan dos tipos de entradas de agua al humedal, por precipitación directa y entradas de origen subterráneo, como se puede observar las entradas subterráneas representan prácticamente la totalidad de las entradas. Por la descripción que conocemos del ecosistema, se trata de un humedal costero con importantes aportaciones subterráneas que son las encargadas de mantener un nivel de agua permanente en el ecosistema.

7.3.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL HUMEDAL

A continuación se detalla la caracterización física de la Marjal d'Almenara. En este caso tampoco se dispone de información batimétrica del estudio "Estudio morfométrico y batimétrico en las cubetas de lagos naturales en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar" (MAGRAMA, 2013).

En este caso se ha utilizado una curva que relaciona altura (m) y volumen almacenado (m^3) obtenida del "Plan de Protección de Recursos Hídricos de la zona húmeda de Almenara" (CHJ, 2001), que se muestra a continuación:

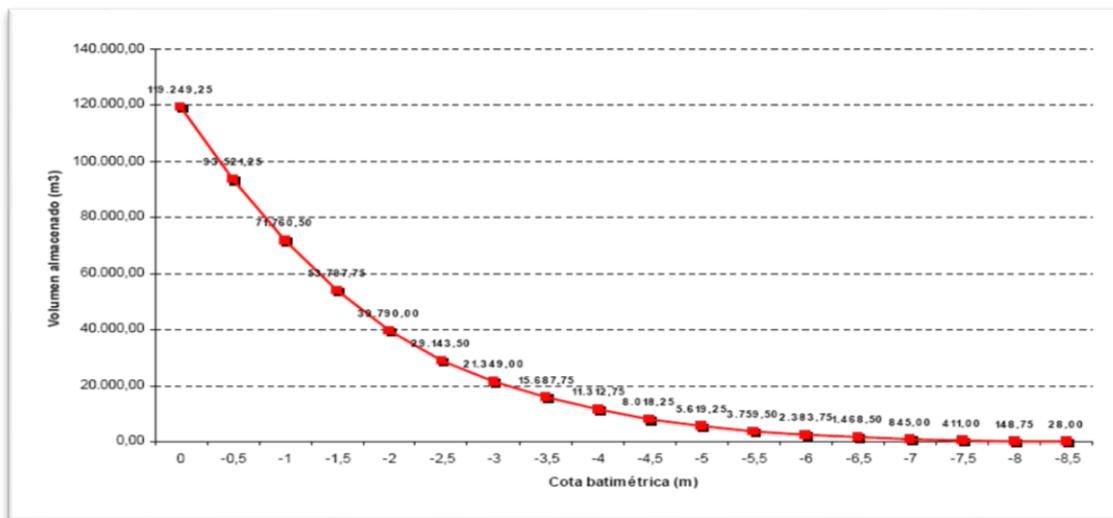


Figura 119: Curva batimétrica de la Marjal d'Almenara (CHJ, 2001)

Esta curva no abarca el humedal completo, por lo que se procede a generar la batimetría restante mediante el uso del MDT disponible, en este caso del MDT de 1m del ICV que cuenta con una alta resolución altimétrica, y la aplicación de herramientas GIS

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

(Geographic Information System). Puesto que en la curva anterior los datos se encuentran en m y no en m.s.n.m. también es necesario dotar a esta curva de unas cotas de referencia.

A continuación se muestra el resultado de utilizar el MDT y aplicar herramientas GIS:

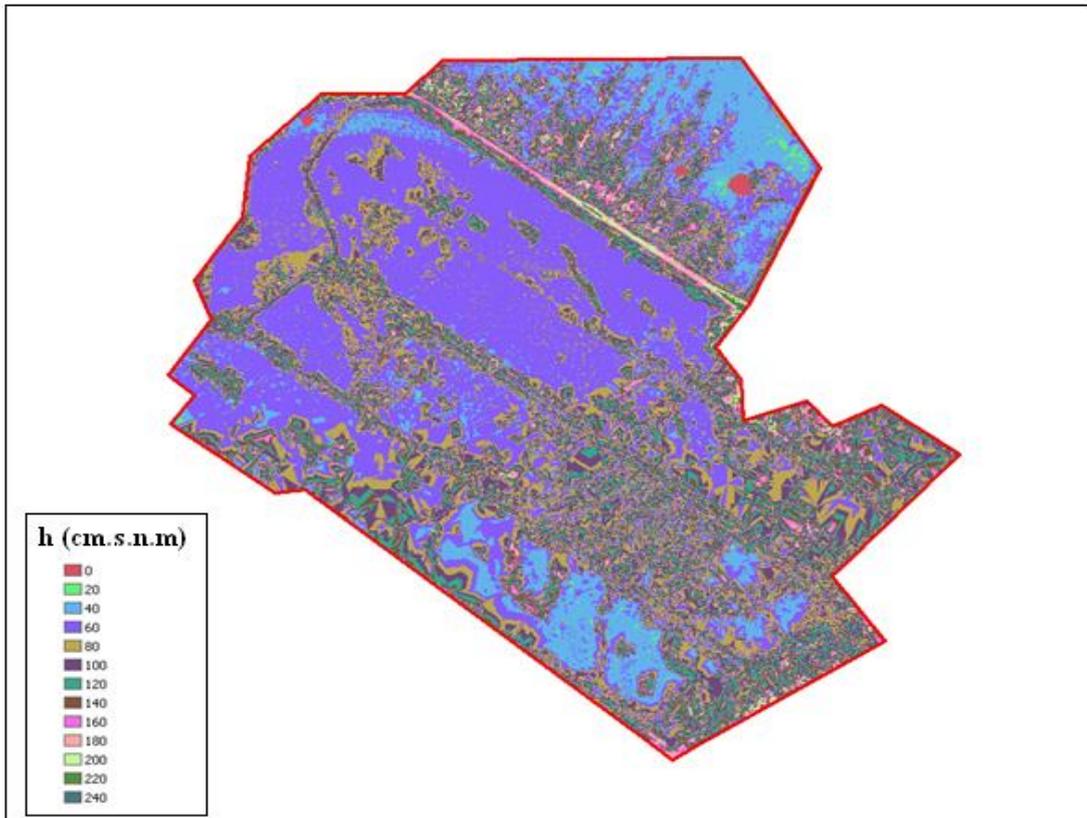


Figura 120: Uso de un MDT y aplicación de herramientas GIS a la Marjal d'Almenara para la obtención de información batimétrica

En el siguiente croquis se esquematiza la morfología de la cubeta, en el caso de los humedales costeros se distinguen dos niveles, el nivel lago y el nivel humedal. El nivel lago corresponde con la zona de aguas permanentes, mientras que el nivel humedal abarca la totalidad de la superficie delimitada como tal, se supone una zona que se inunda de manera puntual con bajos niveles de agua. El nivel lago se ha caracterizado con la información batimétrica obtenida de la curva del “Plan de Protección de Recursos Hídricos de la zona húmeda de Almenara” que ha sido georreferenciada gracias al MDT. En el croquis se puede observar la cota de solera o cota mínima (-8,03 m.s.n.m.), la cota máxima del lago o mínima del humedal (0,47 m.s.n.m.) y la cota máxima del humedal (2,2 m.s.n.m.). La altura umbral

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

(Humbral) representa la altura a partir de la cual se producen las salidas superficiales, en este caso la altura corresponde con la altura que diferencia el nivel lago del humedal.

En el croquis también se identifica el máximo volumen que puede almacenar la cubeta del lago ($0,12 \text{ hm}^3$) y la superficie que abarcaría este volumen ($23,85 \text{ ha}$), así como la superficie total del humedal (106 ha).

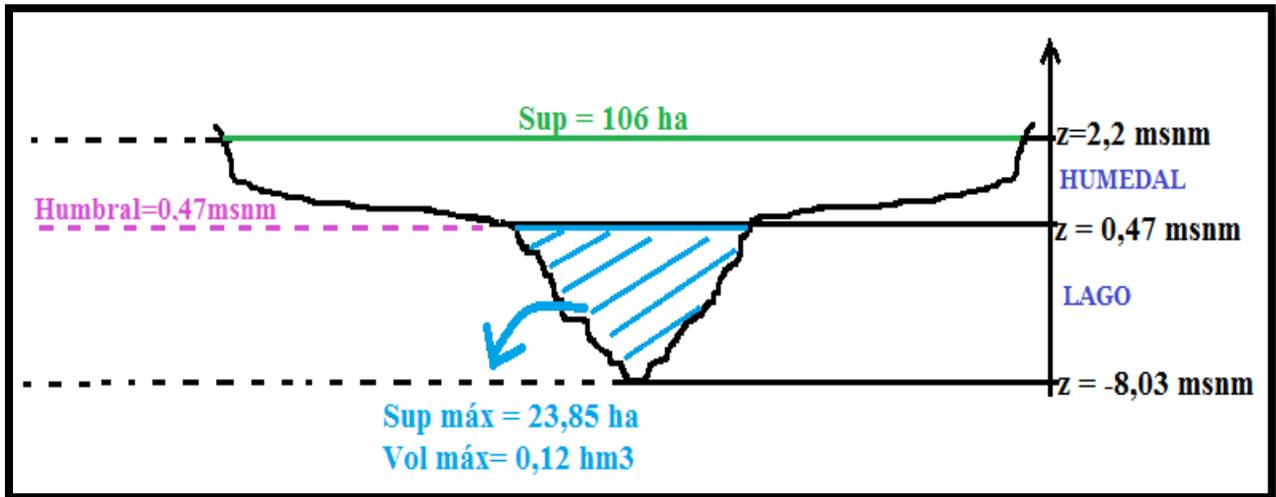


Figura 121: Caracterización física de la cubeta de la Marjal d'Almenara

A continuación se muestran las curvas altura de agua – superficie inundada y altura de agua – volumen almacenado características de la cubeta del humedal:

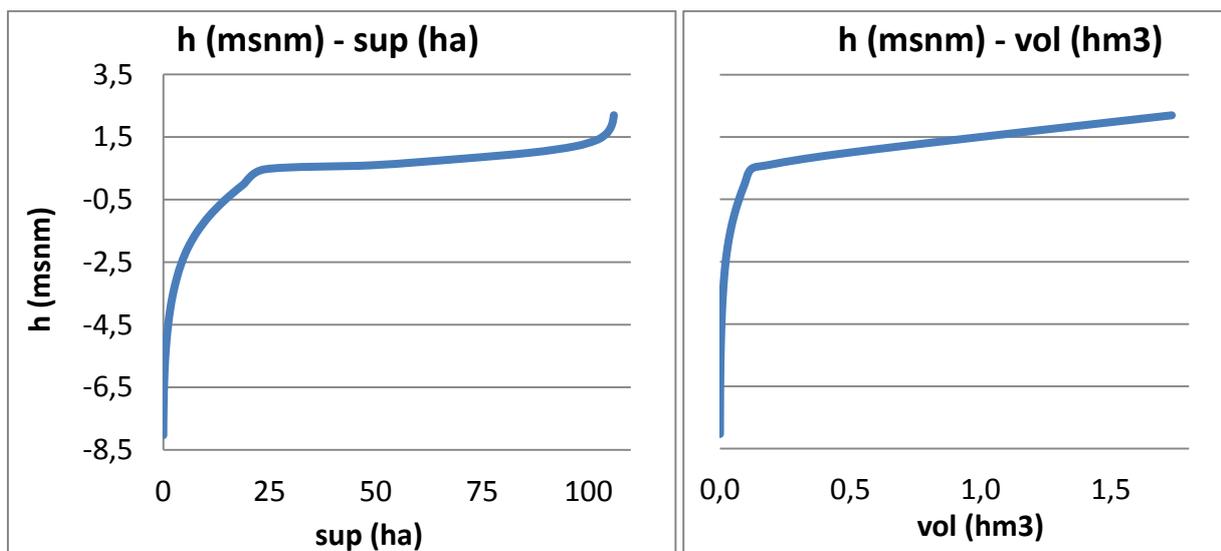


Figura 122: Curvas batimétricas características de la Marjal d'Almenara

En estas curvas se observa la baja capacidad de almacenamiento del nivel lago, a pesar de los 8m de desnivel característicos el volumen que es posible almacenar es muy pequeño, de manera que con unas pequeñas aportaciones los niveles crecen exponencialmente. El comportamiento de la zona humedal es totalmente opuesto, la capacidad de almacenamiento de éste es muy grande, de modo que un incremento de las aportaciones se traduce en un incremento mínimo de los niveles.

7.3.4. PARÁMETROS DEL MODELO

En la siguiente tabla se muestran los diferentes parámetros que se utilizan para calibrar el modelo y el valor que se les ha asignado:

Término del balance	Parámetro	Valor	Comentarios
Entrada subterránea	Coefficiente de reducción	100%	No se aplica ningún coeficiente.
Salida superficial	alfa (α)	20	
	Umbral (msnm)	0,47	Cota máxima del lago – mínima del humedal
Salida por infiltración y subterránea al mar	Umbral (msnm)	0,47	Parámetros para el cálculo de la salida subterránea al mar y la infiltración
	k	0,01	

Tabla 22: Parámetros del modelo de la Marjal d'Almenara

Como se muestra en la tabla, a las entradas subterráneas no se les ha aplicado ningún coeficiente corrector, pues no se han encontrado referencias que indiquen que estas entradas sean distintas a las introducidas en el modelo.

En el caso de las salidas superficiales, la altura umbral representa, como se ha mencionado anteriormente, la altura a partir de la cual se producen salidas superficiales, esta altura (0,47 m.s.n.m) corresponde con la altura que diferencia el nivel lago del humedal, lugar por el que se evacuarían las aguas en dirección a la Gola de Casablanca, donde se produciría la salida del agua al mar. Al parámetro alfa (α) se le asigna un valor de 20, este parámetro simula la velocidad con la que el agua sale del sistema.

Para el cálculo de las salidas por infiltración al acuífero y las salidas subterráneas al mar se ha establecido la misma altura umbral que en el caso anterior (0,47 m.s.n.m), en este

caso el parámetro representa la carga mínima para que se produzcan este tipo de salidas. Al parámetro k, que simula la velocidad con la que se producen estas salidas, se le ha asignado un valor de 0,01. Cabe mencionar que las salidas por infiltración y subterráneas al mar tienen poca influencia sobre el modelo, aunque se les aplique otros valores a los parámetros. Estos parámetros no pueden ser calibrados con exactitud pues no se dispone de ningún balance actual, el único balance existente data de 1981 y se duda de la cuantificación de sus componentes.

7.3.5. RESULTADOS DEL MODELO

En la siguiente tabla se recogen las entradas y salidas anuales que caracterizan el régimen hídrico del humedal en cuestión, se caracterizan los periodos 1940-2011 y 1980-2011:

			Periodo 40-12	Periodo 80-12
ENTRADAS	PRECIPITACIÓN	Hm3/año	0.49	0.50
	SUBTERRÁNEA	Hm3/año	27.23	19.36
	SUPERFICIAL	Hm3/año	0	0
	TOTAL	Hm3/año	27.72	19.85
SALIDAS	ET	Hm3/año	0.56	0.55
	INFILTRACIÓN	Hm3/año	0.29	0.21
	SUBTERRÁNEA (mar)	Hm3/año	0.29	0.21
	SUPERFICIAL	Hm3/año	26.57	18.88
	TOTAL	Hm3/año	27.72	19.85

Tabla 23: Caracterización del régimen hídrico de la Marjal d'Almenara para los periodos 1940-2011 y 1980-2011

Como se observa en la tabla se contemplan salidas por evapotranspiración, por infiltración al acuífero y salidas superficiales y subterráneas al mar. El agua sale mayoritariamente del sistema superficialmente a través de una compuerta ubicada en la zona Este, llamada gola de Casabalnaca, mientras que una pequeña cantidad lo hace mediante evaporación a la atmosfera y una cantidad aún más pequeña mediante infiltración al acuífero y de forma subterránea al mar.

A continuación se muestran unos gráficos con los resultados de la modelación. Se representa la evolución de los niveles (en m y en m.s.n.m), de la superficie inundada (ha) y

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

del volumen almacenado (hm^3). En estos gráficos también se representan los diferentes datos disponibles, indicando su origen, estos datos han sido utilizados para calibrar el modelo. En primer lugar los gráficos muestran la evolución para todo el periodo de simulación (1940-2011), y a continuación se muestra de forma más detallada la evolución de los últimos años en los que se dispone de datos reales u observados.

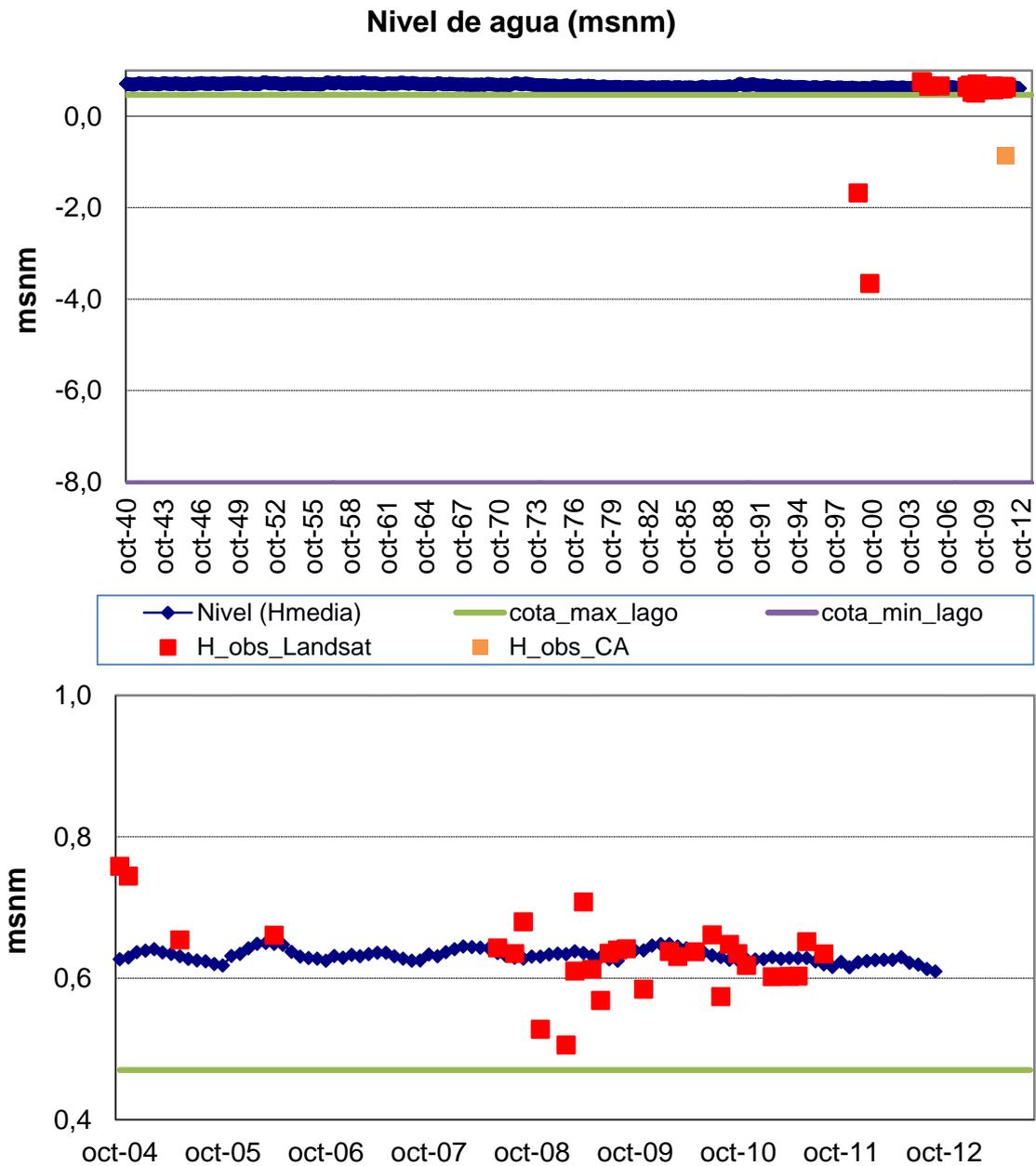


Figura 123: Representación de la evolución de la altura de agua, en msnm, en la Marjal d'Almenara

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

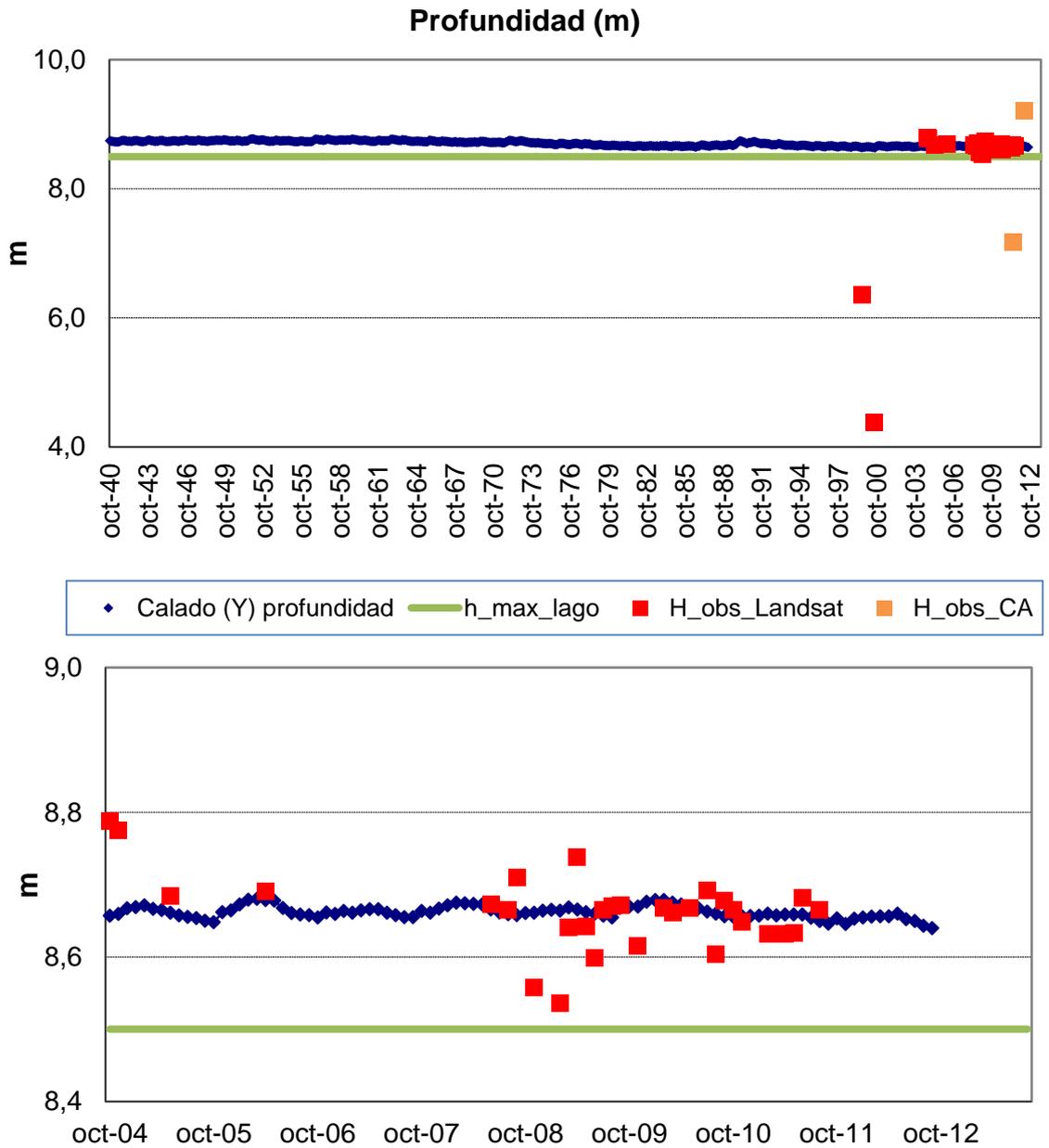


Figura 124 : Representación de la evolución de la profundidad de agua, en m, en la Marjal d'Almenara

