

Intensive use of groundwater in SE Spain, and consequences: The Interreg EuroMed "Clepsydra" project.

José Luis García Aróstegui

Senior researcher at the Geological and Mining Institute of Spain (IGME-CSIC).

j.arostegui@igme.es

Associate Lecturer in Hydrology. University of Murcia

j.arostegui@um.es



Study Trip “Water reuse in practice: Co-
existence with water scarcity in the Region
of Murcia in Spain”.
23-25 April 2024



- Groundwater is the most important water resources in the world (aquifers contain almost 96 % of the planet's freshwater, except ice).

- According to the UNESCO (2009), globally,
 - 65 % of groundwater is devoted to irrigation
 - 25 % to the supply of drinking water and
 - 10 % to industry.

- Aquifers account for more than 70% of water used in the European Union and are often **one of the only sources in arid and semi-arid regions**, namely 100 % in Saudi Arabia and Malta, 95 % in Tunisia, 90% in Mongolia and 75% in Morocco.

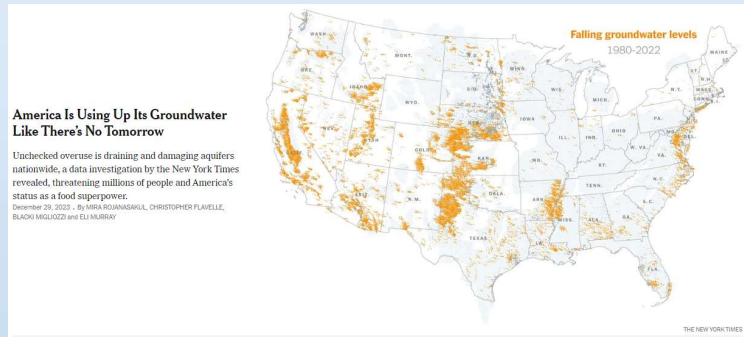
- **Irrigation systems** in many countries depend heavily on groundwater resources such as 90% in the Libyan Arab Jamahiriya, 89% in India, 84% in South Africa and 80% in Spain.

- Due to grow of population, economic activity and agricultural irrigation, **the demand for water resources is rising up** and more than 30 countries suffer from serious chronic water shortage and groundwater use is increasingly to cover the demand.
- Those situations regarding groundwater resources have caused many **socioeconomic groundwater problems** such as water level decline, salinization, land subsidence and groundwater pollution.
- **Groundwater resource problems in arid and semi-arid regions** are characterized specifically that the highest water stress, shortage in surface water, variability of groundwater recharge rate, scare of basic hydrological data and poor management of groundwater resources.

Rapid groundwater decline and some cases of recovery in aquifers globally

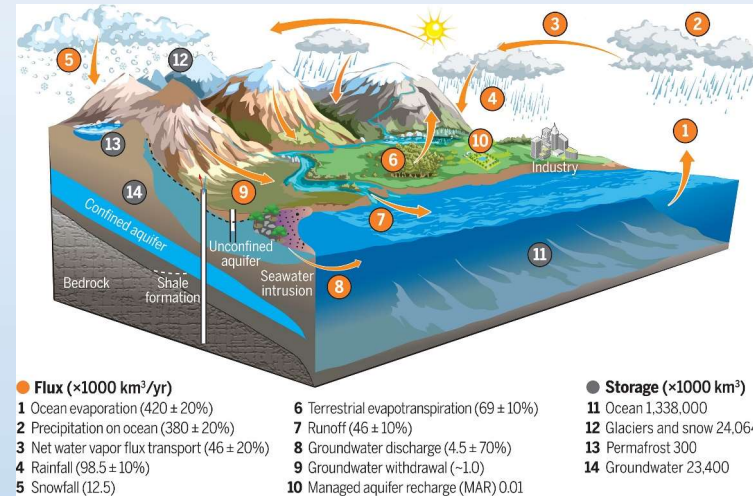
[Scott Jasechko](#) , [Hansjörg Seybold](#), [Debra Perrone](#), [Ying Fan](#), [Mohammad Shamsudduha](#), [Richard G. Taylor](#), [Othman Fallatah](#) & [James W. Kirchner](#)

Nature **625**, 715–721 (2024) | [Cite this article](#)



Important scientific contributions highlight the problem of groundwater depletion.

SCIENCE • 1 Mar 2024 • Vol 383, Issue 6686 • DOI: 10.1126/science.adf0630



Science

Simplified global water cycle with its components.

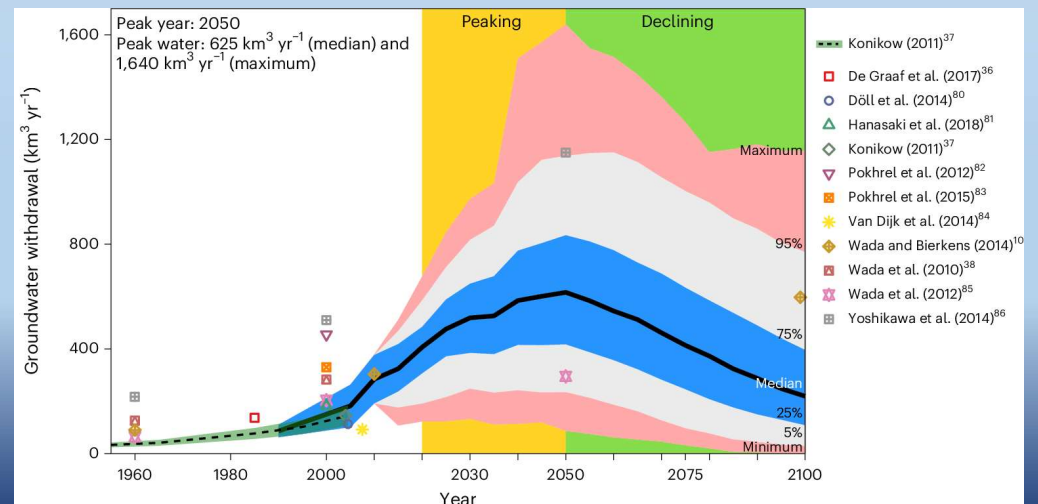
Groundwater is becoming increasingly more dynamic in the global water cycle.

Global peak water limit of future groundwater withdrawals

Received: 24 May 2023
Accepted: 6 February 2024
Published online: 22 April 2024
[Check for updates](#)

[Hassan Niazi](#)¹, [Thomas B. Wild](#)¹, [Sean W. D. Turner](#)², [Neal T. Graham](#)³, [Mohamad Hejazi](#)⁴, [Siva Msangji](#)⁵, [Son Kim](#)⁶, [Jonathan R. Lamontagne](#)⁷ & [Mengqi Zhao](#)⁸*

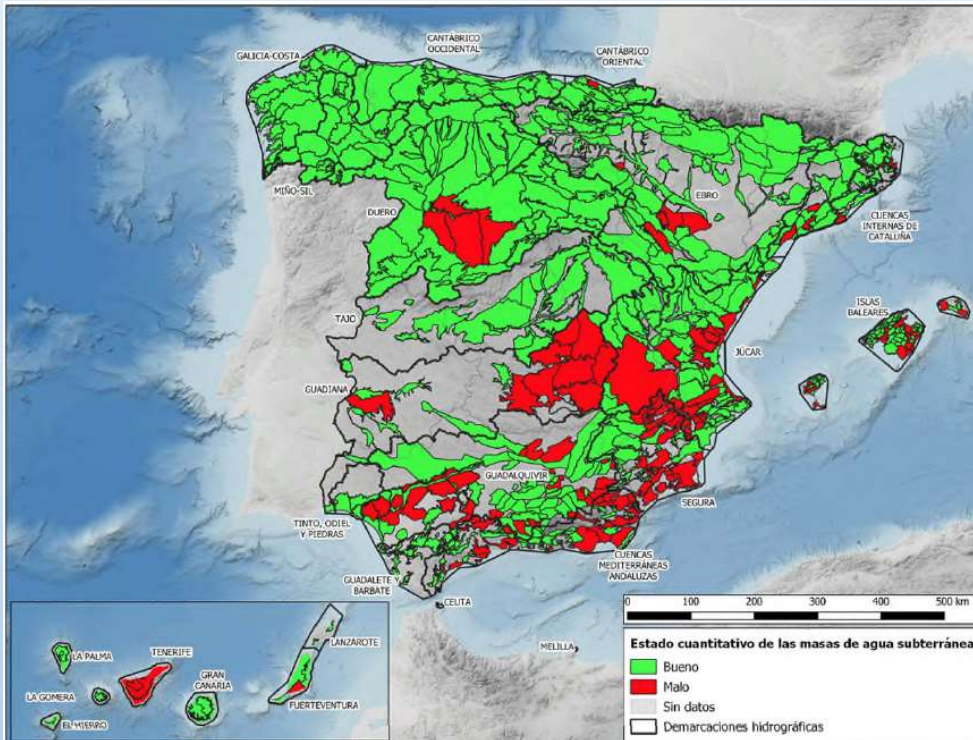
Over the past 50 years, humans have extracted the Earth's groundwater stocks at a steep rate, largely to fuel global agro-economic development. Given society's growing reliance on groundwater, we explore 'peak water limits' to investigate whether, when and where humanity might reach peak groundwater extraction. Using an integrated global model of the coupled human–Earth system, we simulate groundwater withdrawals across 235 water basins under 900 future scenarios of global change over the twenty-first century. Here we find that global non-renewable groundwater withdrawals exhibit a distinct peak-and-decline signature, comparable to historical observations of other depletable resources (for example, minerals), in nearly all (98%) scenarios, peaking on average at 625 km³ yr⁻¹ around mid-century, followed by a decline through 2100. The peak and decline occur in about one-third (82) of basins, including 21 that may have already peaked, exposing about half (44%) of the global population to groundwater stress. Most of these basins are in countries with the highest current extraction rates, including the United States, Mexico, Pakistan, India, China, Saudi Arabia and Iran. These groundwater-dependent basins will probably face increasing costs of groundwater and food production, suggesting important implications for global agricultural trade and a diminished role for groundwater in meeting global water demands during the twenty-first century.



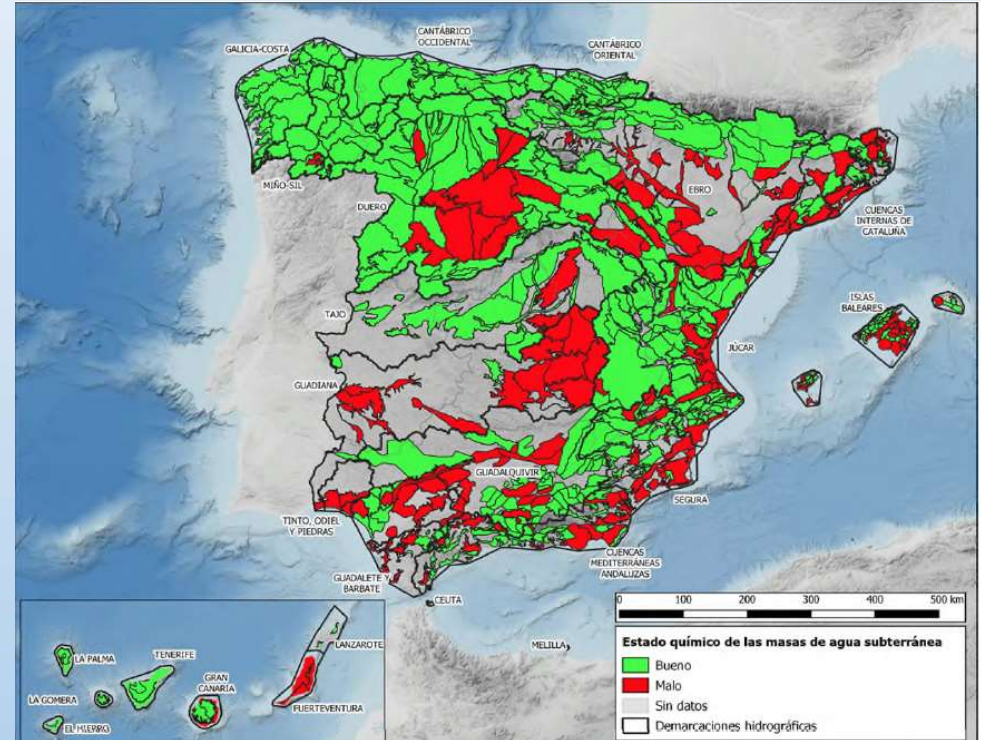
Groundwater status in Spain.

River basin management plans 2022-2027

(Source: MITECO en Plan de Acción de aguas subterráneas, feb-2023)



QUANTITATIVE STATUS
25% in bad status (203 over 804)



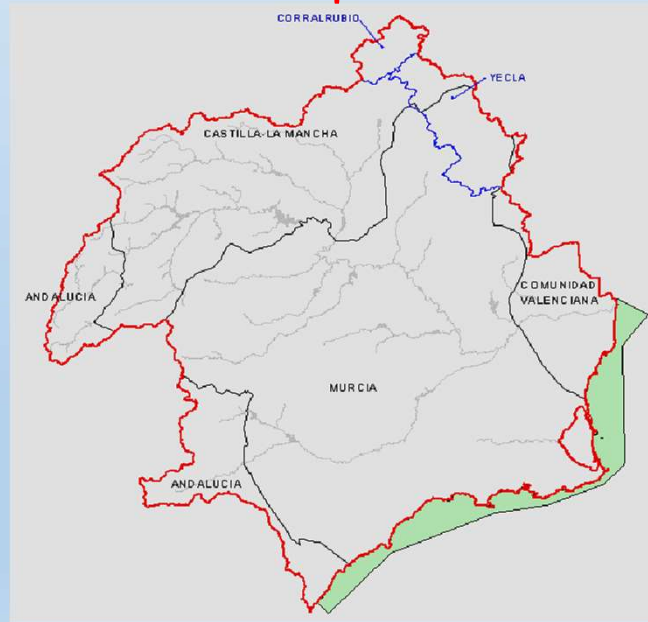
CHEMICAL STATUS
33% in bad status (263 over 804)

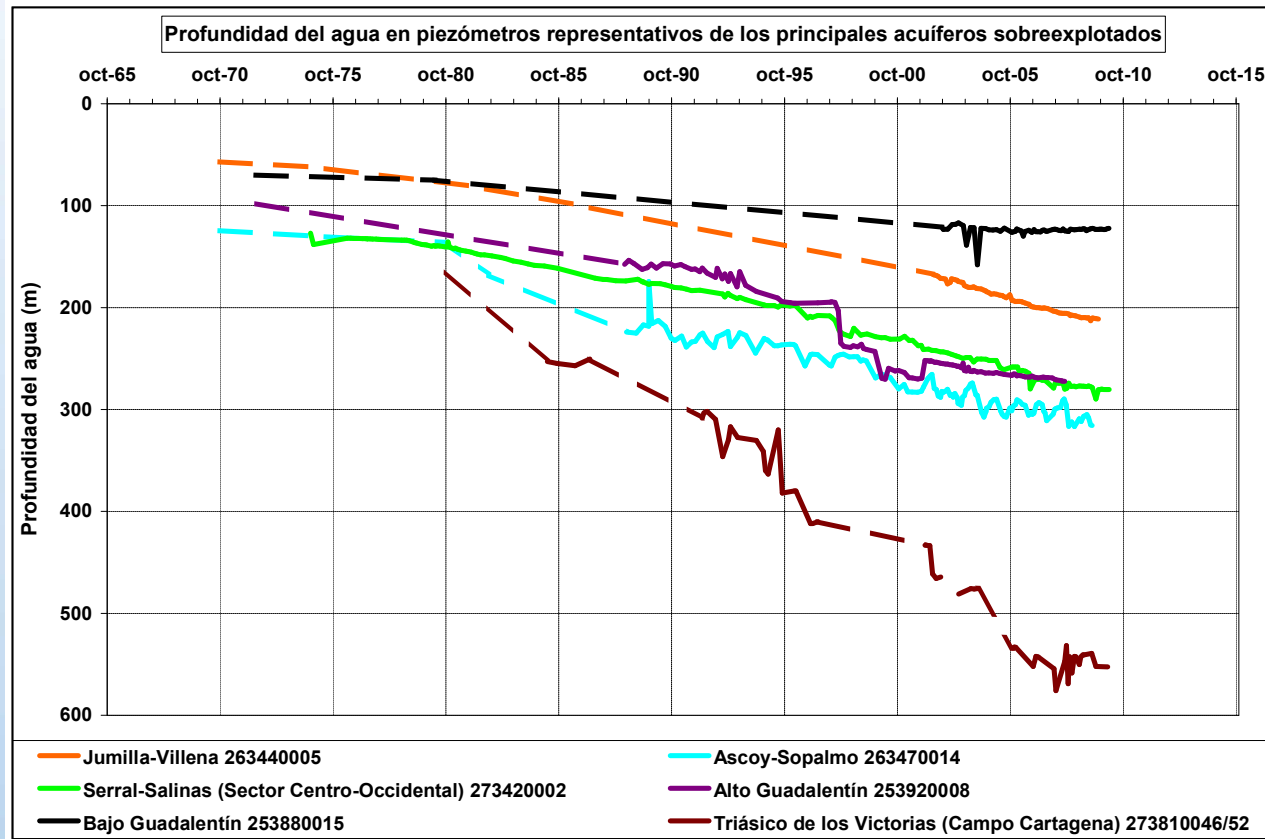
El objetivo central de la DMA es alcanzar el buen estado de las masas de agua y zonas protegidas asociadas, así como prevenir su deterioro.



