



I Jornada Técnica sobre Gestión de Recursos Hídricos. Aguas Subterráneas 15 de abril de 2016

EL ACUÍFERO DE EL MAESTRAZGO

Bruno J. Ballesteros Navarro
Jefe de la Unidad de Valencia
Instituto Geológico y Minero de España

Cátedra FACSA de Innovación del Ciclo Integral del Agua. Universidad Jaime I



VISIÓN GENERAL SOBRE LOS RECURSOS HÍDRICOS Y LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS



AGUAS SUPERFICIALES Y AGUAS SUBTERRÁNEAS

Presentan **particularidades** en sus características que las hacen diferentes
En cada caso implican **ventajas/desventajas** para su aprovechamiento y gestión
Comporta también **riesgos específicos** (sostenibilidad: evitar deterioro en calidad y disponibilidad)

ESTIMACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LA HIDROSFERA¹

Volumen (hm ³ x 10 ⁶)	% del agua total del planeta	% respecto del total de agua dulce	Tiempo medio de residencia	
Océanos y mares.....	1 338 000	97,5	—	2500 años
Glaciares y casquetes polares.....	24 064	1,74	68,7	9700 años
Aguas subterráneas dulces	10 530	0,76	30,1	decenas a miles de años
Lagos de agua dulce....	91,0	0,007	0,26	17 años
Lagos de agua salada ..	85,4	0,006	—	150 años
Ríos	2,12	0,0002	0,006	15-20 días
Biomasa.....	1,12	0,0001	0,003	algunas horas
Atmósfera.....	12,9	0,001	0,04	8-10 días

¹ Shiklomanov, Igor A. (1997). Comprehensive assessment of the freshwater resources of the World. World Meteorological Organization, 88 pp.

Los tesoros de Castellón



Morella y Peñíscola

Sierra del Espadán y el Mijares

Covas del Barranco de La Valltorta

Les Illes Columbretes

La Cova de San Joseph

El litoral mediterráneo

Fuente: website

UN GRAN TESORO OCULTO



EL ACUÍFERO DE EL MAESTRAZGO

CONDICIONES PARA LA EXISTENCIA DE AGUAS SUBTERRÁNEAS. LOS ACUÍFEROS

- A) Existencia de formaciones geológicas permeables (FGP)**
- B) Substrato geológico impermeable (SGI)**
- C) Afloramientos superficiales de FGP**
- D) Aporte de agua. Precipitación de lluvia**

ACUÍFERO : Formación geológica capaz de almacenar y transmitir el agua

A) FORMACIONES GEOLÓGICAS PERMEABLES (FGP)

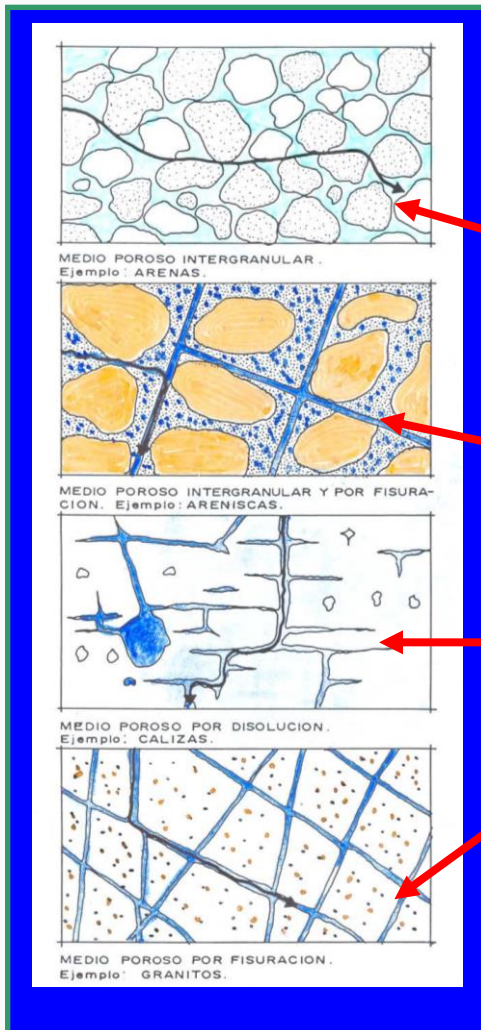
Condicionan las características físicas esenciales del acuífero (K, T S)

Gran variedad litológica:

- Sedimentarias: gravas, conglomerados, arenas, areniscas, calizas, dolomías
- Ígneas
- Metamórficas

TIPOS DE PERMEABILIDAD

- *POR POROSIDAD INTERGRANULAR*
- *POR FISURACIÓN*
- *POR P. INTEGRANULAR Y FISURACIÓN*
- *POR DISOLUCIÓN (karstificación)*



B) SUBTRATO GEOLÓGICO IMPERMEABLE (SGI)






- ✓ **Substrato geológico impermeable: Base del acuífero (fijo)**
 - **Sedimentarias: arcillas, margas ...**
 - **Ígneas**
 - **Metamórficas**

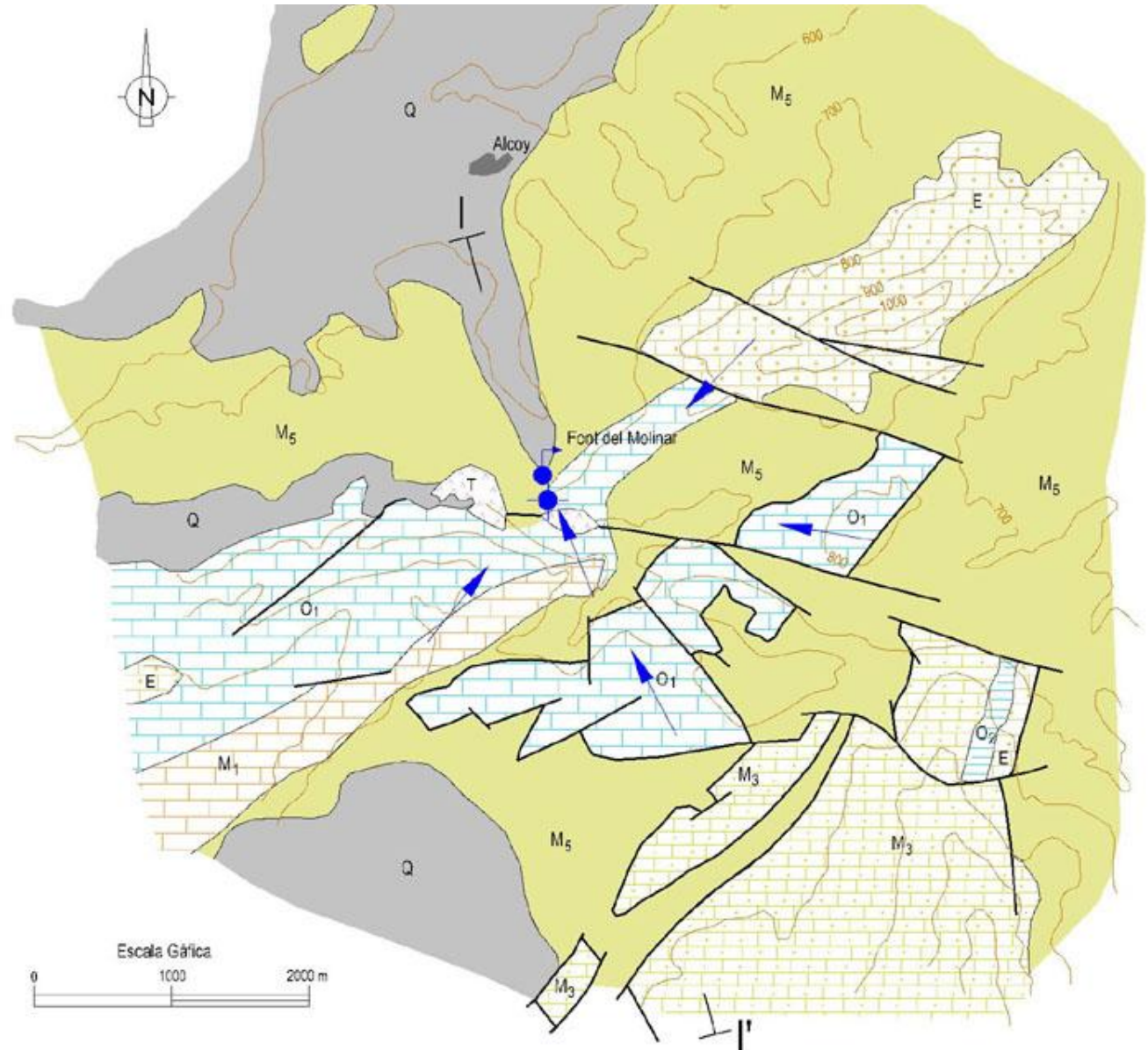
- ✓ **Particularidad en acuíferos costeros: Substrato hidrológico (aguas alta densidad: marinas, salobres y salmueras). Variable (sujeto a consideraciones)**



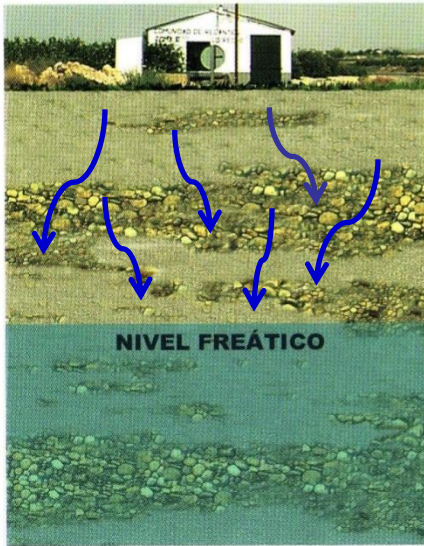
C) AFLORAMIENTOS DE FORMACIONES PERMEABLES