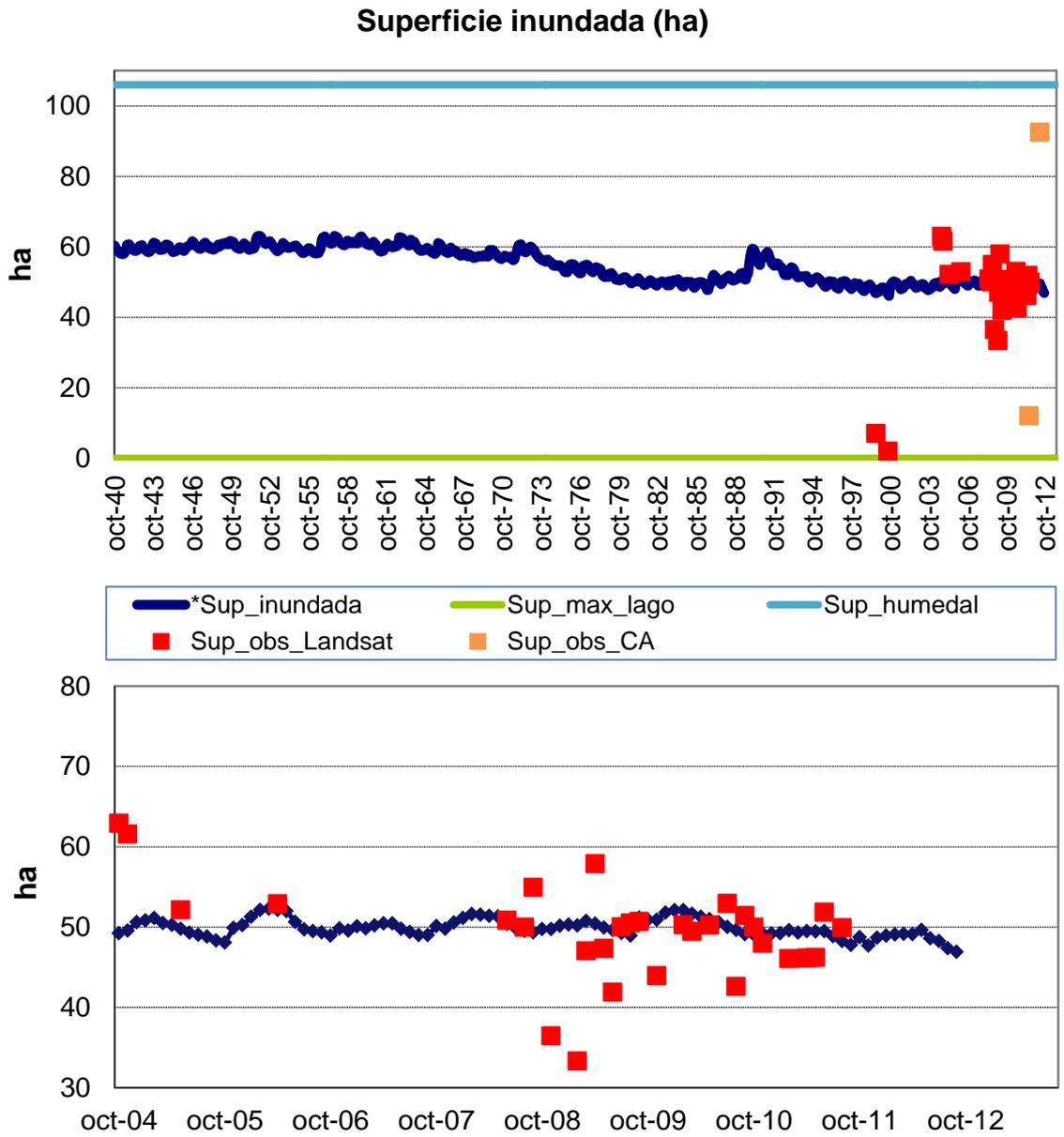


Figura 125: Representación de la evolución de la superficie inundada, en ha, en la Marjal d'Almenara

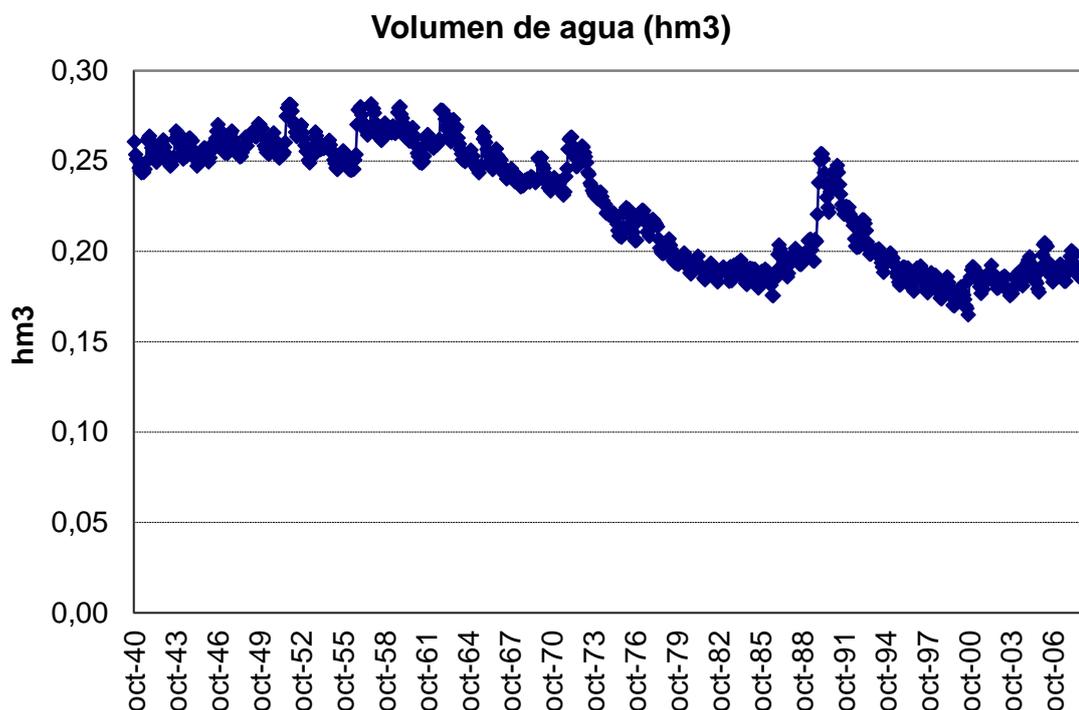


Figura 126: Representación de la evolución del volumen de agua almacenado, en hm^3 , en la Marjal d'Almenara

Como se puede observar en los gráficos anteriores los dos datos de Comisaría de aguas, traducidos al sistema de referencia utilizado, son muy dispares entre ellos y a su vez a los datos Landsat. Se pone en duda la fiabilidad de estos datos pues se desconoce realmente qué nivel representan y además parecen no ser comprables entre ellos. Por lo tanto en el caso de la Marjal d'Almenara no se dispone de ningún dato real u observado de confianza que permita calibrar el modelo.

El cuanto a los datos Landsat, parece que el modelo siga la evolución que marcan estos datos, obteniendo valores del mismo orden de magnitud, aunque no es capaz de reproducir la variabilidad marcada por éstos. También hay que mencionar que el modelo tampoco es capaz de reproducir la situación de mínima inundación que ofrecen los dos primeros datos, y que como se ha comprobado mediante ortofotos reproducen la realidad.

7.3.6. PROPUESTA DE REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

A continuación se muestran los resultados del análisis de la influencia de las aportaciones subterráneas sobre los niveles de agua en el humedal, se muestran los resultados en forma de tabla y gráfico. Se analizan las aportaciones para el periodo 1980-2011, pues como se describió anteriormente este periodo es más característico de la situación actual de disponibilidad de recursos hídricos.

Aportación subterránea	h media mensual (m)	h máxima (m)	P95 (m)	P50 (m)	P5 (m)	h mínima (m)
5%	8,39	8,60	8,58	8,30	8,28	8,22
10%	8,56	8,60	8,59	8,58	8,31	8,29
30%	8,60	8,63	8,61	8,60	8,59	8,59
50%	8,62	8,66	8,64	8,62	8,61	8,60
60%	8,63	8,67	8,65	8,63	8,62	8,61
90%	8,66	8,72	8,69	8,65	8,64	8,63
95%	8,66	8,73	8,70	8,66	8,64	8,63
100%	8,67	8,74	8,70	8,66	8,65	8,63

Tabla 24: Alturas de agua (m) características de la Marjal d'Almenara en función de las aportaciones subterráneas recibidas

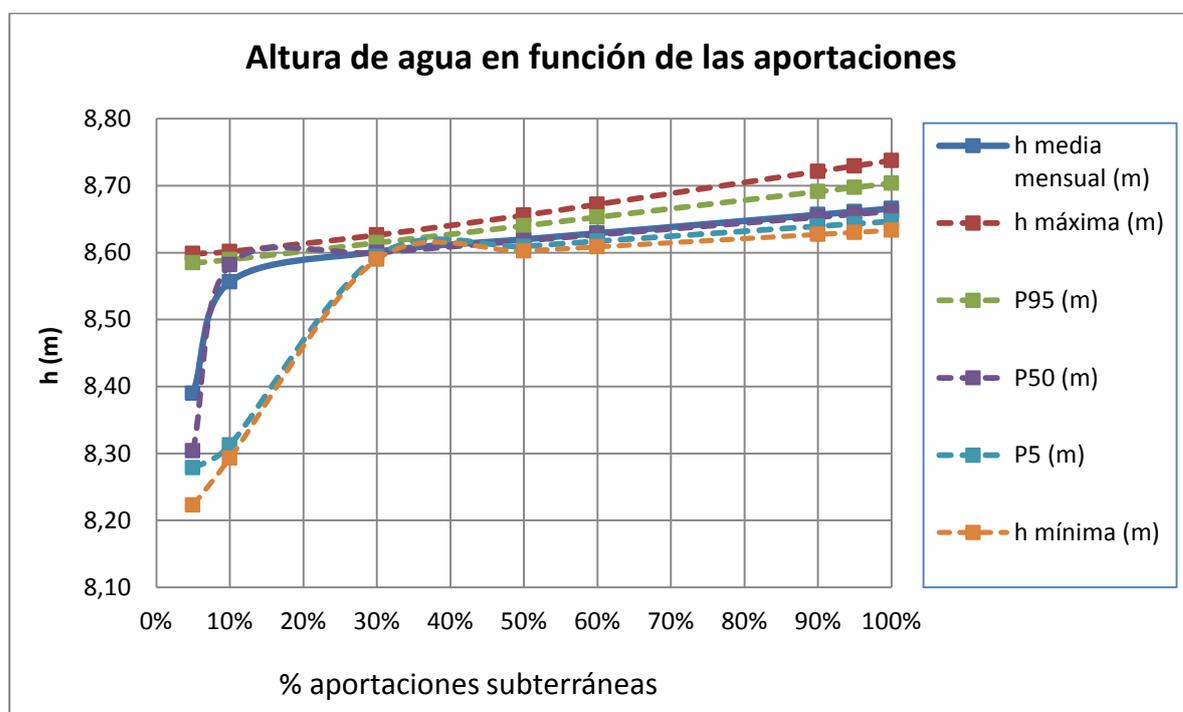


Figura 127: Evolución de los niveles en la Marjal d'Almenara en función de las aportaciones subterráneas definidas.

En el gráfico anterior se puede observar cómo evoluciona la altura media mensual, la altura máxima y mínima y los percentiles 95, 50 y 5 característicos de la serie, en función de los diferentes porcentajes de aportaciones definidos (5, 10, 30, 50, 60, 90 y 95). La línea roja identifica la altura mínima de agua admisible (7,67 m) calculada en función de los criterios definidos en la guía desarrollada por el SNIFFER y el grupo de investigación UKTAG (SNIFFER WFD 48, 2006).

La altura máxima de agua del nivel lago es de 8,5 m, por lo que, como puede observarse en el gráfico, la mayoría de las series caracterizadas se encuentran por encima de ésta, aunque para unas aportaciones inferiores al 30% algunas de ellas descienden a este nivel lago.

Los criterios definidos en la citada guía son que el porcentaje de disminución máximo admisible de niveles es del 20% y que este 20% no puede superar un 1m, pues es el cambio de nivel máximo admisible por los macrófitos, según criterio de experto. Siguiendo estos criterios aunque se anulen las aportaciones subterráneas, únicamente con el resto de entradas los niveles que se producirían cumplirían estos criterios.

En cambio del análisis de la evolución de la línea que representa la altura media de agua en el humedal, se observa un cambio de tendencia en la serie asociado a un incremento de la pendiente cuando las aportaciones subterráneas son inferiores al 30%, por lo que puede que aportaciones inferiores al 30% de las totales puedan poner en compromiso la funcionalidad del humedal a largo plazo. Estas aportaciones corresponden con un volumen anual de 5,81 hm³ que junto con las entradas por precipitación directa representan un volumen total anual de entrada de agua al humedal de 6,3 hm³.

De forma adicional se ha calculado el número de renovaciones que se producirían en la marjal en función de las aportaciones recibidas. Este número de renovaciones se obtiene en función de la capacidad del humedal, como los niveles característicos obtenidos en la Marjal de Pego-Oliva se encuentran de forma general en el nivel lago, se ha decidido caracterizar también las renovaciones que se producirían únicamente en el nivel lago.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

		Nivel lago	Nivel humedal
	Entradas anuales (hm3)	nº renovaciones anuales	nº renovaciones anuales
5% aportaciones	1,46	12,2	0,9
10% aportaciones	2,43	20,3	1,4
30% aportaciones	6,3	52,5	3,7
50% aportaciones	10,18	84,8	6,0
60% aportaciones	12,11	100,9	7,1
90% aportaciones	17,92	149,3	10,5
95% aportaciones	18,89	157,4	11,1
100% aportaciones	19,85	165,4	11,7

capacidad (hm3)	capacidad (hm3)
0,12	1,7

Tabla 25: Renovaciones anuales de la Marjal d'Almenara en función de las aportaciones subterráneas recibidas

En la tabla se observa cómo debido a la baja capacidad del nivel lago se producen unas 165 renovaciones anuales, en cambio en el nivel humedal se producen casi 12 renovaciones al año. Aunque no se han encontrado referencias a un número concreto de renovaciones “ideales o convenientes” para que los humedales se encuentren en buen estado, este parámetro se perfila como un elemento clave a tener en cuenta.

7.4. Marjal de Pego-Oliva

7.4.1. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

▪ DATOS REALES U OBSERVADOS

En el caso de la Marjal de Pego-Oliva se dispone de ocho datos mensuales de altura de la lámina de agua.

Tres datos provienen de sensores instalados por Comisaría Aguas, los sensores toman mediciones cada 10 min, por lo que se ha calculado el dato mensual como el promedio de todas las mediciones tomadas dicho mes. La fecha de estos datos es de mayo, junio y julio de 2013 y sus unidades son m.s.n.m.

A continuación se muestra un gráfico con los niveles medidos por los sensores cada 10 minutos, y seguidamente se muestra otro en el que se representan los niveles de agua diarios obtenidos.

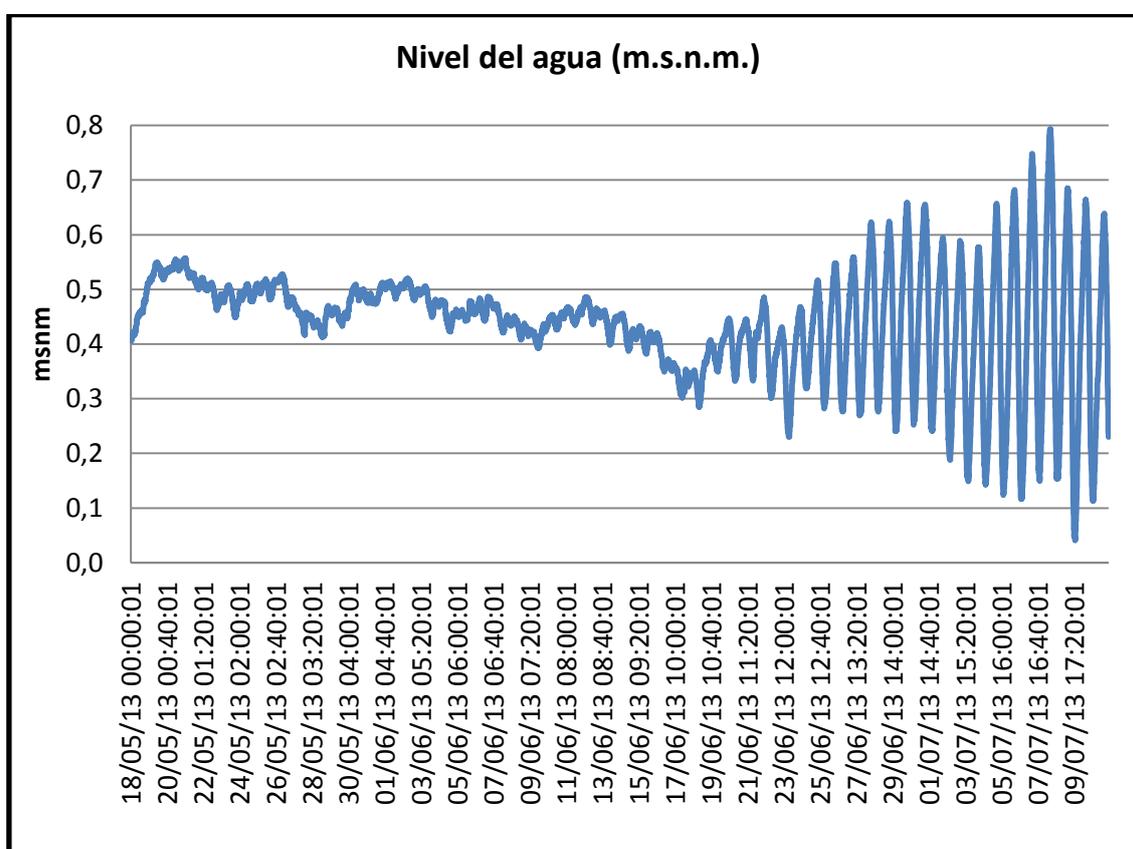


Figura 128: Niveles de agua medidos por los sensores de Comisaría de Aguas ubicados en la Marjal de Pego-Oliva

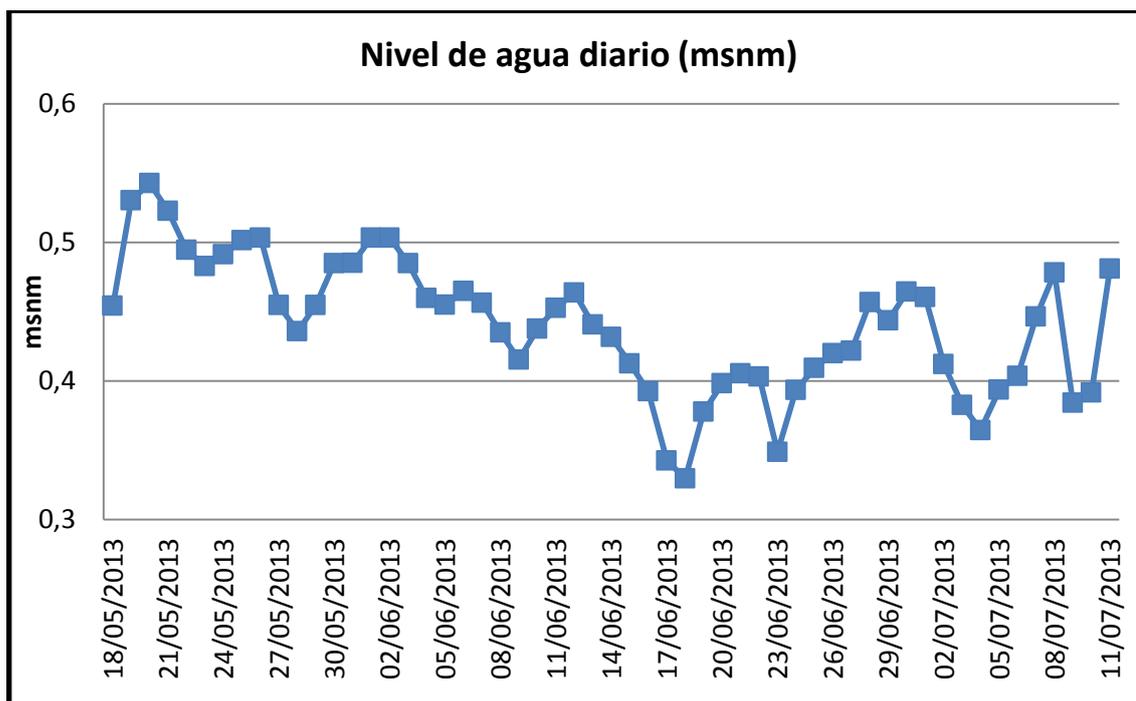


Figura 129 : Niveles de agua diarios obtenidos de los sensores de Comisaría de Aguas ubicados en la Marjal de Pego-Oliva

Aunque en el último gráfico la variación máxima de la lámina de agua es de 20 cm, en el gráfico anterior se puede observar cómo se producen amplias oscilaciones de los niveles. A continuación se muestra un gráfico en el que se reproducen los datos medidos por los sensores cada 10 min a partir del 23/06/2013, fecha en la que empiezan a apreciarse estas oscilaciones.

