

Cátedra del Agua y de la Sostenibilidad CAS

VII Jornada Agua y Sostenibilidad

Una Mirada Global sobre el Mar Menor

Murcia 11 Mayo 2018, Aula de Cultura Cajamurcia

# El papel esencial de las aguas subterráneas en los humedales costeros: experiencia disponible

Emilio CUSTODIO

Correspondiente de la Real Academia de Ciencias  
Prof. emérito, Dept. Ingeniería Civil y Ambiental,  
Grupo de Hidrología Subterránea UPC-IDAEA/CSIC  
Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona

# Concepto de humedal: evolución

## Concepto estricto:

**Manifestación hídrica en superficie que no es un lago o un río**

**lago** → notable profundidad de agua

**río** → agua fluye visiblemente

## • Temporal o permanente

- Criptohumedal {
  - agua no aflora, pero está poca profundidad
  - plantas acceden al nivel freático
  - puede haber evaporación del agua freática

## Concepto evolucionado

Cualquier manifestación hídrica en superficie

## Convención RAMSAR → amplia definición de humedal:

todos los lagos y ríos, acuíferos, pantanos y marismas, praderas húmedas, turberas, oasis, estuarios, deltas y planicies mareales, manglares y otras áreas costeras, arrecifes de coral y todos los lugares artificiales tales como balsas, arrozales, embalses y salinas.

**Aspectos a considerar:** funcionamiento particular y del área de recarga  
servicios ecológicos a la sociedad  
evolución temporal