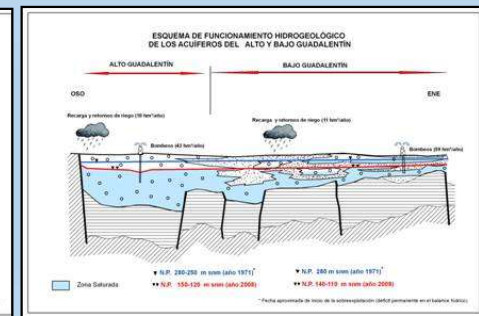
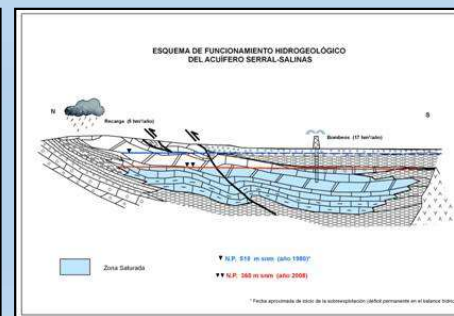
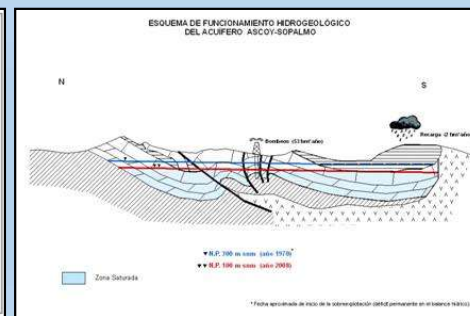
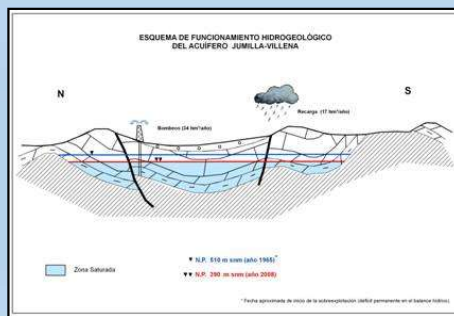
Autonomous Communities

Basin districts

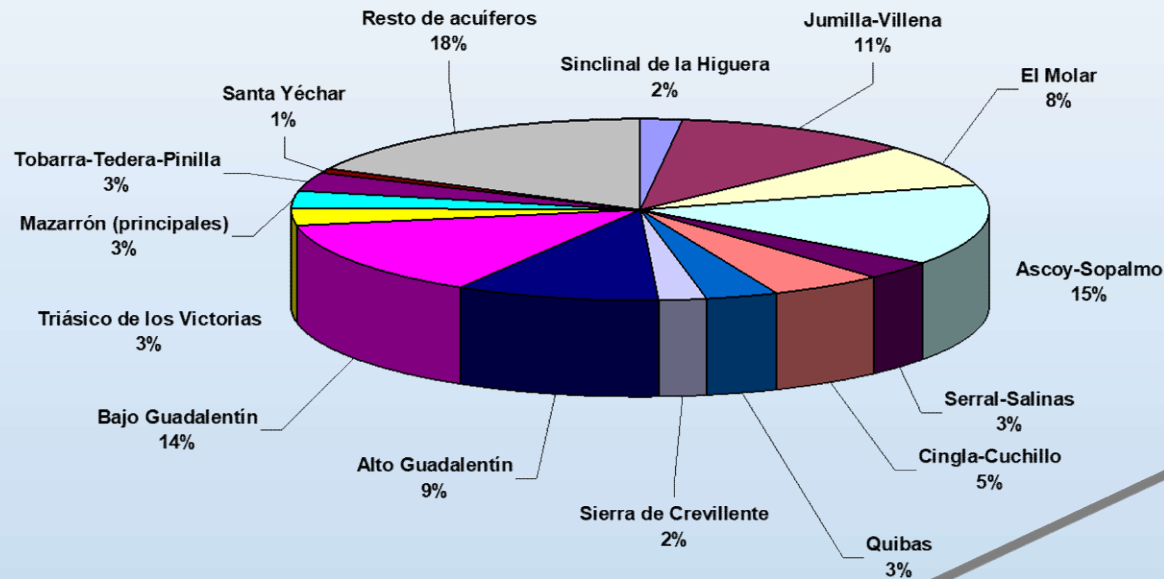




In some aquifers, groundwater levels have dropped more than 400 m.



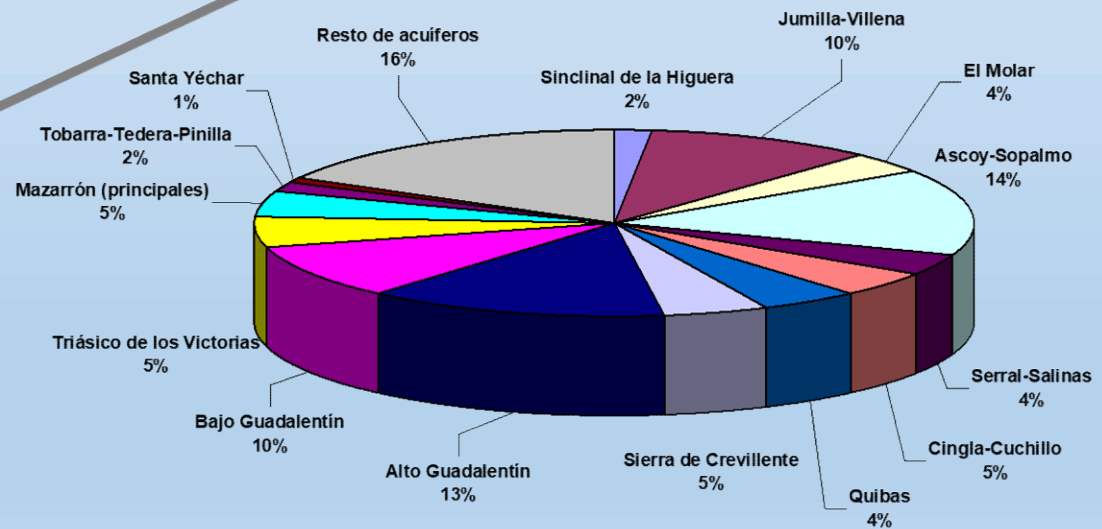
4 acuíferos account for 50% of overexploitation



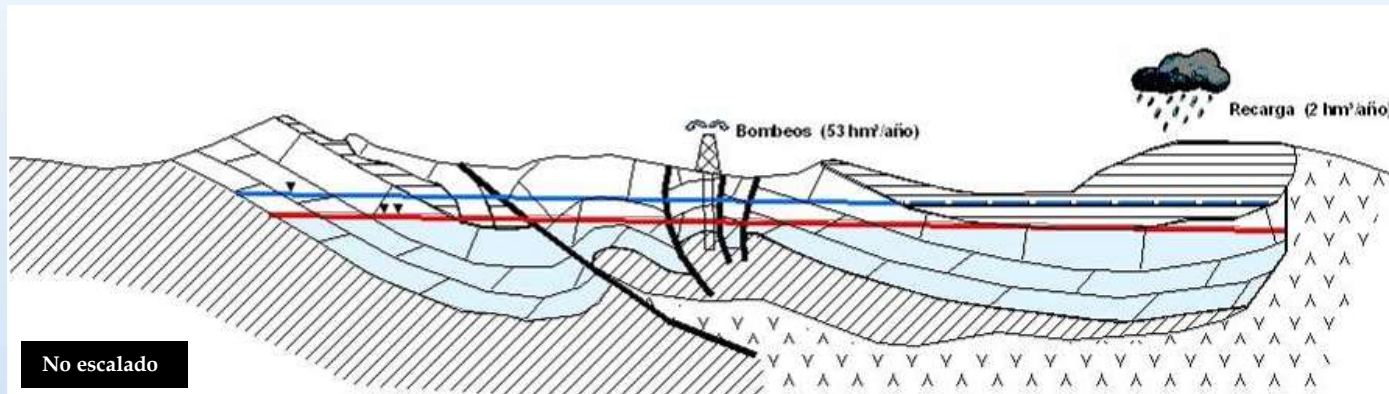
4 acuíferos totalizan casi el 50%

Vaciado de reservas

(en 2009)



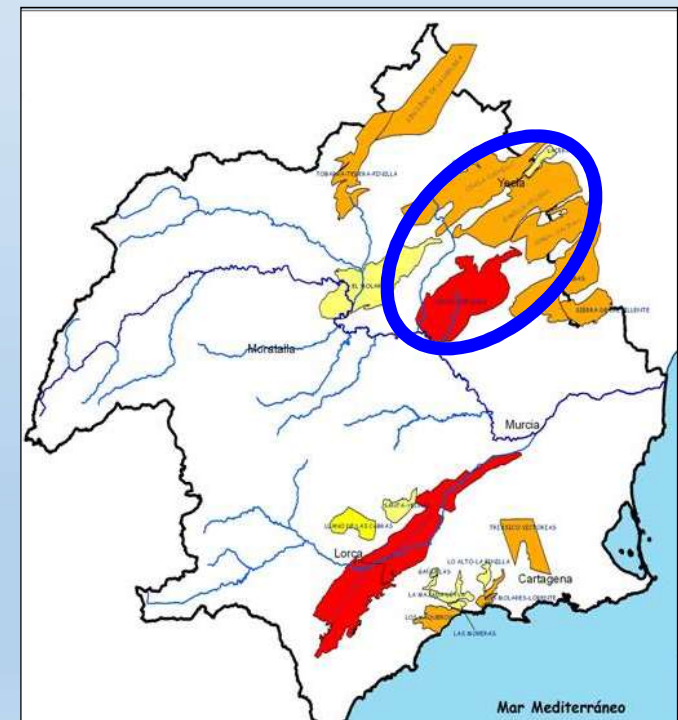
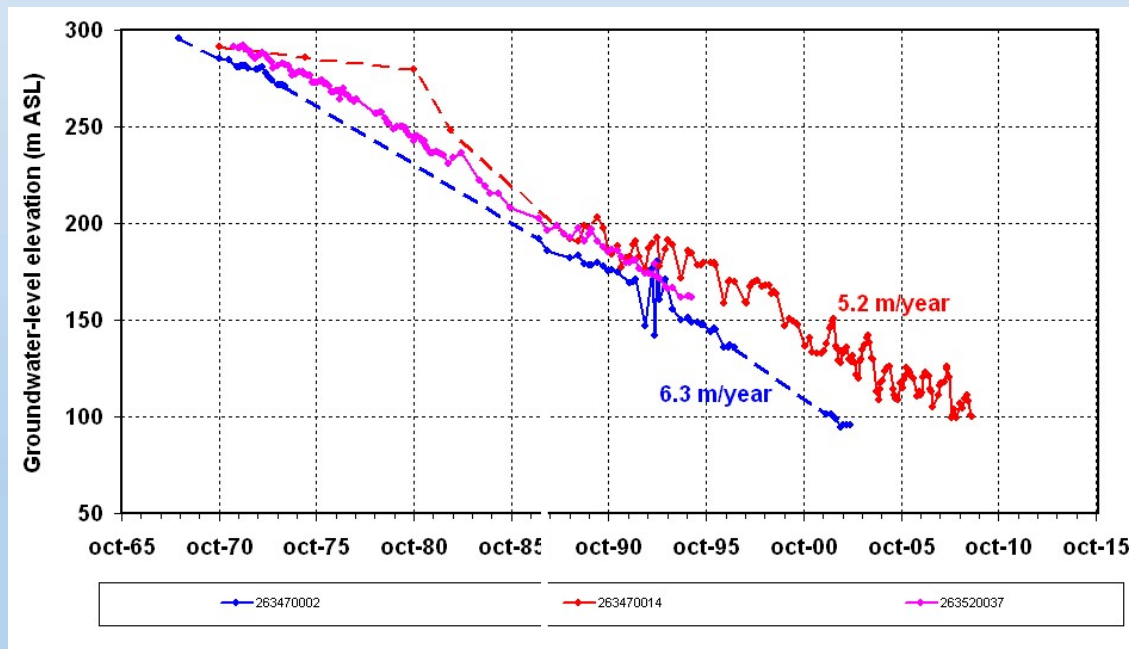
Ascoy-Sopalmo Acuífero