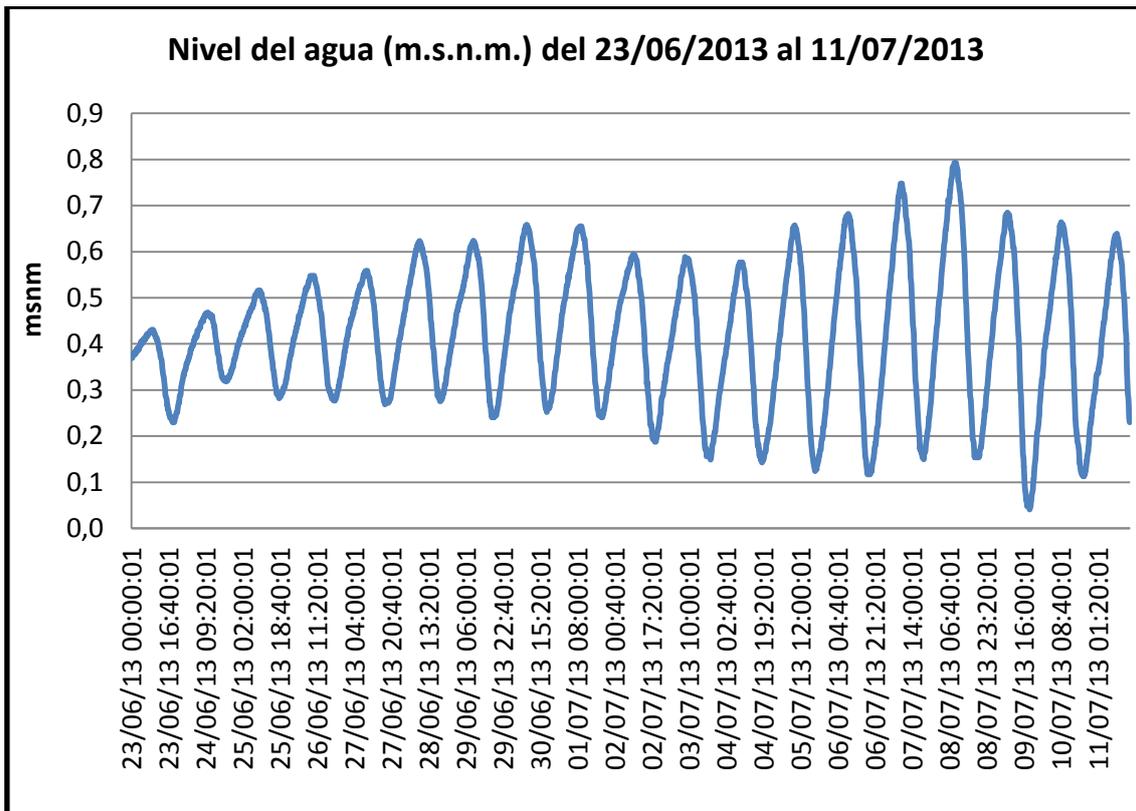


Figura 130: Niveles de agua medidos por los sensores de Comisaría de Aguas ubicados en la Marjal de Pego-Oliva del 23/06/2013 al 11/07/2013

Del análisis del gráfico anterior se observa como de forma diaria alrededor de las 8:00h empiezan a descender los niveles hasta las 17:00h aproximadamente, momento en que los niveles empiezan a recuperarse y ascender. Estas oscilaciones son indicativas de una gran regulación de la zona de forma antrópica, que se han de deber a la gestión de compuertas llevada a cabo en el Parque Natural. Las mediciones parecen representar cómo a primera hora de la mañana se abren las compuertas para evacuar aguas y por la tarde, probablemente al finalizar la jornada laboral, se cierran dichas compuertas. De modo que por la noche se produce el llenado del humedal hasta el día siguiente en el que vuelven a abrirse las compuertas y se realiza el vaciado. Esta alta regulación se observa desde finales de junio pero se desconoce hasta cuando se produce, pues los datos finalizan con fecha 11 de julio.

Según los datos de los que se dispone se producen unas sueltas máximas diarias de $0,644 \text{ Hm}^3$ (el día 09/07/2013), para el periodo de tiempo analizado (del 23/06/2013 al

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

11/07/13) se obtienen unas sueltas promedio diario de unos $0,14 \text{ Hm}^3$, con lo que se obtiene un promedio mensual de $4,278 \text{ Hm}^3$.

Por otra parte, el dato puntual de altura de agua, al igual que en los humedales anteriores, proviene del estudio “Estudio morfométrico y batimétrico en las cubetas de lagos naturales en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar” (MAGRAMA, 2013), se trata de un dato con fecha 30/10/2012 y medido en msnm.

Finalmente, los cuatro datos restantes se han obtenido de la “Memoria de gestión 2010 del Parque Natural de Pego-Oliva” (GV, 2010) disponible en la web del Parque Natural. Se trata de mediciones diarias de las que se desconoce la cota de referencia y la ubicación de las mediciones, la única información disponible son las gráficas que se muestran a continuación, de las que se ha obtenido el nivel mensual calculando el promedio de los datos diarios.

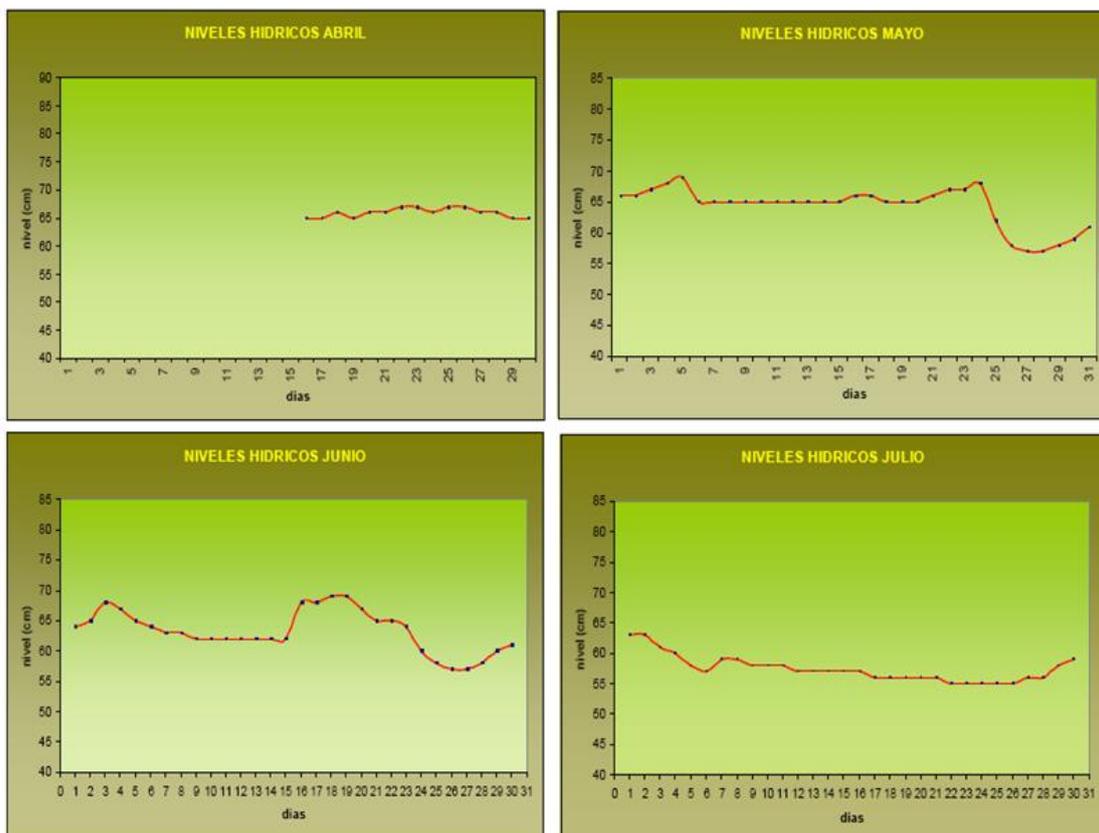


Figura 131: Niveles medidos en la Marjal de Pego-Oliva (GV, 2010)

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Cabe destacar que ninguno de los datos existentes se encuentra georreferenciado, por lo que no se conoce el punto geográfico exacto en el que han sido tomadas las mediciones.

Seguidamente se muestra una tabla con los datos de niveles disponibles:

Fecha	Medición	Unidades	Fuente de información
abr-10	66	cm	Memoria de gestión 2010 del Parque Natural de Pego-Oliva
may-10	64	cm	Memoria de gestión 2010 del Parque Natural de Pego-Oliva
jun-10	63	cm	Memoria de gestión 2010 del Parque Natural de Pego-Oliva
jul-10	57	cm	Memoria de gestión 2010 del Parque Natural de Pego-Oliva
nov-12	0,12	m.s.n.m	“Trabajos de levantamiento y post-procesado de datos batimétricos y de seguimiento de niveles en lagos naturales del ámbito de la CHJ”
jul-13	0,37	m.s.n.m	Sensores de Comisaría Aguas
ago-13	0,41	m.s.n.m	Sensores de Comisaría Aguas
sep-13	0,42	m.s.n.m	Sensores de Comisaría Aguas

Tabla 26: Datos disponibles de altura de lámina de agua en la Marjal de Pego-Oliva

Como se observa en la tabla anterior los datos obtenidos de los sensores de Comisaría de Aguas únicamente difieren unos centímetros de variación entre ellos, mientras que una diferencia de 0,25 a 0,3m con el dato puntual del estudio del ministerio (MAGRAMA, 2013). Los datos obtenidos de la “Memoria de gestión 2010 del Parque Natural de Pego-Oliva” (GV, 2010) no son comparables con el resto al estar medidos en centímetros.

▪ DATOS OBTENIDOS MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN

Como ya se ha mostrado en el anterior capítulo, en el caso de la Marjal de Pego-Oliva se han obtenido 21 datos mensuales de superficie inundada mediante técnicas de teledetección.

A continuación se muestra una tabla con los resultados de superficie inundada obtenidos y un gráfico que representa la evolución de la superficie inundada en la Marjal de Pego-Oliva:

**DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS
CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN
HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.**

fecha	superficie inundada (ha)	% superficie inundada	superficie no inundada (ha)	% superficie no inundada
ago-00	29.19	10%	249.81	90%
oct-04	8.06	3%	270.94	97%
abr-06	29.56	11%	249.44	89%
jun-08	8.06	3%	270.94	97%
ago-08	2.81	1%	276.19	99%
sep-08	2.81	1%	276.19	99%
nov-08	21.25	8%	257.75	92%
feb-09	10.69	4%	268.31	96%
mar-09	0.06	0%	278.94	100%
jun-09	3.25	1%	275.75	99%
ago-09	2.13	1%	276.88	99%
sep-09	3.16	1%	275.84	99%
nov-09	2.56	1%	276.44	99%
dic-09	1.88	1%	277.13	99%
feb-10	6.31	2%	272.69	98%
mar-10	49.94	18%	229.06	82%
ago-10	3.00	1%	276.00	99%
sep-10	2.38	1%	276.63	99%
oct-10	3.59	1%	275.41	99%
jun-11	2.13	1%	276.88	99%
ago-11	1.63	1%	277.38	99%

Tabla 27: Datos de superficie inundada en la Marjal de Pego-Oliva obtenidos mediante técnicas de teledetección

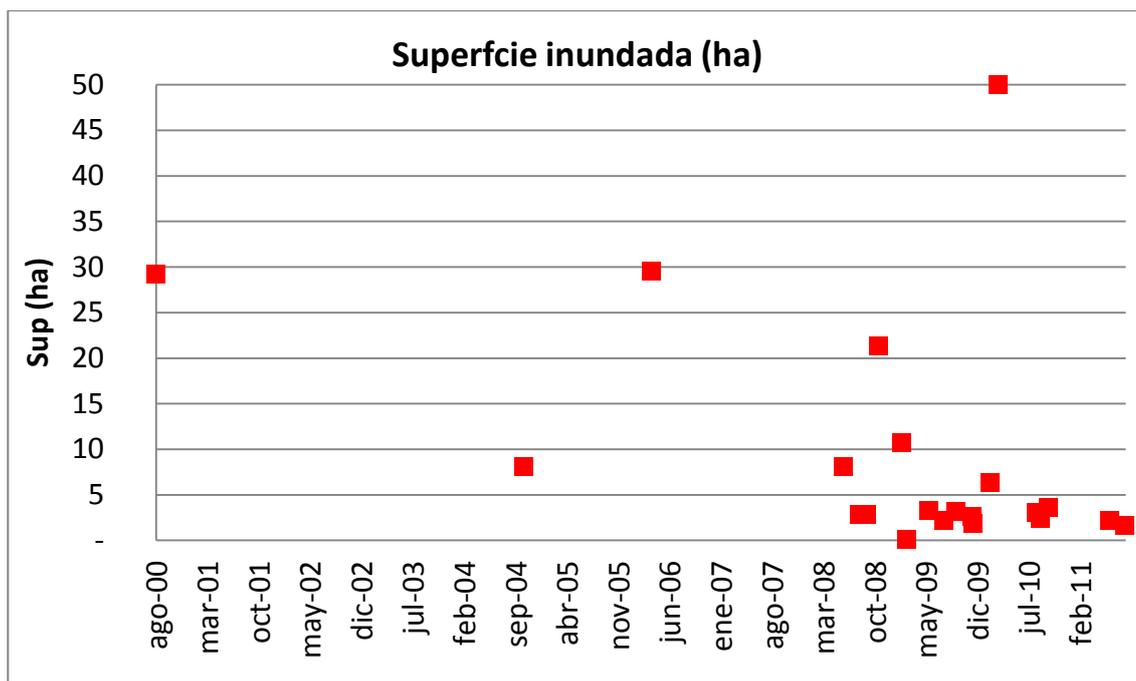


Figura 132: Evolución de la superficie inundada en la Marjal de Pego-Oliva obtenida mediante técnicas de teledetección

7.4.2. CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE APORTACIONES

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, los datos de aportaciones introducidos en el modelo son los datos mensuales utilizados en la CHJ, provenientes del modelo PATRICAL, utilizado en la Demarcación para evaluar los recursos hídricos.

A continuación se representa la evolución temporal de las aportaciones anuales para los dos periodos caracterizados en la modelación, el periodo 1940-2011 y el periodo 1980-2011. Y seguidamente se caracteriza el año medio para ambos periodos.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

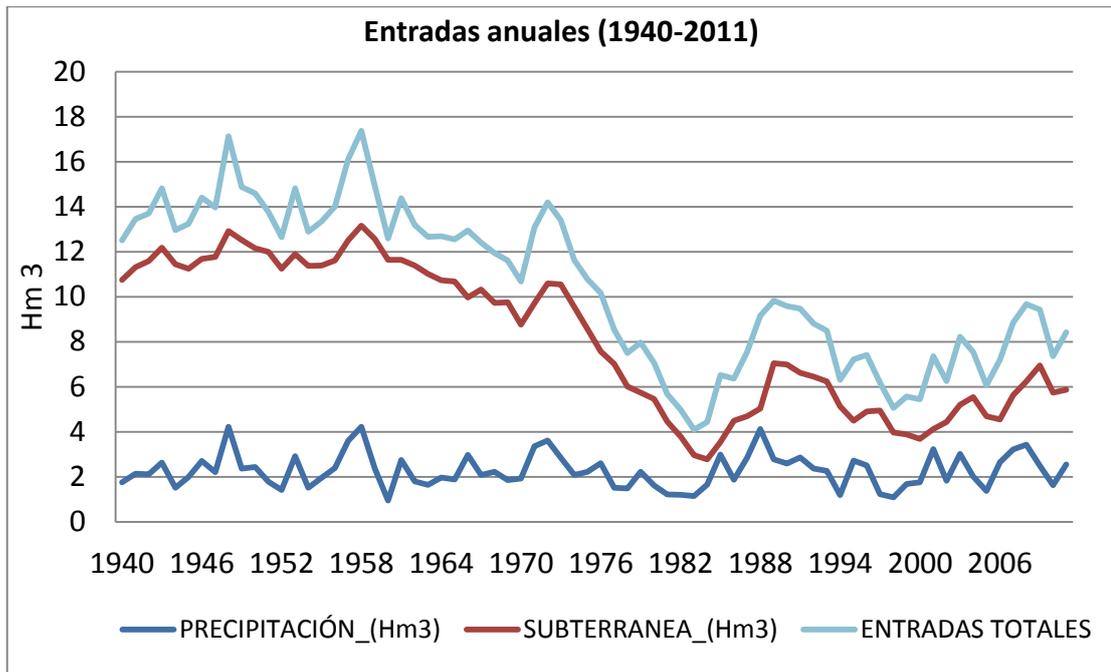


Figura 133: Entradas de agua anuales a la Marjal de Pego-Oliva en el periodo 1940-2011

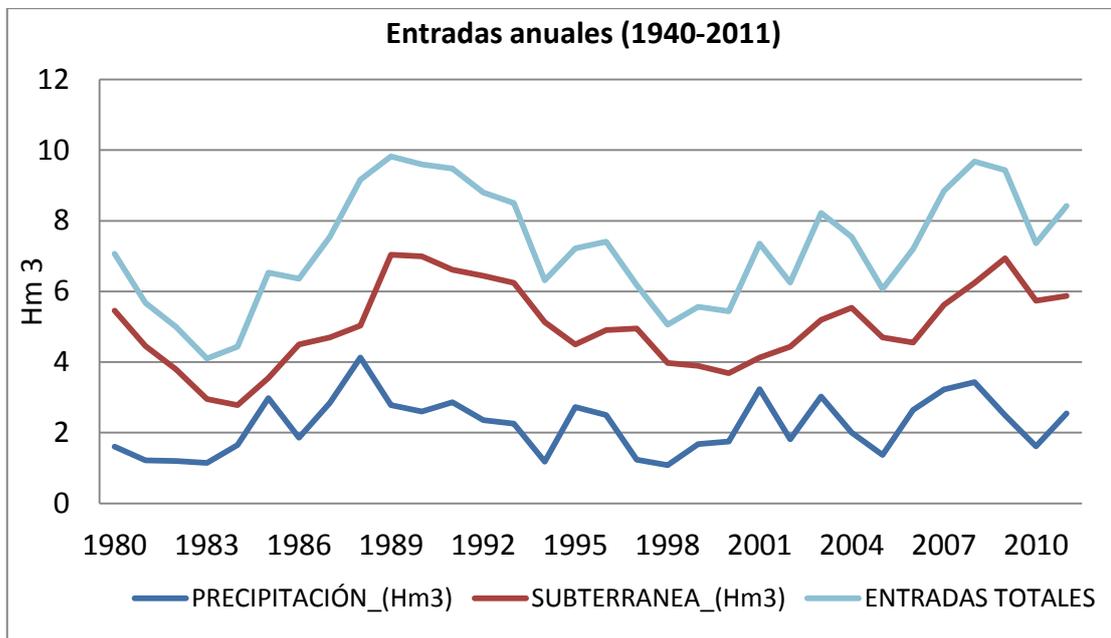


Figura 134: Entradas de agua anuales a la Marjal de Pego-Oliva en el periodo 1980-2011

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

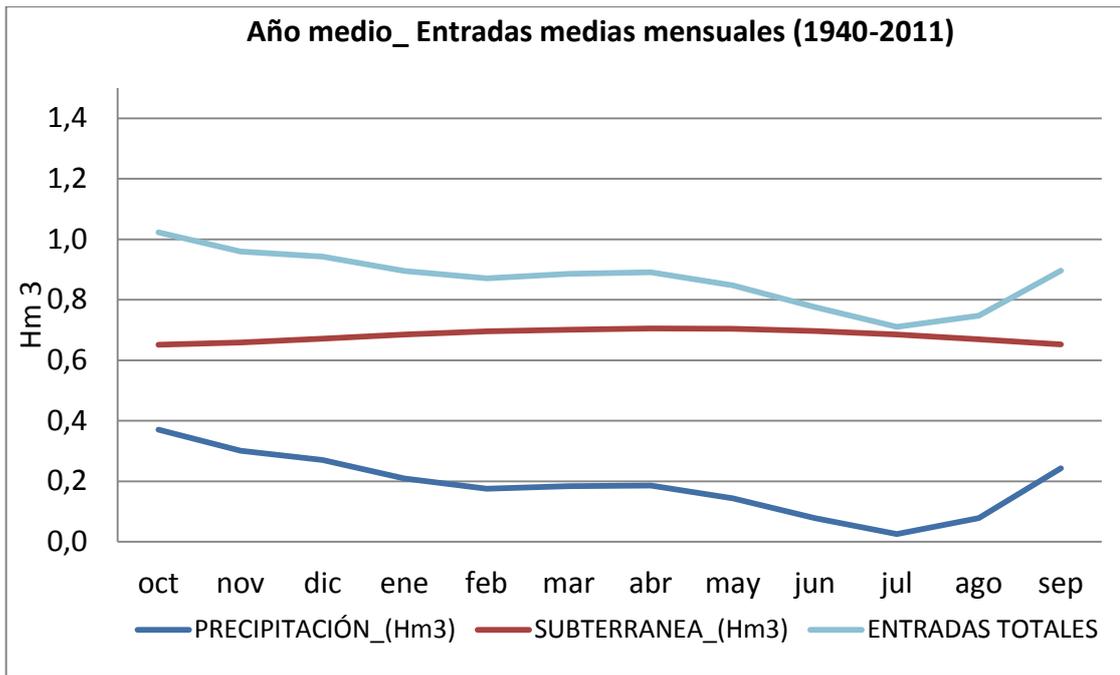


Figura 135: Año medio, promedio de entradas de agua mensuales a la Marjal de Pego-Oliva en el periodo 1940-2011

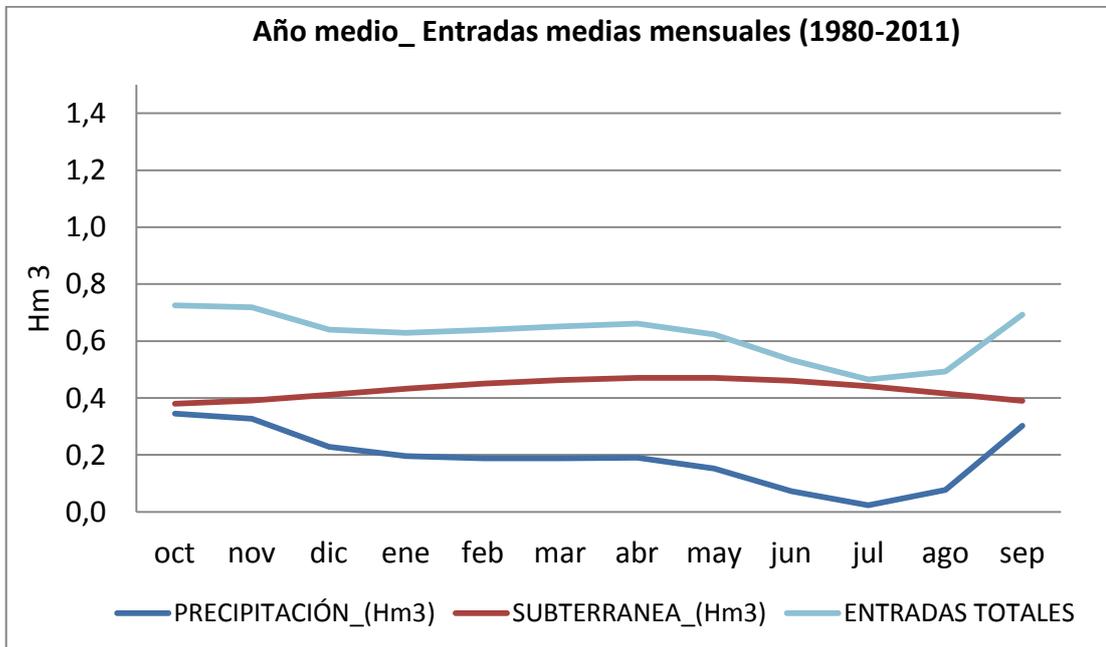


Figura 136: Año medio, promedio de entradas de agua mensuales a la Marjal de Pego-Oliva en el periodo 1980-2011

Como se observa en los gráficos se contemplan dos tipos de entradas de agua al humedal, por precipitación directa y entradas de origen subterráneo, como se puede observar las entradas subterráneas son del orden del doble de las entradas por precipitación directa. Por la descripción que conocemos del ecosistema, se trata de un humedal costero cuyas aportaciones subterráneas son las encargadas de mantener un nivel de agua más o menos permanente en el ecosistema.

7.4.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DEL HUMEDAL

A continuación se detalla la caracterización física de la Marjal de Pego-Oliva. La batimetría ha sido generada a partir de unas curvas batimétricas que provienen del estudio “Estudio morfométrico y batimétrico en las cubetas de lagos naturales en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar” (MAGRAMA, 2013) y del uso del MDT disponible, el MDT de 1m del ICV.