LEYENDA

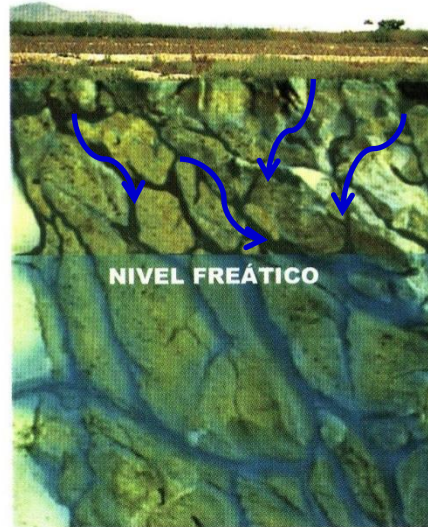
- Q** CUATERNARIO
Materiales indiferenciados. Permeabilidad baja.
- M₅** MIOCENO SUPERIOR (TORTONIENSE)
Margas. Permeabilidad baja.
- M₃** MIOCENO (BURDIGALIENSE-SERRAVALIENSE)
Calcarentas bioclásticas. Permeabilidad media.
- M₂** MIOCENO INFERIOR
Margas. Permeabilidad baja.
- M₁** MIOCENO INFERIOR
Calcarentas y calizas pararrreciales. Permeabilidad media.
- O₂** OLIGOCENO
Margas. Permeabilidad baja.
- O₁** OLIGOCENO
Calizas resacas y concretionarias bioclásticas. Permeabilidad alta.
- E** EOCENO
Calizas pararrreciales. Permeabilidad alta.
- T** TRIÁSICO (KEUPER)
Arcillas y yesos. Permeabilidad baja.
-  Falla
-  Manantial
- N. P.**  Nivel piezométrico
-  Dirección predominante del flujo
-  Sondeo



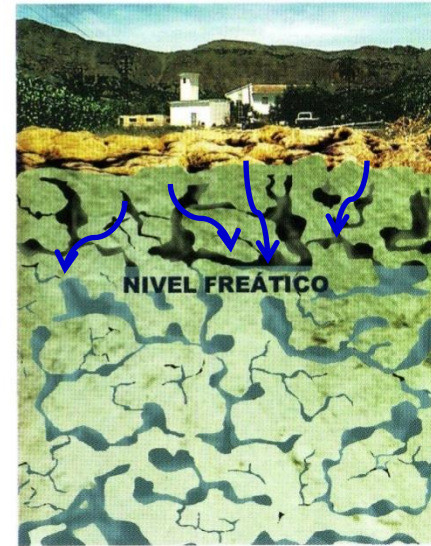
D) APOORTE DE AGUA. PRECIPITACIÓN



Acuífero detrítico

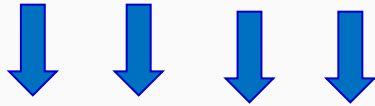


Acuífero fisurado

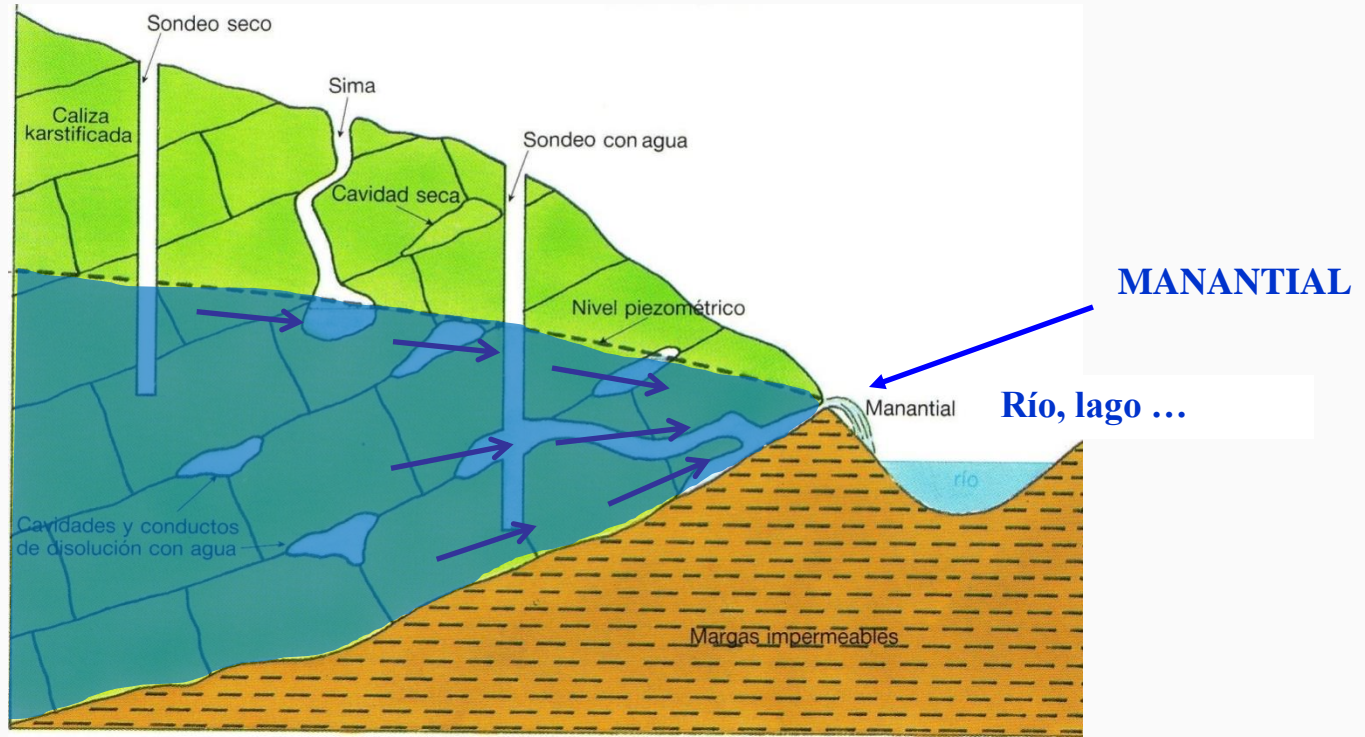


Acuífero kárstico

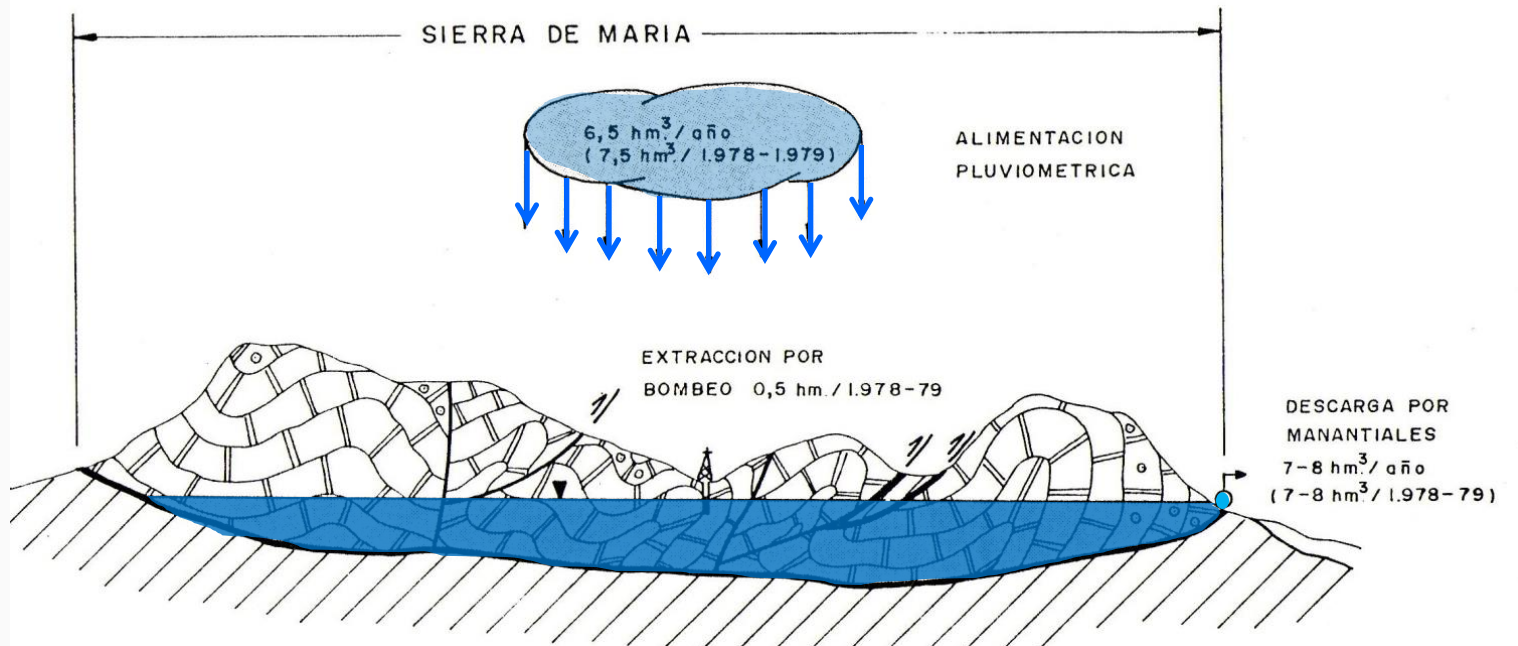
Precipitación



INFILTRACIÓN



INFILTRACIÓN



(Fte: Documentación Básica Cuenca Hidrográfica del Segura, 1987)

ACUÍFEROS: CONDICIONES BÁSICAS

- A) Formaciones geológicas permeables (FGP)**
- B) Substrato geológico impermeable (SGI)**
- C) Afloramientos superficiales de FGP**
- D) Aporte de agua. Precipitación de lluvia**