**2018-Murcia-Mar Menor-2/29** composición química, isotópica ambiental y biológica del agua

# Humedales costeros que dependen del agua subterránea

**Muy diversos tipos → clasificación muy diversa según énfasis**

**Frecuente vinculación / dependencia de las aguas subterráneas**

→ más a mayor aridez

→ aún no siempre bien conocida ni reconocida

**De descarga freática, de descarga profunda, de células de convección**

**Humedales costeros son finales de cuenca o de descarga final de acuíferos**

→ **Relación de estratificación y mezcla agua dulce continental - agua marina**

→ **gran variabilidad de salinidad**

**Frecuentes servicios ecológicos de alto valor**

**En lugares con grandes presiones antrópicas**

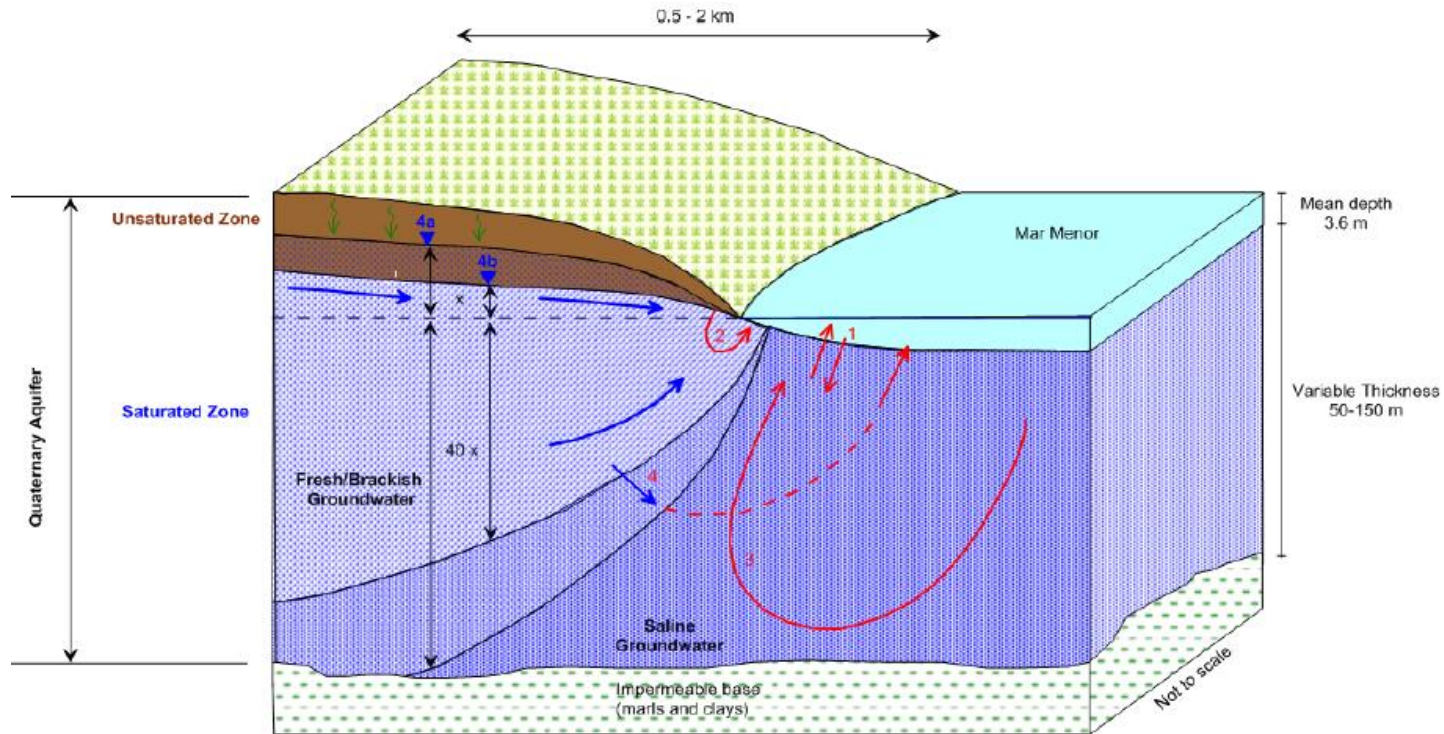
→ **muy alterados**

→ **algunos artificiales**

**Frecuente clima árido / semiárido con notable evaporación**

**Frecuente alta tasa de evolución natural en tiempos relativamente cortos → dinámicos**

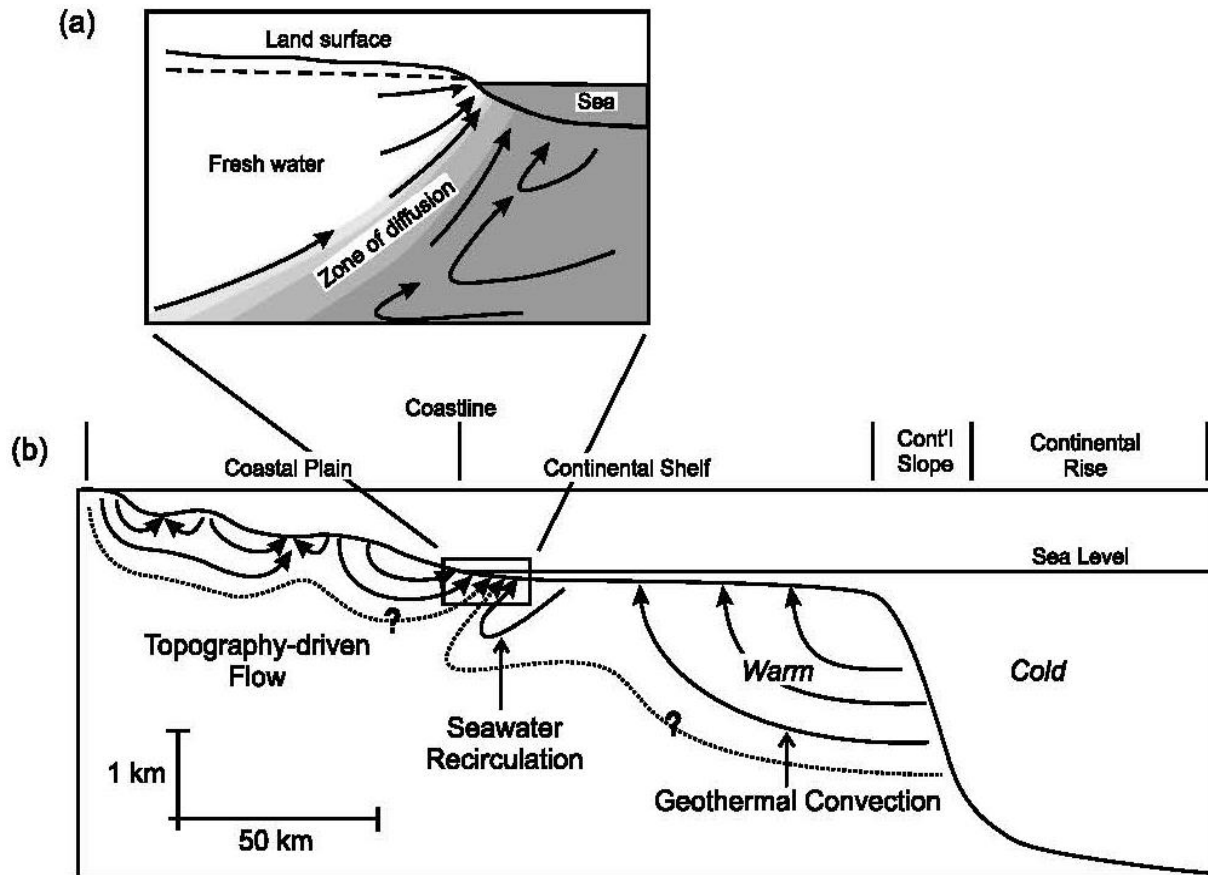
# Dinámica de los acuíferos costeros



Formación de una zona de mezcla → es dinámica

Descarga de agua al mar → dulce + **salobre** + marina

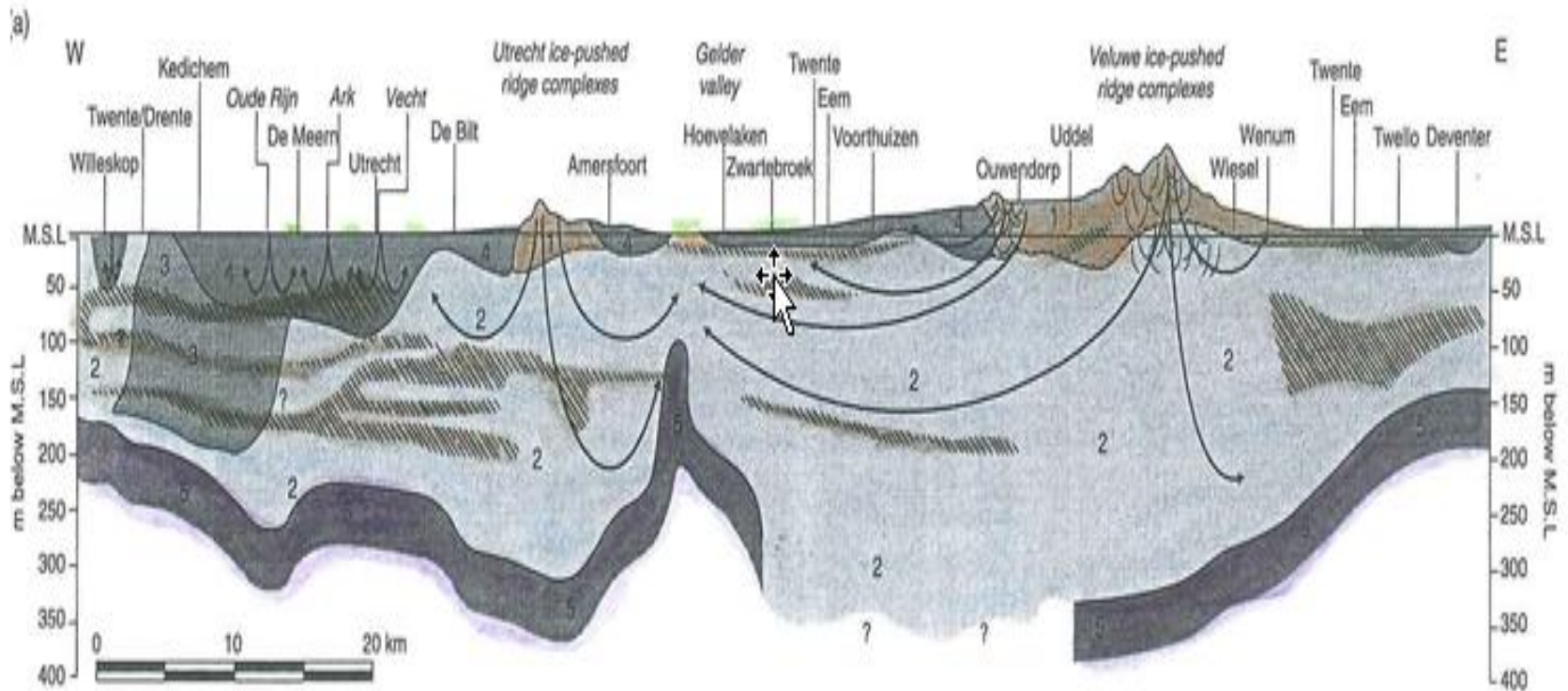
# Situaciones hidrodinámicas litorales



Descarga de agua subterránea en una sección costera con amplia plataforma continental poco profunda [Wilson, 2005](#)

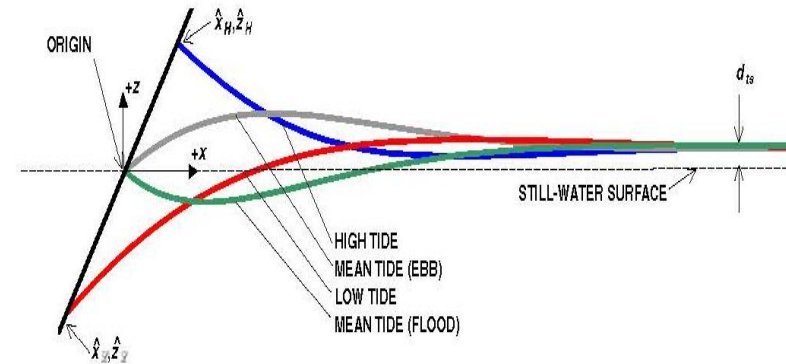
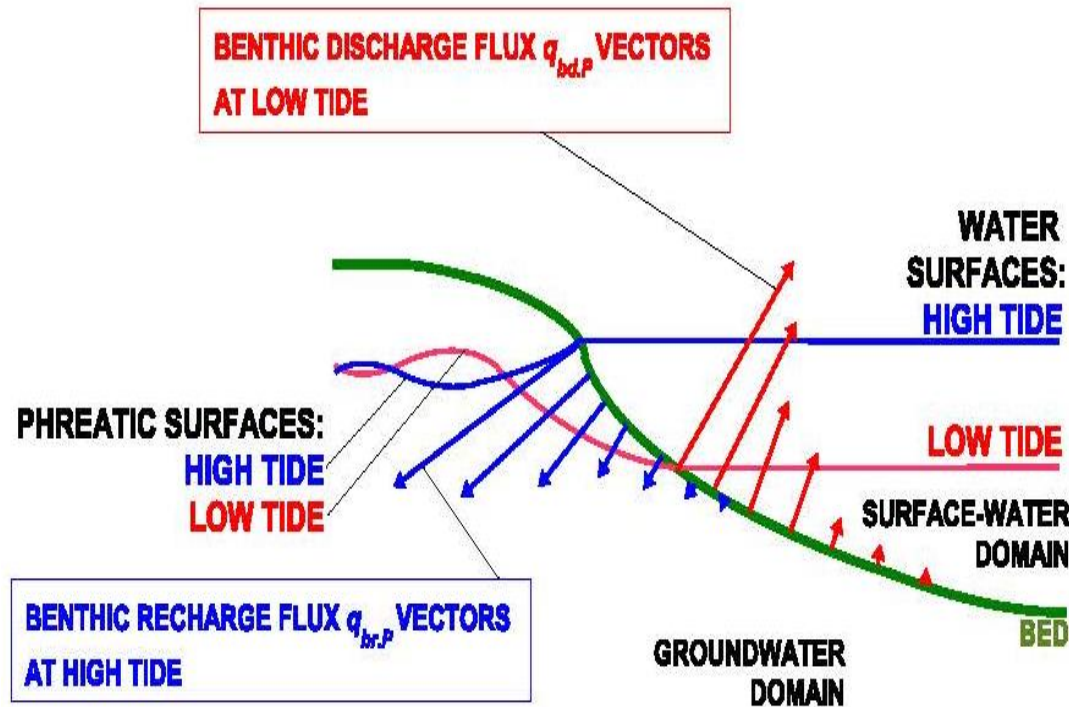
Movimiento gravitacional del agua continental → contraflujo de agua marina Favorecido por convección geotèrmica si plataforma continental es potente y permeable → efecto principalmente submarino y no litoral.

# Humedales costeros en situaciones hidrodinámicas complejas



**Sección W – E de Holanda**

# Descarga variable con la marea



## Flujos bénticos de agua en la franja litoral de un acuífero

Marea alta → domina penetración del agua marina (en azul)

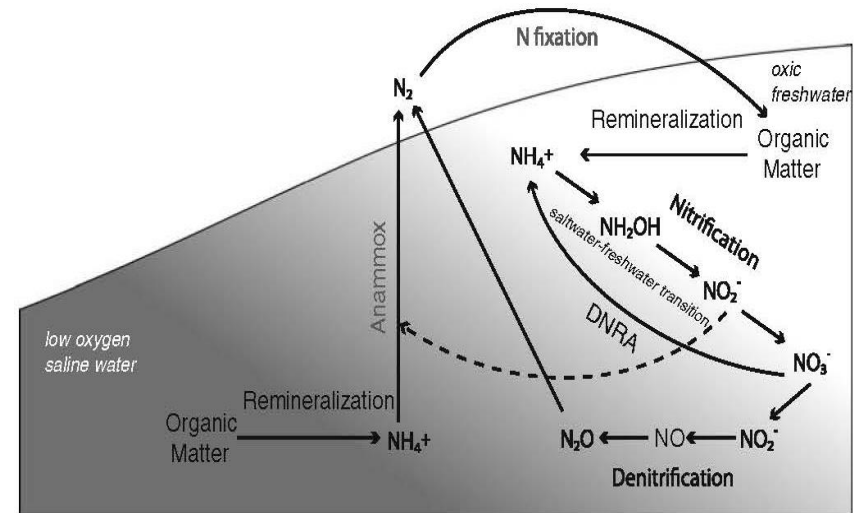
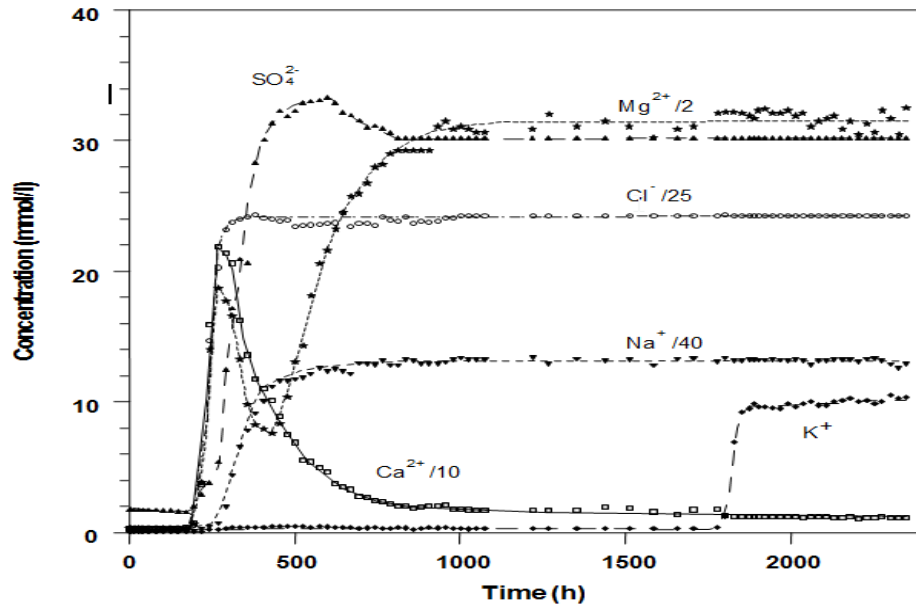
Marea baja → domina descarga de agua subterránea al mar (en rojo)

→ en buena parte de la descarga es agua mezcla

Puede afectar a humedales y descargas en estuarios

Efecto de marea se atenúa hacia el continente [King et al., 2010.](#)