En el caso de los humedales costeros las curvas de nivel del “Estudio morfométrico y batimétrico en las cubetas de lagos naturales del ámbito de la CHJ” no abarcan toda la superficie definida como humedal, sino una superficie bastante menor, como se puede comprobar en la siguiente imagen. En ella se muestra una ortofoto de la Marjal de Pego-Oliva, en naranja se identifican las curvas de nivel y en rojo se delimita la superficie definida como humedal.

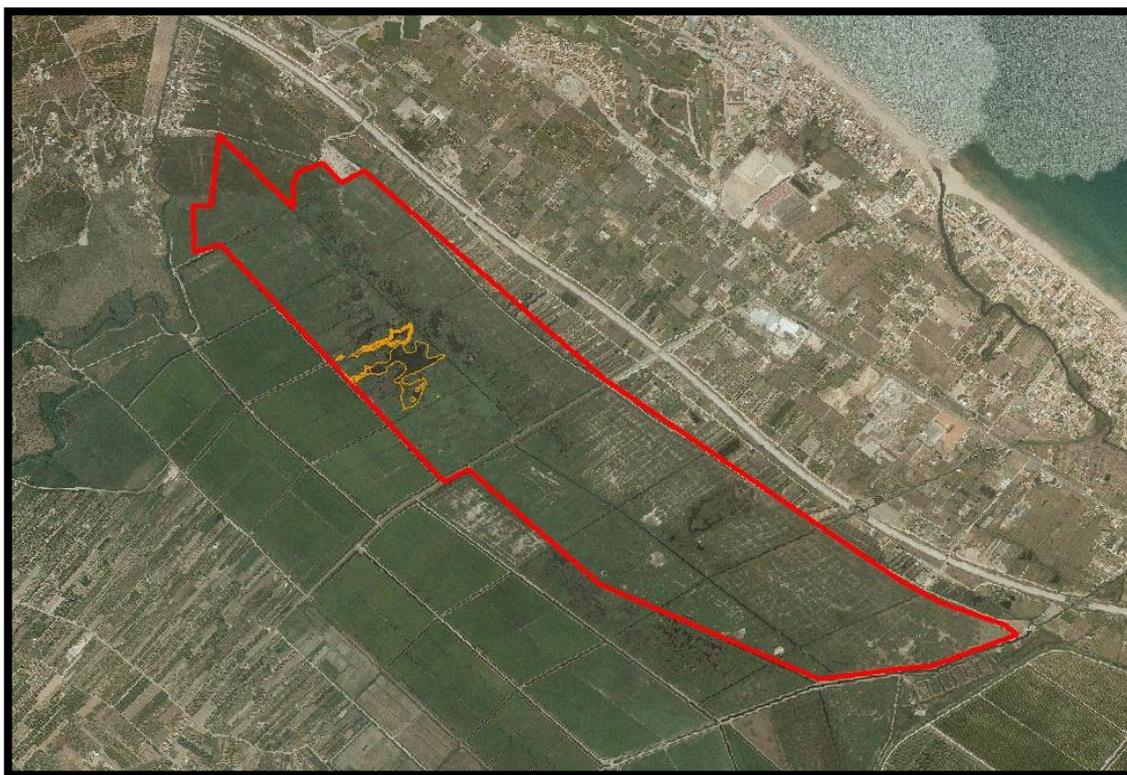


Figura 137: Ortofoto de la Marjal de Pego-Oliva con identificación del contorno y curvas batimétricas

Como ya se comentó en el caso de la Marjal d'Almenara, en los humedales costeros se distinguen dos niveles, el nivel lago y el nivel humedal. A este primer nivel definido, el nivel lago, es al que se corresponden las curvas de altura del estudio realizado por el ministerio (MAGRAMA, 2013). Para el nivel humedal se ha procedido como en el caso anterior a generar la batimetría mediante el uso del MDT disponible y la aplicación de herramientas GIS. Además se realiza una comprobación de la información batimétrica del citado estudio con el MDT.

A continuación se muestra el resultado obtenido del uso del MDT de 1m y herramientas GIS para el caso de La Marjal de Pego-Oliva:

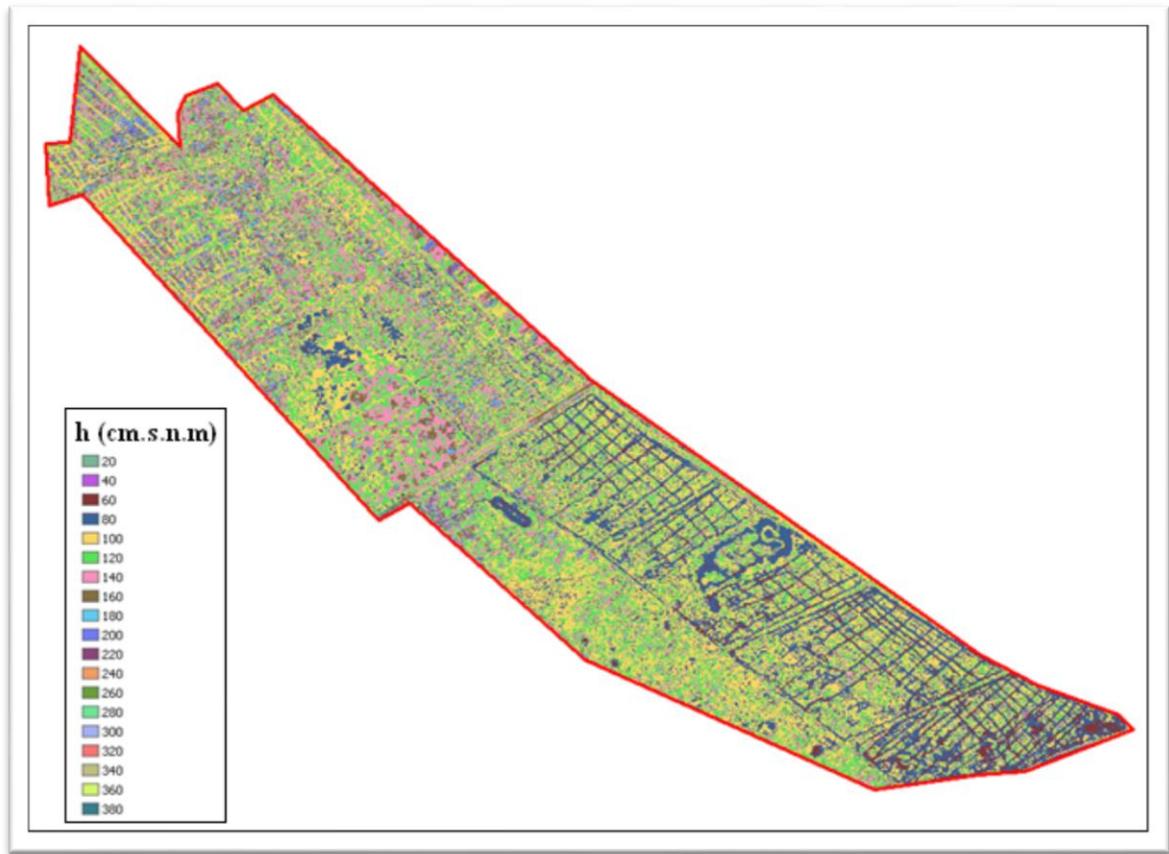


Figura 138: Uso de un MDT y aplicación de herramientas GIS a la Marjal de Pego-Oliva para la obtención de información batimétrica

En el siguiente croquis se esquematiza la morfología de la cubeta en la que se diferencia el nivel lago y el nivel humedal. El croquis muestra la cota de solera o cota mínima (-8,03 m.s.n.m), la cota máxima del lago o mínima del humedal (0,47 m.s.n.m) y la cota máxima del humedal (2,4 m.s.n.m). La altura umbral (Humbral) representa la altura a partir de la cual se producen las salidas superficiales, en este caso la altura corresponde con la altura mínima de agua medida por los sensores de Comisaría de Aguas.

En el croquis también se identifica el máximo volumen que puede almacenar la cubeta del lago ($0,013 \text{ hm}^3$), desde la cota de solera hasta la máxima cota batimétrica del nivel lago, y la superficie que abarcaría este volumen (4,7 ha), así como la superficie total del humedal (279ha).

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

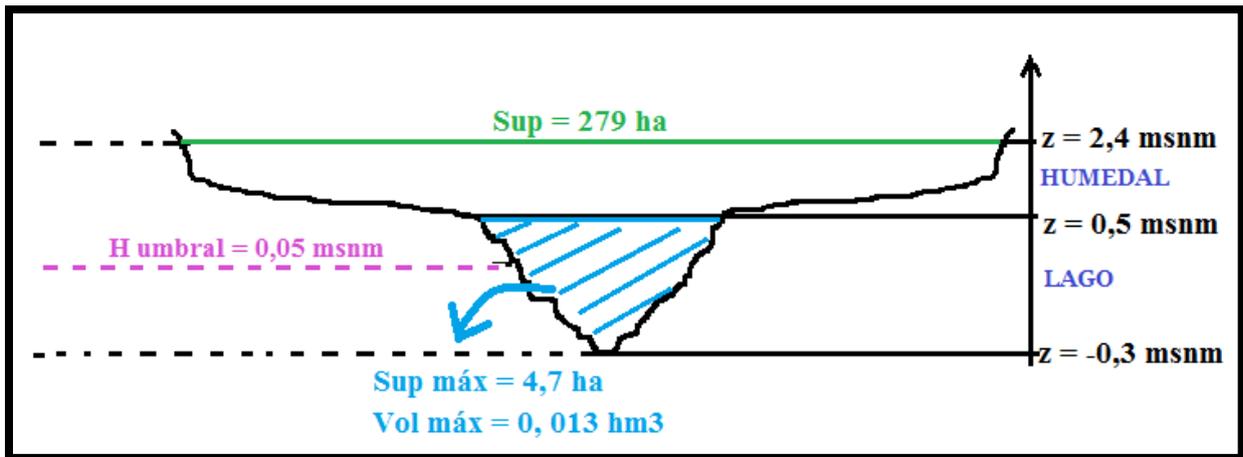


Figura 139: Caracterización física de la cubeta de la Marjal de Pego-Oliva

A continuación se muestran las curvas altura de agua – superficie inundada y altura de agua – volumen almacenado características de la cubeta del humedal:

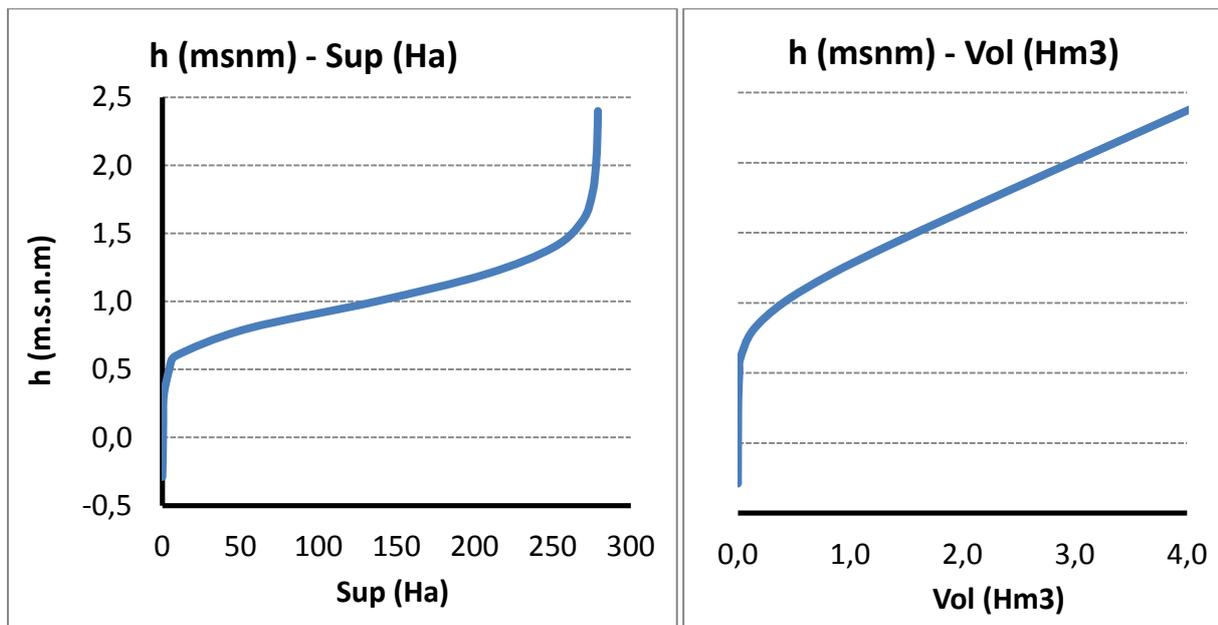


Figura 140: Curva batimétricas características de la Marjal de Pego-Oliva

En estas curvas se observa la baja capacidad de almacenamiento del nivel lago, pues con una mínima aportación se colmata la capacidad de la zona. El comportamiento de la zona humedal es muy diferente, la capacidad de almacenamiento de éste es muy grande, de modo que un incremento de las aportaciones se traduce en un incremento pequeño en los niveles.

7.4.4. PARÁMETROS DEL MODELO

En la siguiente tabla se muestran los diferentes parámetros que se utilizan para calibrar el modelo y el valor que se les ha asignado:

Término del balance	Parámetro	Valor	Comentarios
Entrada subterránea	Coefficiente de reducción	26%	Estudio IGME
Salida superficial	alfa (α)	100	
	Humbral (msnm)	0,05	H a partir de la cual se produce salida superficial. Cota min agua medida por sensores
Salida por infiltración y subterránea al mar	Humbral (msnm)	0,05	Parámetros para el cálculo de la salida subterránea al mar y la infiltración
	k	0,1	

Tabla 28: Parámetros del modelo de la Marjal de Pego-Oliva

Como se muestra en la tabla, a las entradas subterráneas se les ha aplicado un coeficiente corrector, de forma que se reducen al 26% del dato original disponible. Esta corrección se ha realizado para que coincida con el dato del balance histórico disponible realizado en el entorno de la Marjal (IGME, 2007).

En el caso de las salidas superficiales, la altura umbral representa, como se ha mencionado anteriormente, la altura a partir de la cual se producen salidas superficiales, se ha seleccionado esta altura (0,05 m.s.n.m) porque es la mínima altura de agua detectada por los sensores de Comisaría de Aguas, y como se ha observado la compuerta de desagüe evacúa aguas a este nivel.

Al parámetro alfa (α) se le asigna un valor de 100, este parámetro simula la velocidad con la que el agua sale del sistema. Debido a la baja capacidad de almacenamiento del nivel lago mediante un parámetro alto se simula que las salidas del lago se producen rápidamente, pues con una aportación pequeña se colmata su capacidad.

Para el cálculo de las salidas por infiltración al acuífero y salidas subterráneas al mar se ha establecido la misma altura umbral que en el caso anterior (0,05 m.s.n.m), en este caso el parámetro representa la carga mínima para que se produzcan infiltraciones al acuífero y salidas al mar de forma subterránea. Al parámetro k, que simula la velocidad con las que se

producen estas salidas, se le ha asignado un valor de 0,01. Cabe mencionar que estas salidas tienen poca influencia sobre el modelo, aunque se les aplique otros valores a los parámetros. En el balance realizado por el IGME no se han considerada este tipo de salidas, pero en el presente estudio se ha decidido tenerlas en cuenta para comprobar su influencia en el sistema.

7.4.5. RESULTADOS DEL MODELO

En la siguiente tabla se recogen las entradas y salidas anuales que caracterizan el régimen hídrico del humedal en cuestión, se caracterizan los periodos 1940-2011 y 1980-2011:

			Periodo 40-12	Periodo 80-12
ENTRADAS	PRECIPITACIÓN	Hm3/año	2.27	2.22
	SUBTERRÁNEA	Hm3/año	8.18	5.02
	SUPERFICIAL	Hm3/año	0	0
	TOTAL	Hm3/año	10.5	7.2
SALIDAS	ET	Hm3/año	0.04	0.03
	INFILTRACIÓN	Hm3/año	0.70	0.57
	SUBTERRÁNEA (mar)	Hm3/año	0.70	0.57
	SUPERFICIAL	Hm3/año	9.11	5.96
	TOTAL	Hm3/año	10.5	7.2

Tabla 29: Caracterización del régimen hídrico de la Marjal de Pego-Oliva para los periodos 1940-2011 y 1980-2011

Como se observa en la tabla se contemplan salidas por evapotranspiración, por infiltración al acuífero y salidas superficiales y subterráneas al mar. El agua sale mayoritariamente del sistema superficialmente a través de tres compuertas, las compuertas del Río Bullent, del Vall de la Llosa y del Barranquet. Una pequeña cantidad lo hace mediante evaporación a la atmosfera y una cantidad aún más pequeña mediante infiltración al acuífero y de forma subterránea al mar.

A continuación se muestran unos gráficos con los resultados de la modelación. Se representa la evolución de los niveles (en m y en m.s.n.m), de la superficie inundada (ha) y del volumen almacenado (hm³). En estos gráficos también se representan los diferentes datos disponibles, indicando su origen, estos datos han sido utilizados para calibrar el

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

modelo. En primer lugar los gráficos muestran la evolución para todo el periodo de simulación (1940-2011), y a continuación se muestra de forma más detallada la evolución de los últimos años en los que se dispone de datos reales u observados.

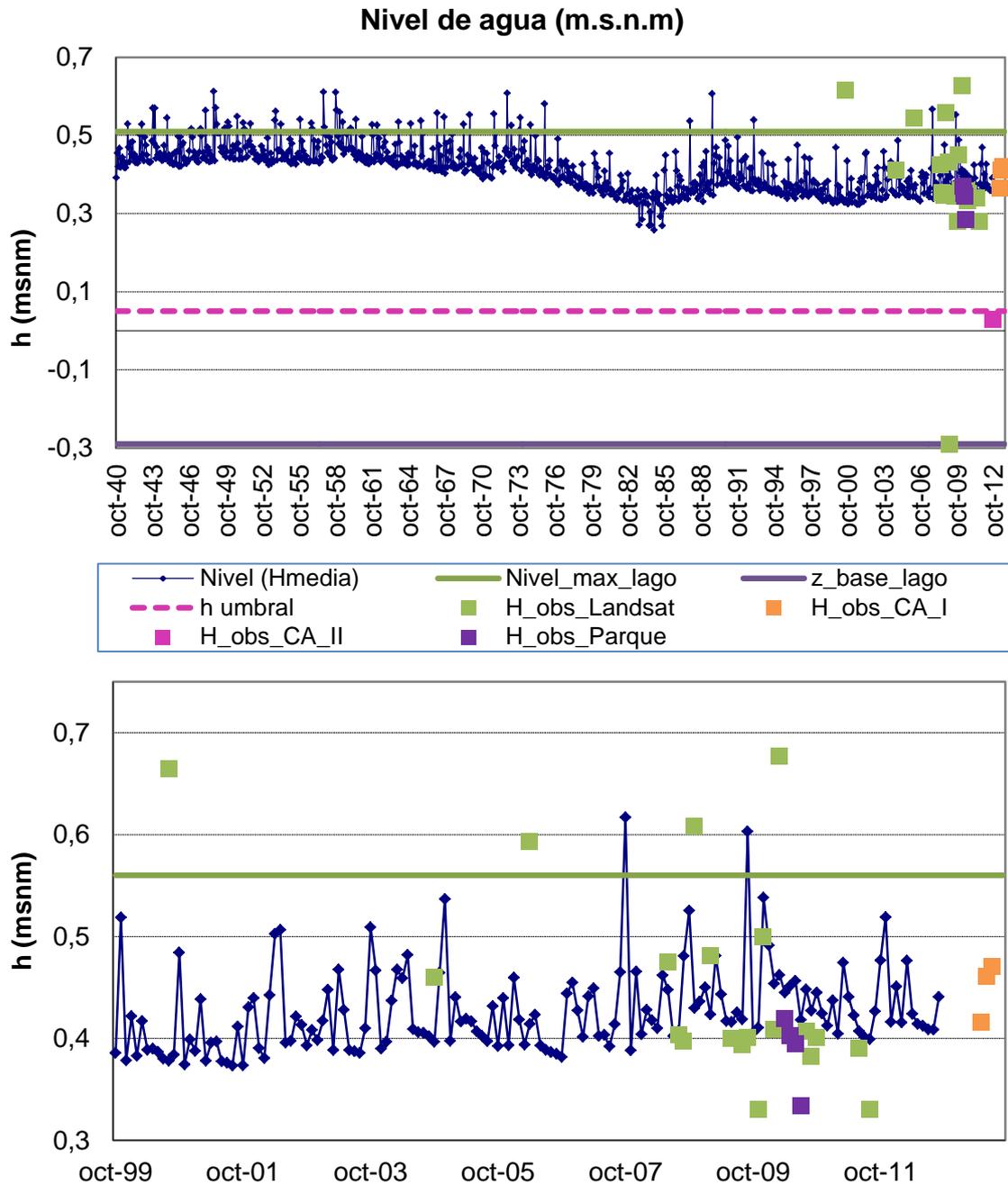


Figura 141: Representación de la evolución de la altura de agua, en msnm, en la Marjal de Pego-Oliva

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

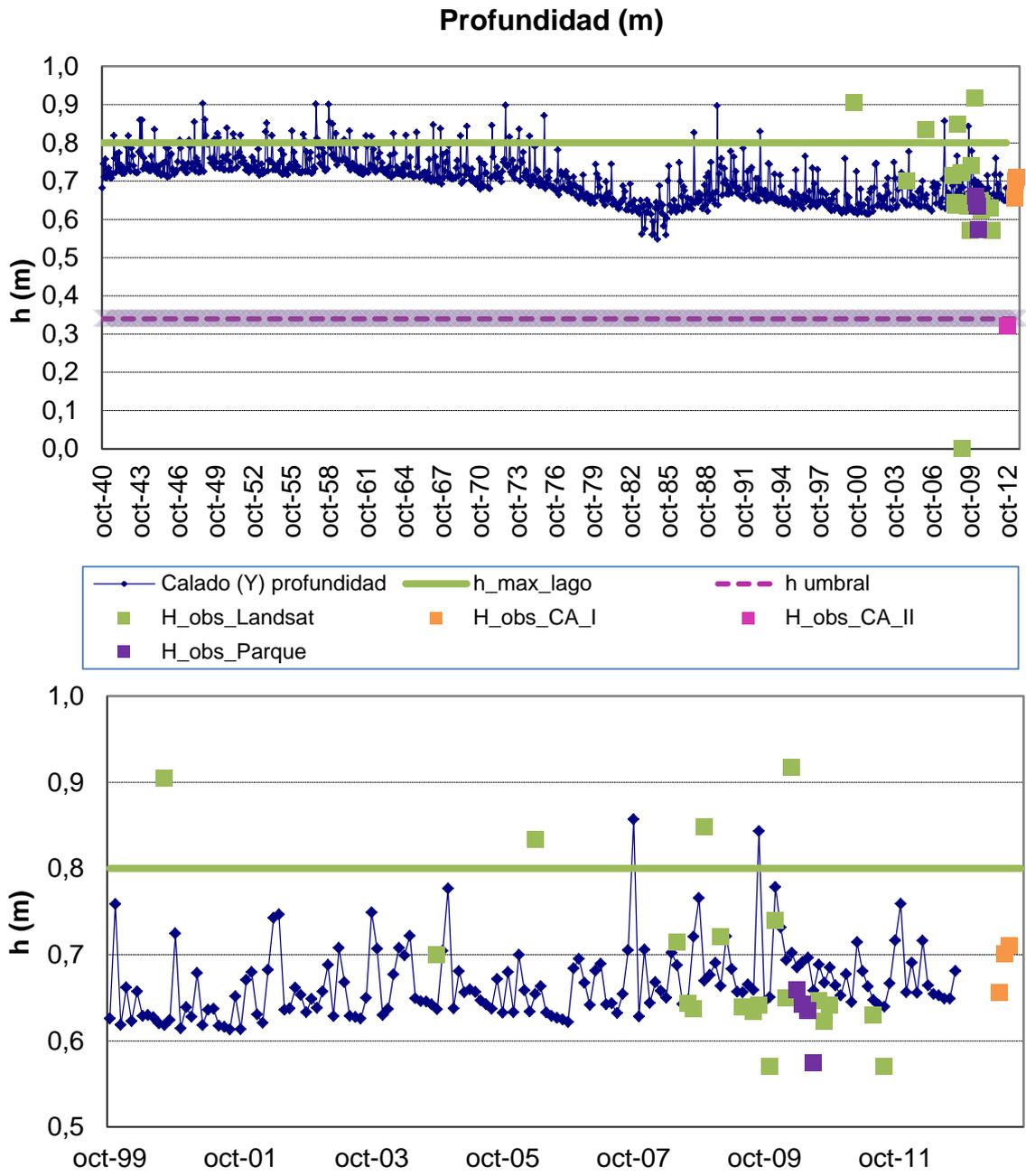


Figura 142: Representación de la evolución de la profundidad de agua, en m, en la Marjal de Pego-Oliva