Determinan sus características esenciales:

Permeabilidad (K)

Transmisividad (T)

Coefficiente almacenamiento (S)

Productividad (qs)

Dispersión hidrodinámica

Difusividad (T/S)

Geometría (límites y dimensiones)

Superficie piezométrica

Gradiente hidráulico

Funcionamiento hidrodinámico

Recursos renovables (infiltración)

Reservas

Calidad de las aguas

Mapa acuíferos de España (IGME, 1971)

MAPA DE SÍNTESIS DE SISTEMAS ACUÍFEROS DE ESPAÑA PENINSULAR, BALEARES Y CANARIAS

Publicado por el
INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA
 bajo la dirección de
D. Juan Arambarist Gámez Argente

Elaborado por la Dirección de Aguas Subterráneas del Plan del Programa "Plan Hidrográfico Nacional" elaborado dentro del Plan Sectorial de la Agua

Año 1971

CONTRIBUCIÓN AL DECENIO HIDROLOGICO INTERNACIONAL

- Acuíferos en los que predominan las condiciones hidrogeológicas de tipo "cuaternario"
 - Acuíferos en los que predominan las condiciones hidrogeológicas de tipo "terciario"
 - Acuíferos "mixtos"
 - Zonas con poca actividad
 - Zonas sin actividad o casi inactivas
- Valores en metros de la zona que muestra el nivel freático en los puntos indicados
- Valores en metros de la zona que muestra el nivel freático en los puntos indicados
- Indicador de zonas de interés especial

Cuenca Hidrográfica del Júcar

Escala 1:1500.000

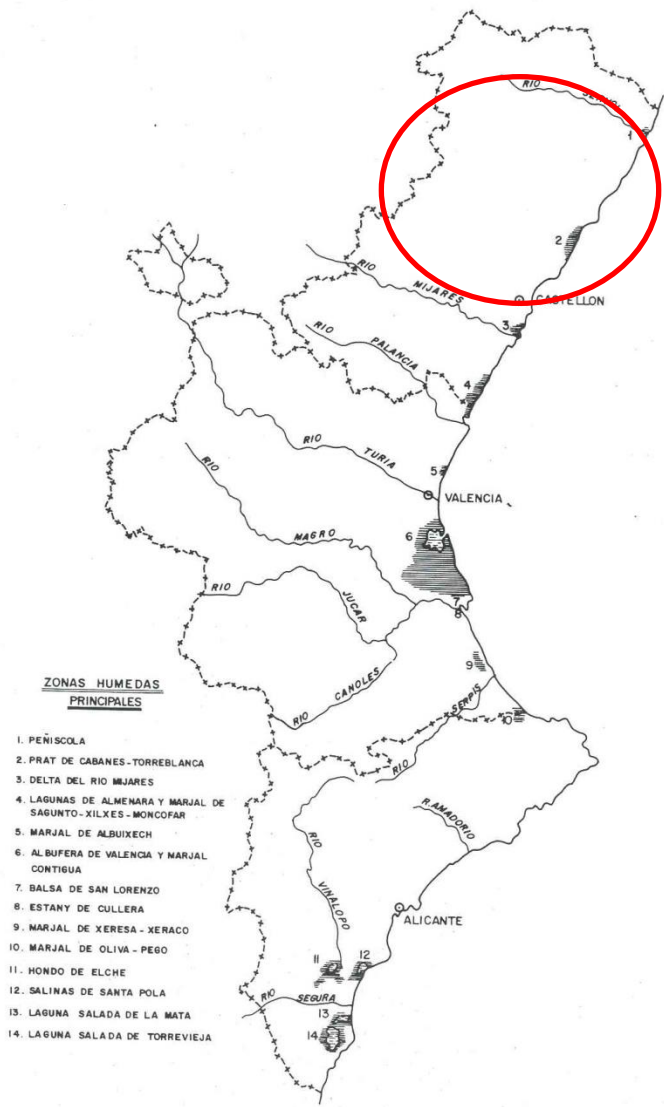
IGME, INSTITUTO GEOLOGICO Y MINERO DE ESPAÑA
Dep. Geología, Minería e Industrias Sometidas
Calle de Génova, 54 - 28014 MADRID
Teléfono: 501.00.00

EL ACUÍFERO DE EL MAESTRAZGO



LA INVESTIGACIÓN HIDROGEOLOGICA DE EL MAESTRAZGO

- **Programa Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS), dentro Plan Nacional de Investigación Minera (PNIM): IGME (1971-1975). Colaboración IRYDA. Definición Sistema 55. Javalambre y Maestrazgo**
- **Plan Nacional de Vigilancia y Control de Acuíferos y Proyectos de Actualización de la Infraestructura Hidrogeológica.**
- **DGOH-IGME (1988) definición de 369 unidades hidrogeológicas. Publicación en 1992**
- **Estudios colaboración IGME-DPC (1988-1990)**
- **Estudios de delimitación de Masas de Agua Subterránea. CHJ (varios años, 2015)**
- **Proyectos propios del IGME (2004-Actualidad)**



Cauce de la Rambla de Cervera

TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN APLICADAS

- **Investigación geológica. Series litoestratigráficas. Cartografía geológica/hidrogeológica**
- **Determinación del balance hídrico: Métodos hidrometeorológicos (ETP, ETR ..). Balance del suelo.**
- **Determinación de extracciones**
- **Nivelación de precisión de puntos de control**
- **Red de control hidrológico: Campañas mensuales de control de nivel del agua en el acuífero (físico-químico, isotópico e hidrométrico). Aforos en manantiales y cauces**
- **Red de control hidrogeológico: Campañas mensuales de control piezométrico (superficie piezométrica), físico-químico, isotópico**

TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN APLICADAS

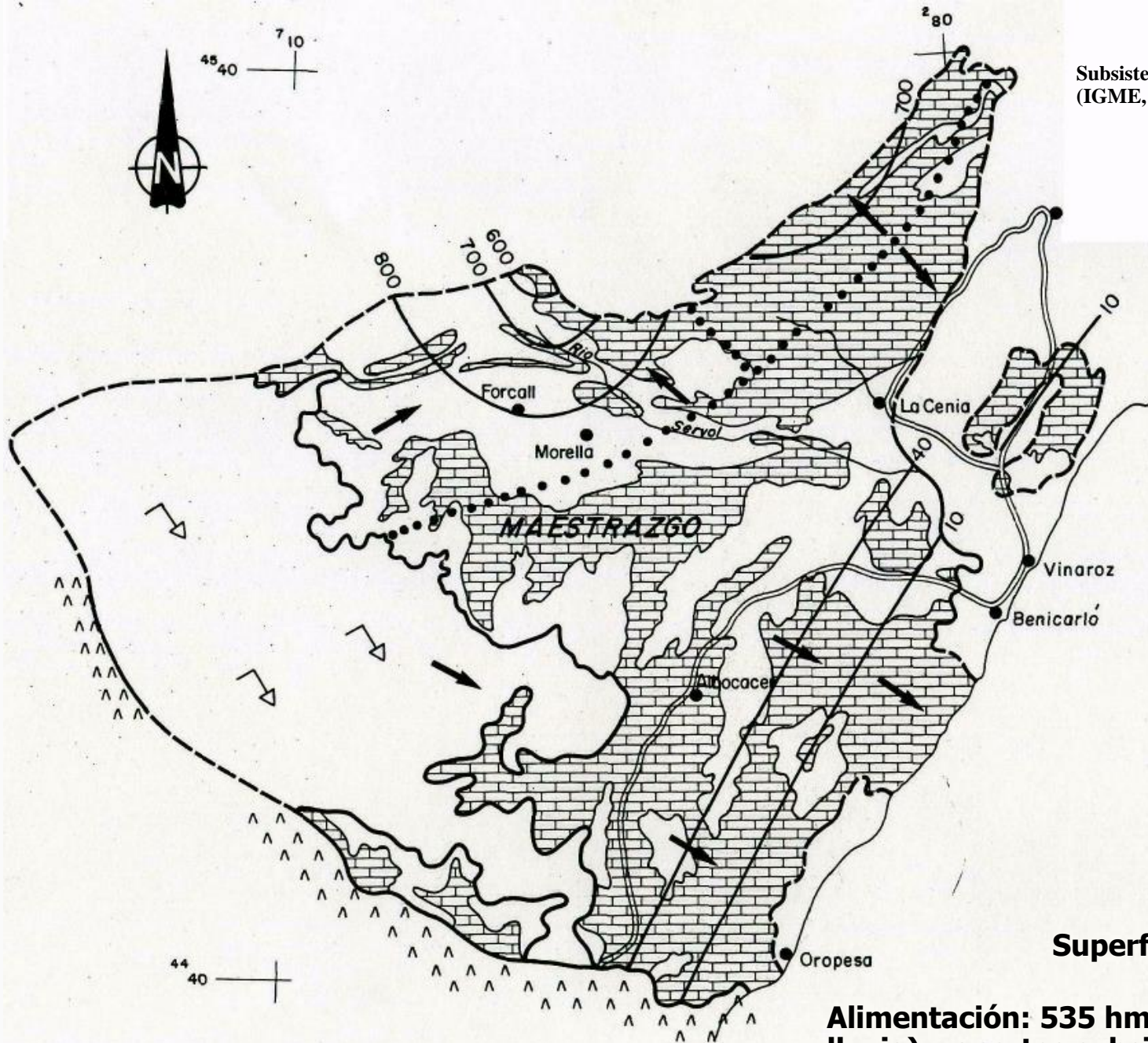
- **Monitorización piezométrica e instrumentación para el control de caudal en tiempo real**
- **Prospección geofísica. Reinterpretación**
- **Sondeos de investigación. Testificación geofísica**
- **Bombeos de ensayo. Características hidrodinámicas de las formaciones permeables (K,T S)**
- **Perfiles mensuales de CE-T. Localización y determinación del comportamiento de la interfase salina**



TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN APLICADAS. Técnicas Especiales

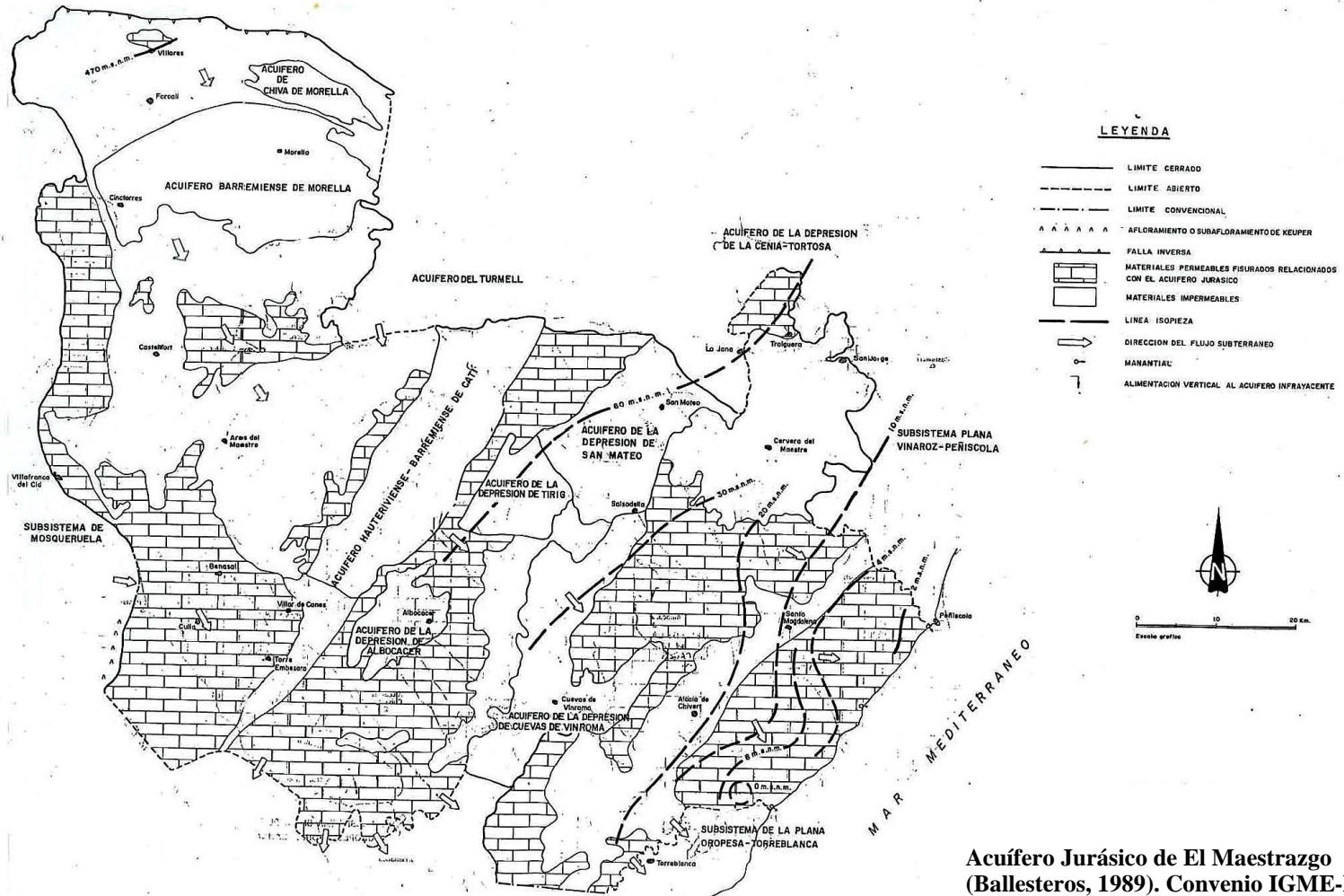
- **Investigación aeroportada en el infrarrojo térmico**
- **Investigación oceanográfica en la plataforma continental**
- **Determinación de aportes continentales mediante método Cuarteto Isótopos del Ra**
- **Investigación fauna cavernícola**

Subsistema del Maestrazgo. S. A. 55.
(IGME, 1985)