# Procesos hidrogeoquímicos y cambios iónicos en los acuíferos costeros



Afectan a composición química del agua subterránea y humedales

Mayor efecto en el entorno de la zona de mezcla

Permiten conocer dinámica de la intrusión marina

Afectan a usos del agua y al suelo agrícola regado

Pueden afectar a nutrientes, en especial las especies disueltas del N

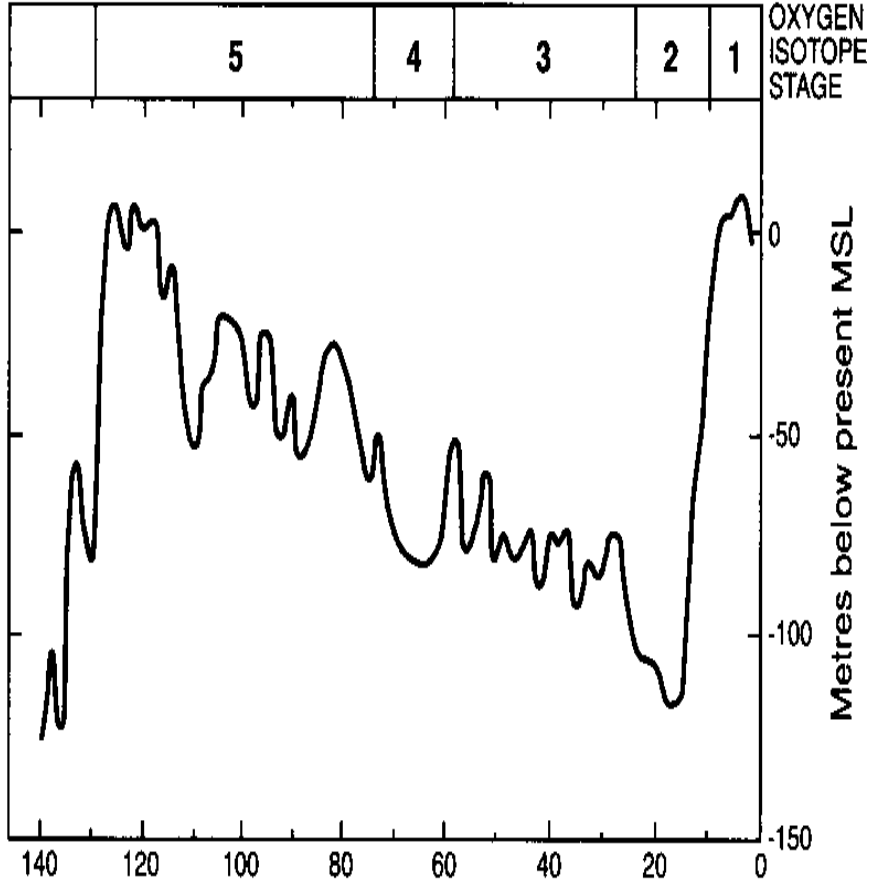


# Humedales costeros españoles del litoral Mediterráneo incluidos en el Convenio Ramsar

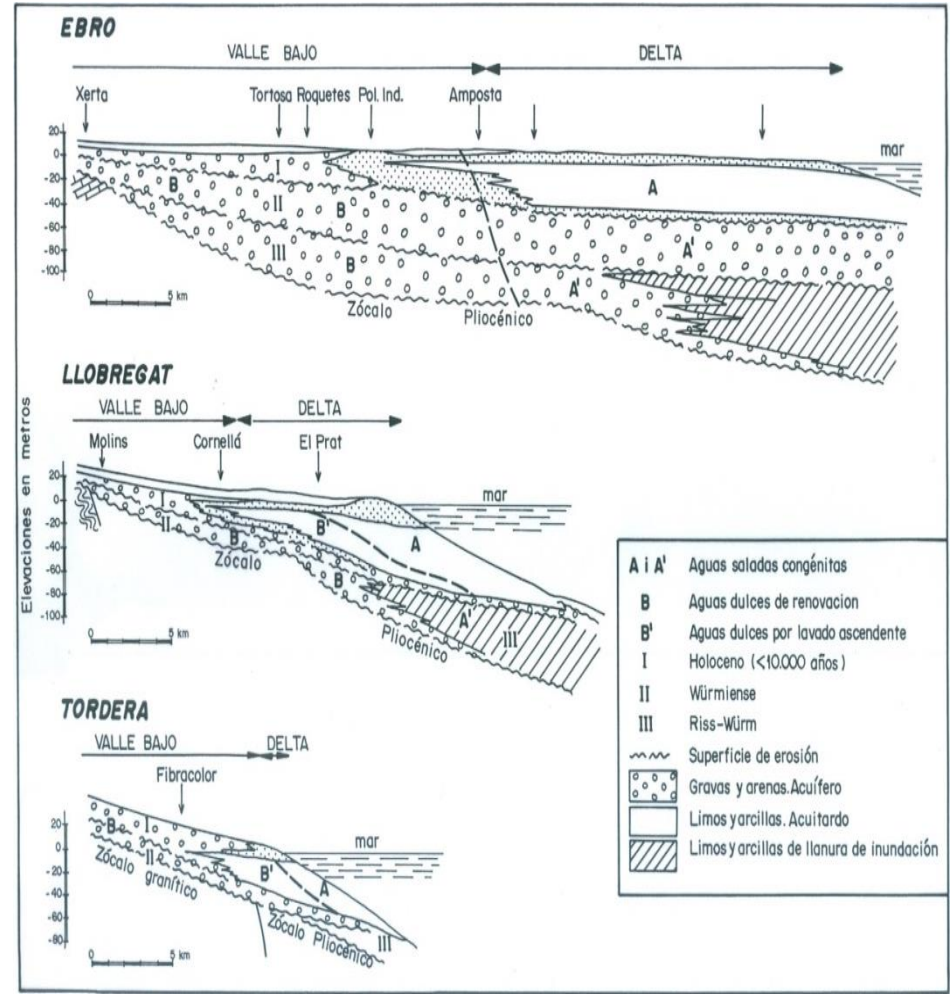
Humedal	ha	Tipo genético	Municipio	Provincia
Aiguamolls de l'Empordà	4783	Llanura costera	Castelló d'Empúries	Girona
Delta de l'Ebre	7736	Deltaico	Amposta	Tarragona
Prat de Cabanes–Torreblanca	860	Albufera	Prat de Cabanes, Torreblanca	Castellón
Albufera de Mallorca	1700	Albufera	Muro, Sa Pobla	Palma de Mallorca
Albufera de Valencia	21000	Albufera	Valencia	Valencia
Marjal de Pego–Oliva	1290	Albufera	Pego, Oliva	Valencia, Alicante
Salines d'Evissa y Formentera	1639	Albufera	Sant Josep, Formentera	Baleares
Salinas de Santa Pola	2496	Albufera	Santa Pola, Elche	Alicante
El Hondo (El Fondo)	2387	Llanura de inundación	Elche, Crevillente	Alicante
Salinas de la Mata y Torrevieja	3753	Albufera	Torrevieja, Guardamar	Alicante
Mar Menor	14933	Albufera	San Pedro, San Javier	Murcia
Lagunas de las Moreras	72	Rambla	Mazarrón	Murcia
Salinas del Cabo de Gata	300	Albufera	Almería, Níjar	Almería
PN Punta Entinas-Sabinar	1948	Llanura costera	El Ejido-Roquetas de Mar	Almería
Albuferas de Adra	75	Deltaico	Adra	Almería

La mayoría están vinculados al agua subterránea

# Cambios del nivel del mar y acuíferos costeros

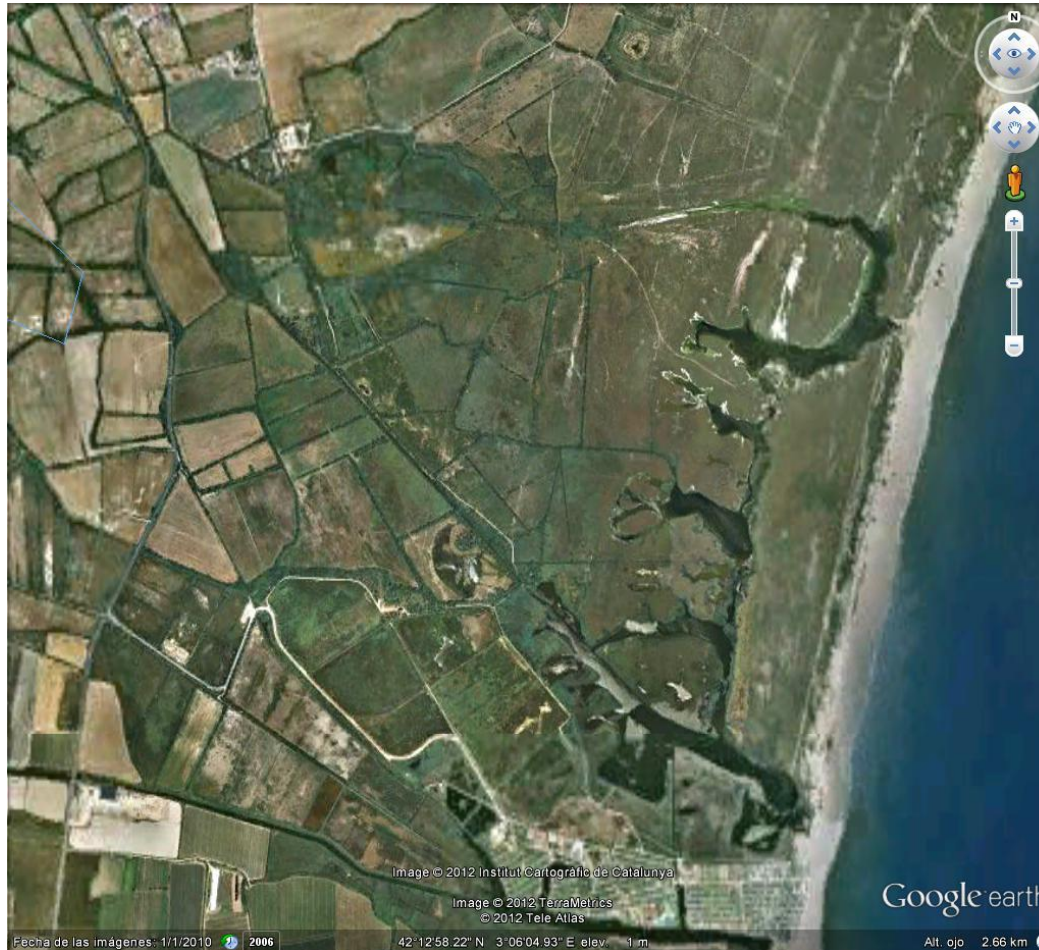


Nivel del mar cambiante  
Semiestable desde hace 8000 años



Deltas costeros recientes del NE peninsular español  
2018-Murcia-Mar Menor-10/29