Groundwater depletion 1.8 km³



Mar Menor
610 hm³



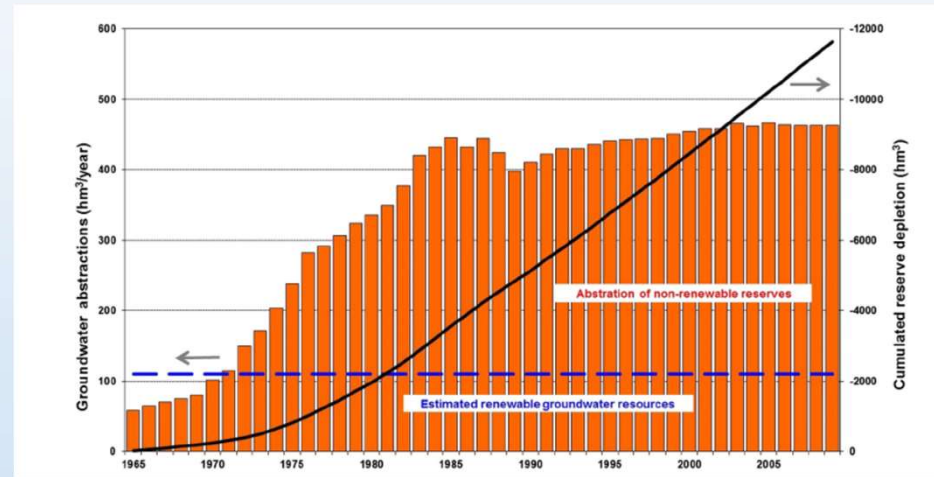
Declarado oficialmente sobreexplotado el 7 enero 1987



Groundwater intensive use and mining in south-eastern peninsular Spain: Hydrogeological, economic and social aspects

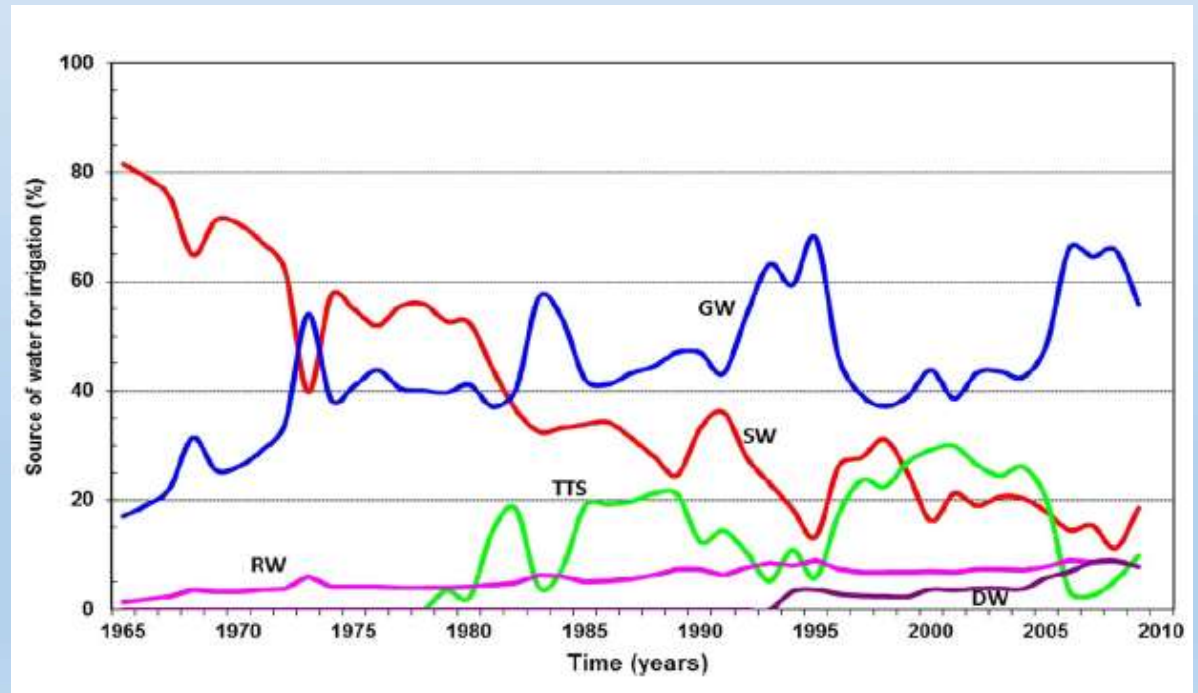
Emilio Custodio ^a, José Miguel Andreu-Rodes ^b, Ramón Aragón ^c, Teodoro Estrela ^d, Javier Ferrer ^d, José Luis García-Aróstegui ^{c,e}, Marisol Manzano ^{f,g}, Luis Rodríguez-Hernández ^h, Andrés Sahuquillo ^h, Alberto del Villar ⁱ

^a Real Academia de Ciencias de España and Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), Gran Capitán s/n, Ed. D2, 08034 Barcelona, Spain
^b Universidad de Alicante (UA), Carretera de San Vicente del Raspeig s/n, 03690 San Vicente del Raspeig, Alicante, Spain
^c Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Avda. Miguel de Cervantes 45, 5^a A, Edificio Expo Murcia, 30009 Murcia, Spain
^d Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), Avenida Blasco Ibáñez 48, 46010, Valencia, Spain
^e Instituto Geológico y Minero de España and Facultad de Biología, Universidad de Murcia (UM), Campus Espinardo, 30100 Murcia, Spain
^f Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), P^o de Alfonso XIII 52, 30203 Cartagena, Spain
^g Diputación de Alicante, Avda. de la Estación 6, 03005 Alicante, Spain
^h Real Academia de Ciencias de España and Universidad Politécnica de Valencia (UPV), Camino de Vera s/n, 46071 Valencia, Spain
ⁱ Universidad de Alcalá de Henares (UAH), Plaza de la Victoria 2, 28802 Alcalá de Henares, Spain



Approximate percent contribution of each water source to water demand for irrigation in the Segura river basin.

SW=Surface water,
 GW=groundwater,
 TTS=imported water from the Tagus river basin,
 RW= reclaimed urban water,
 DW= desalinated seawater.



The CLEPSYDRA project addresses the qualitative problems of groundwater in different Mediterranean case studies.

CLEPSYDRA Interreg Euro-MED

“Groundwater monitoring and Decision Support System development to optimize decision-making in sensitive and water-scarce agricultural environments in the Mediterranean context”



Clepsydra

Interreg
Euro-MED



Co-funded by
the European Union



General Overview

Acronym	Cepsydra
Project title	Clepsydra - Groundwater monitoring and Decision Support System development to optimize decision-making in sensitive and water-scarce agricultural environments in the Mediterranean context
Duration	33 months
Starting date	01/01/2024 [end date (incl. final report) is: 30/09/2026]
Project priority	Smarter MED
Specific objective	RSO1.1: Develop and improve innovation capabilities and the adoption of advanced technologies.
Mission of the program:	Strengthen a sustainable and innovative economy
Category	Test Project
Funded budget	2.078.920,08€
Total Budget	2.598.650,10€



Partnership

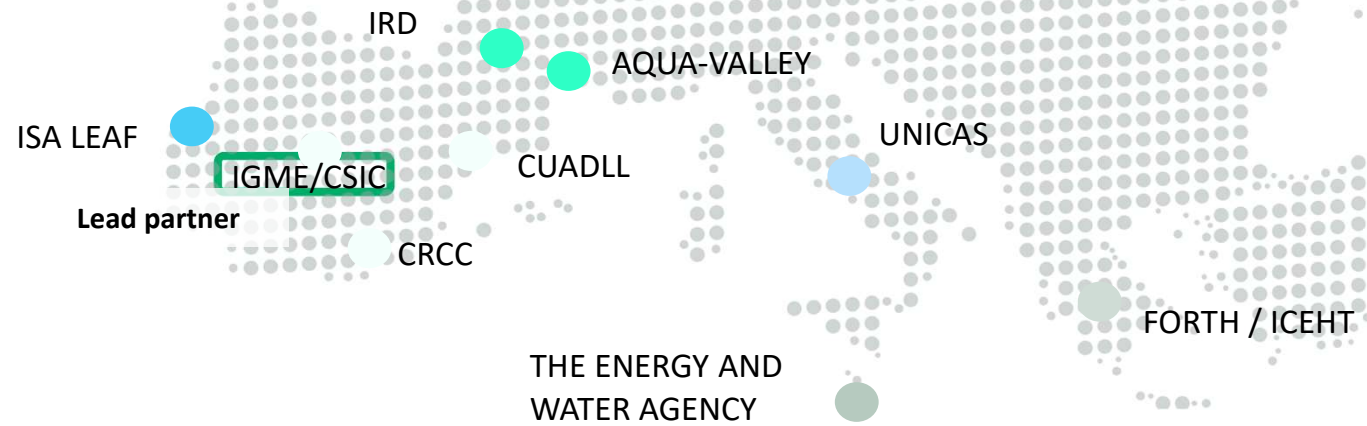
Public authorities

Academia

Agriculture

Groundwater users

Water cluster.



“Dominios hidrogeológicos”

(denominación no oficial basada en las antiguas UUHH)

Alto Segura

- Acuíferos carbonatados
- Niveles estables a ligeramente descendentes

Prebético

- Acuíferos carbonatados
- Niveles fuertemente descendentes (salvo Sinclinal de Calasparra)

Guadalentín-Vegas del Segura

- Acuíferos detríticos
- Niveles fuertemente descendentes en Guadalentín y estables en las Vegas

Subbético

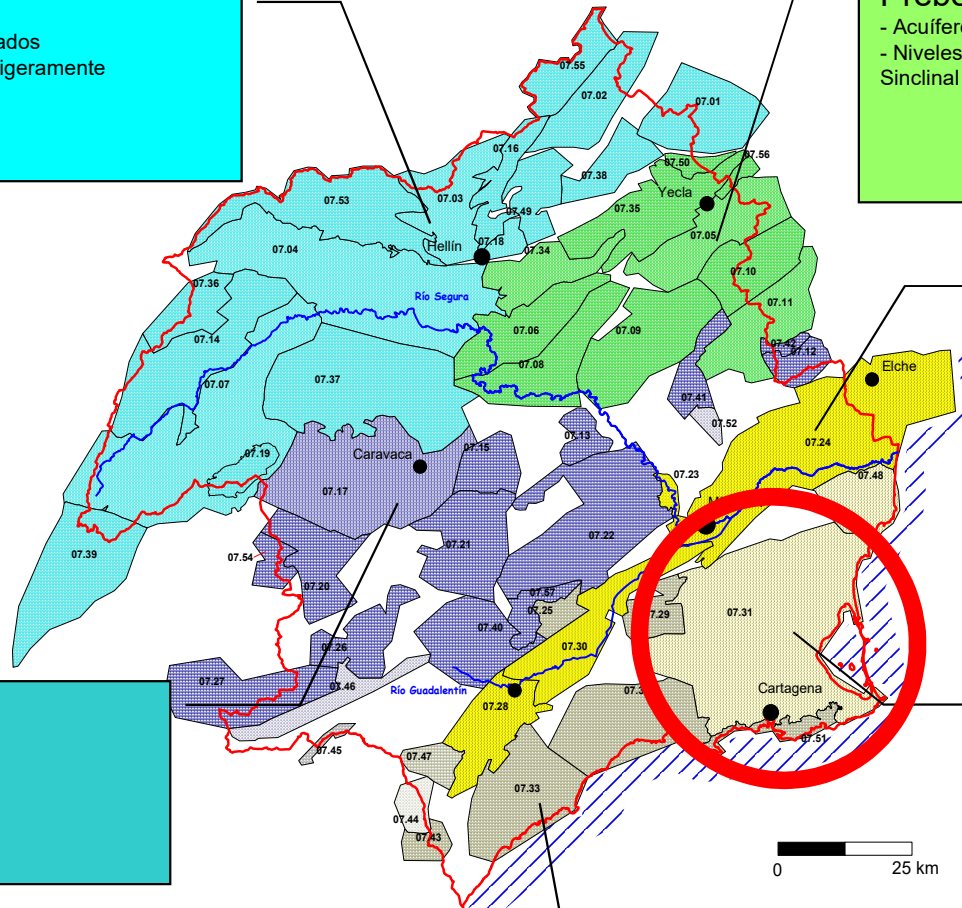
- Acuíferos carbonatados
- Niveles estables

Campo de Cartagena

- Acuíferos detríticos
- Acuíferos con niveles estables tras la llegada del TTS y descendentes en algún sector

Bético

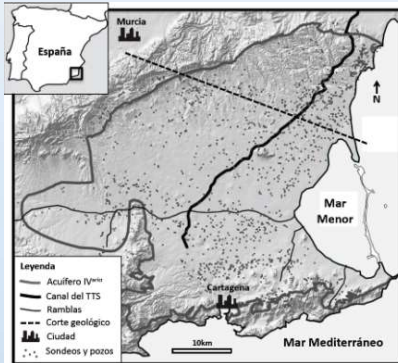
- Acuíferos carbonatados y detríticos
- Niveles descendentes



LEYENDA

- Unidades fundamentalmente Carbonatadas
- Unidades fundamentalmente Detríticas
- Zona Alto Segura
- Prebético de Murcia
- Subbético de Murcia
- Bético de Murcia
- Zona Segura-Guadalentín
- Campo de Cartagena y Terciario de Torreveja
- Zonas sin acuíferos o con acuíferos poco importantes

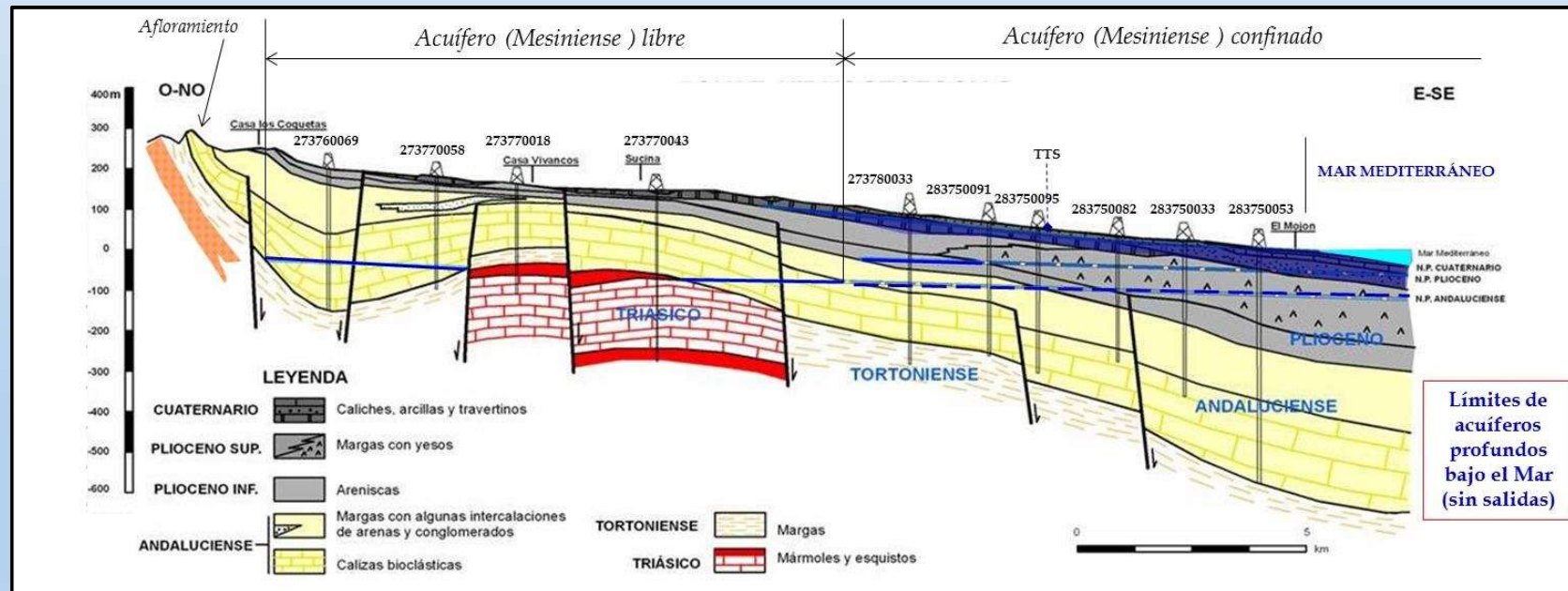
Acuíferos existentes en el Campo de Cartagena