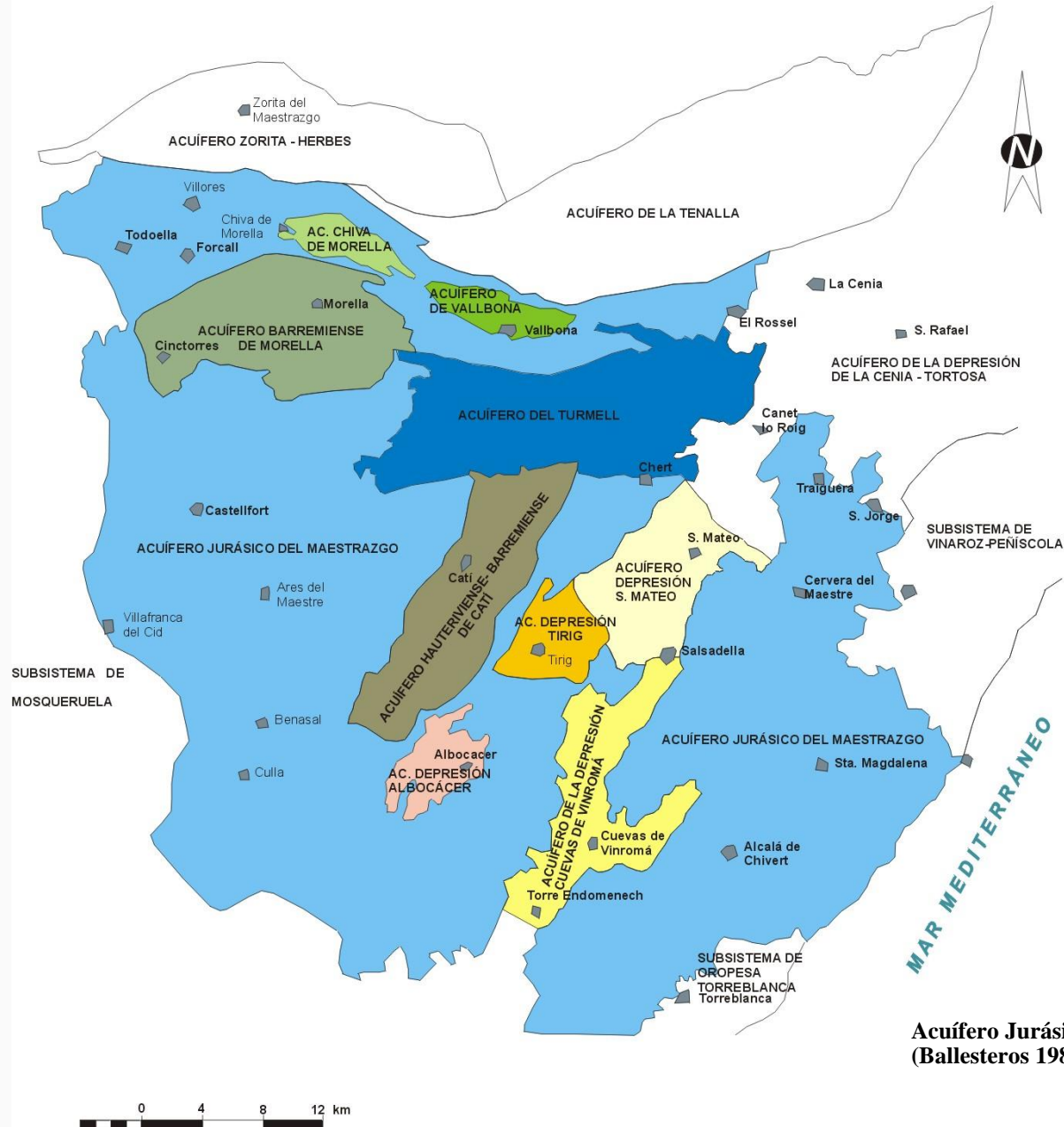
Superficie: 6.600 km²

**Alimentación: 535 hm³/a (475 hm³/a
lluvia) y aportes subsistemas Javalambre
y de Mosqueruela (60 hm³/a)**



Acuífero Jurásico de El Maestrazgo (Ballesteros, 1989). Convenio IGME-DPC

MAPA DE SITUACIÓN DE ACUÍFEROS



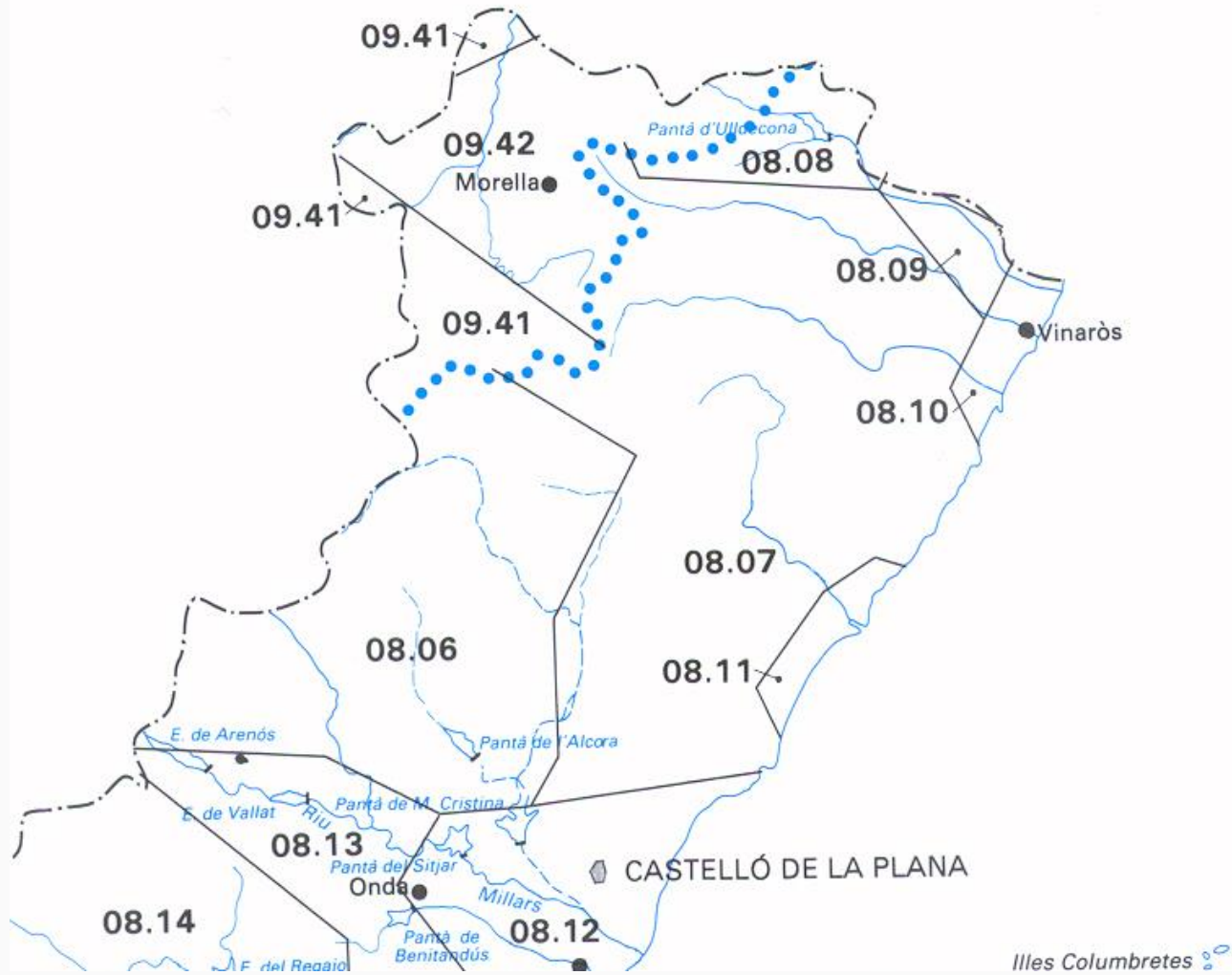
Acuífero Jurásico de El Maestrazgo
(Ballesteros 1989). Convenio IGME-DPC

Unidades Hidrogeológicas (SGOP-IGME, 1992)

UNIDADES HIDROGEOLOGICAS



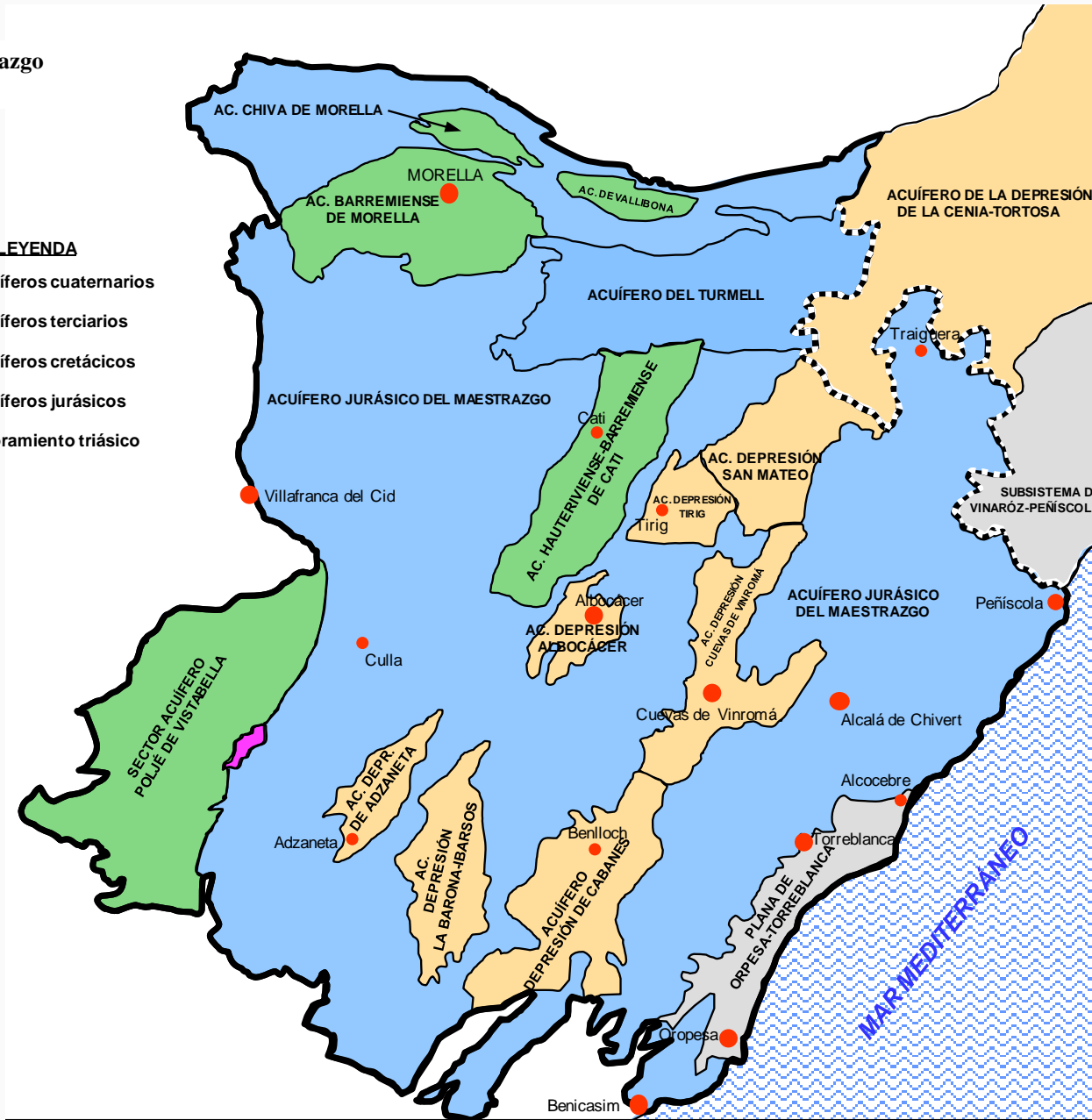
Unidades Hidrogeológicas (SGOP-IGME, 1992)