# Visión general de: Aiguamolls de L'Empordà, entre La Muga y el Fluvià

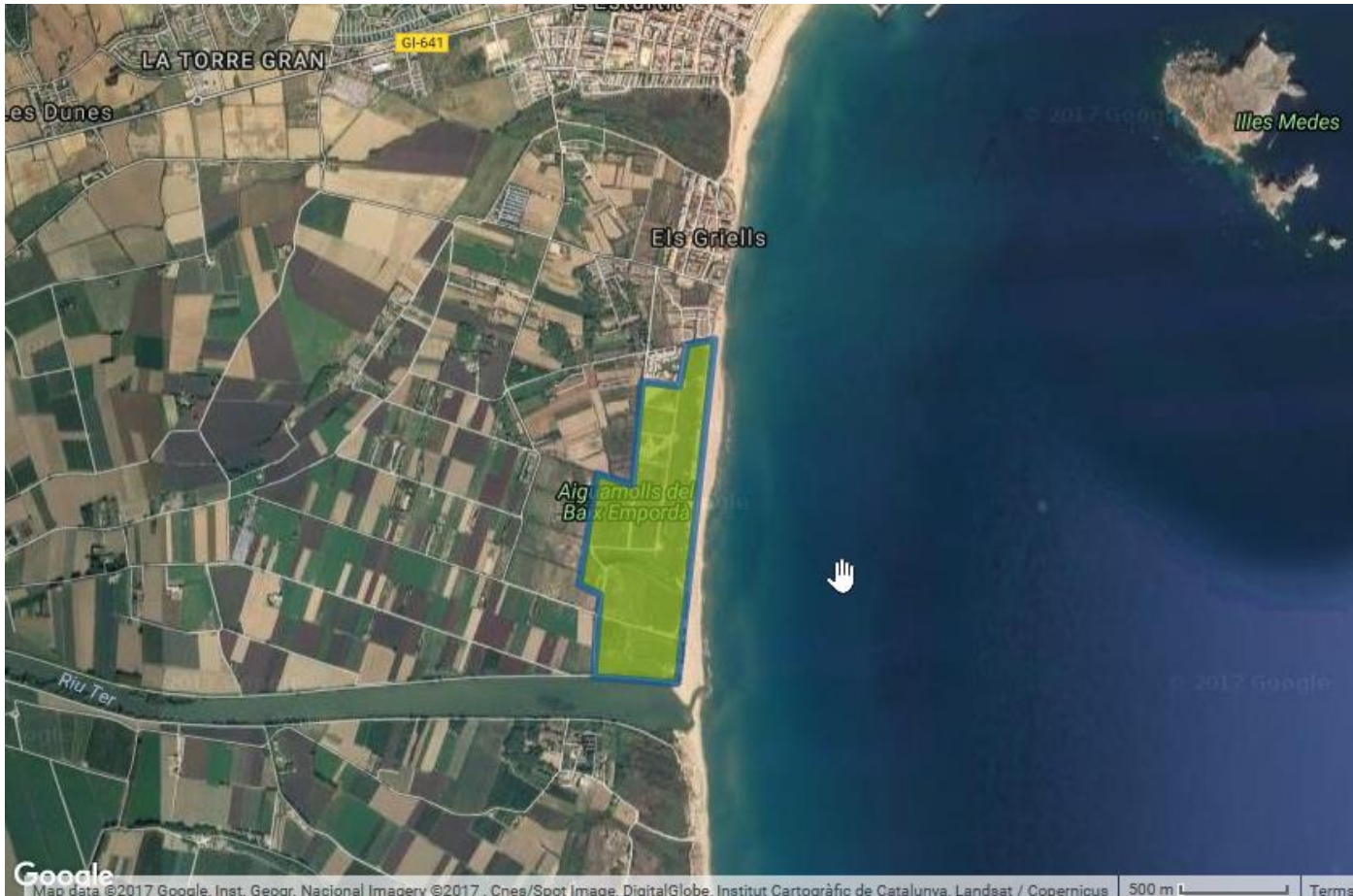


**Cauces fluviales abandonados o modificados, con depósitos eólicos y litorales**

**Área muy transformada**

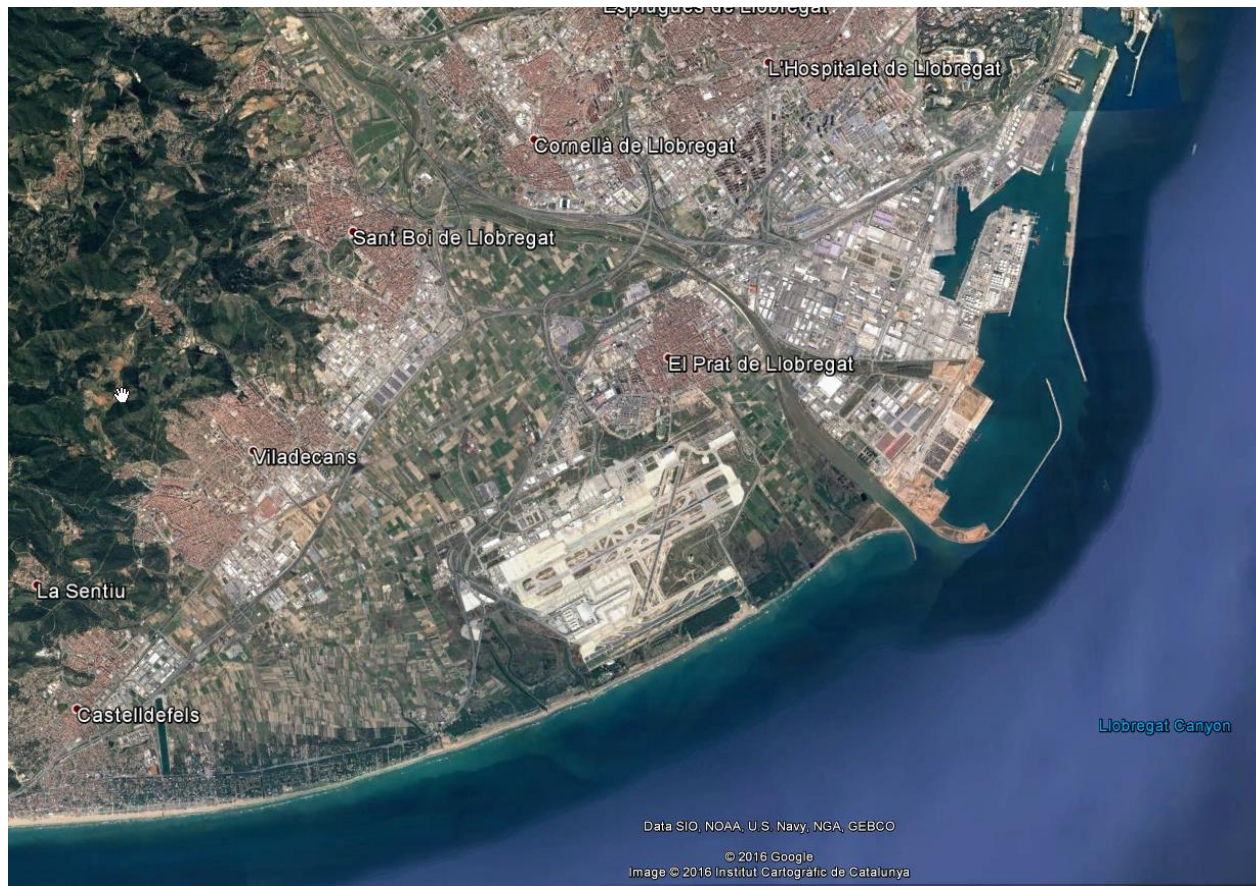
**2018-Murcia-Mar Menor-11/29**

## Visión general del Baix Ter: Humedales de La Pletera



**Antiguos humedales que tras ser convertidos parcialmente en una urbanización, se han restaurado y devuelto parcialmente al funcionamiento natural** 2018-Murcia-Mar Menor-12/29