Sistema multicapa (aunque no todos los acuíferos están presentes a lo largo de toda la extensión superficial del Campo de Cartagena), **constituido por:**

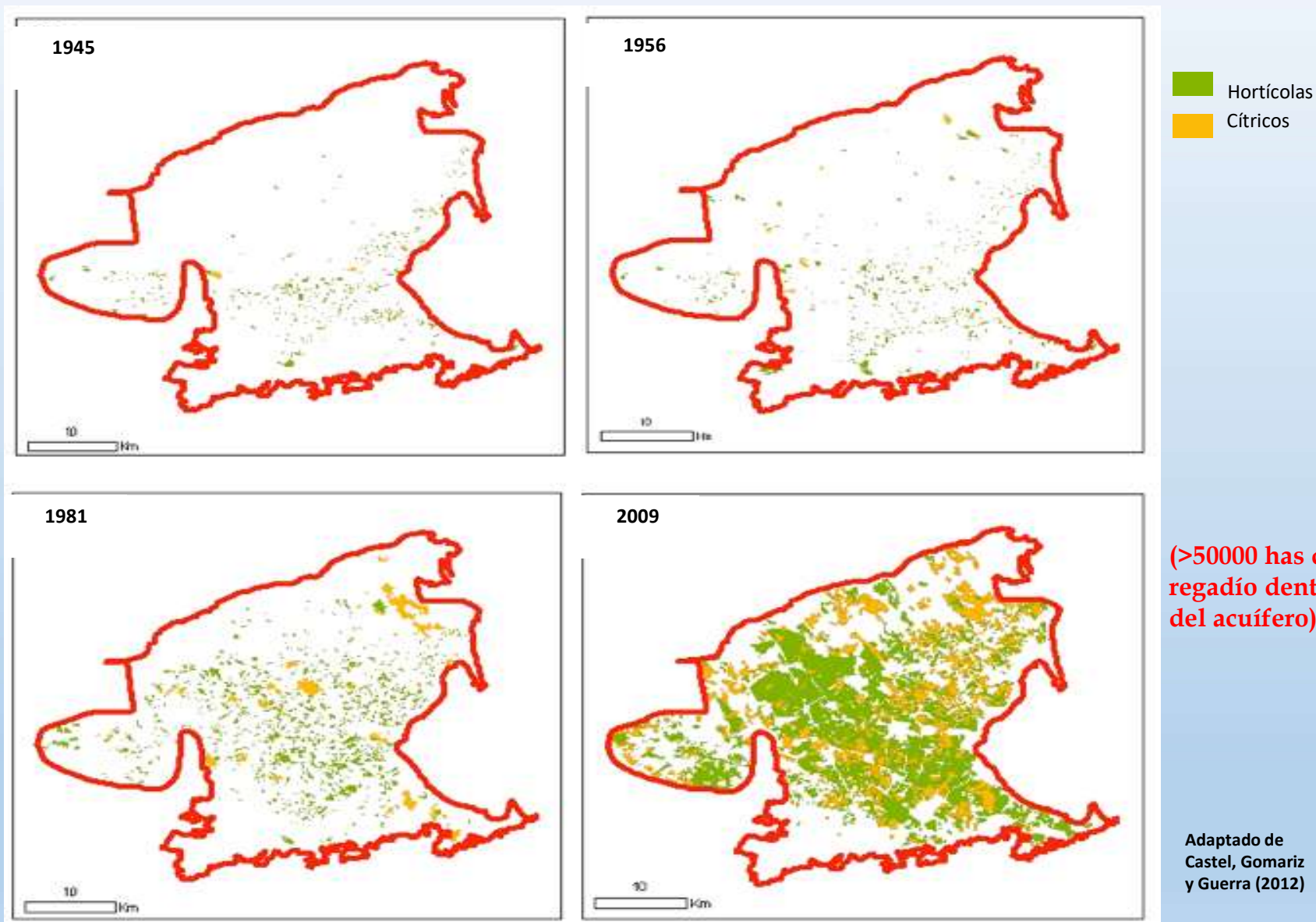
- Acuífero superficial libre de edad Cuaternario
- Tres acuíferos profundos fundamentalmente confinados (de edad Plioceno, Messiniense y Tortonense).

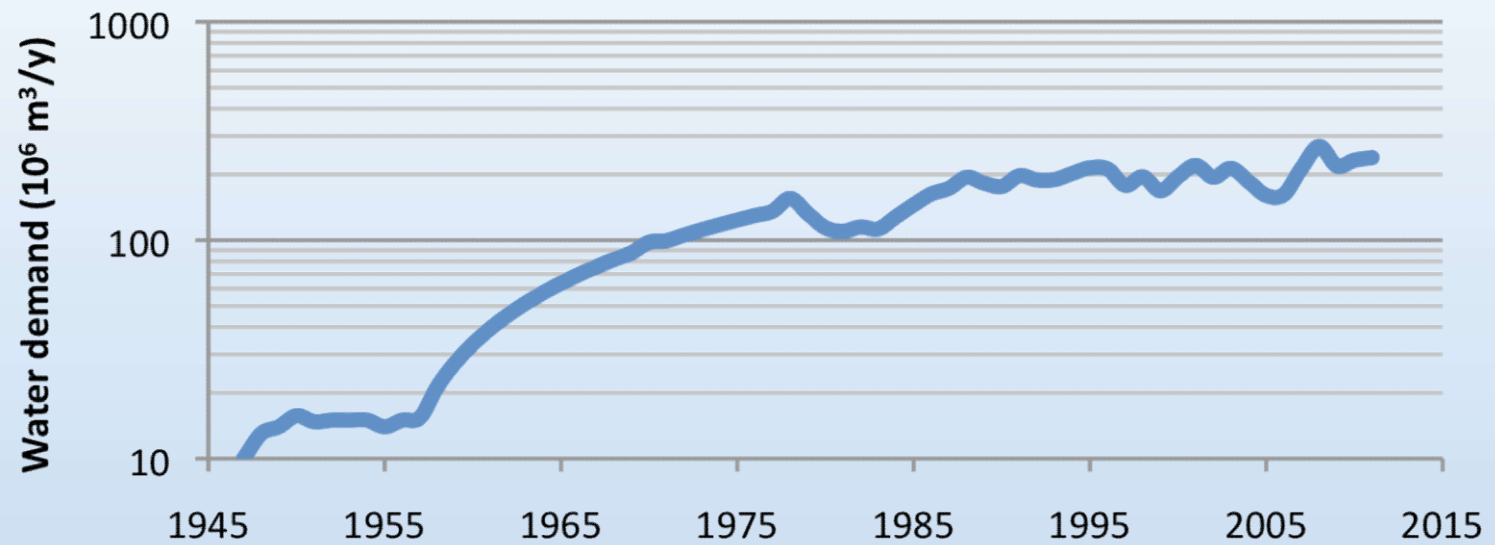
Acuífero carbonatado Pérmico-Triásico (aflora en Cabezo Gordo)



Tentativa de evolución temporal de superficie de regadío en el Campo de Cartagena para el cálculo de la recarga a los acuíferos

Haciendo florecer el desierto...



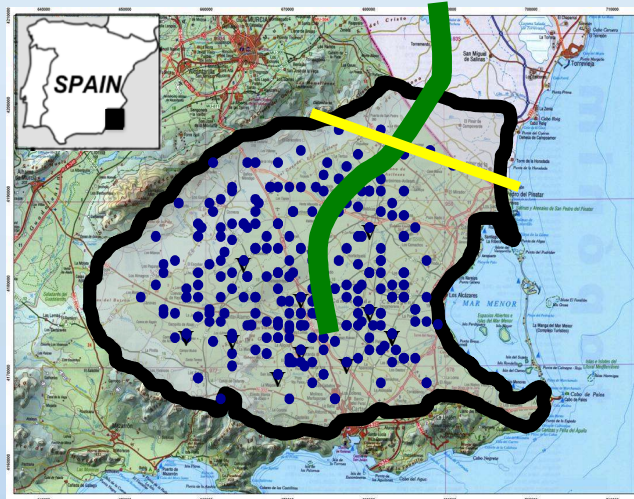


Adapted from Baudron et al. (2013)
Radiocarbon)



¿Cómo se ha atendido una demanda agraria media superior a 200 hm³/año, con unas aportaciones medias del TTS limitadas ?

Origen del agua de riego: mezcla en distinta proporción según disponibilidad



Agua subterránea
(en parte desalinizada):
5 acuíferos



Trasvase
Tajo-Segura

- + infradotación de cultivos (o sin cultivo en caso de hortícolas)**
- + EDARs**
- + agua de mar desalinizada (reciente)**

CAMPO DE CARTAGENA AQUIFER LINKED TO MAR MENOR COASTAL LAGOON (SE SPAIN): A PARADIGMATIC EXAMPLE OF NEGLECTING HYDROGEOLOGY



2016
"Green soup"
(Eutrophication)



2019
Anoxia



2019
"Floods"



2022
Visit of European
Commision



2022
Algal bloom

Acuífero del Campo de Cartagena y relación con el Mar Menor

El papel del acuífero ausente en algunos medios de comunicación. Esfuerzo mediático del Proyecto

Los expertos son pesimistas sobre el futuro del Mar Menor

COMENTARIOS euronews.

Por Isidro Murga con RTVE, EFE • Última actualización: 29/08/2021

Le Monde

PLANÈTE - POLLUTION

Espagne : des tonnes de poissons morts en mer Mineure à cause d'une pollution aux nitrates

L'ancien paradis touristique situé au sud-est de l'Espagne se meurt, privé d'oxygène par une pollution aux nitrates agricoles.

Le Monde avec AFP

Publié le 25 août 2021 à 17h02 - Mis à jour le 26 août 2021 à 09h04 - 2 photos

Mar Menor: Tonnes of dead fish wash up on Spanish lagoon's shores

BBC NEWS



Tonnes of dead fish have washed up on the shores of a large saltwater lagoon in south-east Spain in recent days after a mass die-off that has shocked local residents and environmentalists.

The New York Times

How a Stunning Lagoon in Spain Turned Into 'Green Soup'

Tons of dead fish have washed ashore in recent years from the Mar Menor, a once-crystalline lagoon on the Mediterranean coast that has become choked with algae. Farm pollution is mostly blamed.



LaSexta

EL PAÍS

La agricultura intensiva asfixia el mar Menor ante la pasividad oficial

Ni el Estado ni el Gobierno murciano han puesto remedio a los vertidos agrarios del Campo de Cartagena que contaminan la laguna salada



El Parlamento Europeo aprueba el informe sobre la degradación del Mar Menor

EuroEFE | EURACTIV

LA VERDAD

Un informe del CSIC triplica la descarga de agua con nitratos del acuífero al Mar Menor

El Instituto Geológico y Minero eleva a 37,6 hectómetros cúbicos al año el volumen que llega a la laguna desde el Campo de Cartagena



INFORMATIVO MATUTINO | EL GEOLOGO, CIENTIFICO DEL CSIC Y PROFESOR EMERITO DE LA UNM | TRATAMOS CON JOSÉ LUIS GARCÍA ARÓSTEGUI LA CRISIS DEL MAR MENOR



La agonía del Mar Menor

Informe Semanal (7-5-2022)



José Luis García Aróstegui | INVESTIGADOR (INST. GEOLOG. Y MINERO) | Usos del acuífero de Cartagena



Interreg Sudoe AQUÍFERO

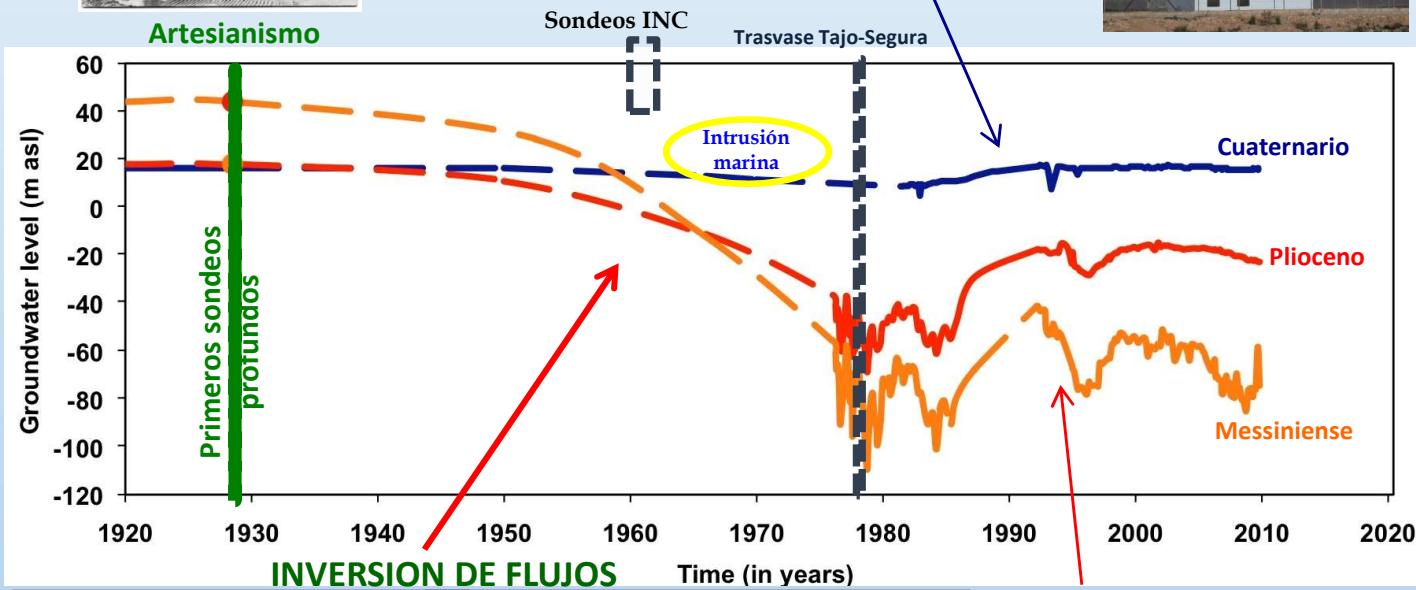
La dimensión histórica es fundamental para entender el problema