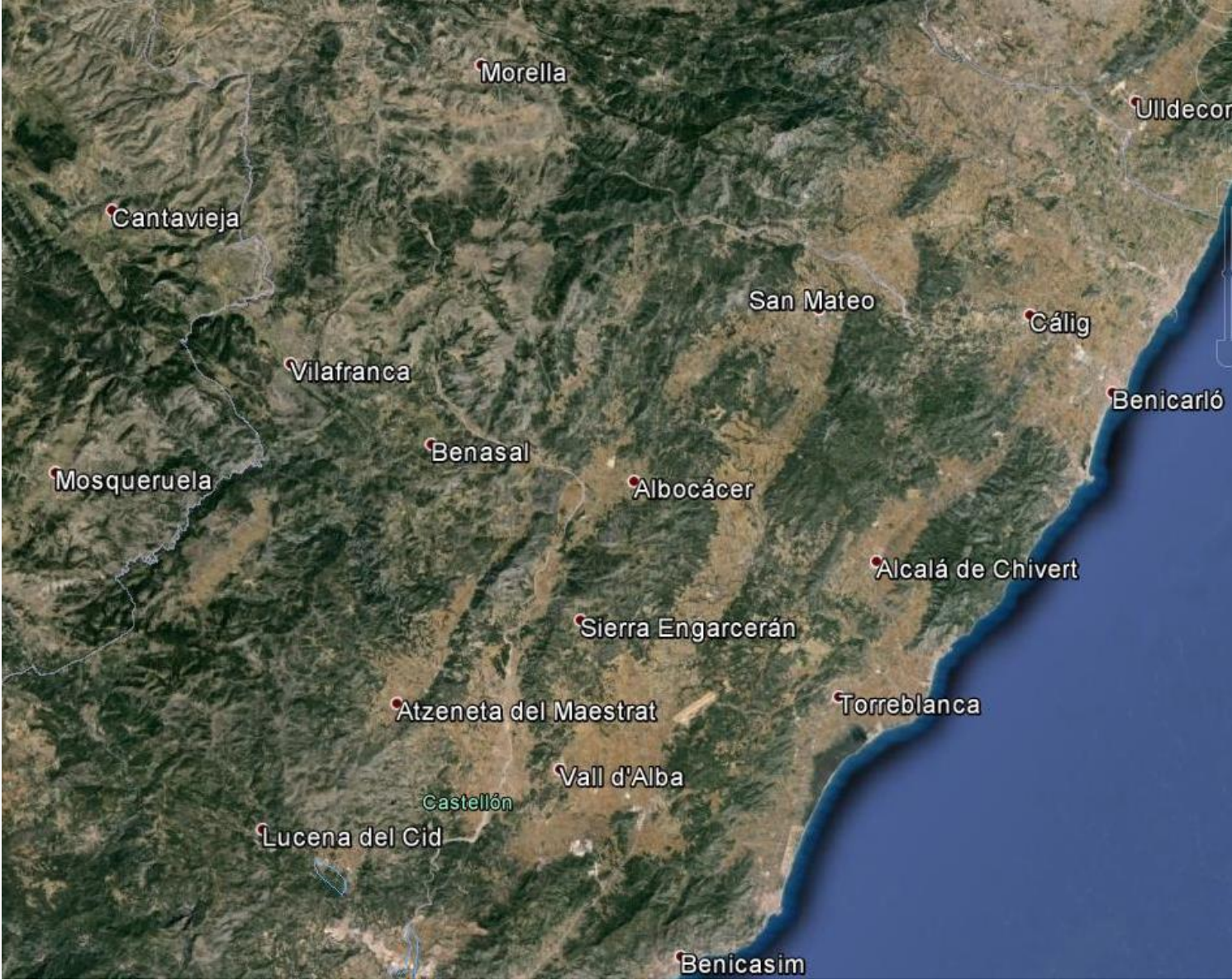


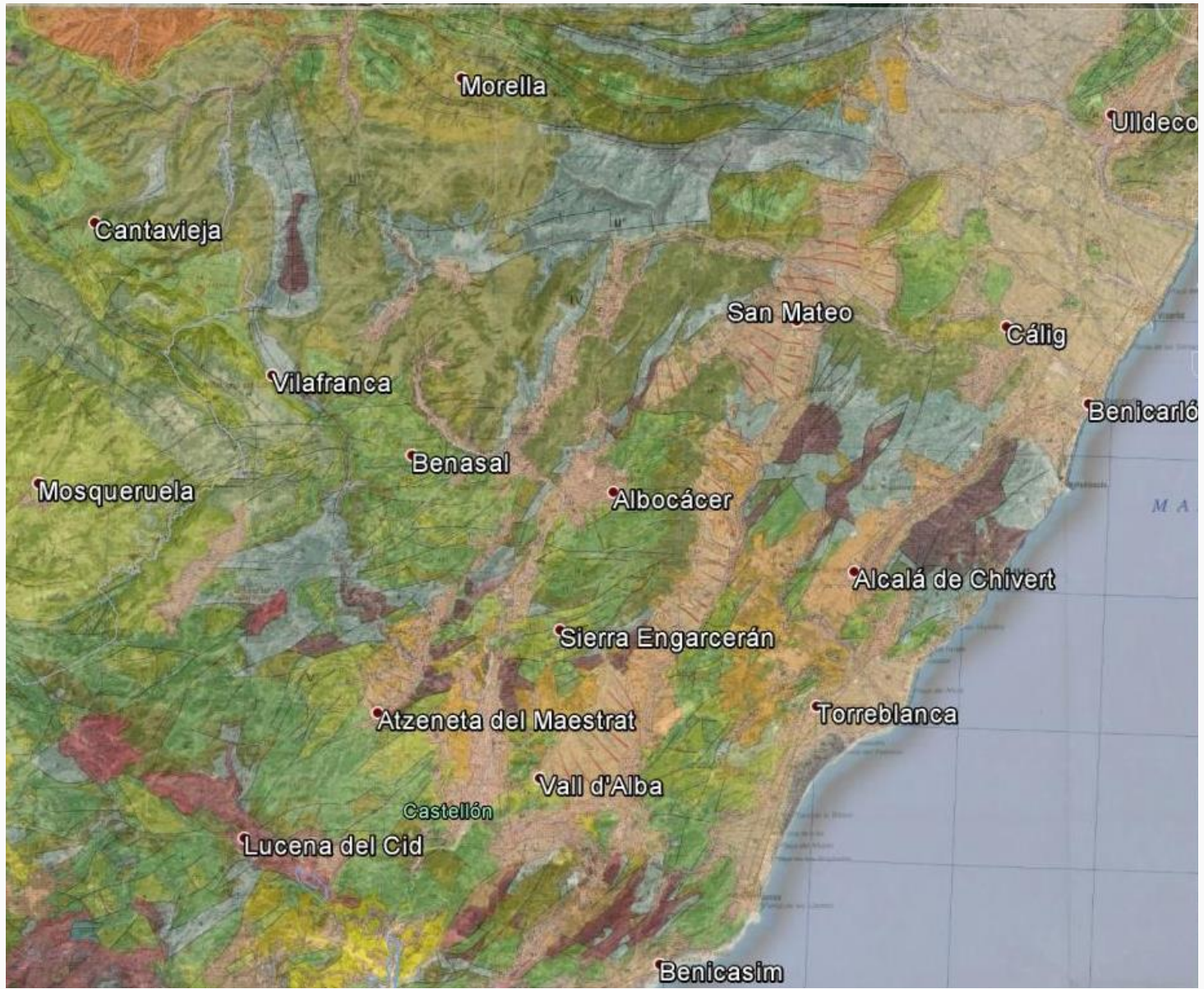
Acuífero de El Maestrazgo (IGME 2007)

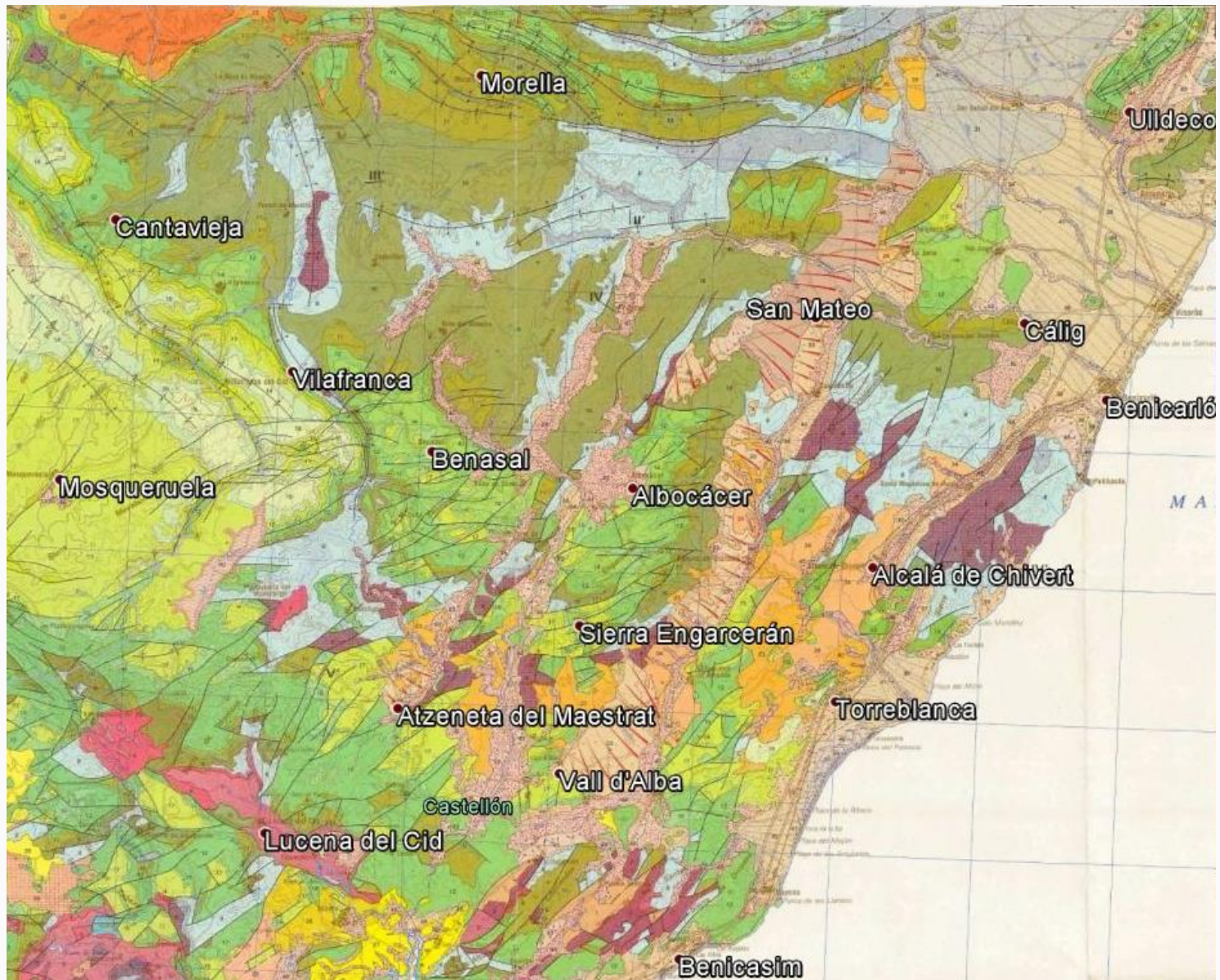
LEYENDA

- Acuíferos cuaternarios
- Acuíferos terciarios
- Acuíferos cretácicos
- Acuíferos jurásicos
- Afloramiento triásico