# Vista del delta del Llobregat: humedales costeros existentes



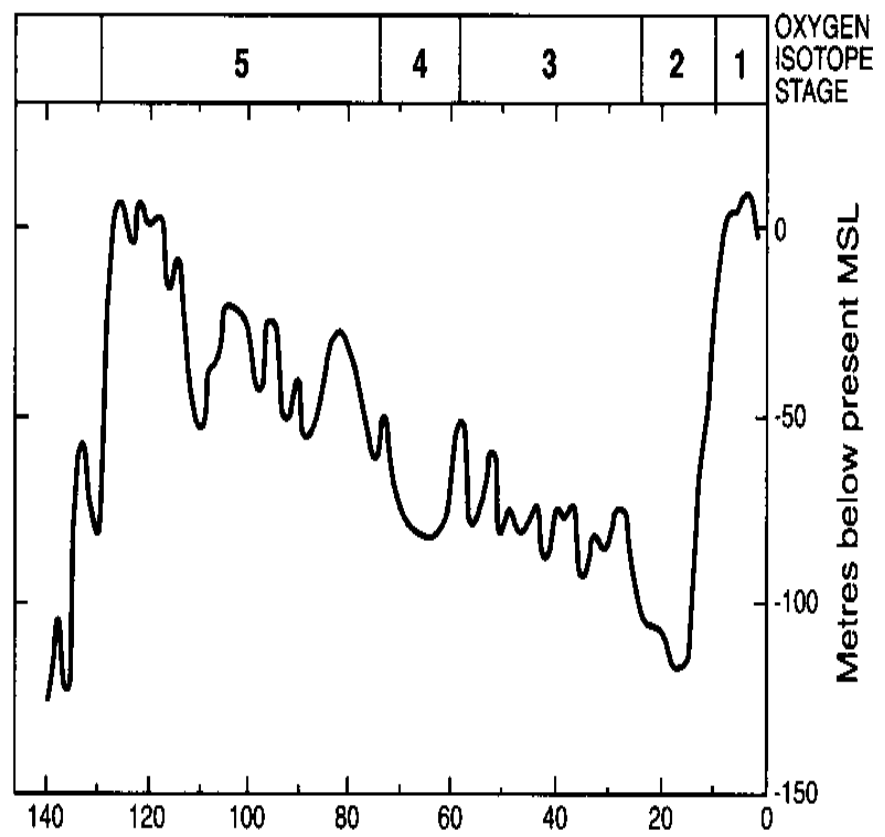
## Arenas costeras fluviales y eólicas

En antiguas **extracciones de áridos** en la costa: Ca l'Arana y La Ricarda

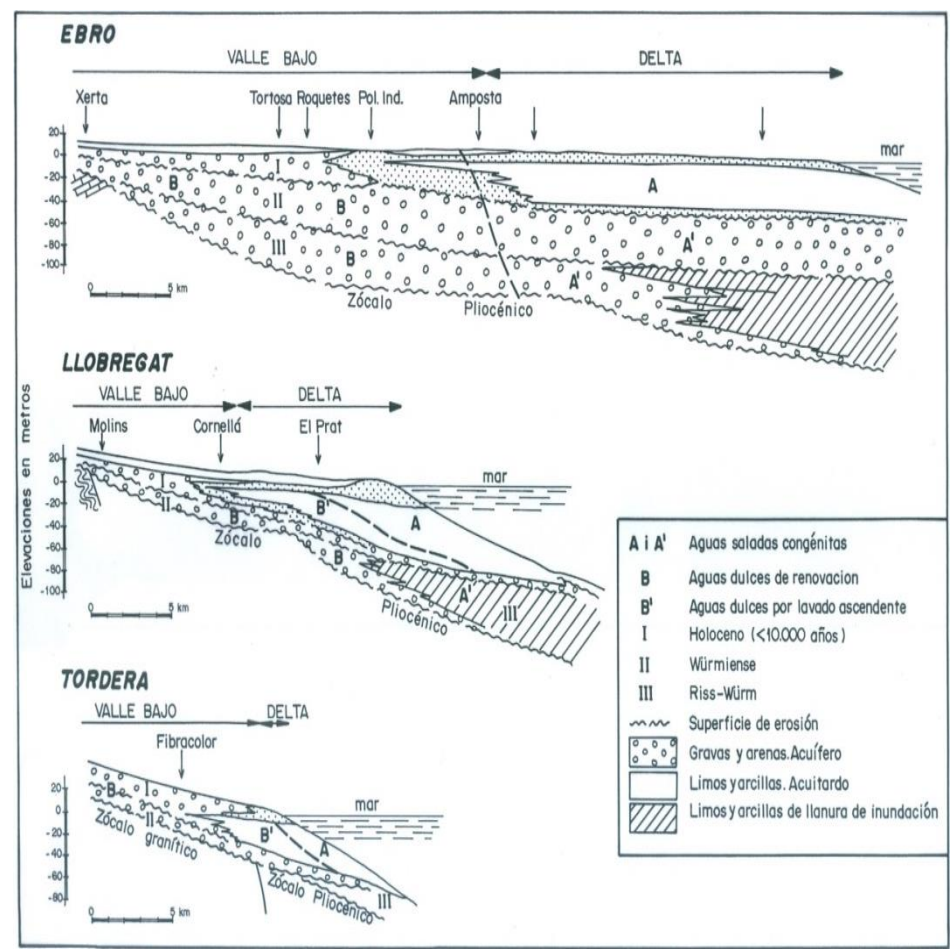
**Antiguos cauces** semiactivos transformados y saneados: El Remolar y La Murtra

Humedal artificial mantenido como **área de recreo**: Canal de Remo Olímpico

# Cambios del nivel del mar y acuíferos costeros recientes

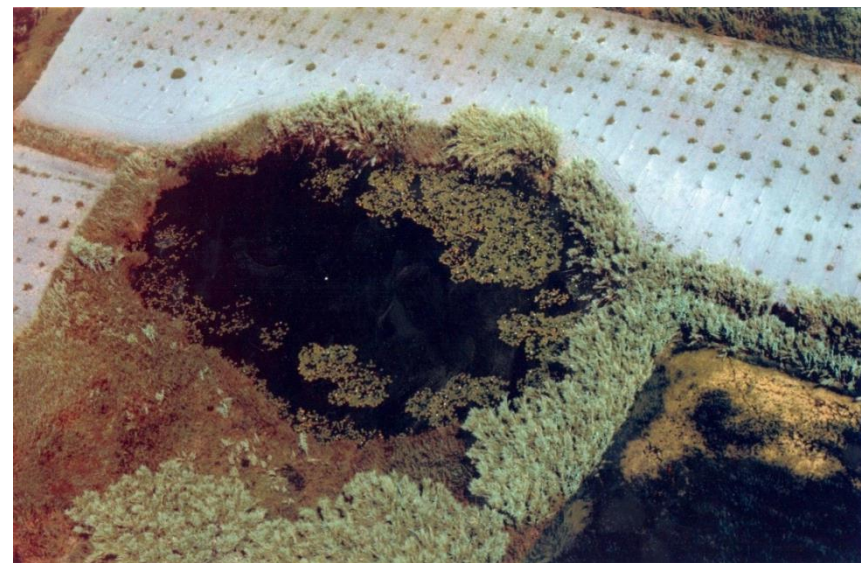
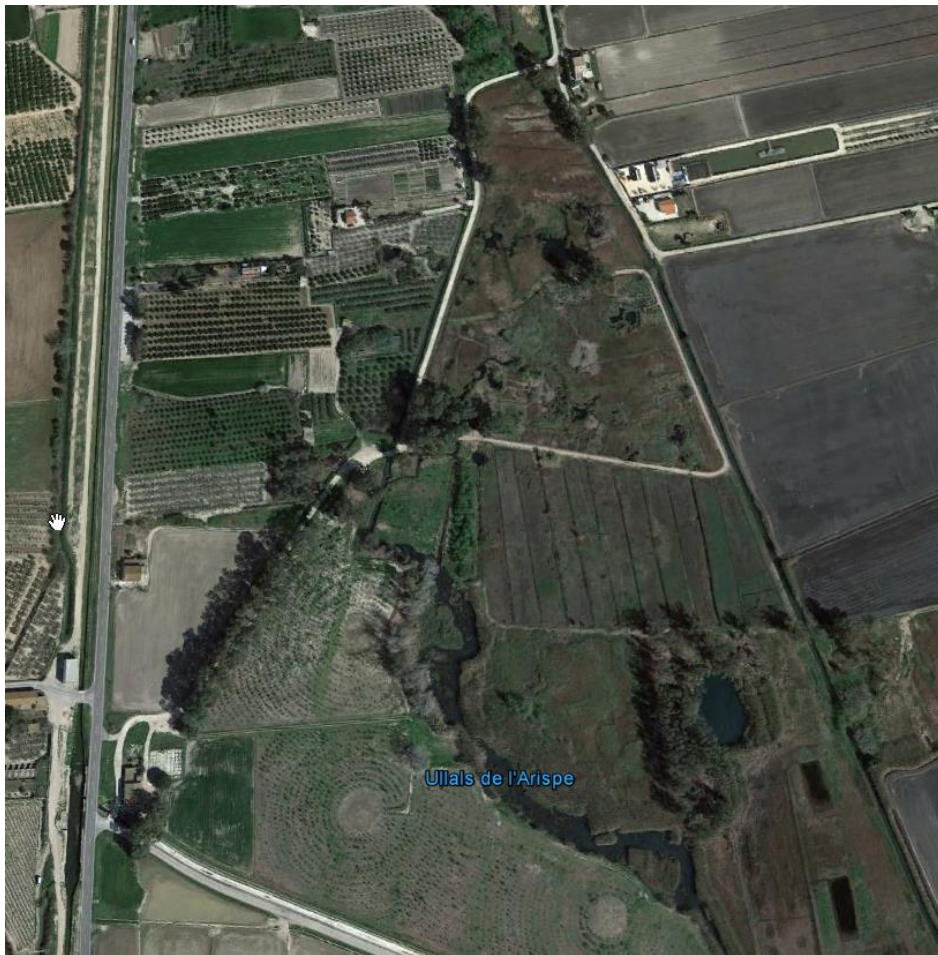


Nivel del mar cambiante  
Semiestable desde hace 8000 años



Deltas costeros recientes de Cataluña, NE peninsular español  
Descarga de agua subterránea al inicio de acuitardo intermedio