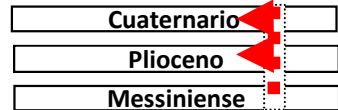
Artesianismo

Primeros sondeos profundos

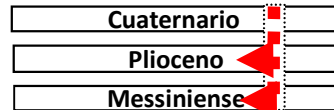
A) INCREMENTO SUSTANCIAL DE LA RECARGA POR RETORNOS DE RIEGOS



C1) MEZCLA ENTRE ACUÍFEROS



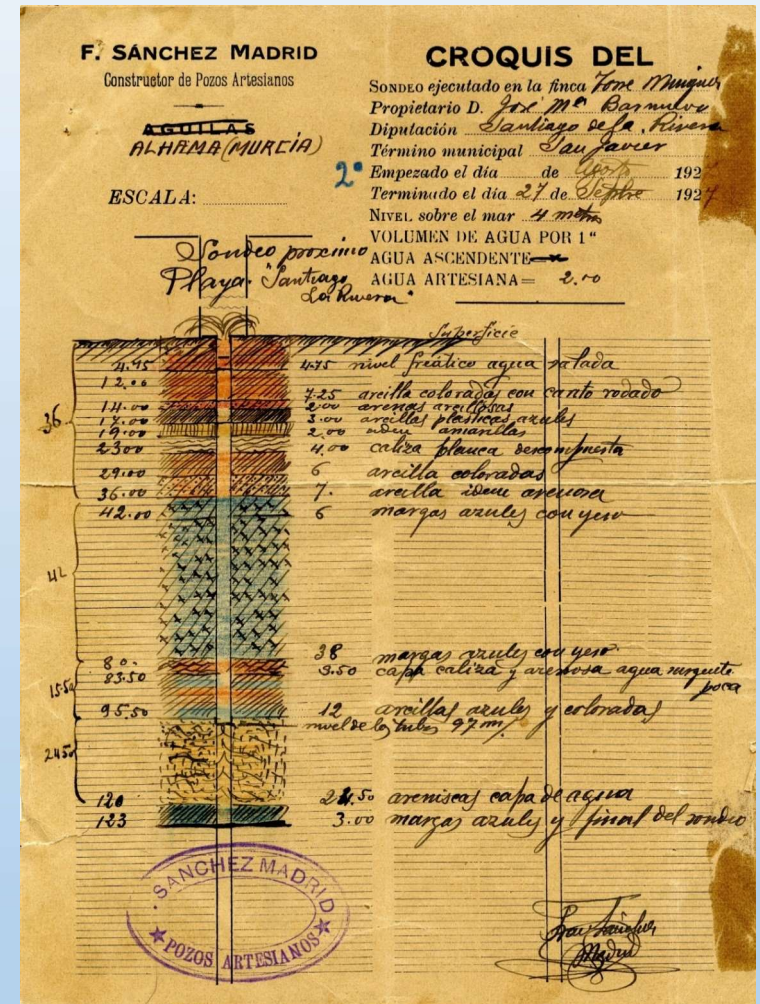
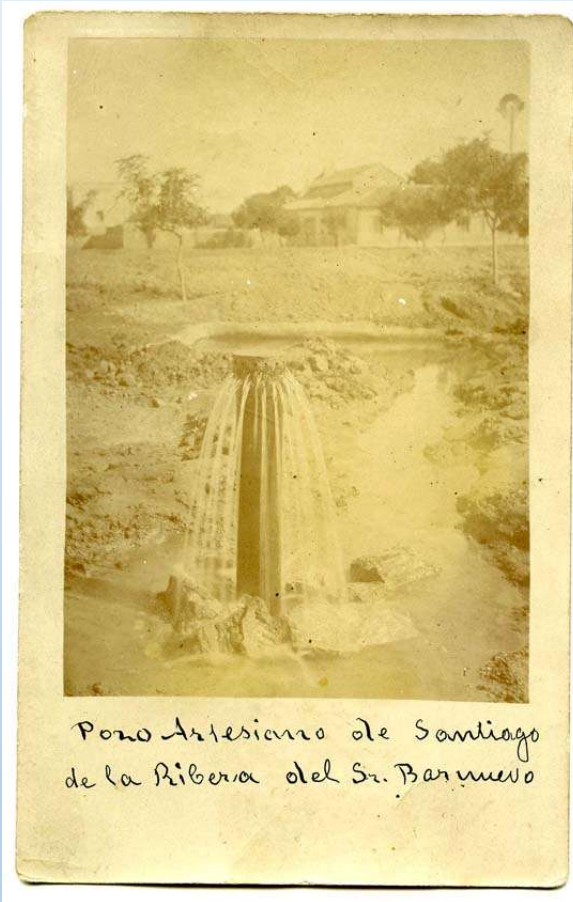
C2) MEZCLA ENTRE ACUÍFEROS



B) BOMBEO EN ACUÍFEROS PROFUNDOS PARA RIEGO EN EL SUPERIOR

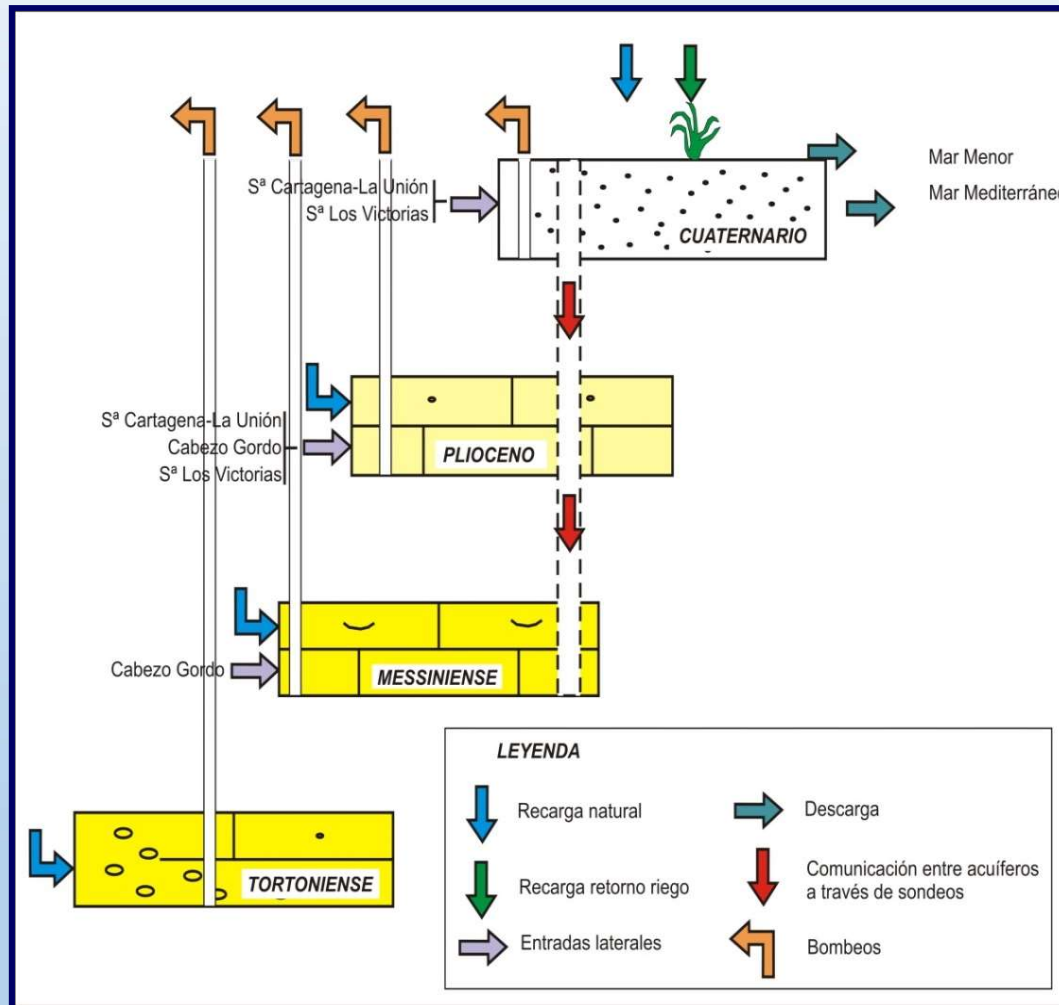
Adaptado de
García-Aróstegui et al (2012)
Baudron et al. (2014) *Hydrological Processes*

HACE UN SIGLO...
INICIO DE LA EXPLOTACIÓN DE LOS ACUÍFEROS PROFUNDOS EN LA ZONA DE SAN JAVIER



FUENTE: Archivo Municipal de San Javier (<http://archivo.sanjavier.es/>)
 EXPOSICIÓN: LOS BARNUEVO: 130 AÑOS DE HISTORIA DE LA RIBERA

Funcionamiento hidrogeológico y balance hídrico: COMPLEJIDAD



Jiménez et al, 2009

ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO

Entradas (recarga):

- Principalmente por el acuífero Cuaternario (Infiltración de la lluvia útil y retorno de riegos)

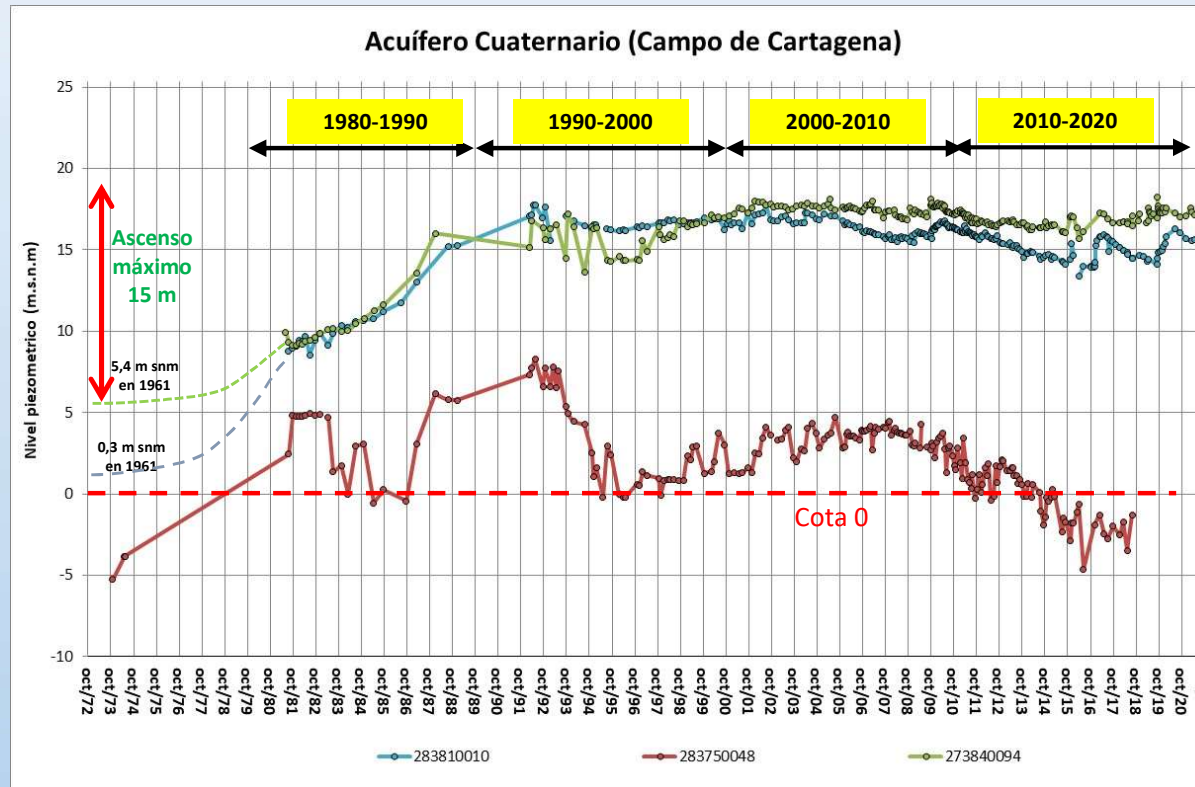
Salidas (descarga):

- Bombeos
- Laterales al Mar Menor y Mar Mediterráneo
- Descarga a cauces

Comunicación entre acuíferos

Elevación histórica del niveles en el acuífero Cuaternario del Campo de Cartagena

Puntos de la red oficial CHS (depurada)



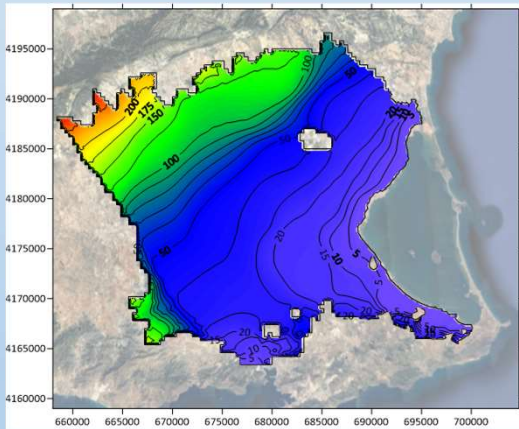
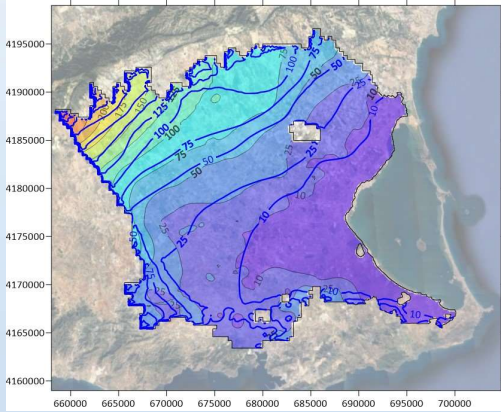
- Los Blases 278440094
(Torre Pacheco, Sta. Rosalía)
- Venta del Pino 283810010
(San Javier)
- La Carrasca 283750048
(Pilar de la Horadada)

Problemas de intrusión marina en la década de los 50-70
Incremento de niveles durante los años 70-80 (¿más recarga, menos bombeo?)
Efecto de las precipitaciones de finales de los 80.
Efecto de la sequía de 93-95.
Tendencias descendentes en el periodo 2005-2015
Efectos recientes de los eventos de precipitación de Sep-Oct-2009, 2016 y 2019

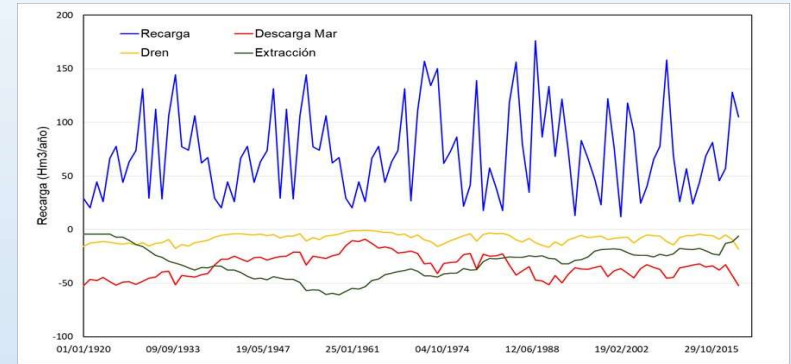


JL GARCIA ARÓSTEGUI

Modelización del flujo subterráneo del acuífero cuaternario del Campo de Cartagena