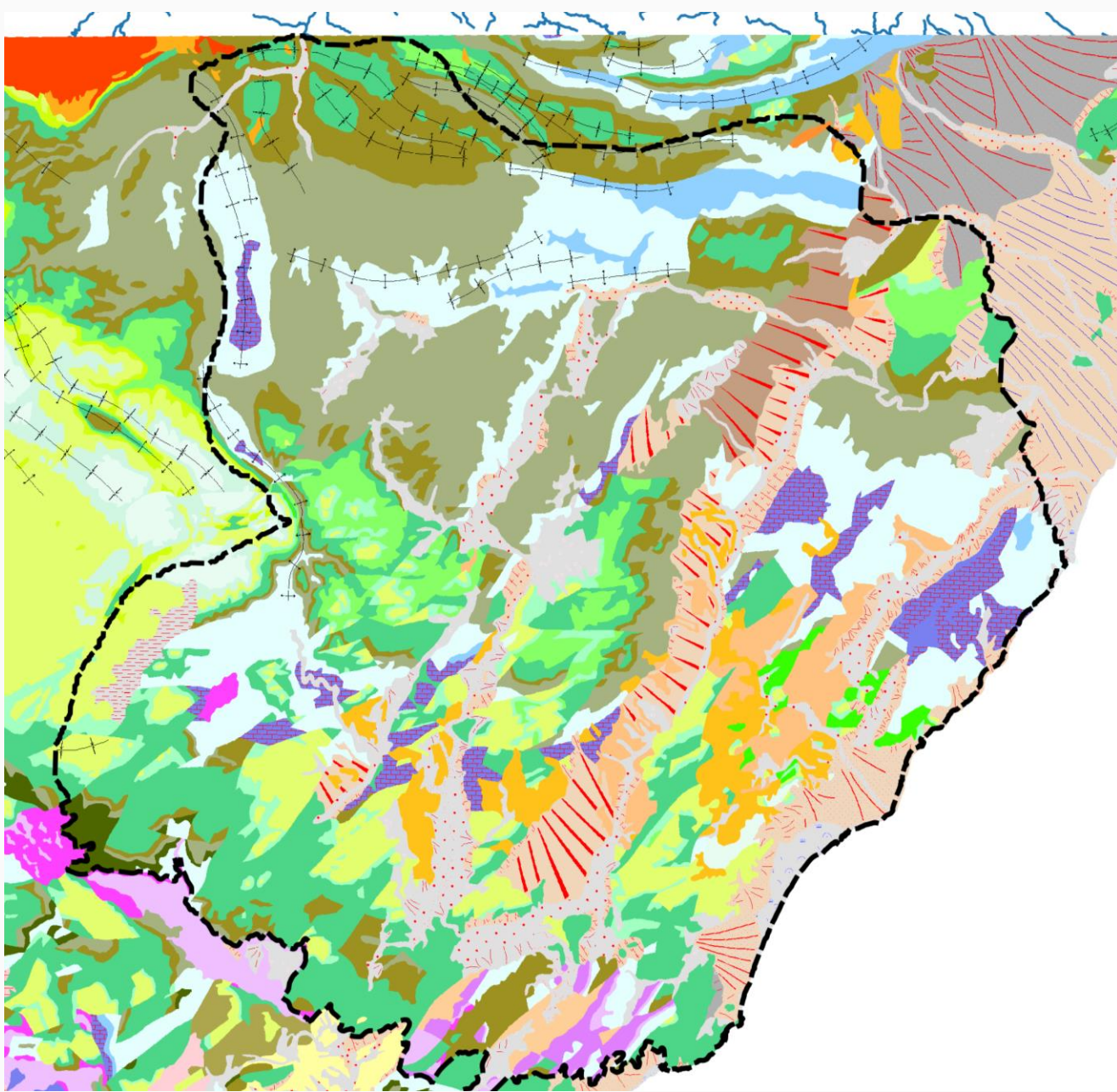


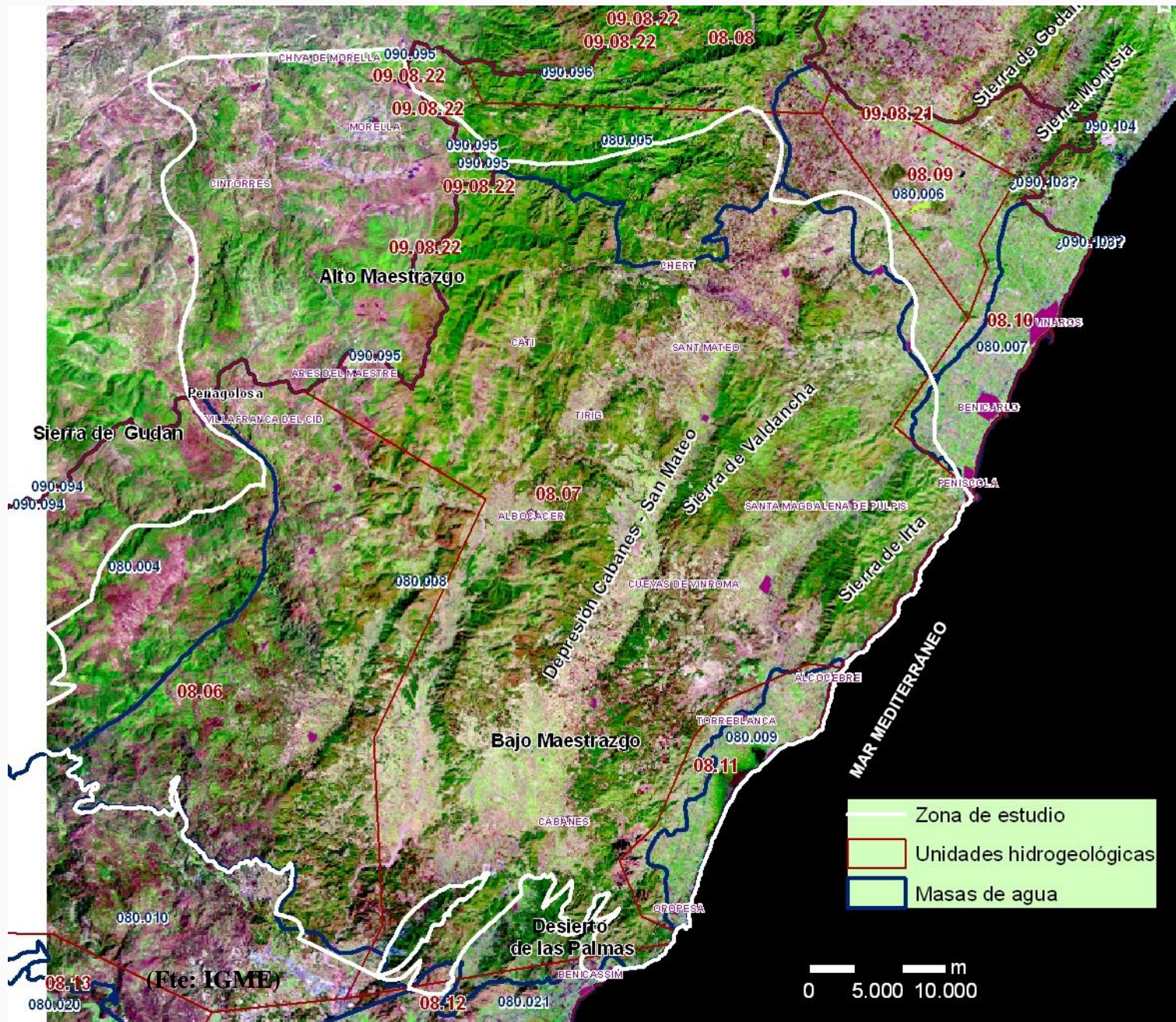


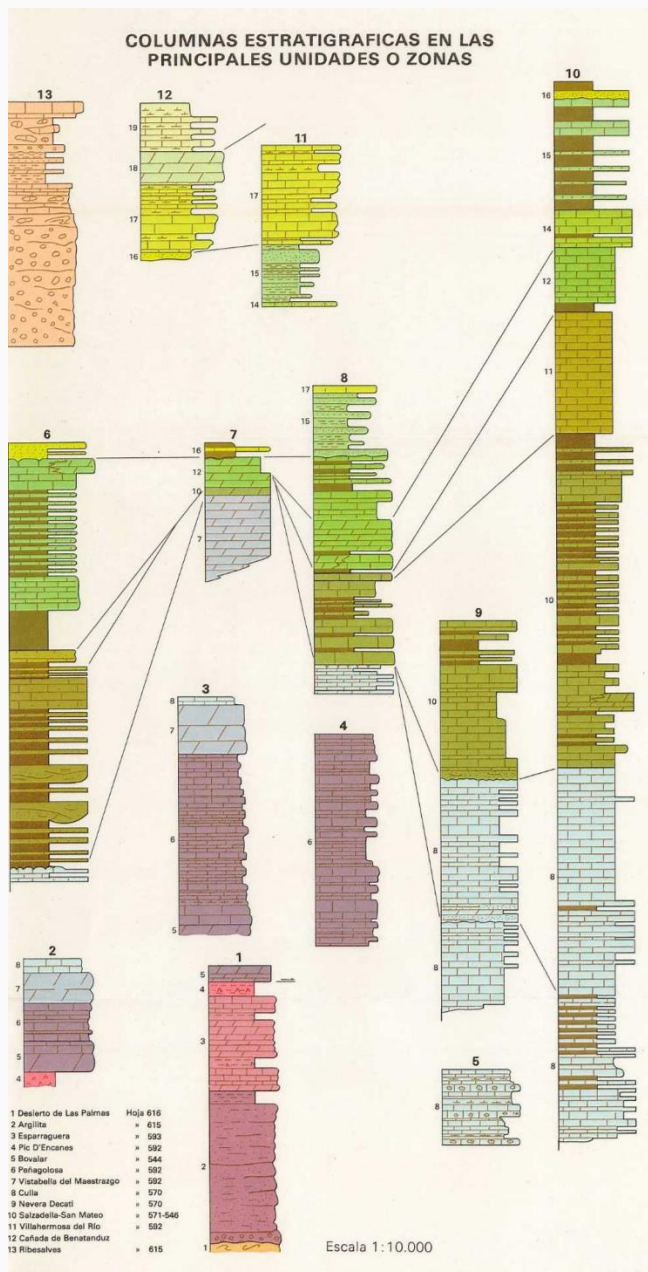


(Fte: IGME)