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCAÇÃO HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Superficie inundada (ha)

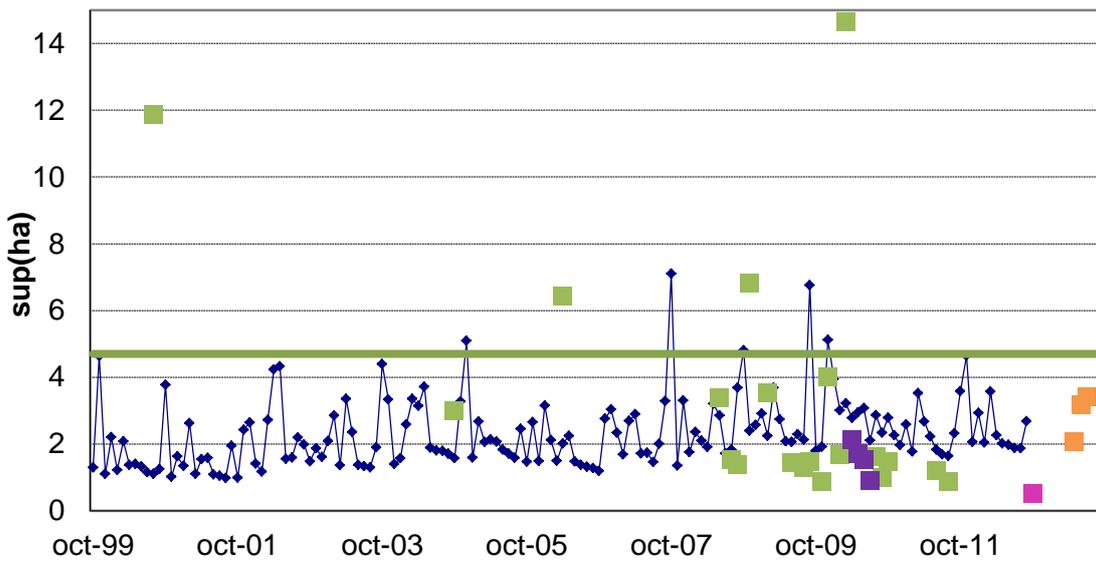
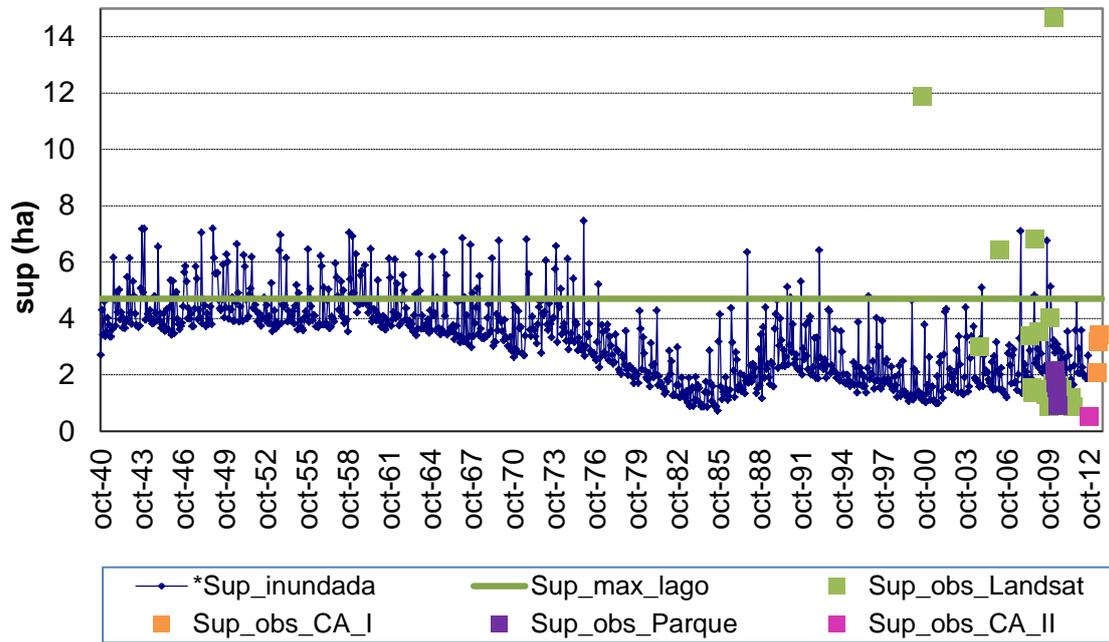


Figura 143: Representación de la evolución de la superficie inundada, en ha, en la Marjal de Pego-Oliva

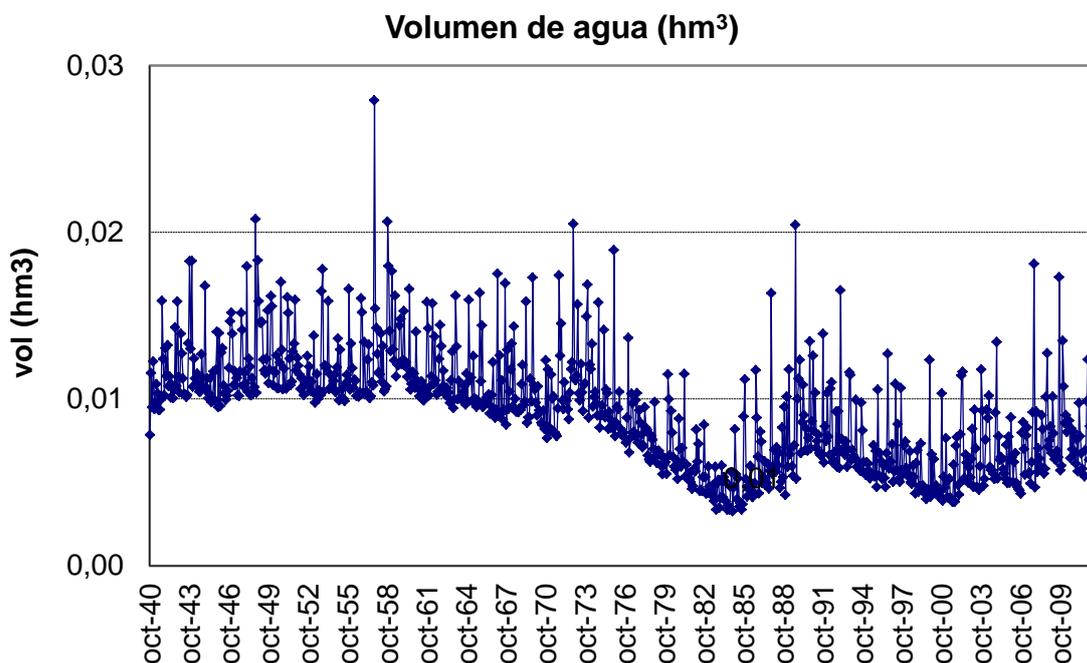


Figura 144: Representación de la evolución del volumen de agua almacenado, en hm³, en la Marjal de Pego-Oliva

Como se puede observar en los gráficos anteriores los datos disponibles son del mismo orden de magnitud, a excepción de unos datos puntuales obtenidos mediante técnicas de teledetección que ofrecen unos niveles y superficies mayores.

Se puede observar como el modelo reproduce cierta variabilidad de niveles, superficie inundada y volumen almacenado en su evolución, esta variabilidad está indicada por la serie de datos Landsat, la única lo mínimamente larga como para reproducirla, aunque también cabe señalar que el modelo no reproduce las situaciones de máxima inundación señalada por estos datos.

7.4.6. PROPUESTA DE REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

A continuación se muestran los resultados del análisis de la influencia de las aportaciones subterráneas sobre los niveles de agua en el humedal, se muestran los resultados en forma de tabla y gráfico. Se analizan las aportaciones para el periodo 1980-2011, pues como se describió anteriormente este periodo es más característico de la situación actual de disponibilidad de recursos hídricos.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Aportaciones subterráneas	h media mensual (m)	h máxima (m)	P95 (m)	P50 (m)	P5 (m)	h mínima (m)
5%	0,43	0,83	0,69	0,44	0,00	0,00
10%	0,47	0,84	0,69	0,47	0,00	0,00
30%	0,56	0,85	0,70	0,56	0,41	0,28
50%	0,61	0,86	0,71	0,62	0,48	0,40
60%	0,62	0,87	0,72	0,62	0,51	0,43
90%	0,65	0,89	0,74	0,65	0,61	0,52
95%	0,66	0,89	0,74	0,65	0,62	0,54
100%	0,66	0,90	0,75	0,65	0,62	0,55

Tabla 30: Alturas de agua (m) características de la Marjal de Pego-Oliva en función de las aportaciones subterráneas recibidas

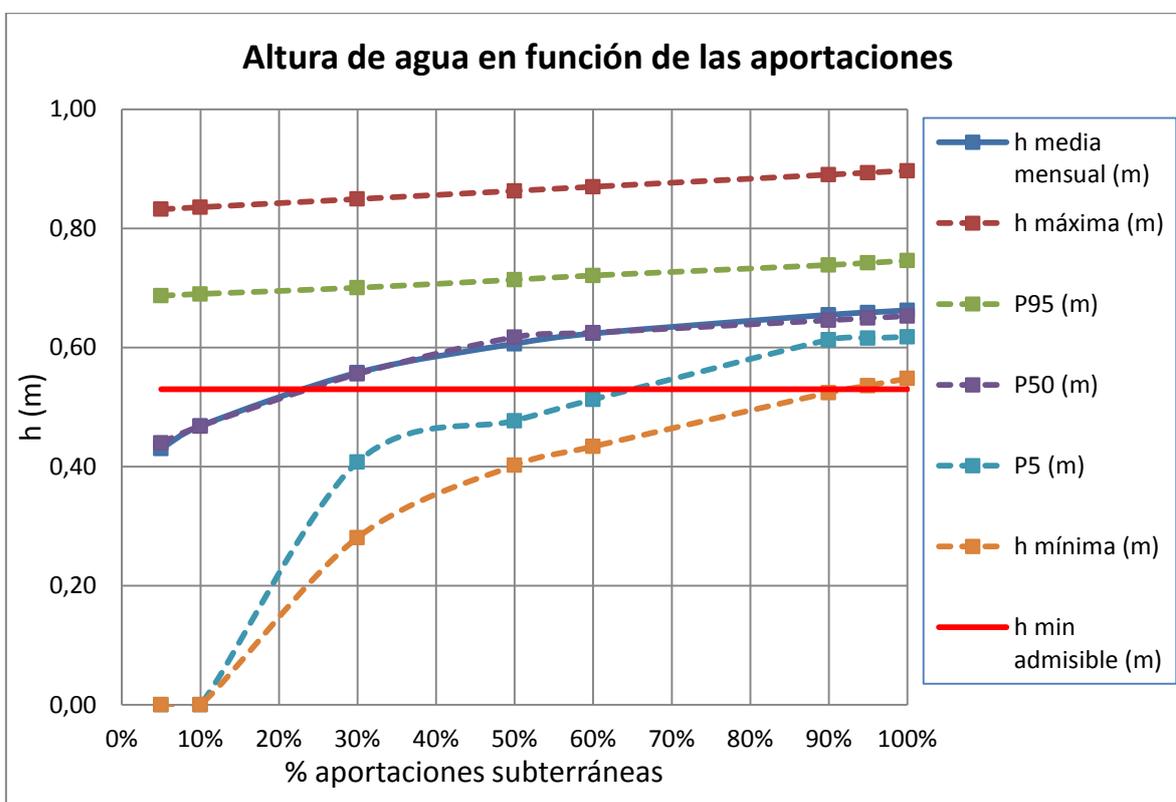


Figura 145: Evolución de los niveles en la Marjal de Pego-Oliva en función de las aportaciones subterráneas recibidas

En el gráfico anterior se puede observar cómo evoluciona la altura media mensual, la altura máxima y mínima y los percentiles 95, 50 y 5 característicos de la serie, en función de los diferentes porcentajes de aportaciones definidos (5, 10, 30, 50, 60, 90 y 95). La línea roja identifica la altura mínima de agua admisible (0,53 m) calculada en función de los criterios

definidos en la guía desarrollada por el SNIFFER y el grupo de investigación UKTAG (SNIFFER WFD 48, 2006).

La altura máxima de agua del nivel lago es de 0,8m, por lo que, como puede observarse en el gráfico, todas las series caracterizadas se encuentran por debajo de ésta, a excepción de la serie que representa las alturas máximas mensuales.

Los criterios definidos en la citada guía son que el porcentaje de disminución máximo admisible de niveles es del 20% y que este 20% no puede superar un 1m, pues es el cambio de nivel máximo admisible por los macrófitos, según criterio de experto. Siguiendo estos criterios se deberían establecer unas aportaciones subterráneas mínimas al humedal del 30% de las totales.

En cambio del análisis de la evolución de la línea que representa la altura media de agua en el humedal, se observa un cambio de tendencia en la serie asociado a un incremento de la pendiente cuando las aportaciones subterráneas son inferiores al 50%, por lo que puede que aportaciones inferiores al 50% de las totales puedan poner en compromiso la funcionalidad del humedal a largo plazo. Estas aportaciones corresponden con un volumen anual de 2,5 hm³ que junto con las entradas por precipitación directa representan un volumen total anual de entrada de agua al humedal de 4,73 hm³.

De forma adicional se ha calculado el número de renovaciones que se producirían en la marjal en función de las aportaciones recibidas. Este número de renovaciones se obtiene en función de la capacidad del humedal, como los niveles característicos obtenidos en la Marjal de Pego-Oliva se encuentran de forma general en el nivel lago, se ha decidido caracterizar también las renovaciones que se producirían únicamente en el nivel lago.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

		Nivel lago	Nivel humedal
	Entradas anuales (hm3)	nº renovaciones anuales	nº renovaciones anuales
5% aportaciones	2,47	190,0	0,6
10% aportaciones	2,72	209,2	0,7
30% aportaciones	3,73	286,9	0,9
50% aportaciones	4,73	363,8	1,2
60% aportaciones	5,23	402,3	1,3
90% aportaciones	6,74	518,5	1,7
95% aportaciones	6,99	537,7	1,7
100% aportaciones	7,24	556,9	1,8

capacidad (hm3)	capacidad (hm3)
0,013	4

Tabla 31: Renovaciones anuales de la Marjal Pego-Oliva en función de las aportaciones subterráneas recibidas

En la tabla se observa cómo debido a la baja capacidad del nivel lago se producen unas 557 renovaciones anuales, en cambio en el nivel humedal no se alcanzan 2 renovaciones al año. Aunque no se han encontrado referencias a un número concreto de renovaciones “ideales o convenientes” para que los humedales se encuentren en buen estado, este parámetro se perfila como un elemento clave a tener en cuenta.

8. CONCLUSIONES

Este trabajo ha servido para recopilar la información disponible acerca de los humedales objeto del presente estudio, la Laguna de Talayuelas, la Laguna de Marquesado, la marjal d'Almenara y la Marjal de Pego-Oliva. Esta información ha permitido caracterizarlos y analizar el grado de fiabilidad o incertidumbre asociado a la información recopilada.

El análisis de la información existente manifiesta el esfuerzo necesario que se ha de realizar para aumentar el conocimiento acerca del sistema hídrico de lagos de la DHJ. Pues no se dispone de balances hídricos actuales de referencia, las salidas de los humedales no están cuantificadas y no existen datos de seguimiento de los niveles.

En esta orientación de aumentar el conocimiento acerca de los humedales, Comisaría de Aguas dispone desde el pasado año de sensores en los humedales clasificados como naturales, que toman medidas de nivel de agua en m.s.n.m. cada 10 minutos, por lo que se trata de medidas muy precisas. El problema es que actualmente únicamente se dispone de datos de tres meses para un periodo de simulación de más de 70 años, por lo que los datos de estos tres meses son insuficientes para caracterizar el régimen de niveles de los humedales. Además no se conoce el punto geográfico en el que se ubican los sensores y se toman las medidas.

También cabe destacar que en el caso de los humedales clasificados como muy modificados (como es el caso de la Marjal d'Almenara), a excepción del caso de L'Albufera, la información disponible de partida es aún menor, pues no se suele disponer de batimetría de referencia ni de datos reales de niveles.

El presente trabajo se ha centrado únicamente en cuatro zonas húmedas de la Demarcación, pero dicha elección se realizó con la intención de abarcar la máxima variabilidad posible. Y de esta manera, a posteriori poder establecer similitudes entre humedales en función de sus características, tipología, funcionamiento hidrológico, patrón de inundación, etc.

La modelación de los humedales ha permitido conocer su funcionamiento hidrológico y patrón de inundación, así como generar unos balances hídricos de referencia para futuros trabajos. El modelo matemático de balance hídrico que se ha planteado es un modelo sencillo de ecuaciones lineales debido a la falta de disponibilidad de datos para alimentarlo.

De esta modelación se vislumbra la batimetría como un elemento clave, pues permite traducir los volúmenes en datos de nivel de agua y superficie inundada y viceversa. Cabe destacar que los resultados que ofrecen los modelos de balance hídrico muestran una gran variabilidad en función de ella.

En el caso de los humedales de interior la batimetría se ha generado a partir de información batimétrica disponible de las cubetas, en cambio en el caso de los humedales costeros únicamente se disponía de información de una pequeña superficie de estos, de modo que a partir de esta información se ha generado la batimetría completa de la cubeta haciendo uso de un Modelo Digital del Terreno (MDT) y aplicando herramientas GIS.

Otro elemento clave a tener en cuenta en la modelación son las salidas superficiales, las principales salidas que se producen del sistema, es muy importante conocer a qué altura respecto de la batimetría de referencia se producen estas salidas, pues la evolución de niveles en el humedal es también muy dependiente de este parámetro. Es fundamental disponer de todos los datos necesarios para alimentar al modelo correctamente georreferenciados.

En cuanto a la determinación de requerimientos hídricos, la revisión del estado del arte manifestó la escasez de metodologías propuestas para su cálculo. Examinar la variación que produciría en los niveles un descenso de las aportaciones parece ser una tarea importante en la gestión de las zonas húmedas. Pues permite comprobar si las aportaciones actuales son insuficientes para asegurar la funcionalidad del humedal a largo plazo, o por lo contrario si es necesario un gran descenso de los volúmenes de entrada para que se produzca una variación significativa en los niveles. Este último caso puede ejemplificar situaciones en las que se están limitando o denegando extracciones subterráneas por temor a comprometer la funcionalidad del ecosistema, cuando en realidad un aumento de las extracciones en el entorno del acuífero que lo alimenta no tendría efecto sobre los niveles del humedal.

La metodología propuesta en el presente trabajo analiza la dependencia que los niveles tienen de las aportaciones subterráneas. Para realizar esta propuesta se ha analizado la influencia que tendría una reducción de las aportaciones subterráneas sobre los niveles de

agua en el humedal, para ello se han propuesto diferentes porcentajes de reducción de entradas subterráneas y se han obtenido los niveles medios y otros niveles característicos.

Además, de forma adicional se ha comprobado si cumplen los criterios recogidos en la guía desarrollada por El Scotland & Northern Ireland Forum For Environmental Research y el grupo de investigación UKTAG (SNIFFER WFD 48, 2006), basada en información científica y criterio de experto (SNIFFER WFD 48, 2006). También se han calculado el número de renovaciones anuales que se producirían en el lago en función de las aportaciones subterráneas recibidas, pues aunque no se han encontrado referencias a un número concreto de renovaciones “ideales o convenientes” para que los humedales se encuentren en buen estado, este parámetro se perfila como un elemento clave a tener en cuenta.

Finalmente en base al análisis realizado se han determinado los siguientes requerimientos hídricos:

- Laguna de Marquesado: 0,03 hm³ anuales.
- Laguna de Talayuelas: 0,18.
- Marjal d'Almenara: 6,3 hm³ anuales.
- Pego-Oliva: 4,73 hm³ anuales.

Respecto al análisis de técnicas de teledetección y su aplicación en la obtención de la evolución temporal de la superficie inundada de un humedal, que se ha realizado de forma paralela al objetivo principal del proyecto, cabe mencionar que el presente trabajo es el primero realizado hasta el momento en el que se ha hecho uso de imágenes satelitales y se han aplicado este tipo de técnicas en el ámbito de la Demarcación.

La aplicación de técnicas de teledetección se vislumbra como una herramienta útil y económica en el caso de no disponer de datos observados, pues permite generar una serie temporal de superficie inundada para calibrar los modelos de balance hídrico y así poder entender el funcionamiento hidrológico de los humedales. Mediante estas técnicas se hace uso de unas imágenes de satélite disponibles de las que es posible extraer mucha información.

Aunque las superficies obtenidas mediante técnicas de teledetección son representativas de una situación puntual del día en el que han sido tomadas, se asume que también son representativas de la situación del humedal para dicho mes, pues estos

ecosistemas no son muy dinámicos, sino que se modelan como unos elementos de almacenamiento con una respuesta lenta, a no ser que se encuentren muy regulados de forma antrópica, caso que debería analizarse más detalladamente.

En el campo de la teledetección se han realizado importantes avances, pues se ha propuesto el índice MNDWI que ha permitido generar series de evolución temporal de superficie inundada para los cuatro humedales estudiados. También se ha propuesto una metodología de análisis visual de imágenes mediante el uso de combinaciones de bandas en color que ayuda a detectar de forma visual la presencia de agua y mediante la visualización de las tres bandas del infrarrojo, basada en la respuesta espectral de las diferentes cubiertas.

En el caso de la Marjal de Pego-Oliva, además se ha analizado el valor de corte del índice MNDWI y se ha propuesto un nuevo valor para este caso en particular, 0´1, pues en este humedal se han detectado problemas de respuesta espectral del agua debido a la presencia de vegetación inundada.