## Descarga de agua subterránea en el inicio del acuitardo intermedio



Borde interior de la margen derecha del delta de L'Ebre

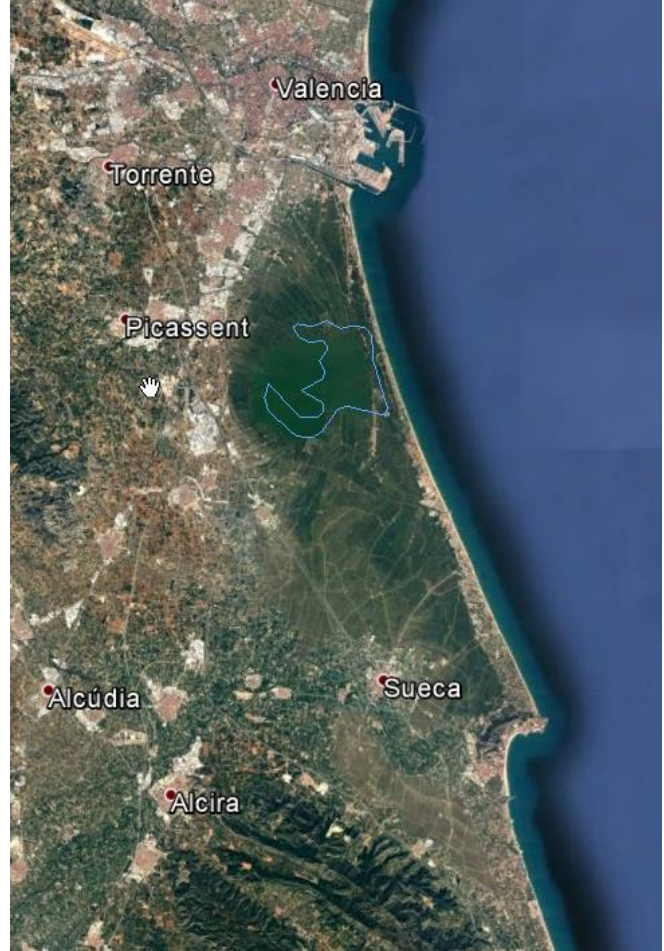
Ullals de l'Aríspe y Ullal de Baltasar

2018-Murcia-Mar Menor-15/29

# Humedales costeros en un delta en rápida evolución



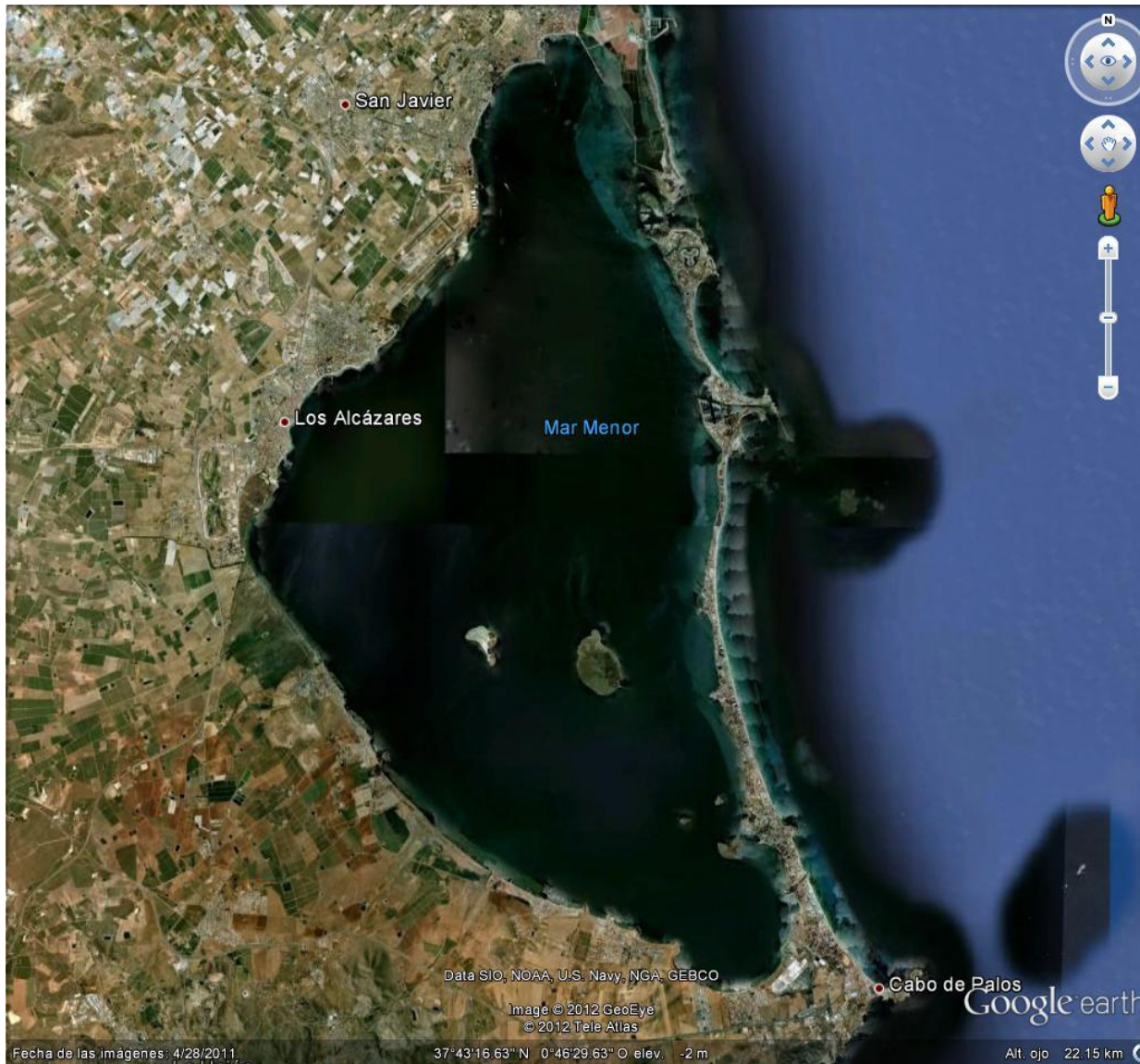
Humedales de la margen derecha del Delta de L'Ebre  
 Cauces abandonados, cordones dunares, albuferas en génesis



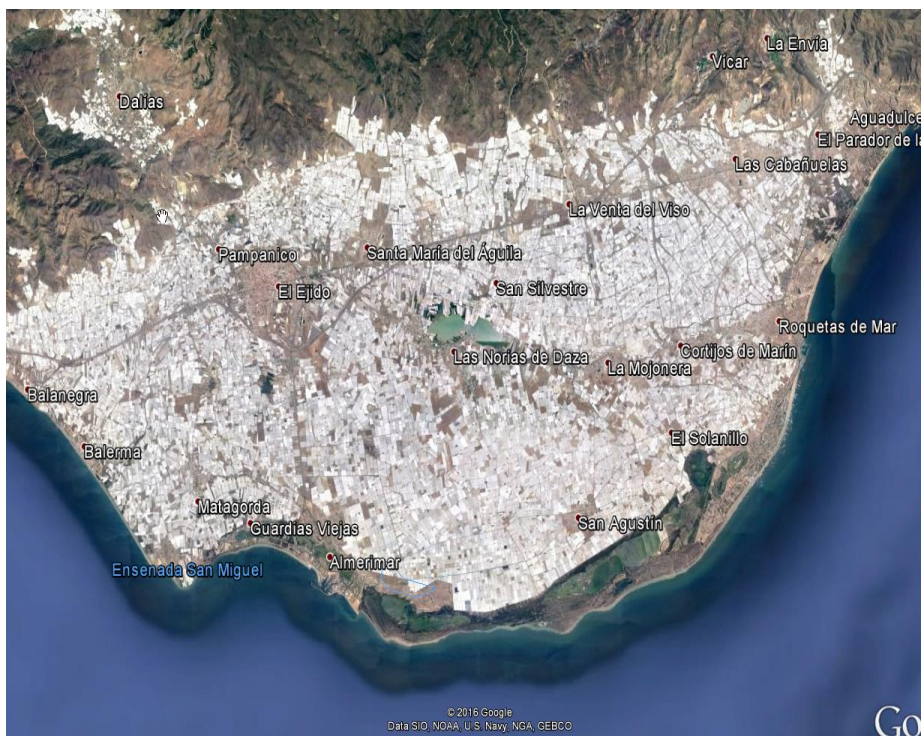
Albufera de Valencia.