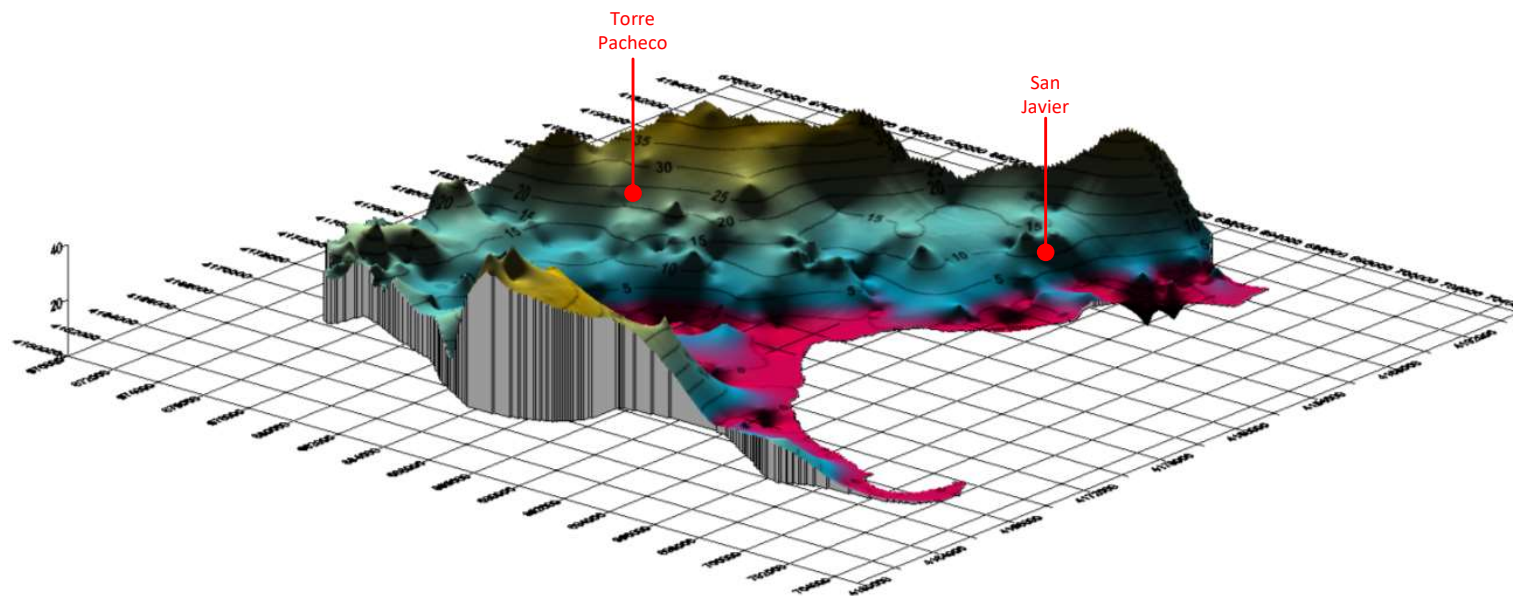
Componente	Promedio 1920-2020 (Hm ³ /año)
Recarga	71.8
Descarga Mar	-33.9
Dren	-8.1
Extracción	-31.2



periodo	Recarga (Hm ³ /año)	Descarga Mar (Hm ³ /año)	Dren (Hm ³ /año)	Extracciones (Hm ³ /año)	Almacenamiento (Hm ³ /año)
1920-1930	57.7	-48.8	-12.8	-7.5	-11.5
1930-1940	80.7	-43.3	-13.0	-30.7	-6.3
1940-1950	57.7	-27.7	-4.8	-40.9	-15.7
1950-1960	80.7	-25.0	-6.7	-53.8	-4.8
1960-1970	57.7	-15.2	-2.2	-47.4	-7.2
1970-1980	86.4	-28.5	-9.0	-40.3	8.6
1980-1990	83.6	-32.8	-7.3	-27.4	16.1
1990-2000	71.6	-41.2	-10.0	-26.4	-6.0
2000-2010	78.6	-39.1	-8.0	-22.1	9.4
2010-2020	64.1	-37.6	-8.1	-17.4	0.9

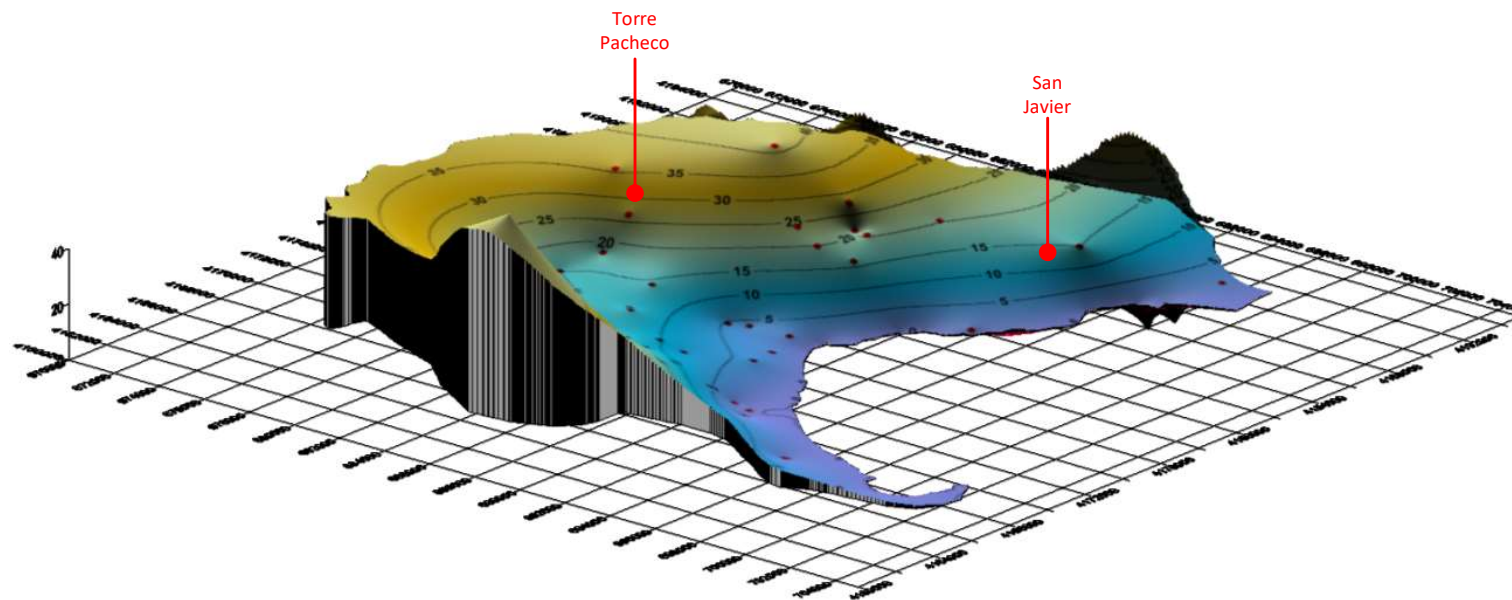


SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA 1961



Exageración
vertical =100

SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA Enero 2018



Exageración
vertical =100

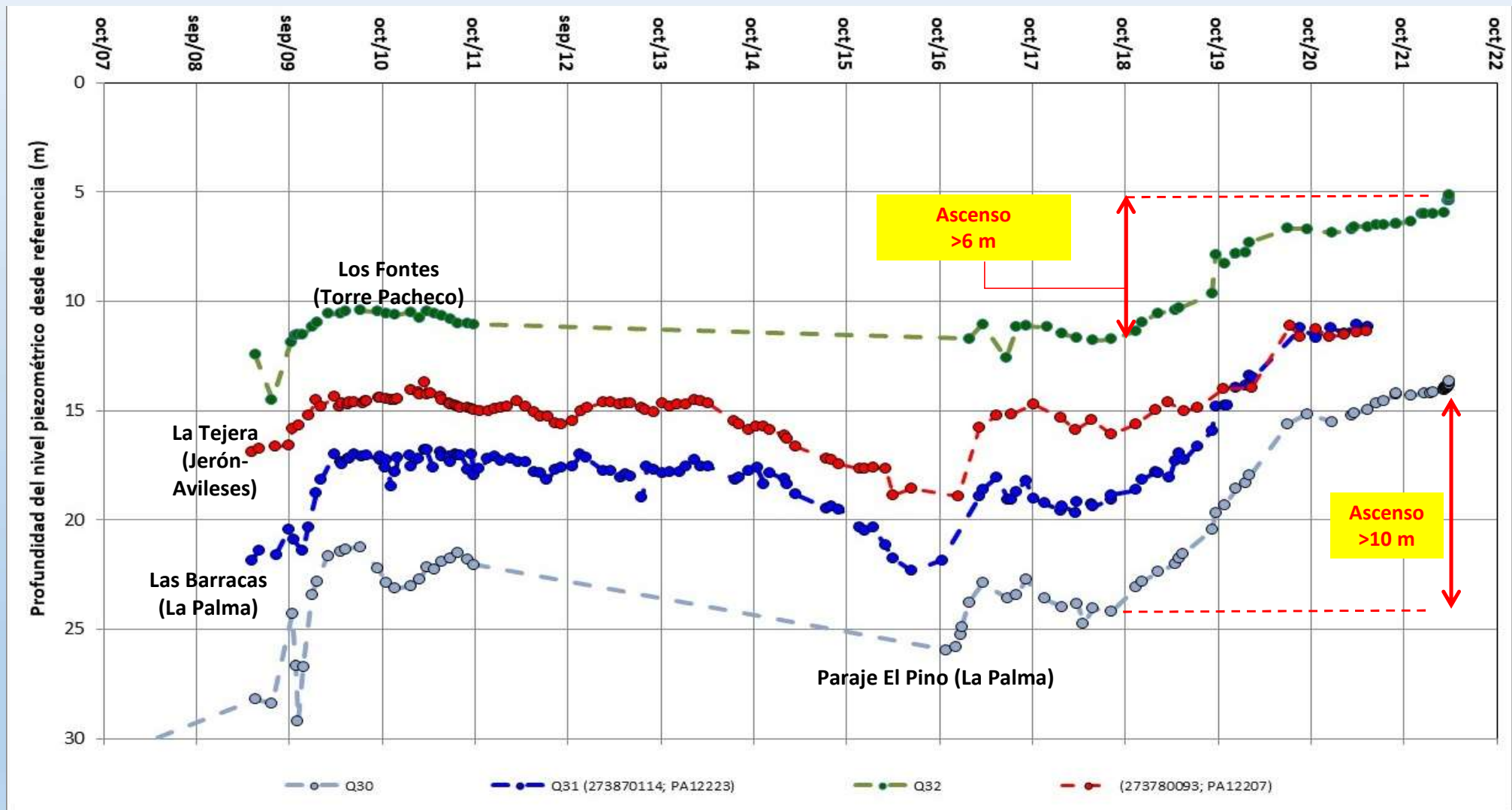
SE HA PRODUCIDO UN IMPORTANTE PROCESO DE EXTRUSIÓN MARINA EN LOS AÑOS 80 CON EL CONSIGUIENTE INCREMENTO DE LA DESCARGA AL MAR MENOR.

ES UN FACTOR IMPORTANTE DE REDUCCIÓN DE LA SALINIDAD HISTÓRICA DEL MAR MENOR

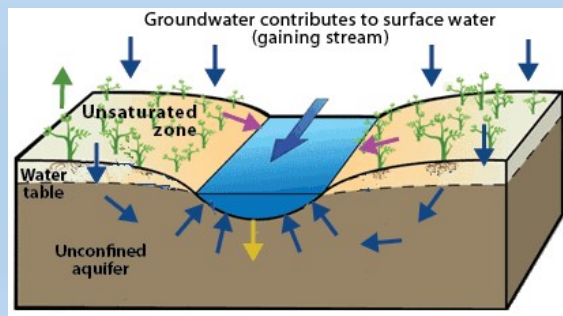
¿HABRIA QUE REVISAR LOS MODELOS CONCEPTUALES DE BALANCE DEL MAR MENOR?

¿MEJOR HABLAR DE DULCIFICACIÓN QUE MEDITERRANEIZACIÓN?

Elevación reciente de niveles piezométricos como consecuencia de la reducción de la explotación y la recarga de eventos extremos de precipitación

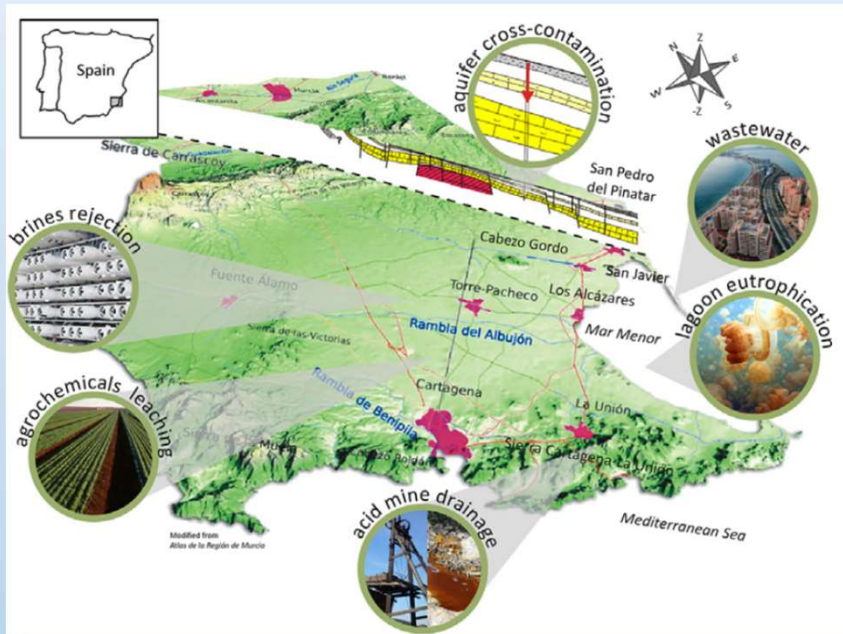


Aparición de drenajes, descarga a cauces, mayor salida visible y no visible al Mar Menor, problemas agronómicos, infraestructuras viarias