Finalmente cabe destacar que, mientras otros estudios realizados, y revisados en el capítulo 2 del presente trabajo, seleccionaban únicamente dos o tres imágenes de satélite para caracterizar situaciones representativas del humedal, en el presente estudio se ha hecho uso de toda la serie de imágenes del satélite Landsat 5 TM disponibles en la OPH, únicamente descartando aquellas con presencia de nubes.

9. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Los avances realizados en este trabajo de investigación pueden servir como punto de partida para el desarrollo de otros trabajos.

En primer lugar la metodología propuesta se debería extender a todo el sistema hídrico de lagos de la Demarcación Hidrográfica del Júcar, de modo que el estudio individual de cada zona húmeda permita conocer su funcionamiento hidrológico y patrón de inundación, para posteriormente en base a este conocimiento determinar las necesidades hídricas de cada zona húmeda.

En cuanto a la propuesta de requerimientos hídricos, el presente estudio se ha centrado en realizar una propuesta hidrológica teniendo en cuenta únicamente el medio físico. De manera que se pretende que éste pueda servir como una base sólida para una segunda fase que debería tener en cuenta también el medio biológico, para así completar los trabajos mediante una aproximación hidrobiológica. Esta aproximación debería estudiar los humedales a nivel de ecosistema, como lugar de hábitat de una amplia variedad de flora y fauna de gran riqueza.

En lo referente a las técnicas de teledetección este proyecto ha abierto un amplio abanico de posibilidades de investigación, pues como ya se ha mencionado hasta ahora no se habían aplicado estas técnicas en la Demarcación. Futuras líneas de investigación se podrían centrar en el análisis del valor de corte del índice MNDWI en cada humedal, para a posteriori estudiar similitudes entre humedales en función de su tipología y características y establecer correlaciones.

Por otra parte también sería interesante realizar diferentes propuestas de combinaciones de cubiertas en un único píxel, estableciendo un porcentaje determinado de agua-suelo-vegetación, y obtener el valor umbral del índice MNDWI en función de cada combinación. Estos resultados pueden ser de especial utilidad en humedales costeros, caracterizados por aguas someras y la existencia de mucha vegetación, que frecuentemente se encuentra cubierta por aguas.

De igual manera se podría realizar este tipo de trabajos con imágenes de otros satélites de mayor resolución, lo que podría ser interesante en los lagos de interior, en los que debido a su menor tamaño (de hasta 50 veces más pequeños que los costeros) los

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

resultados pueden estar comprometidos por la resolución. Además con los resultados obtenidos se podría analizar la influencia del grado de resolución de las imágenes sobre los resultados.

REFERENCIAS

- Bustamante, J. et al. (2005). Determinación de las características de masas de aguas someras en las marismas de Doñana mediante teledetección. Revista de Teledetección. 2005. 24: 107-111
- Camacho, A. et al. (2008). Estudio limnológico y evaluación del estado ecológico de la Laguna de Talayuelas (Cuenca): necesidades para su conservación y restauración. Universidad de Valencia y Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Rural de la JCCLM.
- Cirujano, S. y Medina, L. (2002). Plantas acuáticas de las lagunas y humedales de Castilla-La Mancha. CSIC.
- CHJ (2001). Plan de Protección de Recursos Hídricos de la zona húmeda de Almenara. TT. MM. Varios (Castellón).
- CHJ (2014). Plan Hidrológico de Cuenca del Júcar. Disponible en www.chj.es.
- EC (2000). Directiva 2000/60/CE, Directiva Marco del Agua del Parlamento Europeo y del Consejo.
- EC (2009). Directiva 2009/147/CE, Directiva Aves.
- EC (1994). Directiva 92/43/CEE, Directiva Hábitat.
- EC (1994). Uso racional y conservación de zonas húmedas.
- E.Chuvienco (2002). Teledetección ambiental. La observación de la Tierra desde el espacio. Ariel Ciencia. Barcelona.
- Fernández-Copel, I. y Herrero, E. (2001). El satélite Landsat. Análisis visual de imágenes obtenidas del sensor ETM+ satélite Landsat. Universidad de Valladolid.
- Frazier, P. S. and Page, K. J. (2000). Water body detection and delineation with Landsat TM Data. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 66, No. 12, December 2000, pp. 1461-1467. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- GV (2010). Parque Natural del Marjal Pego-Oliva. Memoria de Gestión 2010.

- IGME (2007). Determinación de la relación entre zonas húmedas y acuíferos asociados mediante modelos de flujo y transporte. Aplicación a la gestión sostenible del acuífero Pego-Dénia (Alicante).
- IGME (2007). Estudio de los humedales y caracterización de la relación hidrogeológica existente entre los humedales y las masas de agua subterránea en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Júcar.
- Lei, J. et al. (2009). Analysis of Dynamic Thresholds for the Normalized Difference Water Index. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 75, No. 11, November 2009, pp. 1307–1317. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing
- Magdaleno, F. y Martínez, R. (2006). Aplicaciones de la teledetección laser (LIDAR) en la caracterización y gestión del medio fluvial. *Ingeniería civil* 142/2006.
- MAGRAMA (2008). Orden ARM/2656/2008, Instrucción de Planificación Hidrológica.
- MAGRAMA (2007). Real Decreto 907/2007, Reglamento de Planificación Hidrológica.
- MAGRAMA (2010). Consultoría y asistencia para la realización de las tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos y las de las necesidades ecológicas de agua de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de la demarcación hidrográfica del Ebro, y de las demarcaciones hidrográficas del Segura y del Júcar.
- MAGRAMA (2013). Estudio morfométrico y batimétrico en las cubetas de lagos naturales en el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar.
- MAGRAMA (2011). Determinación mediante técnicas de teledetección de niveles y superficie inundada de humedales incluidos en la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir.
- Ramsar COP (1996) Resolución VI.23: Ramsar y el agua
- Ramsar COP (1999). Resolución VII.18: Lineamientos para integrar la conservación y el uso racional de los humedales en el manejo de cuencas hidrográficas

- Ramsar COP (2002). Resolución VIII.1: Lineamientos para la asignación y el manejo de los recursos hídricos a fin de mantener las funciones ecológicas de los humedales-
- Ramsar COP (2002). Resolución VIII.34: Agricultura, humedales y manejo de los recursos hídricos.
- Ramsar COP (2002). Resolución VIII.40: Lineamientos para compatibilizar el uso de las aguas subterráneas y la conservación de los humedales.
- Ramsar (2010). Manual 21: El Plan Estratégico de Ramsar para 2009-2015.
- Sánchez, R. y Viñals, M. J. (2012). Manual para la determinación de las necesidades hídricas de los humedales. El contexto español. Fundación biodiversidad.
- Sánchez Rodríguez, E. (consultada en 2014). I Curso de experto Universitario en Sistemas de Información Geográfica. Modulo 4: Entrada de datos y edición raster. Análisis raster y tratamiento digital de imágenes de satélite. Universidad Internacional de Andalucía.
- SNIFFER WFD 48 (2006). Final report WFD 48: Development of environmental standards (Water resources). Stage 3: Environmental Standards. Centre for Ecology and Hydrology Crowmarsh Gifford.
- SRGIS (consultada en 2014). Guía básica sobre Imágenes Satelitales y sus productos.
- Viñals, M. J., Blasco, D. y Morant, M. (2011). Los humedales mediterráneos: el contexto ambiental y social. Reflexiones para su estudio y gestión eficaz. Fundación biodiversidad.
- Xu, H. (2006). Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. International Journal of Remote Sensing, Vol. 27, No. 14, 20 July 2006, 3025-3033.

WEBS DE INTERÉS

- Web de Conselleria d'Infraestructures, Territori i Medi Ambient de la Comunitat Valenciana: (<http://www.cma.gva.es/web/>).
- Web de La Red de Áreas Protegidas de Castilla-La Mancha: (<http://pagina.jccm.es/medioambiente/indexIA.htm>).
- Web de turismo de Castilla-La Mancha: (<http://www.turismocastillalamancha.com/>).
- Web de Lagunas y Humedales de la Provincia de Albacete: (<http://www.albacetesiempreabierto.com/naturaleza/lagunasyhumedales.htm>).
- Web propia del Clot de Galvany, Paraje Natural Municipal: (<http://www.elche.es/micrositios/medio-ambiente/cms/menu/PNM-clot-galvany/>).
- Web propia de las Lagunas de Cañada del Hoyo: (<http://www.lagunasdecanada.es/>)
- Web ayuntamiento Robledo: (http://www.robledo.es/index.php?option=com_content&view=article&id=99:los-ojos-de-villaverde&catid=50:lugares-de-interes&Itemid=81)
- Web Landsat (USGS): <http://landsat.usgs.gov>
- Web Ramsar: <http://www.ramsar.org>

LISTADO DE ABREVIATURAS

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

CA: Comisaría de Aguas

CHJ: Confederación Hidrográfica del Júcar

COP: Conferencia de las Partes

CSIC: Centro Superior de Investigaciones Científicas

DA: Directiva de Aves

DH: Directiva de Hábitat

DHJ: Demarcación Hidrográfica del Júcar

DMA: Directiva Marco del Agua

ET: Evapotranspiración

ETM: Enhanced Thematic Mapper

ETP: Evapotranspiración Potencial

ETR: Evapotranspiración Real

GIS: Geographic Information System

GV: Generalitat Valenciana

HPU: Hábitat Potencial Útil

ICV: Instituto Cartográfico Valenciano

IGME: Instituto Geológico y Minero de España

IPH: Instrucción de Planificación Hidrológica

JCCLM: Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha

LA: Ley de Aguas

LIC: Lugar de Interés Comunitario

MAGRAMA: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

MAS: Masa de Agua Subterránea

MNDW: Modified Normalized Difference Water Index

MODIS: Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer

MSG: Meteosat Second Generation

NASA: National Aeronautics and Space Administration

NDVI: Normalized Difference Vegetation Index

NDWI: Normalized Difference Water Index

OPH: Oficina de Planificación Hidrológica

PATRICAL: Precipitación Aportación en Tramos de Red Integrados con Calidad del Agua

PHJ: Plan Hidrológico del Júcar

PNOA: Plan Nacional de Ortofotografía Aérea

PORN: Plan de Ordenación de Recursos Naturales

RD: Real Decreto

RPH: Reglamento de Planificación Hidrológica

SNIFFER: Scotland & Northern Ireland Forum For Environmental Research

SeaWIFS: Sea Viewing Wide Field of View Sensor

SPOT: Satélite Para la Observación de la Tierra

TM: Thematic Mapper

TRLA: Texto Refundido de la Ley de Aguas

UKTAG: United Kingdom Technical Advisory Group

ZEC: Zonas de Especial Conservación

ZEPA: Zonas de Especial Protección para las Aves

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS
HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA
DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

ANEXOS

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Índice de anexos

Anexo I: Anexo fotográfico.....	1
Laguna de Talayuelas.	2
Laguna de Marquesado.....	4
Marjal d´Almenara	7
Marjal de Pego-Oliva.....	9
Anexo II: Fichas características de los humedales	11
Laguna de Talayuelas	13
Laguna de Marquesado.....	15
Marjal d´Almenara	17
Marjal de pego-oliva	19

ANEXO I: ANEXO FOTOGRÁFICO

En el presente anexo se recogen imágenes de los ecosistemas estudiados, en los humedales de interior estas imágenes han sido tomadas de la visita de campo realizada, mientras que las imágenes de los humedales costeros han sido obtenidas de sitios web.

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Laguna de Talayuelas.

A continuación se muestran unas fotografías que caracterizan la laguna, obtenidas de la visita de campo realizada en agosto de 2014:



Imagen 1: Laguna de Talayuelas



Imagen 2 Laguna de Talayuelas

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.



Imagen 3: Laguna de Talayuelas



Imagen 4: la Laguna de Talayuelas

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Laguna de Marquesado

A continuación se muestran las fotografías que caracterizan la laguna, obtenidas de la visita de campo realizada en agosto de 2014:



Imagen 5: Laguna de Marquesado



Imagen 6: Laguna de Marquesado

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.



Imagen 7: Laguna de Marquesado



Imagen 8: laguna de Marquesado

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.



Imagen 9: Salidas superficiales de la laguna de Marquesado



Imagen 10: Salidas superficiales de la laguna de Marquesado

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Marjal d'Almenara

A continuación se muestran las fotografías recopiladas que caracterizan la marjal, obtenidas de diferentes sitios web



Imagen 11: Marjal d'Almenara (imagen disponible en <http://www.biodiversidadvirtual.org>)



Imagen 12: Marjal d'Almenara disponible en <http://www.turismocomunidadvalenciana.info>)

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.



Imagen 13: Marjal d'Almenara disponible en <http://www.turismodecastellon.com>)

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.

Marjal de Pego-Oliva

A continuación se muestran las fotografías recopiladas que caracterizan la marjal, obtenidas de la web del Parque Natural de la Marjal de Pego-Oliva.



Imagen 14: Marjal de Pego-Oliva (imagen disponible en <http://www.cma.gva.es>)



Imagen 15: Marjal de Pego-Oliva (imagen disponible en <http://www.cma.gva.es>)

DETERMINACIÓN DE LOS REQUERIMIENTOS HÍDRICOS EN ZONAS HÚMEDAS CON APOYO DE IMÁGENES LANDSAT. APLICACIÓN EN LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR.



Imagen 16: Marjal de Pego-Oliva (imagen disponible en <http://www.cma.gva.es>)



Imagen 17: Marjal de Pego-Oliva (imagen disponible en <http://www.cma.gva.es>)

ANEXO II: FICHAS CARACTERÍSTICAS DE LOS HUMEDALES

En el presente anexo se recogen unas fichas realizadas para cada humedal objeto de estudio del presente trabajo. Estas fichas recogen y analizan sintéticamente información referente a la caracterización del humedal, en ellas se describen los datos disponibles y se les asocia un grado de incertidumbre, se muestra la batimetría característica del humedal y el origen de dicha información, se representan los resultados generados de la modelación (altura de agua, profundidad, superficie inundada y volumen almacenado) y el balance hídrico obtenido, y finalmente se recoge el análisis de requerimientos hídricos realizado.

A continuación se recogen las siguientes fichas

- Ficha de la Laguna de Talayuelas.
- Ficha de la Laguna de Marquesado.
- Ficha de la Marjal d'Almenara.
- Ficha de la Marjal de Pego-Oliva.

DESCRIPCIÓN
Nombre
Laguna de Talayuelas

Superficie (ha)
6

Patrón inundación
Temporal

Zmín lago (msnm)
#REF!



DATOS

TIPO
FUENTE
nº DATOS
COMENTARIOS
GRADO INCERTIDUMBRE

Altura
TRABAJO DE LEVANTAMIENTO Y POST-PROCESADO DE DATOS BATIMÉTRICOS Y SEGUIMIENTO DE NIVELES EN LAGOS NATURALES DE LA CHJ (Eptisa)
1
Datos en msnm
Medio

Altura
sensores Comisaría Aguas
3
Datos en msnm
Medio

Superficie
Técnicas de teledetección. Aplicación índice MNDWI
20
Posibles problemas en humedales pequeños debido a resolución. No se contabilizan píxeles del contorno, lo que puede representar hasta un 30% de la superficie total
Medio

BALANCE

COMENTARIOS

	Periodo 40-12	Periodo 80-12	COMENTARIOS
PRECIPITACIÓN	Hm3/año 0,03	Hm3/año 0,03	
SUBTERRÁNEA	Hm3/año 0,00	Hm3/año 0,00	
SUPERFICIAL	Hm3/año 0,00	Hm3/año 0,00	
ENTRADAS TOTALES	Hm3/año 0,03	Hm3/año 0,03	
ETP	Hm3/año 0,03	Hm3/año 0,03	Solo de lámina de agua
INFILTRACIÓN	Hm3/año 0,00	Hm3/año 0,00	No existe conexión con acuífero
SUBTERRÁNEA (mar)	Hm3/año 0,00	Hm3/año 0,00	No se produce
SUPERFICIAL	Hm3/año 0,00	Hm3/año 0,00	
SALIDAS TOTALES	Hm3/año 0,03	Hm3/año 0,03	

MODELO

CONDICIÓN INICIAL
H_inicial
895,50

PARÁMETROS

Entradas
coef_red_ent
0%

alfa (α)
1,00

Salida superficial
Humbral (msnm)
897,00

Salida por infiltración
Humbral (msnm)
-

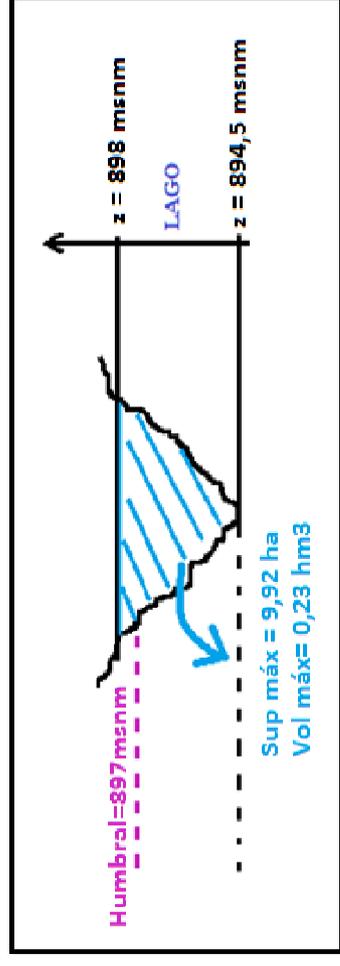
k
0,00

H a partir de la cual se produce salida sup. = z canal en zona S

No existe conexión con el acuífero

BATIMETRÍA

Batimetría del lago del "TRABAJO DE LEVANTAMIENTO Y POST-PROCESADO DE DATOS BATIMÉTRICOS Y DE SEGUIMIENTO DE NIVELES EN LAGOS NATURALES DEL ÁMBITO DE LA CHJ" (Eptisa)



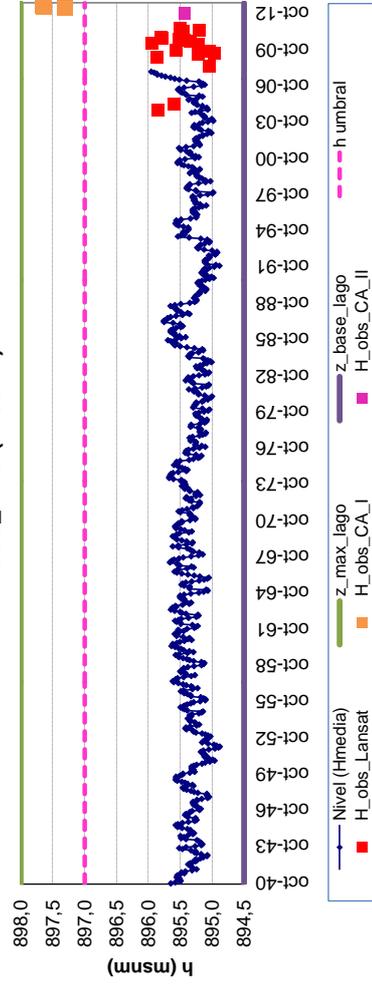
COMENTARIOS:

Se supone patrón de inundación temporal. Comienzo del llenado en Oto-Inv y secado estival.

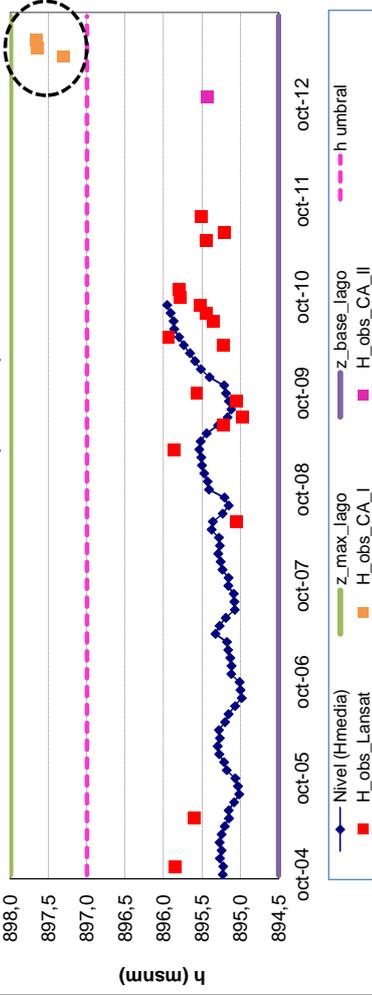
Datos de h (msnm) de CA y del estudio de Eptisa de diferente orden magnitud