# Campo de Cartagena y Mar Menor



# Humedales artificiales por excedentes de riego



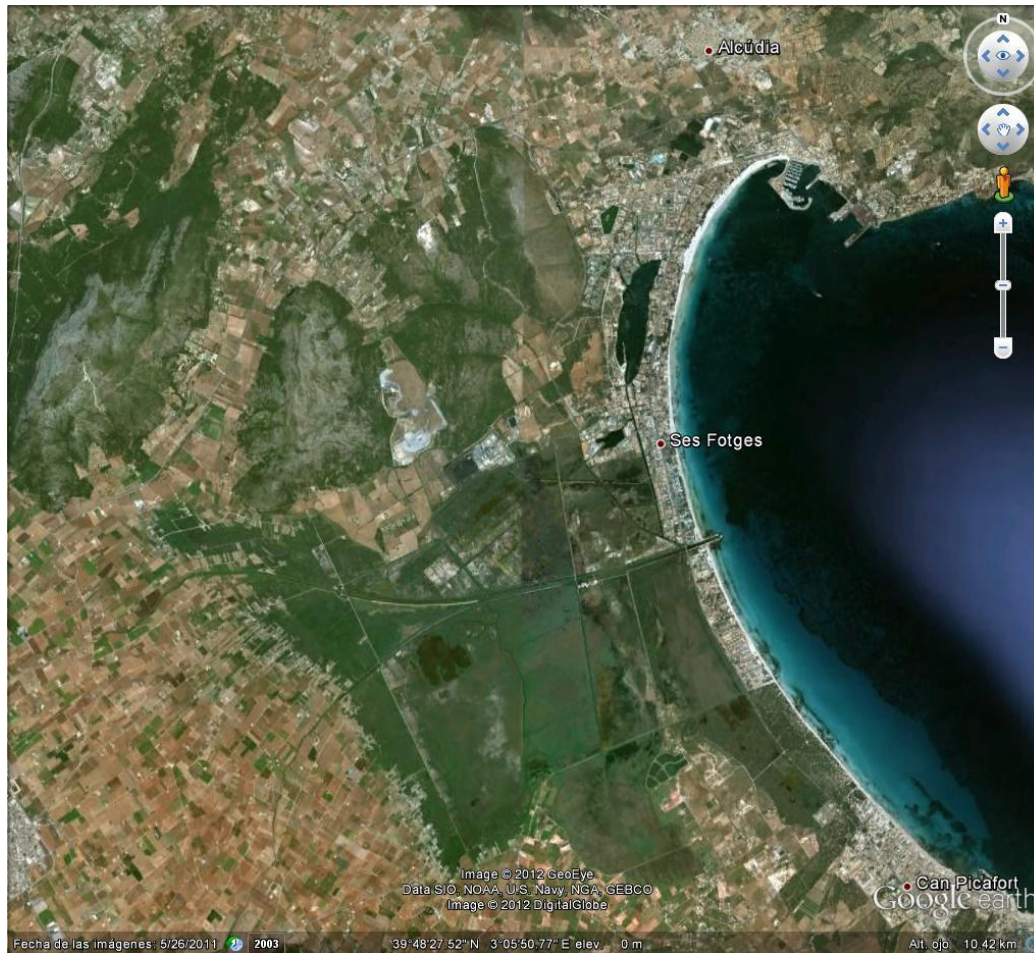
## Balsa del Sapo

Junto a las Norias de Daza

El Egido, Campo de Dalías, Almería

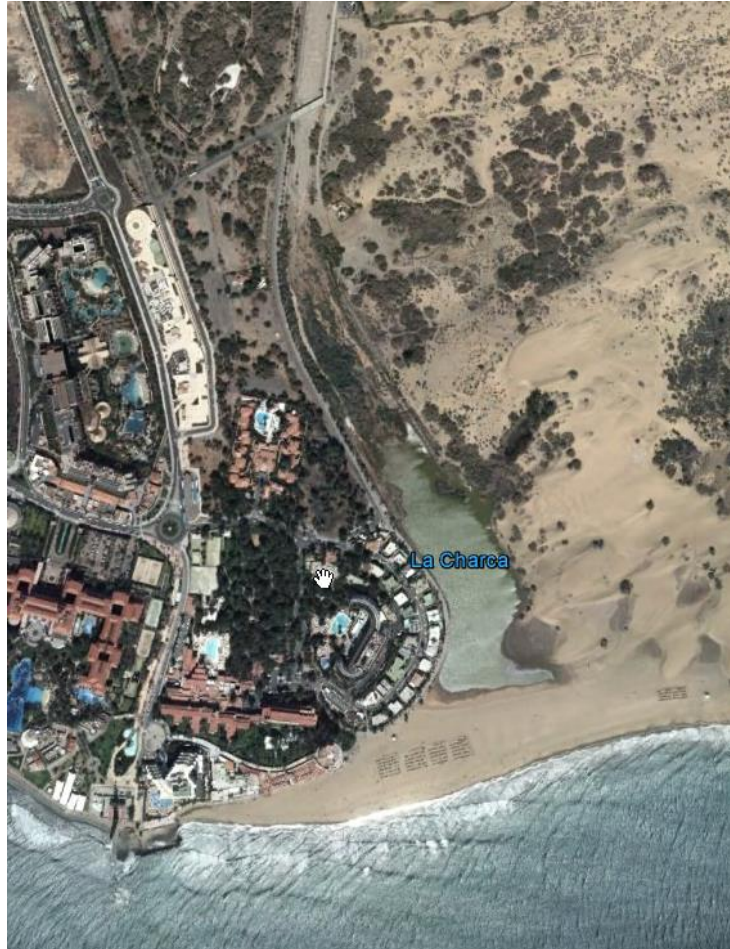
2018-Murcia-Mar Menor-18/29

# Humedales costeros de descarga de manantiales laterales



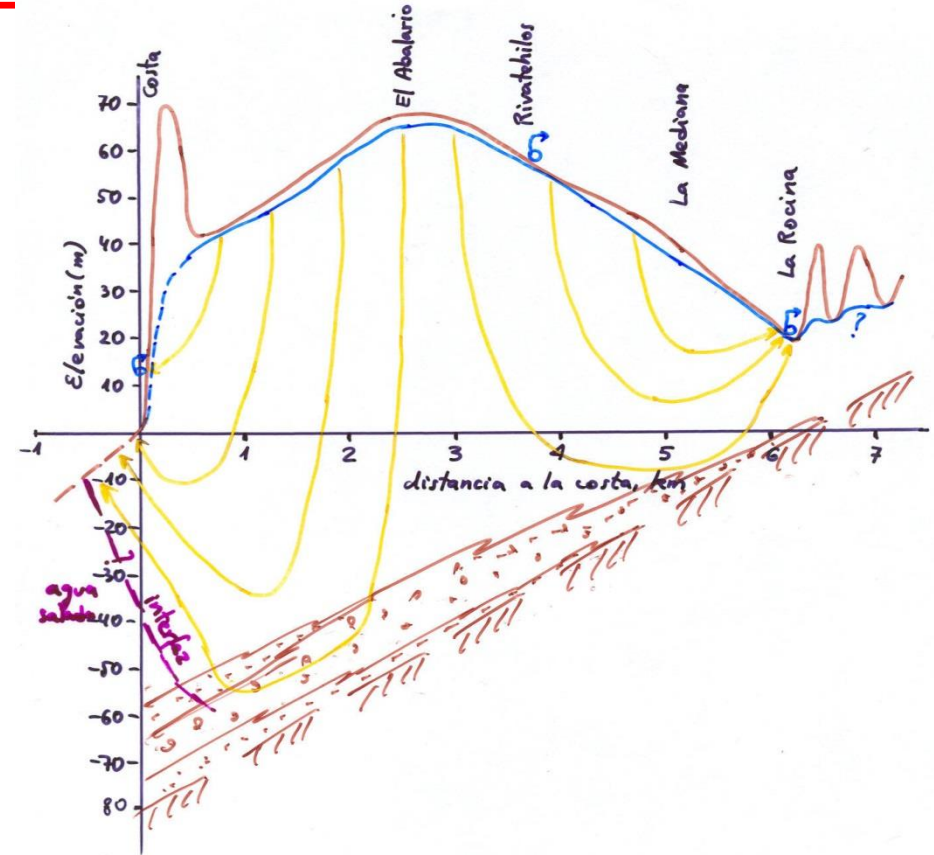
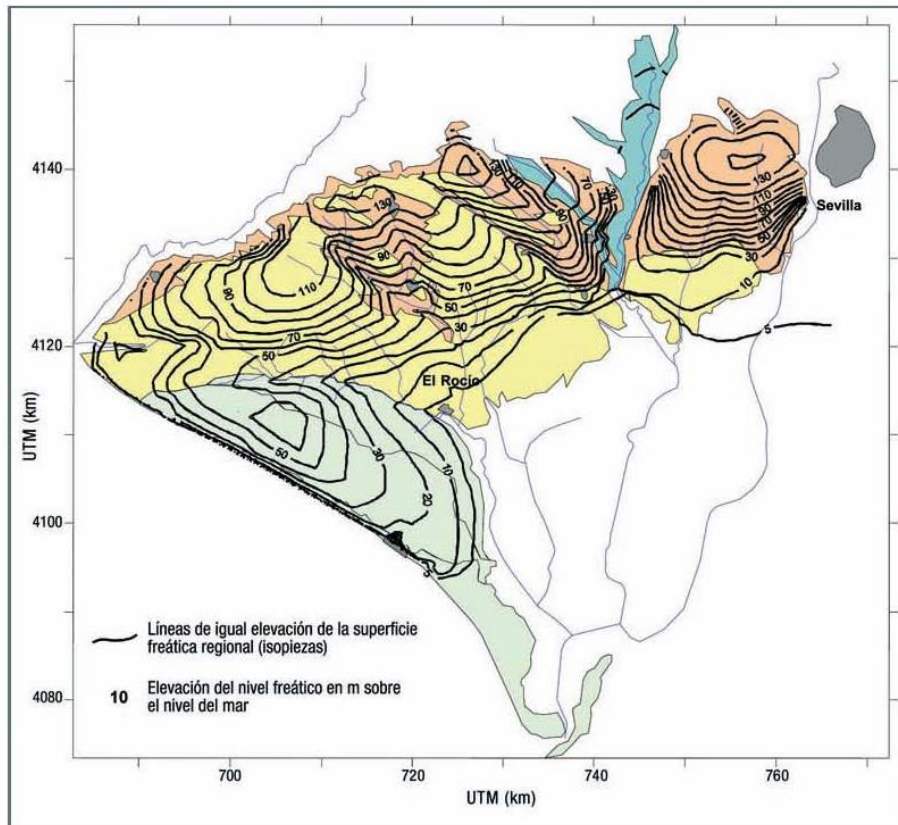
S'Albufera de Mallorca en época húmeda 2018-Murcia-Mar Menor-19/29

# Humedal costero residual de final de un barranco



Humedal muy alterado, de interés turístico  
Charca de Maspalomas, sur de Gran Canaria

# Flujo del agua subterránea en condiciones de marisma Humedales de Doñana



Mapa piezométrico del área total  
Valores en m  
Ajustado con un modelo numérico  
(UPC, 1999)

Perfil topográfico y piezométrico medio,  
perpendicular al mar pasando por El Abalario y  
Los Cabezudos (La Rocina)  
Indicativo, en estado no perturbado  
2018-Murcia-Mar Menor-21/29

# Efecto de la extracción de agua subterránea en los humedales vinculados

La extracción { produce beneficios  
causa externalidades

## Principales efectos

- Descenso de niveles
  - freáticos → son los significativos
  - piezométricos
- Cambio del régimen de fluctuación (hidroperiodo)
- Modificación
  - salinidad
  - composición química del agua
- Reducción de superficie de los humedales
- Modificación de flora
  - sustituciones
  - desapariciones

→ cambios en la fauna
- Desertificación local
- A veces
  - subsidencia de terreno
  - colapsos del terreno

# Efectos de las extracciones en Doñana: balances

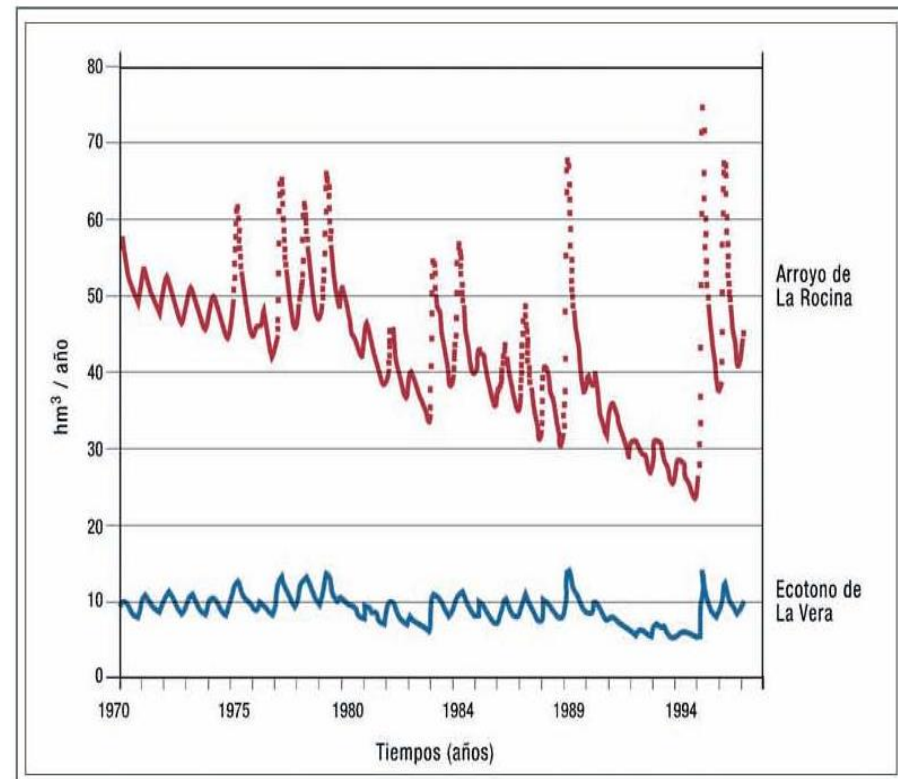
Balance, valores en hm<sup>3</sup>/a

Concepto	Condiciones	
	Naturales	Perturbadas(*)
Recarga	160–210	160–210
<b>Descargas</b>		
• evaporación freática	20–30	5–10
• a arroyos	60–80	10–20
• al ecotono N	10–15	0
• al ecotono S	25–30	10–20
• a la costa	45–55	30–40
• <b>extracción subterránea</b>	<b>0</b>	<b>105–120</b>

\*cuando se llegue a una nueva situación estacionaria (40–60 años)

Disminución de caudales por extracciones desde 1970  
+ al arroyo de La Rocina  
+ al ecotono oeste (La Vera)  
(Lozano, 2002)

**Evolución de niveles y caudales muy lenta; aún más la de calidad**



**Tiempo de semi-cambio → 20 años**

# Conocimiento y observación del agua subterránea y los drenajes en relación con los humedales

- Conocer el funcionamiento y comportamiento de un humedal es **complejo** → requiere tiempo, inversiones y progreso en las técnicas a aplicar
- Los mejores conocimientos y observaciones no son los más detallados → son los **necesarios** para evaluar la evolución, tomar decisiones acertadas de gestión y proteger, conservar y restaurar razonablemente
- Cada situación, su importancia relativa y valor de los bienes a conservar requieren un **determinado grado** de conocimiento y de observación
- Aplicar **técnicas apropiadas** al conocimiento necesario en cada caso
- Las **técnicas sencillas** pueden ser tan buenas como las más complejas, en función de la situación, necesidades y relevancia de la situación
- La **modelación matemática** suele ser una buena opción de conocimiento → pero si se parte de un pobre modelo conceptual, datos escasos y poco fiables, situaciones muy complejas mal simplificadas y malas condiciones para la calibración, la modelación puede ser poco útil, costosa y equívoca



# Estudio de los humedales que dependen del agua subterránea

## Aspectos específicos

- son rasgos de detalle en el contexto regional
- flujo 3–D, al menos en la parte de descarga
- el nivel freático es lo importante
- importancia de
  - relación aguas superficiales–subterráneas
  - uso de agua subterránea por vegetación
  - evaporación en superficie libre
- cuantificar las fluctuaciones
- conocer bien las áreas de recarga

## Se requiere conocimiento y observación

### 3–D del flujo en humedal y su entorno

### Al menos 2–D en área de alimentación del humedal

- piezometría
- hidrogeoquímica

### Identificar detalles que afectan al

- flujo
- transporte de masa

### Conocer efectos bio–físico–químicos en el humedal

### Evaluar en detalle el balance de agua

### Conocer bien

- extracciones
- efectos antrópicos
- modificaciones de uso del territorio

## Consideraciones

- Medir correctamente, con conocimiento
- Observar toda el área de influencia, discriminadamente
- Buen diseño del plan de observación y control
- No se requiere medidas en continuo o frecuentes
- Mediciones son costosas
- Involucrar en la medida a los usuarios y población
- Que los que se benefician de algún modo paguen gastos  
→ se benefician los que producen externalidades negativas
- Planificar y actuar teniendo en cuenta la lenta evolución
- Las actuaciones con visión a corto plazo pueden ser inútiles
- Hay situaciones no remediabiles con coste asumible
- El análisis de externalidades debe considerar todo
- Aprovechar obras existentes puede llevar a errores importantes