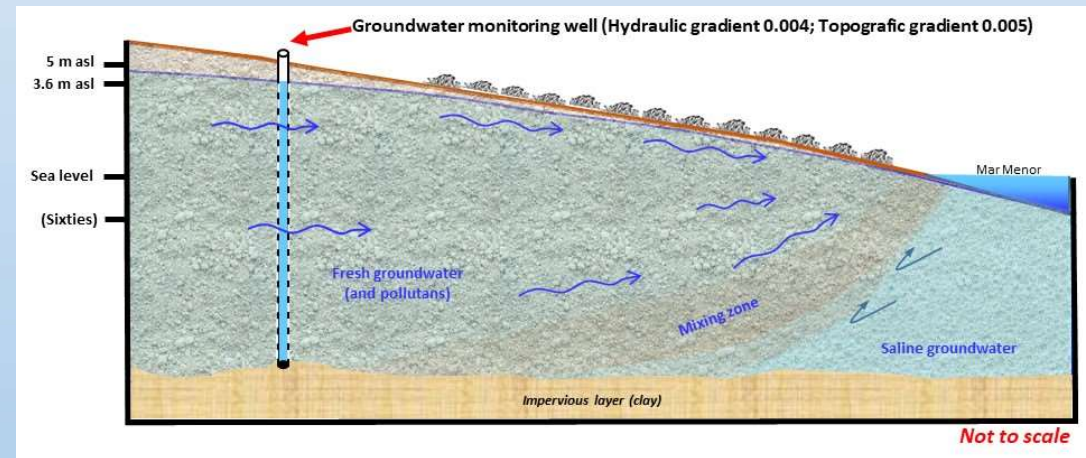


Groundwater discharge with high contents of nitrates and urban pollutants

Multiple factors affecting



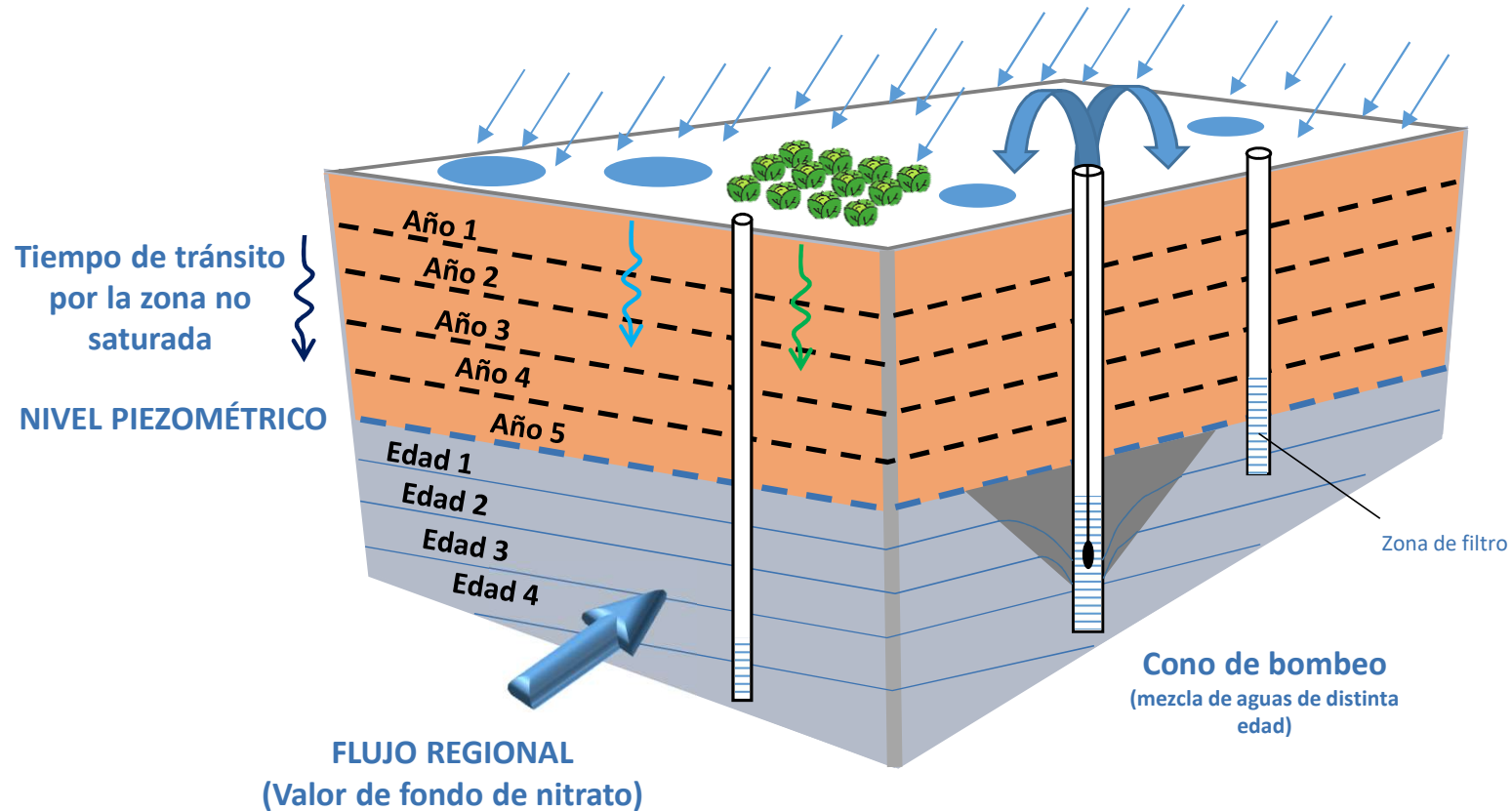
Alcolea et al., 2019. STOTEN



REPRESENTATIVIDAD DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Elaborado por García Aróstegui 2022 (Modificado de Sklash and Vakili, 2021 <https://jofnm.com/article-158-Monitoring-groundwater-at-the-field-level.html>)

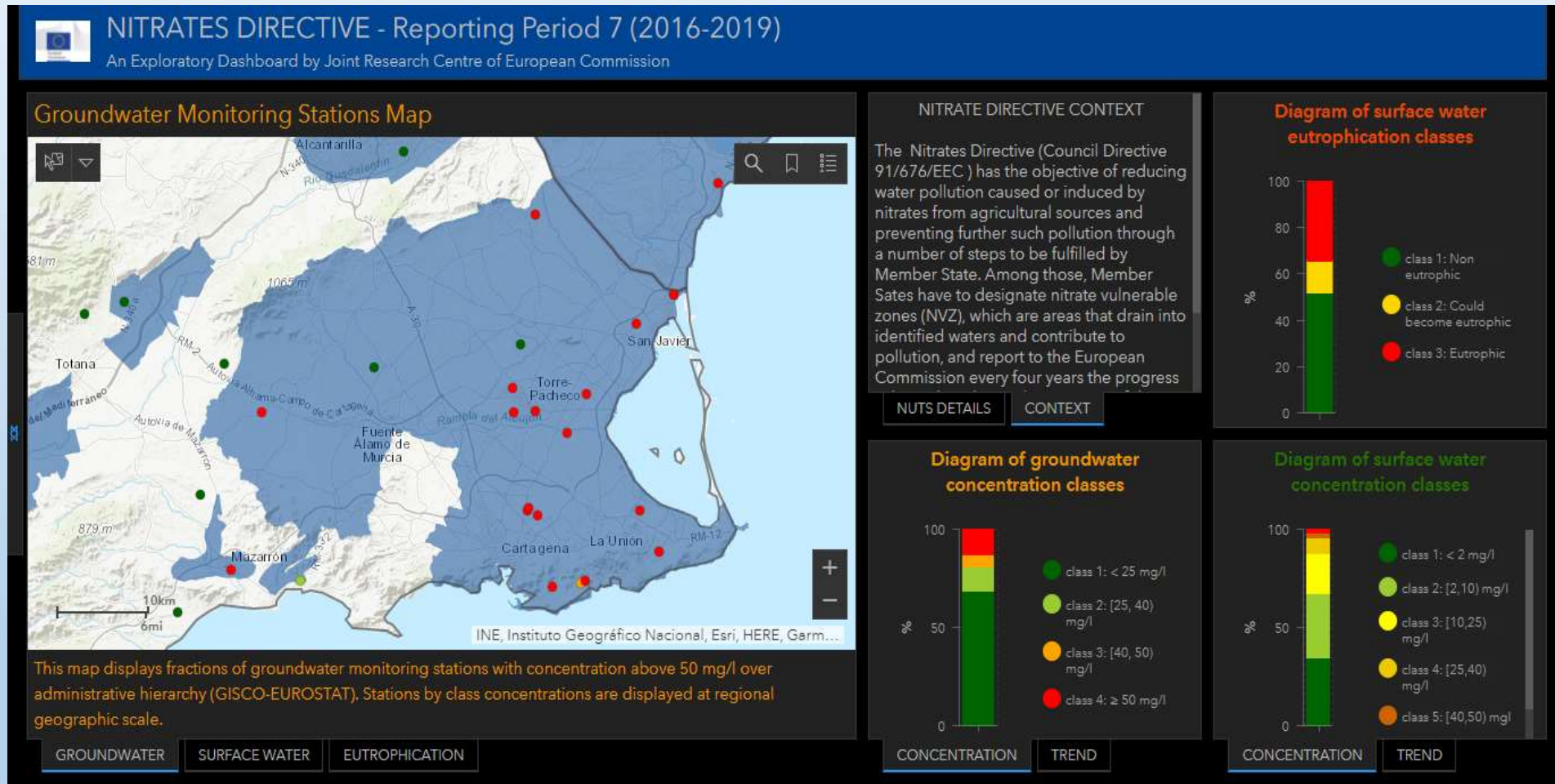
Variación espacio-temporal de las precipitaciones y retorno de riego



Hay que tener cuidado al usar datos de concentración de nitrato de pozos de monitorización individuales para tomar decisiones sobre modificaciones de las prácticas agrarias

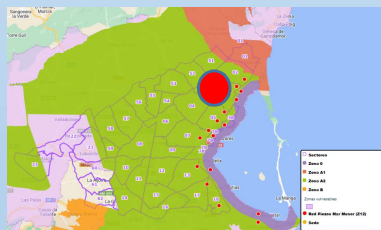
Elevados contenidos en nitrato en la red oficial, pero debe ser manifiestamente revisada

19 puntos en MASUB Campo de Cartagena (13 con datos en el periodo 2016-2019). (Promedio de 5 campañas en 4 años)

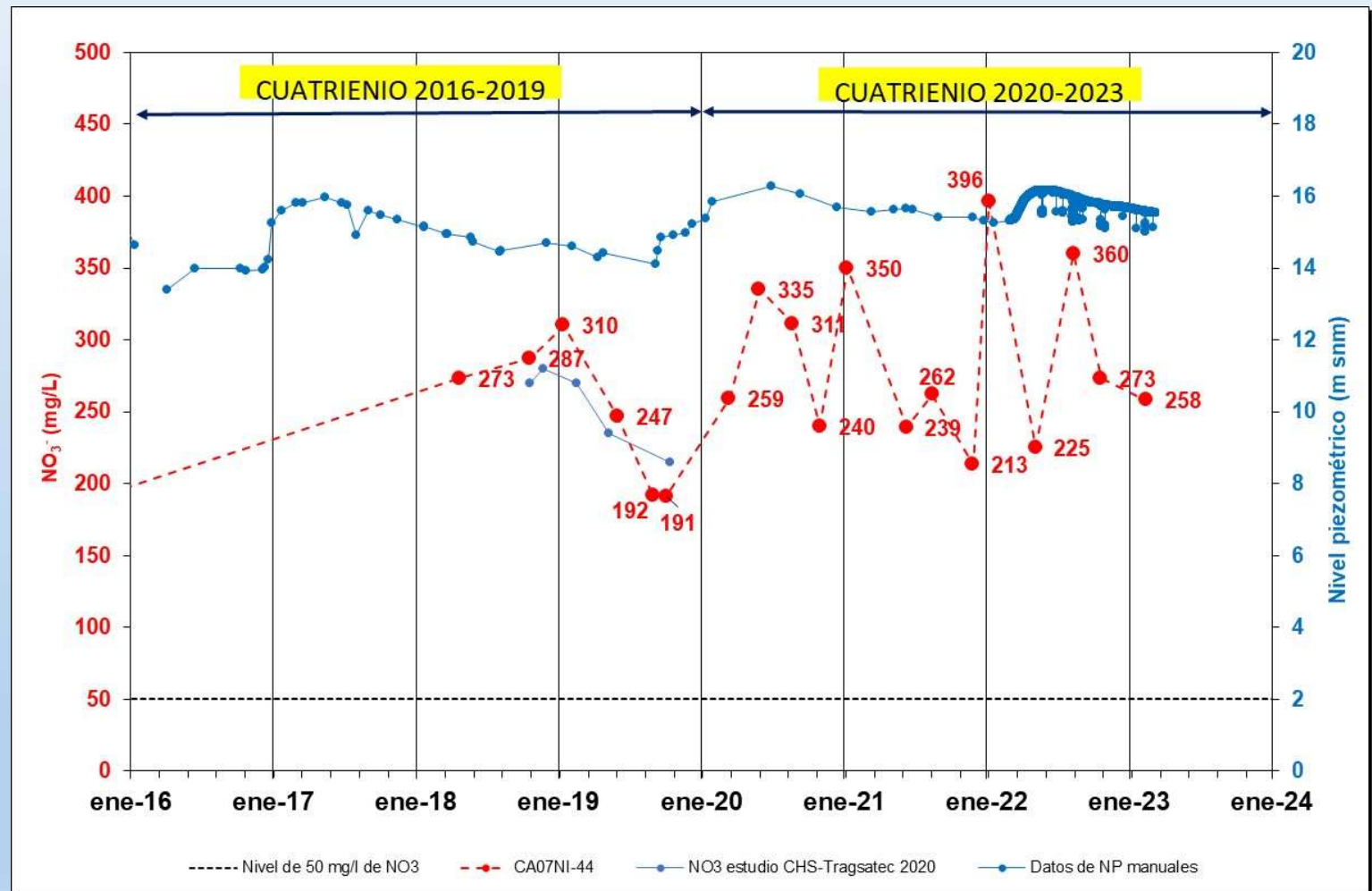


<https://water.jrc.ec.europa.eu/portal/apps/opdashboard/index.html#/cb6034c2a75e4df282f8a62f90c16caa>

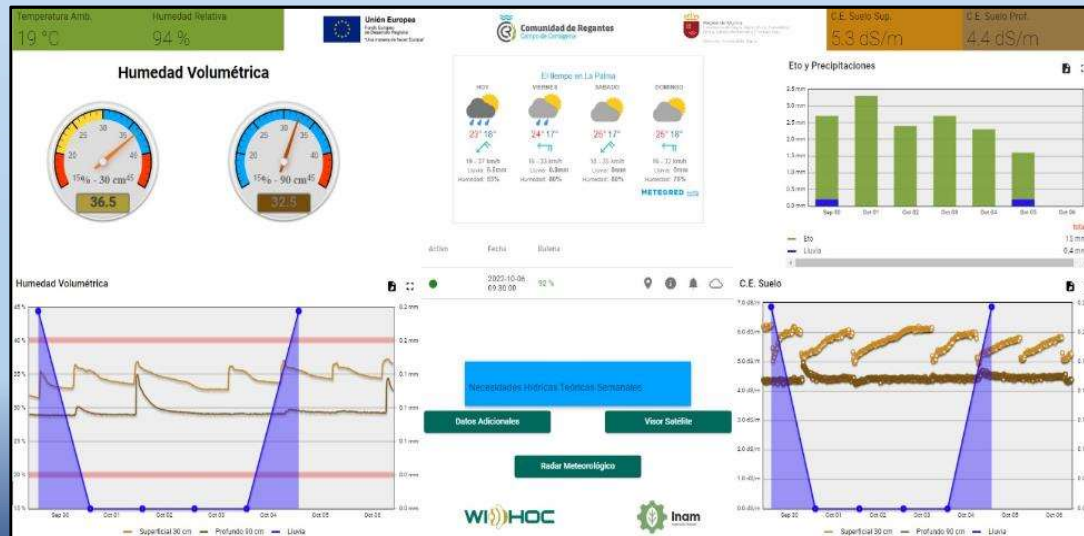
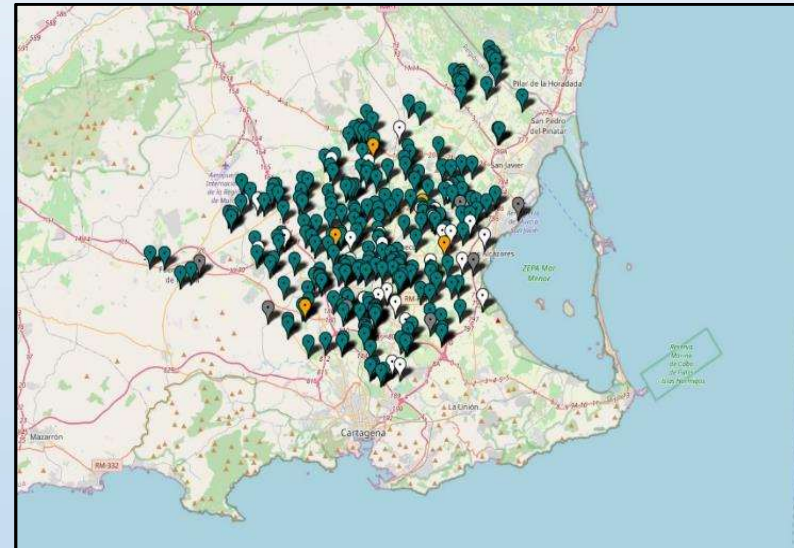
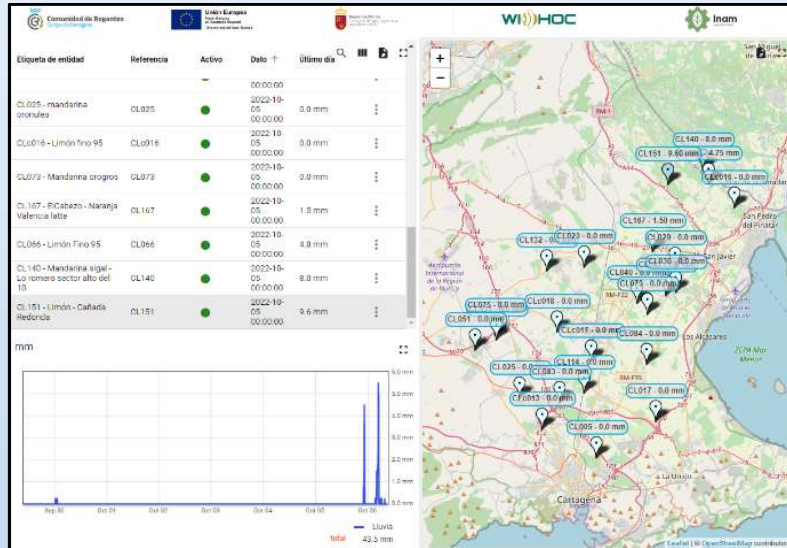
¿Tienen sentido estas variaciones en los contenidos en nitratos?
 ¿Son representativos de las prácticas agrarias actuales en la parcela?
 ¿Se pueden emplear estos datos para tomar decisiones sobre prácticas agrarias?