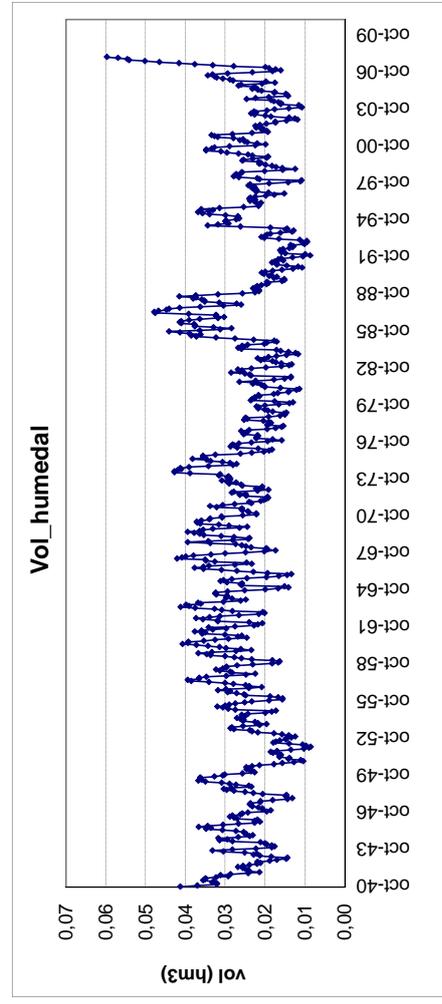
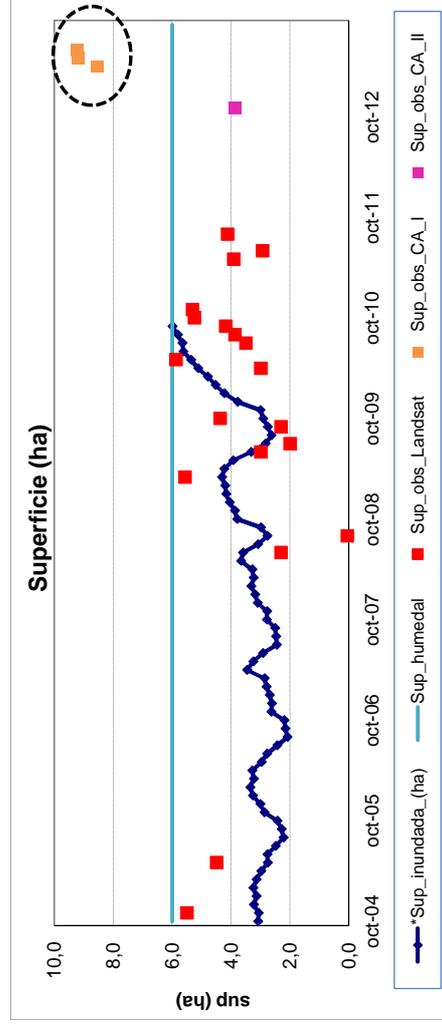
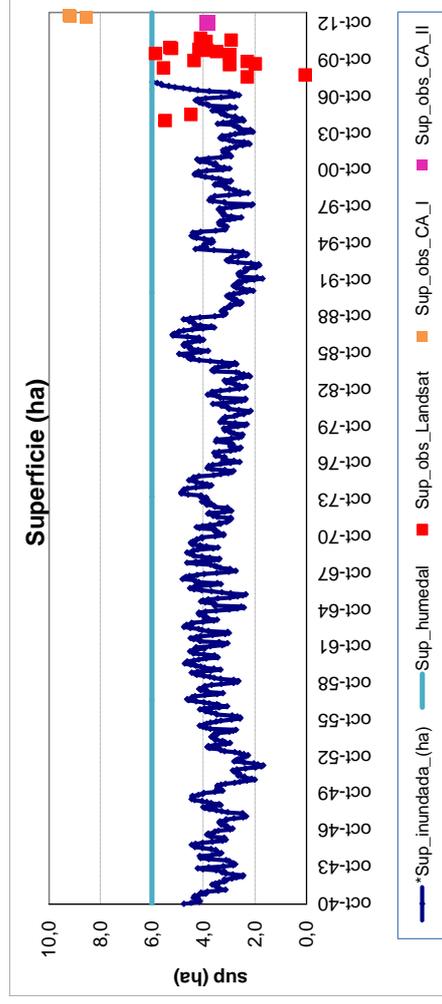
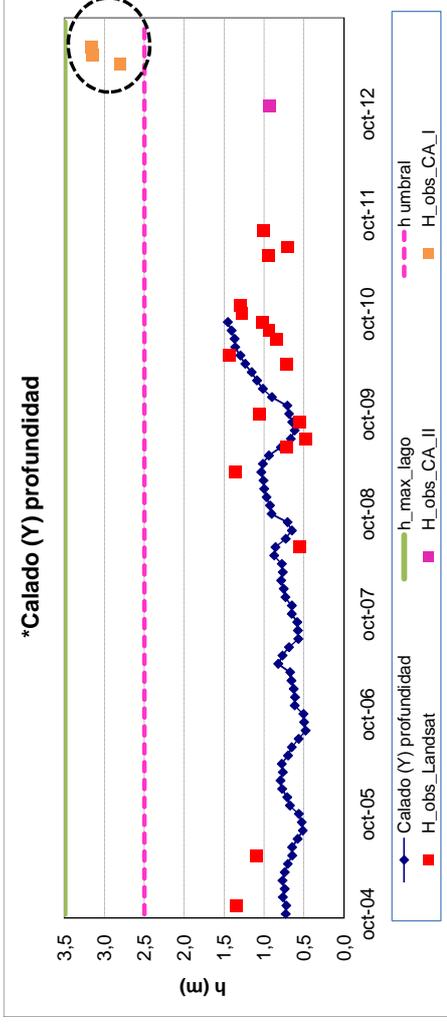
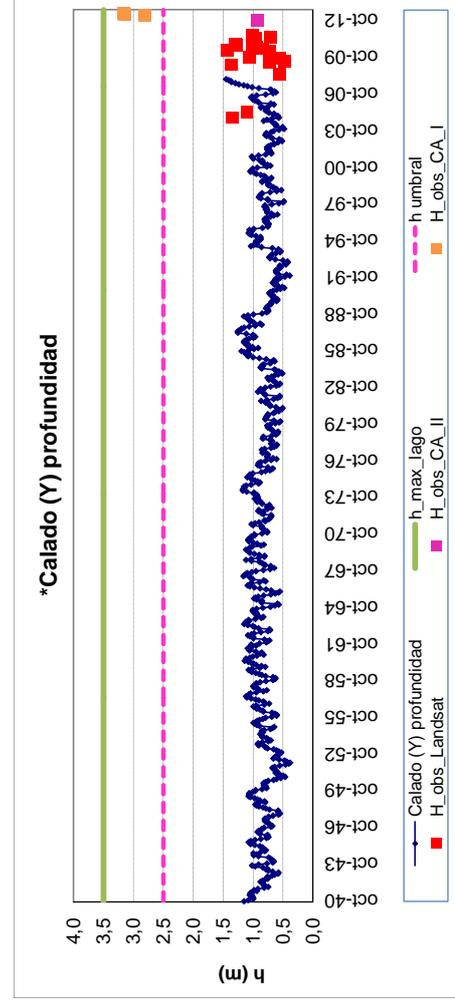
Posibles problemas asociados a la resolución de las imágenes

***Hmedia_Nivel (m.s.n.m)**



***Hmedia_Nivel (m.s.n.m)**





REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

No existe entrada subterránea de agua
Se establece que las necesidades hídricas son la ET



DESCRIPCIÓN	
Nombre	Laguna de Marquesado
Superficie (ha)	5,8
Patrón inundación	Permanente. Nivel muy estable
Zmín lago (msnm)	1363

DATOS	FUENTE	nº DATOS	COMENTARIOS	GRADO INCERTIDUMBRE
TIPO	TRABAJOS DE LEVANTAMIENTO Y POST-PROCESADO DE DATOS BATIMÉTRICOS Y SEGUIMIENTO DE NIVELES EN LAGOS NATURALES DE LA CHJ (Eptisa)	1	Datos en msnm	Bajo
Altura	sensores Comisaría Aguas	3	Datos en msnm	Bajo
Superficie	Técnicas de teledetección. Aplicación índice MNDWI	46	Posibles problemas en humedales pequeños debido a resolución. No se contabilizan píxeles del contorno, lo que puede representar hasta un 30% de la superficie total. Además imágenes mal georreferenciadas	Alto

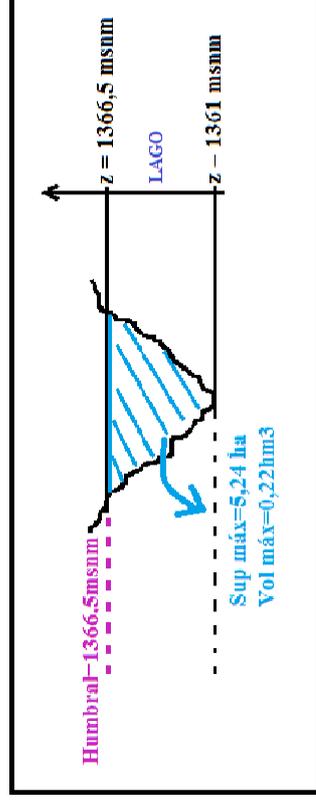
BALANCE

	Periodo 40-12	Periodo 80-12	COMENTARIOS
PRECIPITACIÓN	Hm3/año	0,04	0,04
SUBTERRÁNEA	Hm3/año	0,15	0,14
SUPERFICIAL	Hm3/año	0,00	0,00
ENTRADAS TOTALES	Hm3/año	0,20	0,18
ETP	Hm3/año	0,04	0,04
INFILTRACIÓN	Hm3/año	0,00	0,00
SUBTERRÁNEA (mar)	Hm3/año	0,00	0,00
SUPERFICIAL	Hm3/año	0,15	0,13
SALIDAS TOTALES	Hm3/año	0,20	0,18

Solo de lámina de agua
No se produce

BATIMETRÍA

Batimetría del lago del "TRABAJOS DE LEVANTAMIENTO Y POST-PROCESADO DE DATOS BATIMÉTRICOS Y DE SEGUIMIENTO DE NIVELES EN LAGOS NATURALES DEL ÁMBITO DE LA CHJ" (Eptisa)



COMENTARIOS:

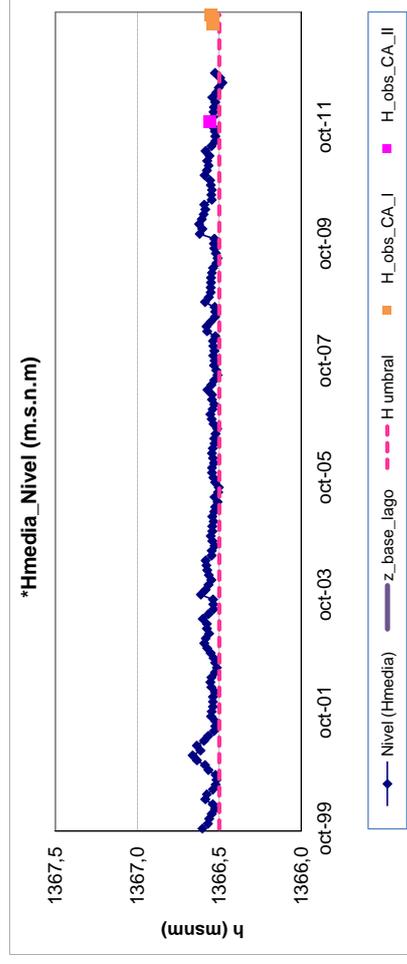
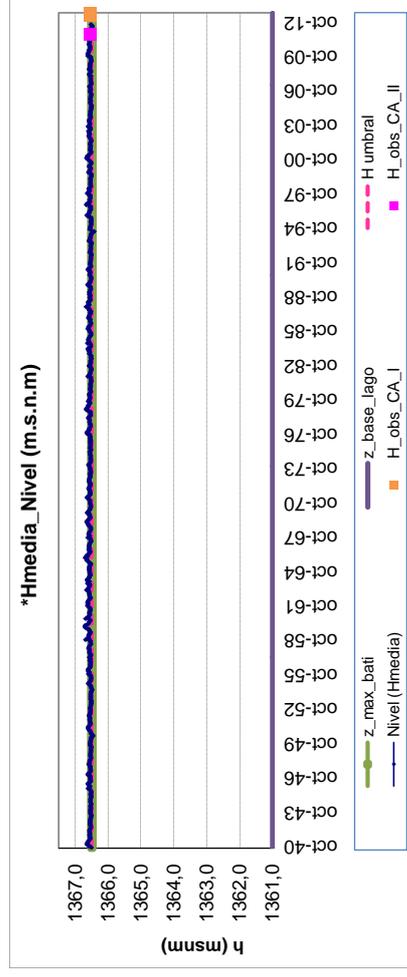
Nivel muy estable, rebosa por dique travertino. Z dique (MDT 5m) = 1366,5msnm
 Datos de h (msnm) de CA y del estudio Eptisa del mismo orden magnitud, =Hdique
 Superficies obtenidas por teledetección pequeñas y variables, pese a que se supone nivel muy estable
 Posibles problemas debido a la resolución/Además imágenes mal georreferenciadas

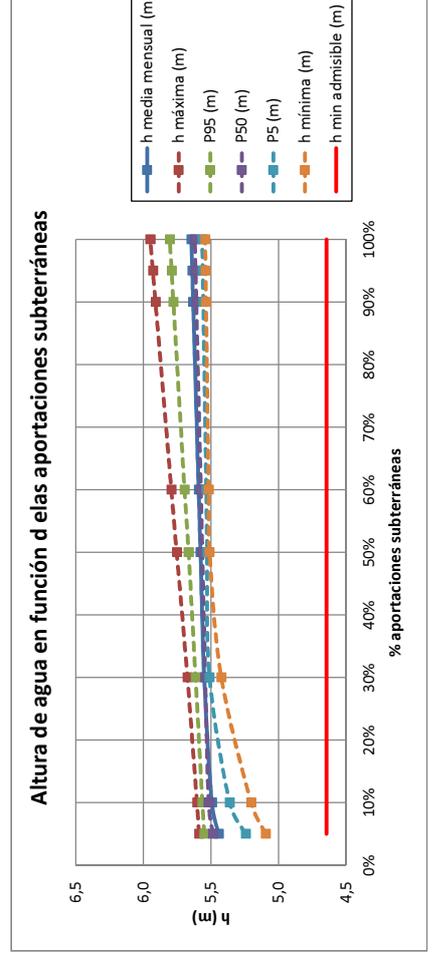
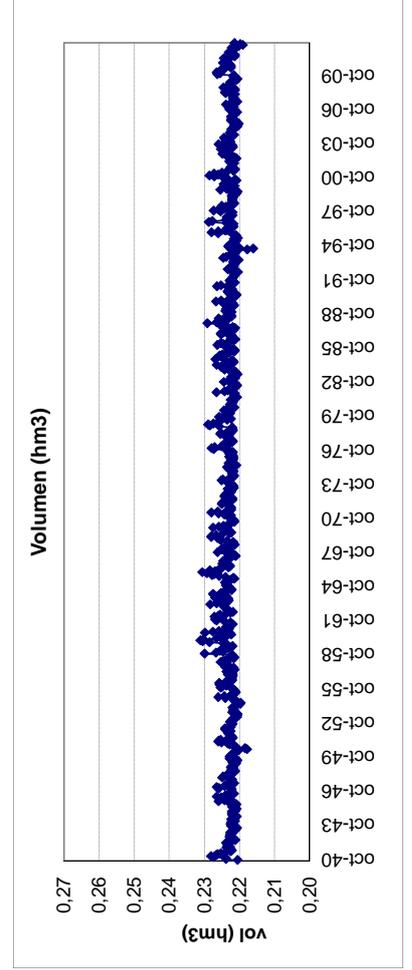
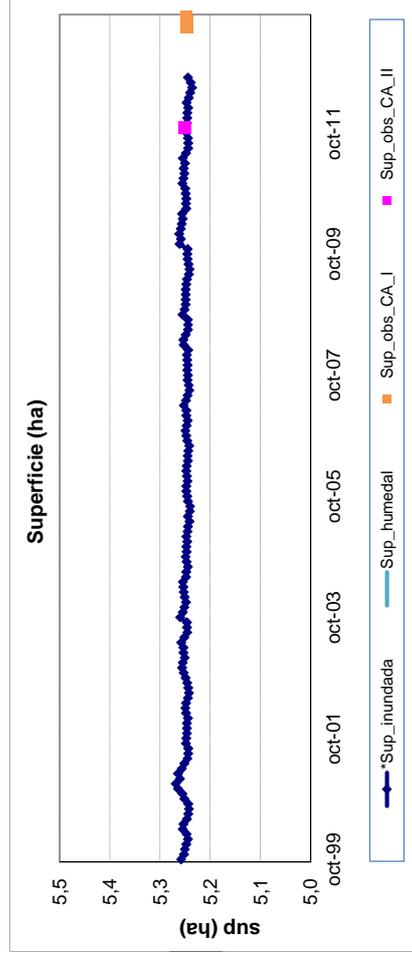
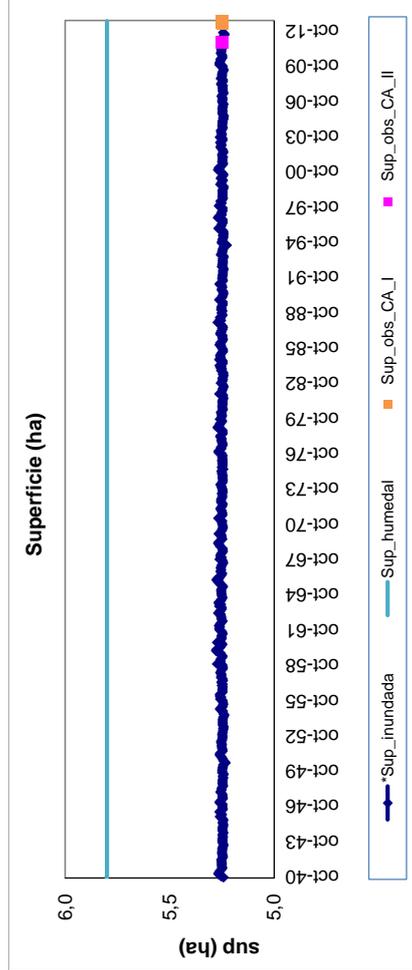
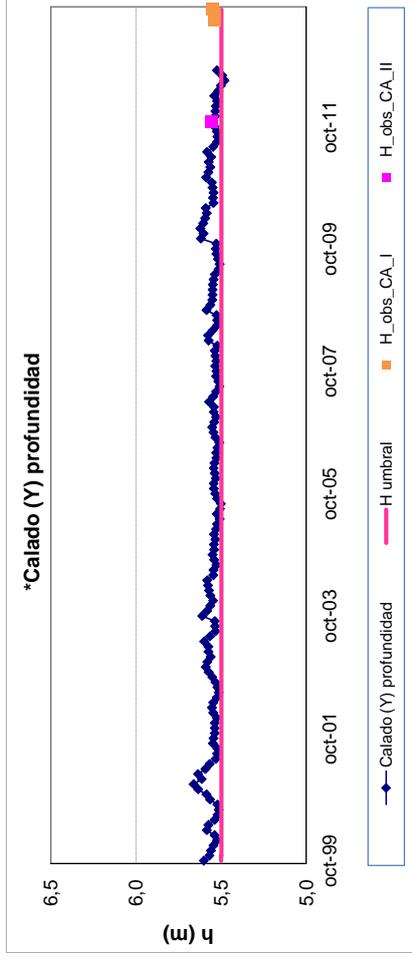
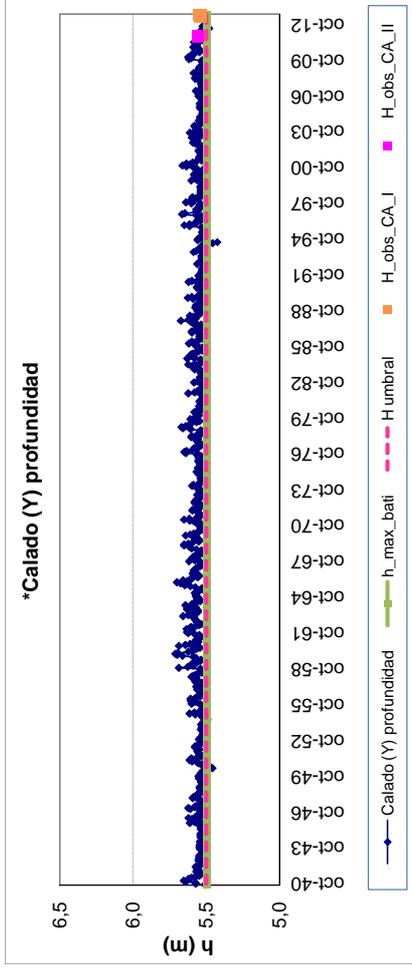
MODELO

CONDICIÓN INICIAL	Hinicial (msnm)	1367,00
PARÁMETROS		
Entradas	coef_red_ent	30%
	alfa (α)	5,00
Salida superficial	Humbral (msnm)	1366,50
	Humbral (msnm)	1366,50
Salida por infiltración	k	0,01

H dique travertino según MDT
Parámetros para el cálculo de infiltración

RESULTADOS





REQUERIMIENTOS HÍDRICOS

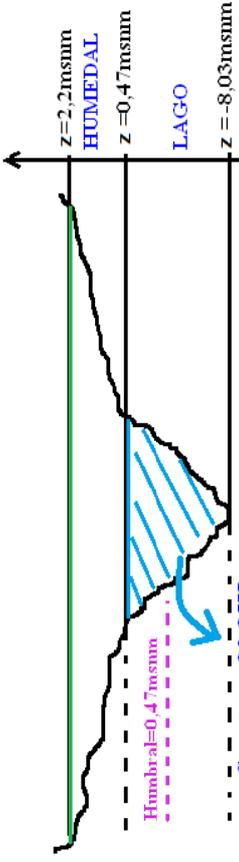
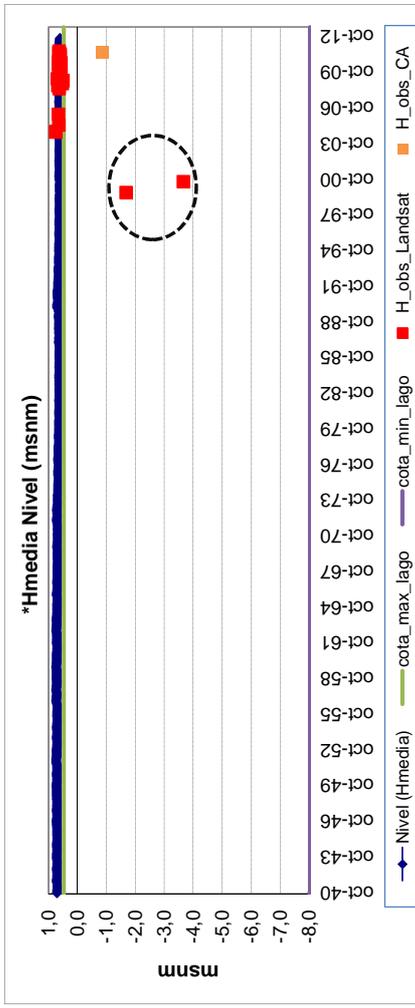
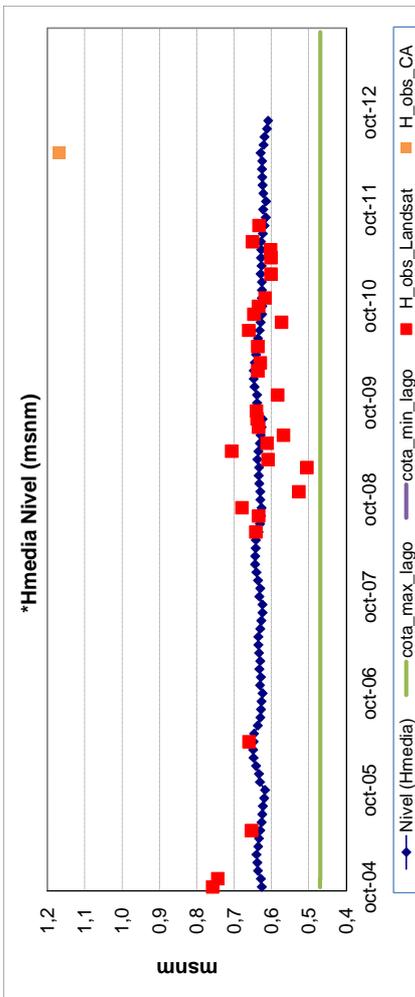
DESCRIPCIÓN		DATOS		COMENTARIOS		GRADO INCERTIDUMBRE	
TIPO	FUENTE	nº DATOS	COMENTARIOS	TIPO	GRADO		
Nombre	Marjal d'Almenara			Altura	Alto		
Superficie (ha)	106	2	Se desconoce cota de referencia. Poca fiabilidad.				
Patrón inundación	Permanente fluctuante	32	Datos del mismo orden de magnitud. A excepción de los primeros datos anteriores al 2000 que dan sup menor, aunque con ortofoto se comprueba que reproduce realidad. En el estudio del 2000 se toman medidas que aseguran unas entradas mayores al humedal. Suponemos cambio de tendencia a partir de esta fecha		Medio		
Zmín lago (msnm)	-8,03						