# Consideración reciente del papel de las aguas subterráneas en los humedales

- **Directiva Marco del Agua** europea del 2000
  - importancia de los humedales, aunque no claramente
- **Directiva Derivada del Agua Subterránea** de 2006 → aún es insuficiente
- **Notable progreso en:**
  - consideración del papel de las aguas subterráneas en los humedales y su dependencia
  - definición y clasificación de **servicios ecológicos** a la sociedad
  - intentos de valoración económica
- Planes Hidrológicos → censar, caracterizar y dar normas sobre los humedales
- Avance considerable con los **Objetivos del Milenio** de Naciones Unidas al iniciarse el siglo XXI
- **Proyectos significados** en relación entre aguas subterráneas y humedales
  - \*IGCP604/UNESCO (Iberoamérica y la Península Ibérica) ([Bocanegra y otros](#))
  - \*Met-Partnership de UN/GEF a cargo de UNESCO
    - humedales en acuíferos costeros del área mediterránea ([Manzano y otros](#))

## Conceptos y aspectos que han ayudado a considerar la relación entre el agua subterránea y los humedales

- Basta un **conjunto breve de ideas básicas** para explicar el comportamiento de la gran diversidad de situaciones
- Los humedales están en **evolución temporal**, a veces rápida  
→ la conservación en estado estacionario puede no tener sentido  
→ muchos humedales son **efímeros**
- Definir e identificar los tipos de **servicios** ecológicos asociados a la existencia de un humedal
- Existen beneficios, externalidades positivas y negativas asociadas a la coexistencia y **competencia** de usos que afectan al humedal y a su área de recarga
- Un humedal es un **bien social** → compatibilizar con la satisfacción de otras necesidades humanas
- Hay diversas **escalas espaciales y temporales** para el conocimiento, protección y gestión de los humedales y para la consideración de lo que influye en ellos → **considerar el área de recarga in extenso**
- La relación con las aguas subterráneas requiere una **visión a largo plazo**

# Proyectos MASE, SASMIE y RAEMIA

**Realización:** Dpto. Ing. Civil y Ambiental, Universidad Politécnica de Cataluña (UPC)

**Colaboración económica:** AQUALOGY / SUEZ SOLUTIONS

**Supervisión :** CETAQUA

**Objetivo :** Preparar Informes sobre el estado del arte y sus implicaciones

**MASE: 2013-2015.- Aspectos hidrológicos, ambientales, económicos, sociales y éticos del consumo de reservas de agua subterránea en España: minería del agua subterránea en España**

Levante Español: Sur de Alicante, Murcia y Almería

Canarias: Gran Canaria y Tenerife

(<http://hdl.handle.net/2117/111272>)

**SASMIE: 2015-2017.- Salinización de las aguas subterráneas en los acuíferos costeros mediterráneos e insulares españoles**

Costa mediterránea peninsular ibérica

Archipiélagos Balear y de Canarias (Ceuta y Melilla)

(<http://hdl.handle.net/2117/111515>)

**RAEMIA: 2017-2019.- Recarga a los acuíferos españoles: metodología empleada y soporte de la isotopía del agua**

Todo el territorio español y referencias periféricas

# Results and lessons learned from the analysis of groundwater-related coastal wetlands and ecosystem services evaluated in the GEF MedPartnership project

M. Manzano<sup>(1)</sup>, A. Camacho<sup>(2)</sup>, E. Custodio<sup>(1)</sup>, A. de la Hera<sup>(4)</sup>, A. Aureli<sup>(5)</sup>, R.M. Stephan<sup>(3)</sup>, M. Lagod<sup>(3)</sup>

Abstract n° 2272

## Context & aims

Work developed between 2012 and 2015 within the activity *Implementation of eco-hydrology applications for management and protection of coastal wetlands*, which was part of the component *Management of coastal aquifers and groundwater* of the GEF/UNEP-MAP project. *Strategic Partnership for the Mediterranean Sea Large Marine Ecosystem*. Aims of the work:

- (i) To compile the existing knowledge on the geology, hydrology, and ecosystem services of a set of representative Mediterranean groundwater-related coastal wetlands (GRCW) in a way that could be useful for water and land managers; (ii) to propose guidelines and recommendations for the evaluation and integrated management of Mediterranean GRCW; (iii) to generate a new conceptual framework integrating hydrogeological, ecosystem, and management issues with respect to Mediterranean GRCW.

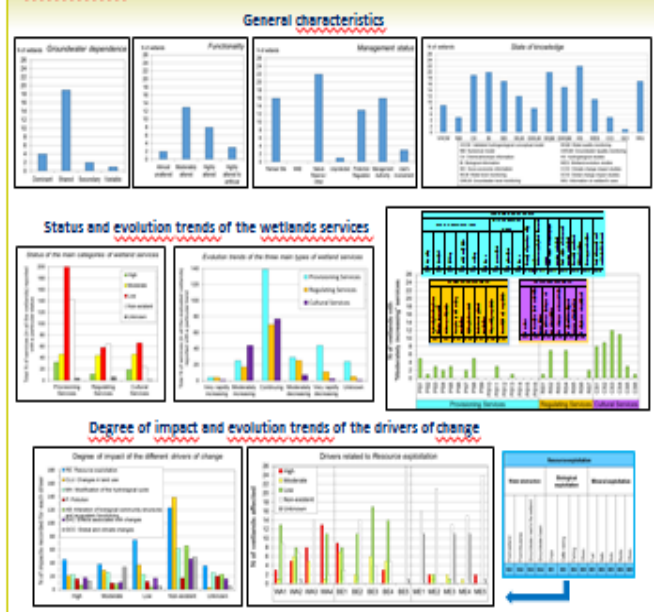
## Methods

- Elaboration of a **Regional Report** (UNEP-MAP UNESCO-IHR, 2015a) on management and protection of Mediterranean GRCW and their services addressing basic conceptual and practical aspects to be considered for a better management of GRCW and their services, and guidelines and recommendations for GRCW evaluation and integrated management.
- Compilation of physical, morphological, geological and hydrogeological information on wetlands, their ecosystem services and the drivers of change to wetlands functioning, on 26 representative Mediterranean coastal wetlands linked to groundwater. Three dedicated **Questionnaire Forms** were designed: **General data**, **Ecosystem services** and **Drivers of change**. The forms were completed by National Experts from the countries of the MedPartnership project.
- Elaboration and analysis of the information compiled and preparation of a **Technical Report** (UNEP-MAP UNESCO-IHR, 2015b) on wetlands characteristics and the status of their services, and of a **Map on hydrogeological and ecosystem services classification of representative Mediterranean groundwater-related wetlands** (IGME UNEP-MAP UNESCO-IHR, 2015).

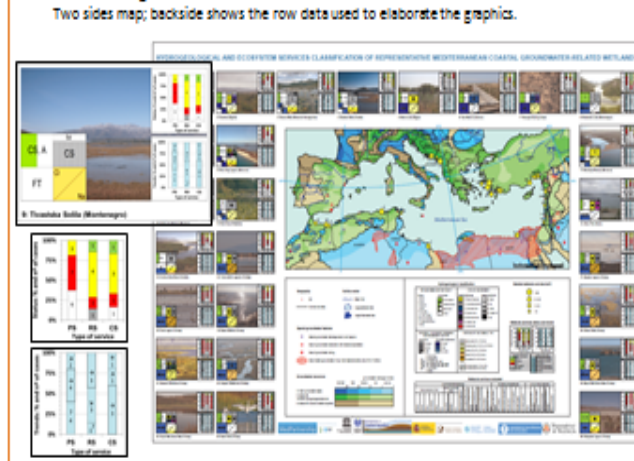
## Outputs

- UNEP-MAP UNESCO-IHR (2015a). *Management and protection of Mediterranean groundwater-related coastal wetlands and their services*. **Regional Report**. Several **Working Papers**. Coord.: M. Manzano. 501pp. UNESCO-IHR, Paris. 130 p. (<http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002252/225225e.pdf>)
- UNEP-MAP UNESCO-IHR (2015b). *Main hydrogeological characteristics, ecosystem services, and drivers of change of 26 representative Mediterranean groundwater-related coastal wetlands*. **Technical Report**. M. Manzano, A. Camacho, E. Custodio and A. de la Hera. 501pp. UNESCO-IHR, Paris. 46 p. (<http://info.igme.es/cartograficadigital/datos/MedPartnership/Documentacion/Map2015Report.pdf>)
- IGME UNEP-MAP UNESCO-IHR (2015). *Hydrogeological and ecosystem services classification of representative Mediterranean groundwater-related wetlands*. **Map and explanation**. (<http://info.igme.es/cartograficadigital/datos/MedPartnership/Documentacion/Map2015Report.pdf>)

## Wetlands, Services and Drivers of change



## Map on hydrogeological and ecosystem services classification of representative Mediterranean groundwater-related wetlands



## Conclusions

- The integrated evaluation of hydrogeology and ecosystem services of 26 representative Mediterranean groundwater-related coastal wetlands showed that:
- Groundwater plays different but relevant roles in all the wetlands, which suggest that it is a main supporting factor to the functioning of most of the coastal Mediterranean wetlands.
  - Despite being highly protected areas, all the Mediterranean groundwater-related coastal wetlands evaluated have their functionality altered in different degrees due mostly to intensive water resources exploitation, changes in land use, and modification of the hydrological cycle.
  - Most of the provisioning, regulating and cultural services assessed are performing at a low level with respect to their contribution to human wellbeing in the studied wetlands.
  - Although many of the services were characterized as 'non-existent', there are strong reasons to believe that this characterization is not accurate.
  - A main lesson learned is that there is abundant and good-quality technical and scientific information available to evaluate the ecosystem services. However, in order to draw the most benefit from these resources, it is necessary for those responsible for monitoring and assessing wetlands and groundwater and their services to have a sound training on ecosystem services and groundwater hydrology, and furthermore to be familiar with the connections between groundwater resources, ecosystem services and human well-being.

(1) Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), Spain. E-mail: marisol.manzano@upct.es  
 (2) Universidad de Valencia (UV), Spain. E-mail: antonio.camacho@uv.es  
 (3) Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), Spain. E-mail: emilio.custodio@upc.edu  
 (4) Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Spain. E-mail: a.delahera@igme.es  
 (5) UNESCO International Hydrological Programme (IHP), France. E-mail: a.aureli@unesco.org  
 raya.stephan@yahoo.com; matthielagod@cloud.com