Masa de agua subterránea del Campo de Cartagena en riesgo de no alcanzar el buen estado químico

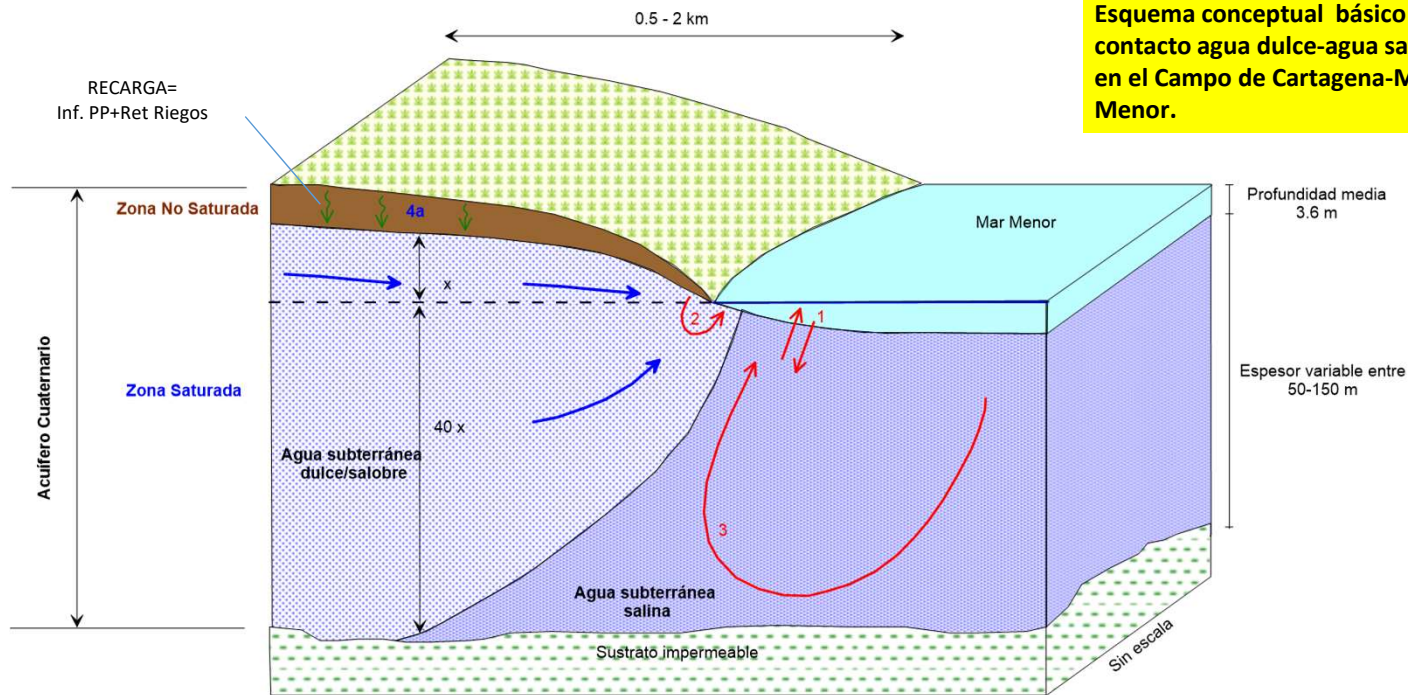


Deployment of rainfall stations, humidity probes and piezometers (Regional Government).



Improved knowledge enables appropriate decisions to be taken.

Relación agua dulce/agua salada: Niveles altos, mayor descarga (retroceso interfaz)



Esquema conceptual básico del contacto agua dulce-agua salada en el Campo de Cartagena-Mar Menor.

La escala vertical está exagerada respecto a la horizontal.

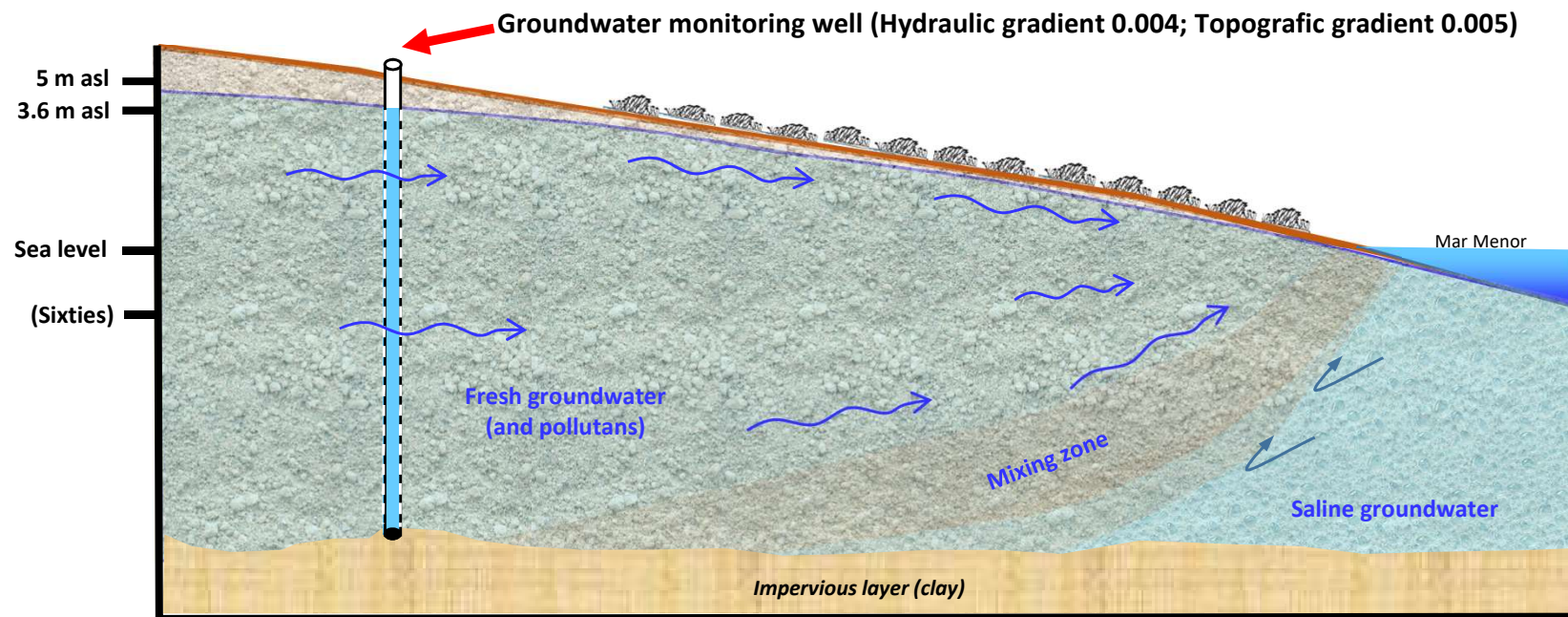
Interfaz neta y esquema basado en aproximación Ghyben-Herzberg

1. Tidal pumping (probablemente inducido por evaporación)
2. Circulación en el mismo borde costero debido a oleaje y marea
3. Circulación salina controlada por la descarga de agua dulce/salobre y la dispersión
4. Avance o retroceso de la interfaz salina debido a la variación del nivel piezométrico (estacional verano/invierno, o periodos de sequía/no sequía).
 - 4a) NP Alto, mayor descarga, ligero retroceso de la interfaz.
 - 4b) NP Bajo, menor descarga, ligero avance de la interfaz tierra adentro.

El caudal de descarga depende de la permeabilidad, espesor saturado y longitud del frente de contacto

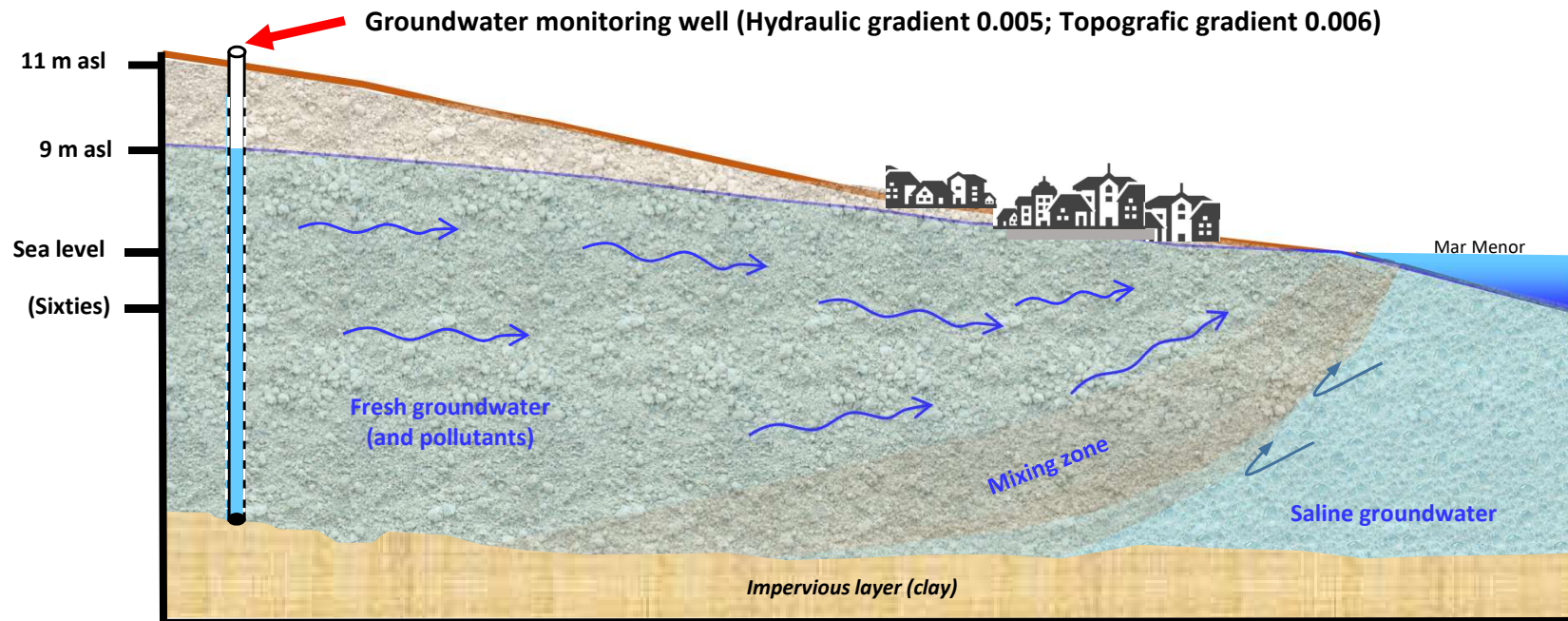
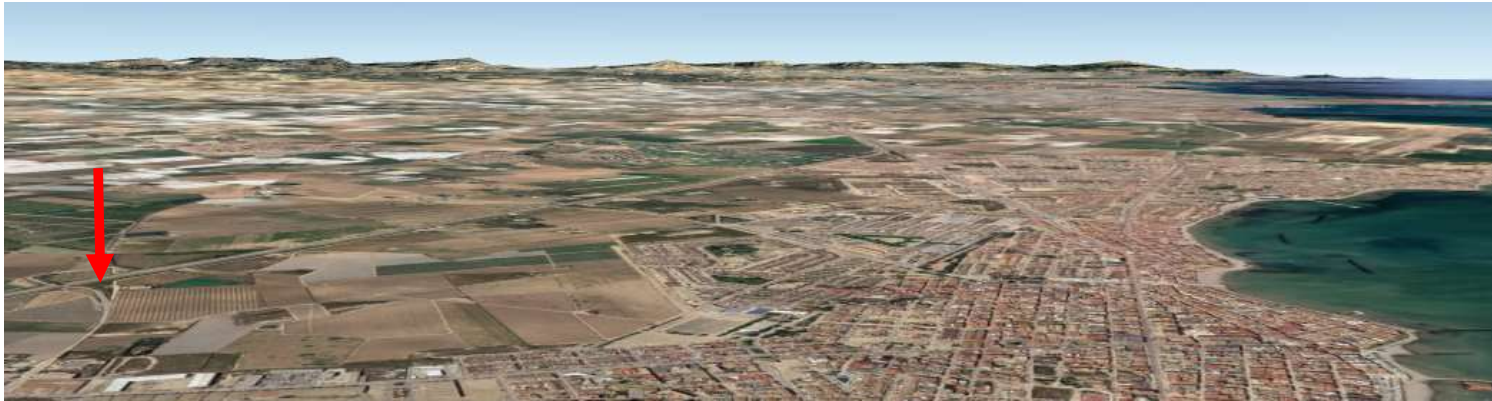
El caudal de descarga depende de la permeabilidad, espesores saturados, gradientes hidráulicos y frente de contacto

Groundwater Dependent Coastal Wetlands (basic scheme)



Not to scale

Groundwater flow in urban areas (basic scheme)



Not to scale

MUCHAS GRACIAS POR SU ATENCIÓN



Para más información: José Luis García Aróstegui. Coordinador del Proyecto AQUIFER. Email:

j.arostegui@igme.es. Telf. 968245012 www.igme.es