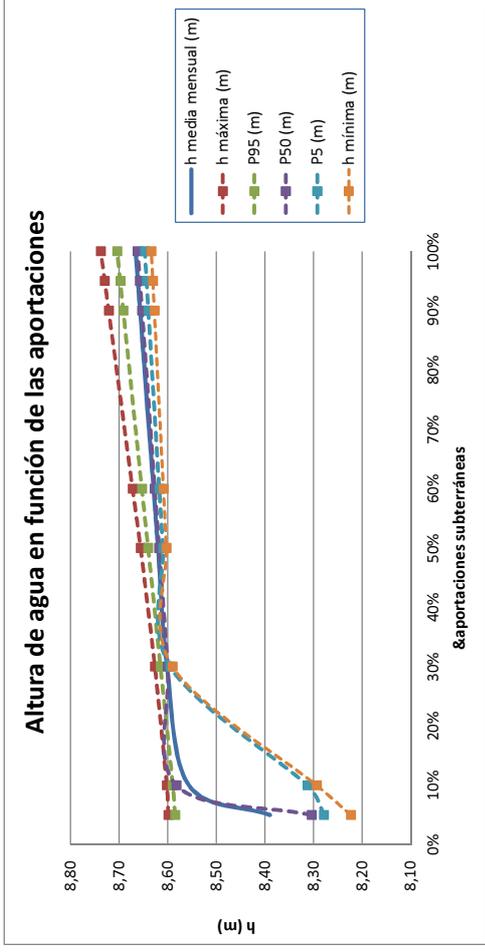
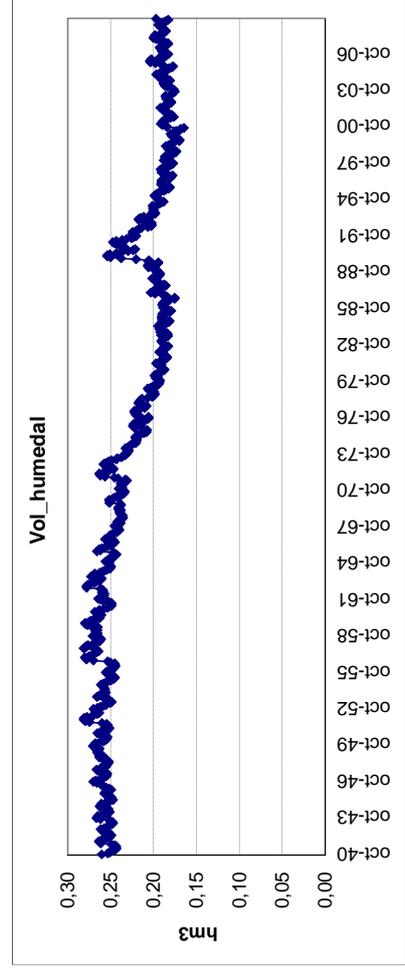
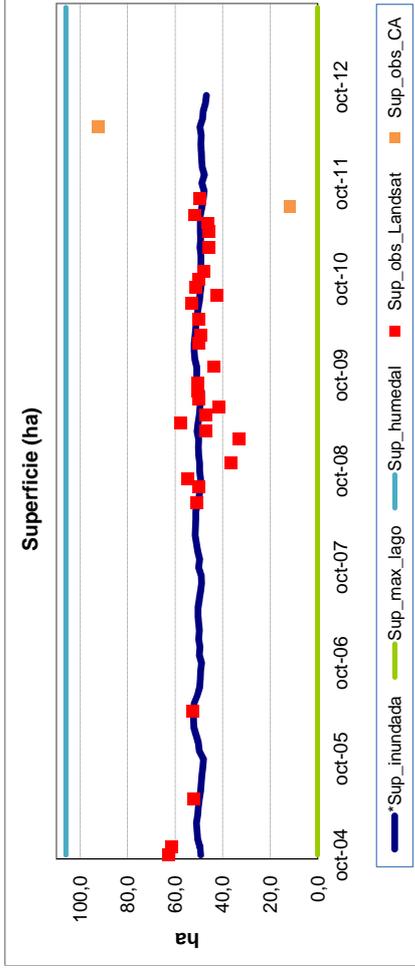
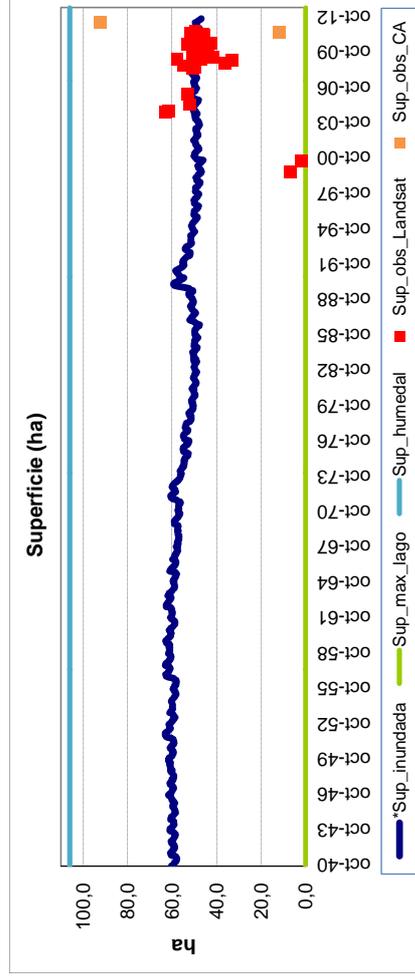
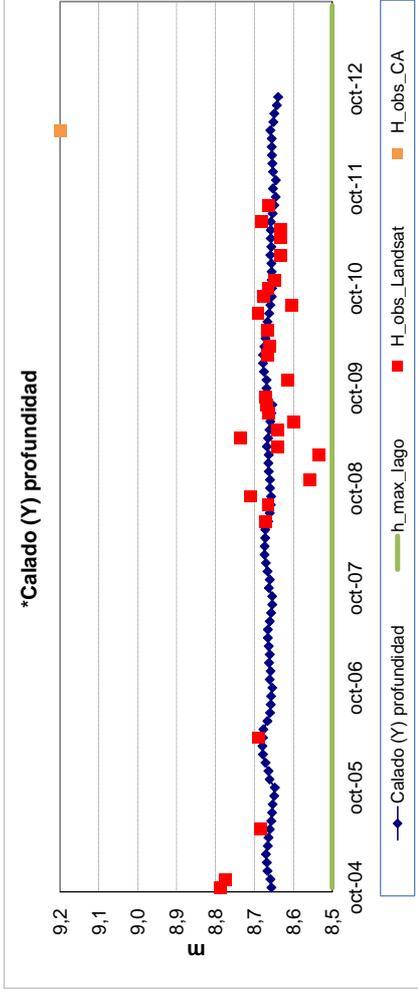
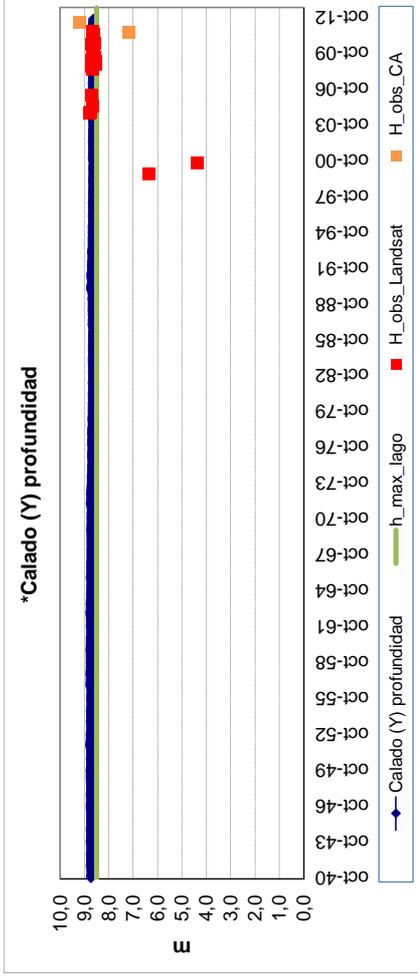
BALANCE	
Zmín humedal (msnm)	0,47

		COMENTARIOS	
	Periodo 40-12	Periodo 80-12	
PRECIPITACIÓN	0,49	0,50	msnm
SUBTERRÁNEA	27,23	19,36	
SUPERFICIAL	0,00	0,00	FALTA DATO
ENTRADAS TOTALES	27,72	19,85	
EIP	0,53	0,50	Solo de la lámina de agua
INFILTRACIÓN	0,29	0,21	
SUBTERRÁNEA	0,29	0,21	Al mar
SUPERFICIAL	26,61	18,93	Regulada por 1 compuerta
SALIDAS TOTALES	27,72	19,85	

MODELO	
CONDICIÓN INICIAL	H_inicial 0,00
PARÁMETROS	
Entradas	coef_red_ent 100% alfa (α) 20,00
Salida superficial	Humbral (msnm) 0,47 (H=hm-Humbral) Zmáx lago
Salida subt al mar e infiltración	Humbral 0,47 k 0,10



COMENTARIOS:
La serie se adapta a los datos Landsat bastante bien, a excepción de los dos primeros datos
Se obtienen unos niveles con poca variabilidad



REQUERIMIENTOS HIDRICOS

DESCRIPCIÓN

Nombre	Marjal de Pego - Oliva
Superficie (ha)	279
Patrón inundación	Permanente fluctuante
Zmín lago (msnm)	-0,29
Zmín humedal (msnm)	0,51



DATOS

TIPO	FUENTE	nº DATOS	COMENTARIOS	GRADO INCERTIDUMBRE
Altura	TRABAJO DE LEVANTAMIENTO Y POST-PROCESADO DE DATOS BATIMÉTRICOS Y SEGUIMIENTO DE NIVELES EN LAGOS NATURALES DE LA CHI (Éptisa)	1	Datos en msnm	Bajo
Altura	MEMORIA DE GESTIÓN 2010 DEL PARQUE NATURAL sensores Comisaría Aguas	4	Datos en cm. No conocemos punto de medición.	Alto
Altura	sensores Comisaría Aguas	3	Datos en msnm	Bajo
Superficie	Técnicas de teledetección. Aplicación índice MNDWI	61	La mayoría del mismo orden de magnitud. Del análisis de las que se obtienen sup mayores se observa que el índice puede que en algunos casos confunda suelo muy húmedo con inundado	Medio

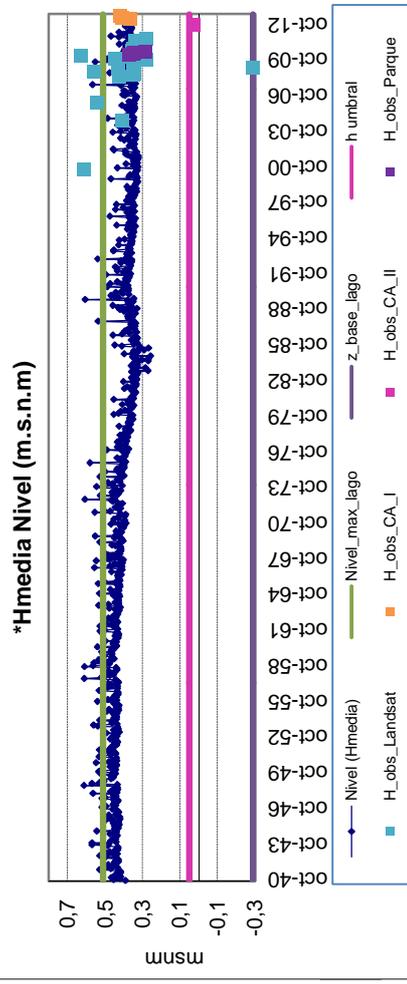
BALANCE

	Periodo 40-12	Periodo 80-12	COMENTARIOS
PRECIPITACIÓN	2,27	2,22	
SUBTERRÁNEA	8,18	5,02	
SUPERFICIAL	0,00	0,00	
ENTRADAS TOTALES	10,45	7,24	
ETP	0,04	0,03	Solo de la lámina de agua
INFILTRACIÓN	0,70	0,57	
SUBTERRÁNEA (mar)	0,70	0,57	Al mar
SUPERFICIAL	9,11	5,96	Regulada por 3 compuertas
SALIDAS TOTALES	10,54	7,12	

MODELO

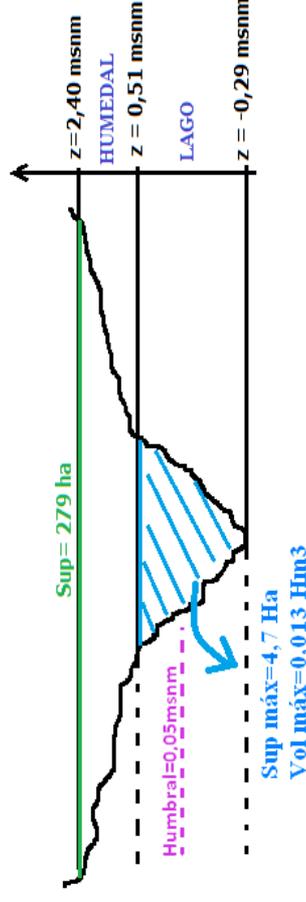
CONDICIÓN INICIAL	H_inicial	1,00	
PARÁMETROS			
Entradas	coef_red_ent	26%	referencia a estudio IGME
Salida superficial	alfa (α)	100,00	H a partir de la cual se produce salida sup. = z
Salida subrt al mar e infiltración	HumbraI (msnm)	0,05	min agua según sensores
	HumbraI (msnm)	0,05	Parámetros para el cálculo de salida subrt al mar
	k	0,10	e infiltración

RESULTADOS



BATIMETRÍA

Batimetría lago: "TRABAJO DE LEVANTAMIENTO Y POST-PROCESADO DE DATOS BATIMÉTRICOS Y DE... Reestablecemos z max humedal con la z del MDT y modificamos las cotas de la bati, para el resto del humedal obtenemos la curva batimétrica mediante el MDT 1m y herramientas GIS

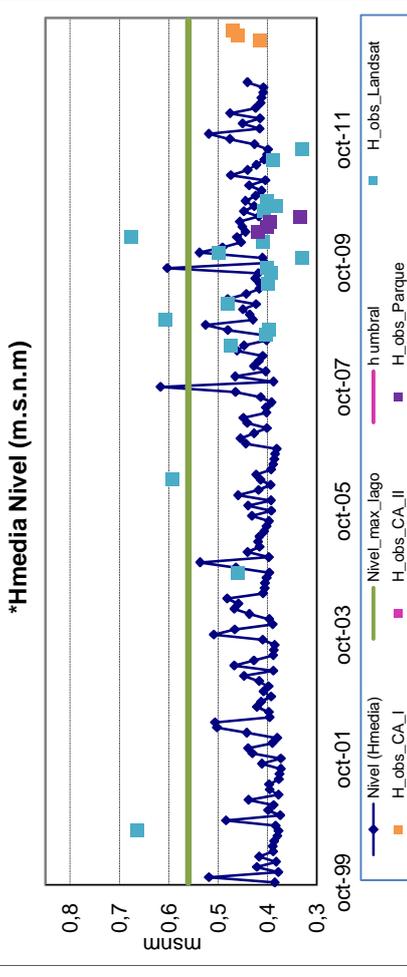


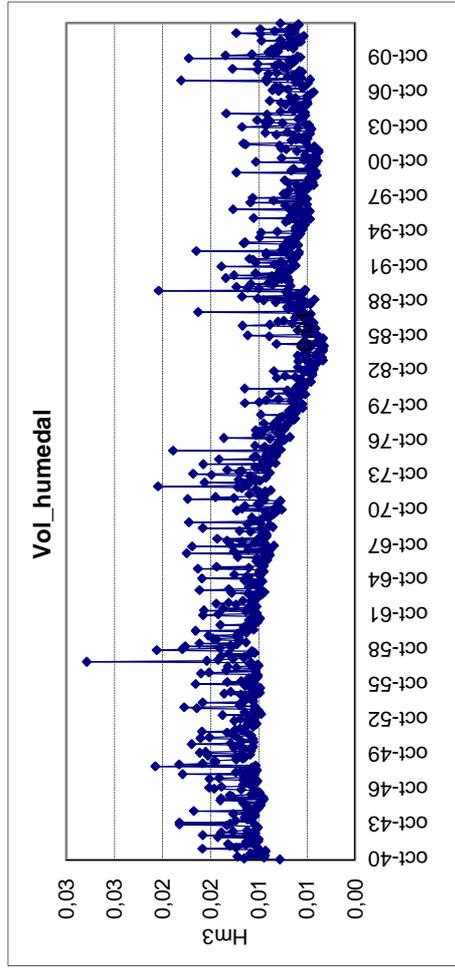
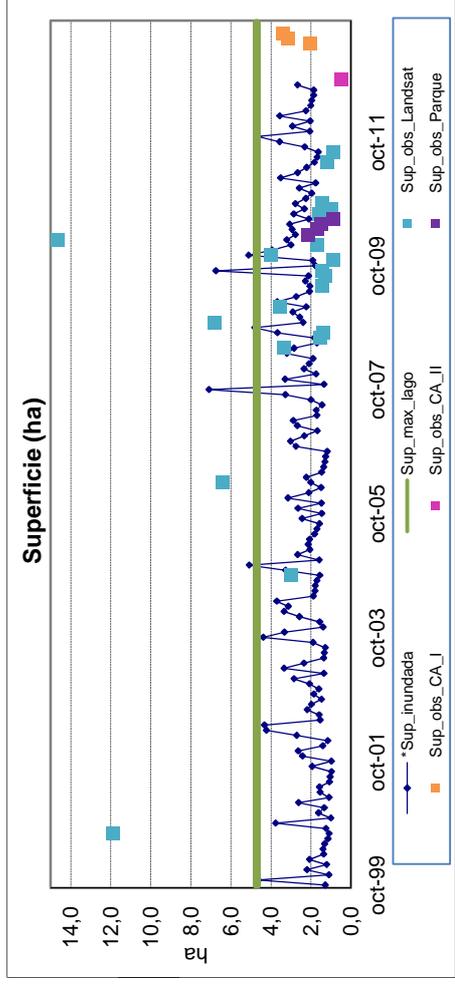
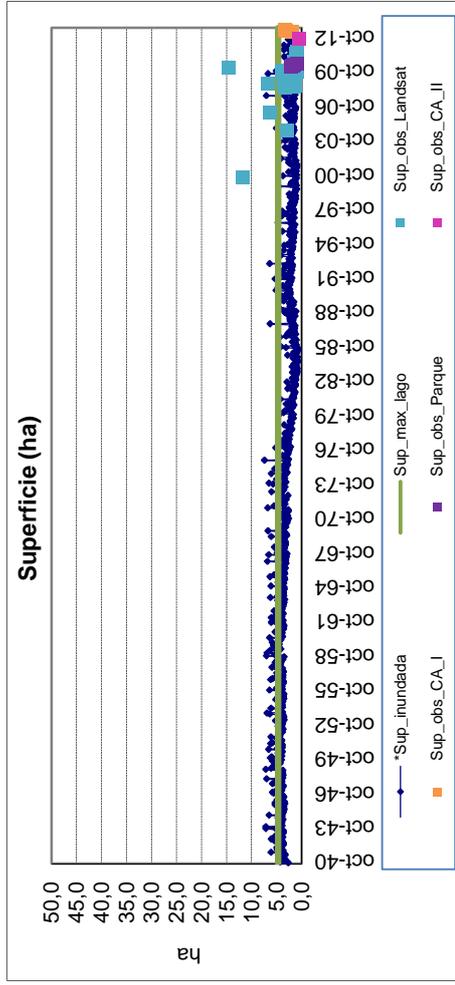
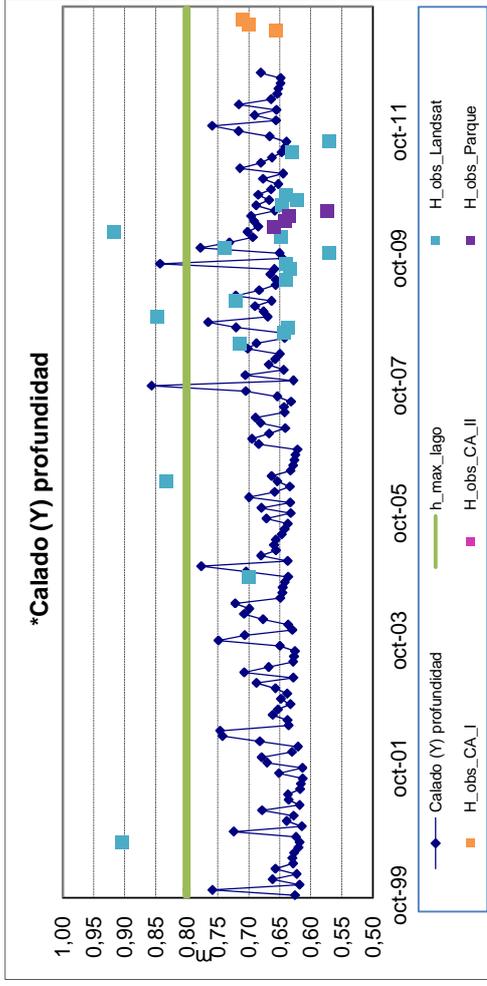
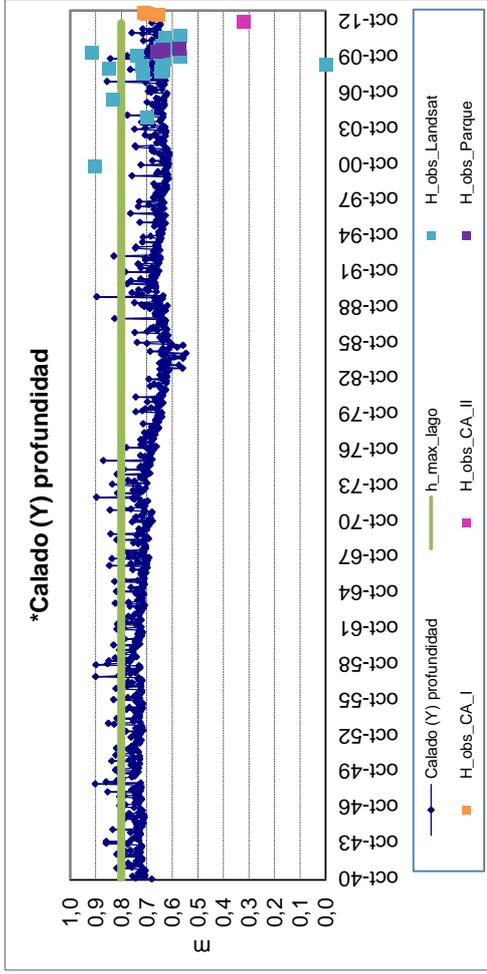
COMENTARIOS:

Datos de h (msnm)de CA, del Parque y Landsat del mismo orden magnitud

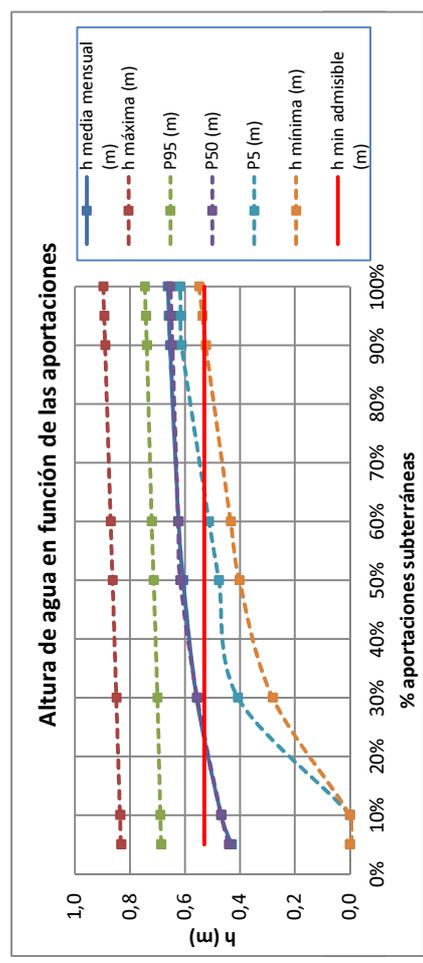
Se baja la h umbraI hasta la cota min registrada por los sensores

El alfa elevado simula la rapidez con la que se producen las salidas (llenado y vaciado diario)





REQUERIMIENTOS HIDRICOS



% aportaciones subterráneas