Cartografía geológica Maestrazgo





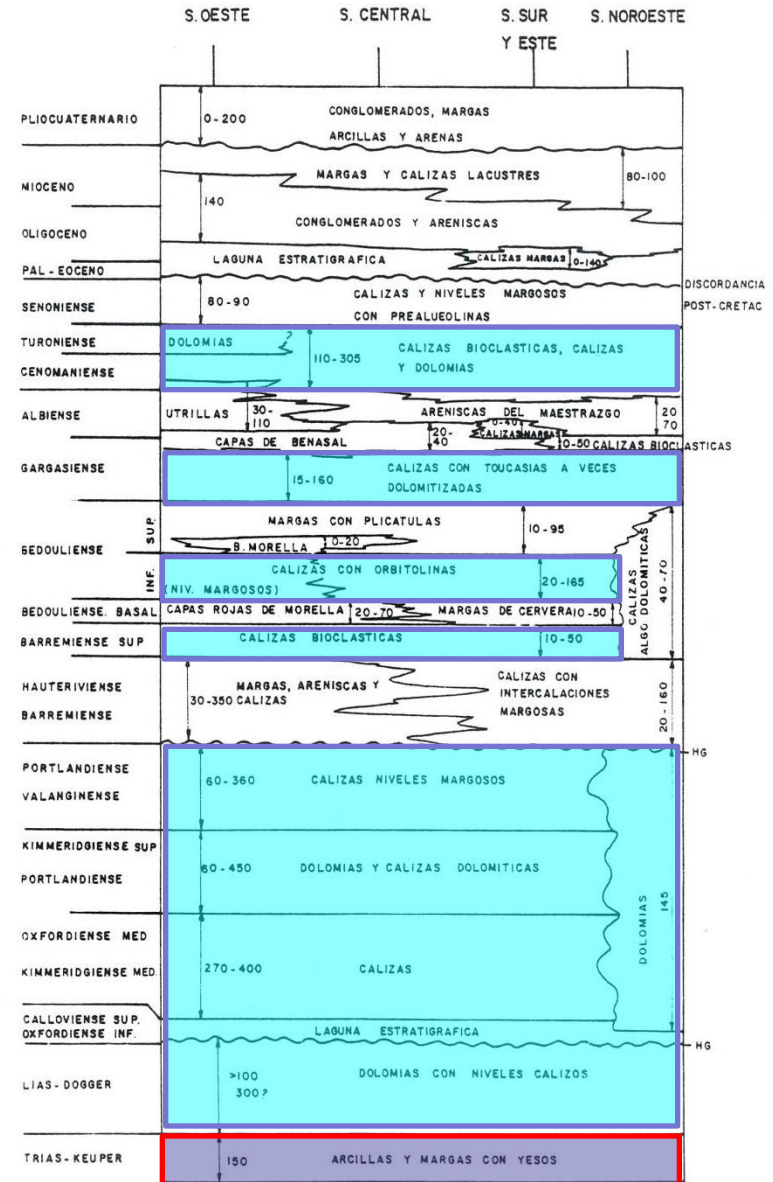
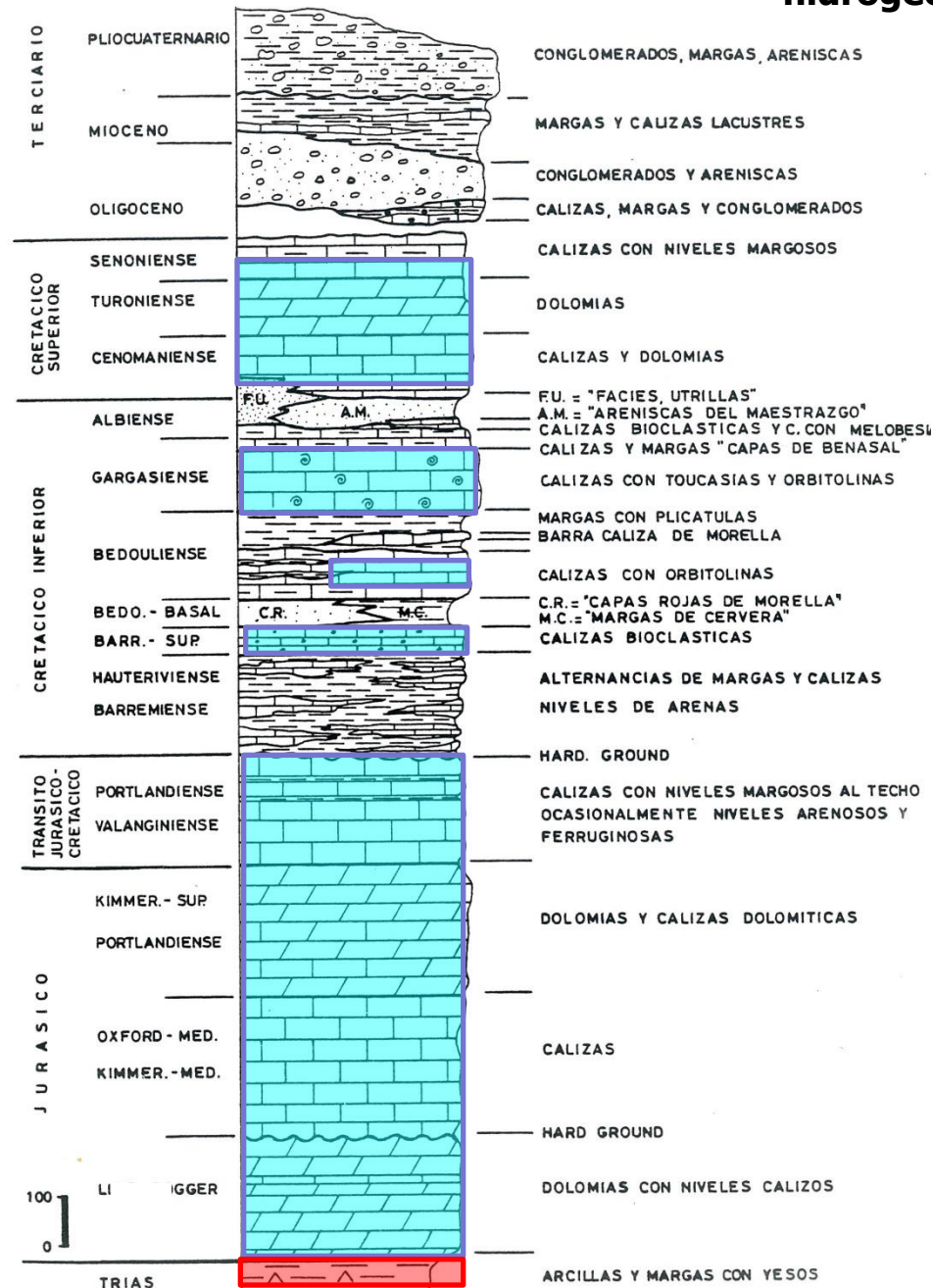


Series litoestratigráficas del Maestrazgo Jurásico-Cretácico >3.500 m

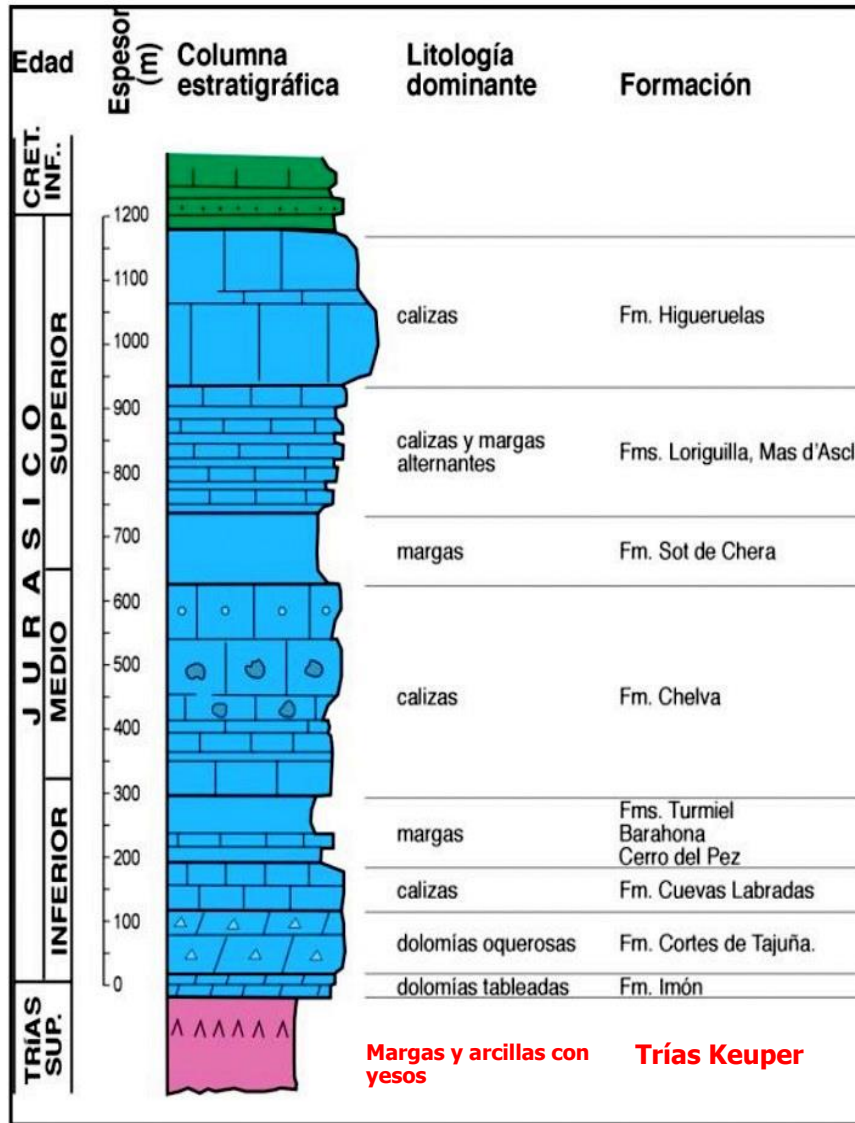
(Fte: IGME)

Serie sintética del Maestrazgo Central

Relaciones litoestratigráficas y características hidrogeológicas



(Fte: IGME-DPC, 1988)



TIPOLOGÍA
Acuífero Kárstico litoral
(Calizas y dolomías jurásicas)

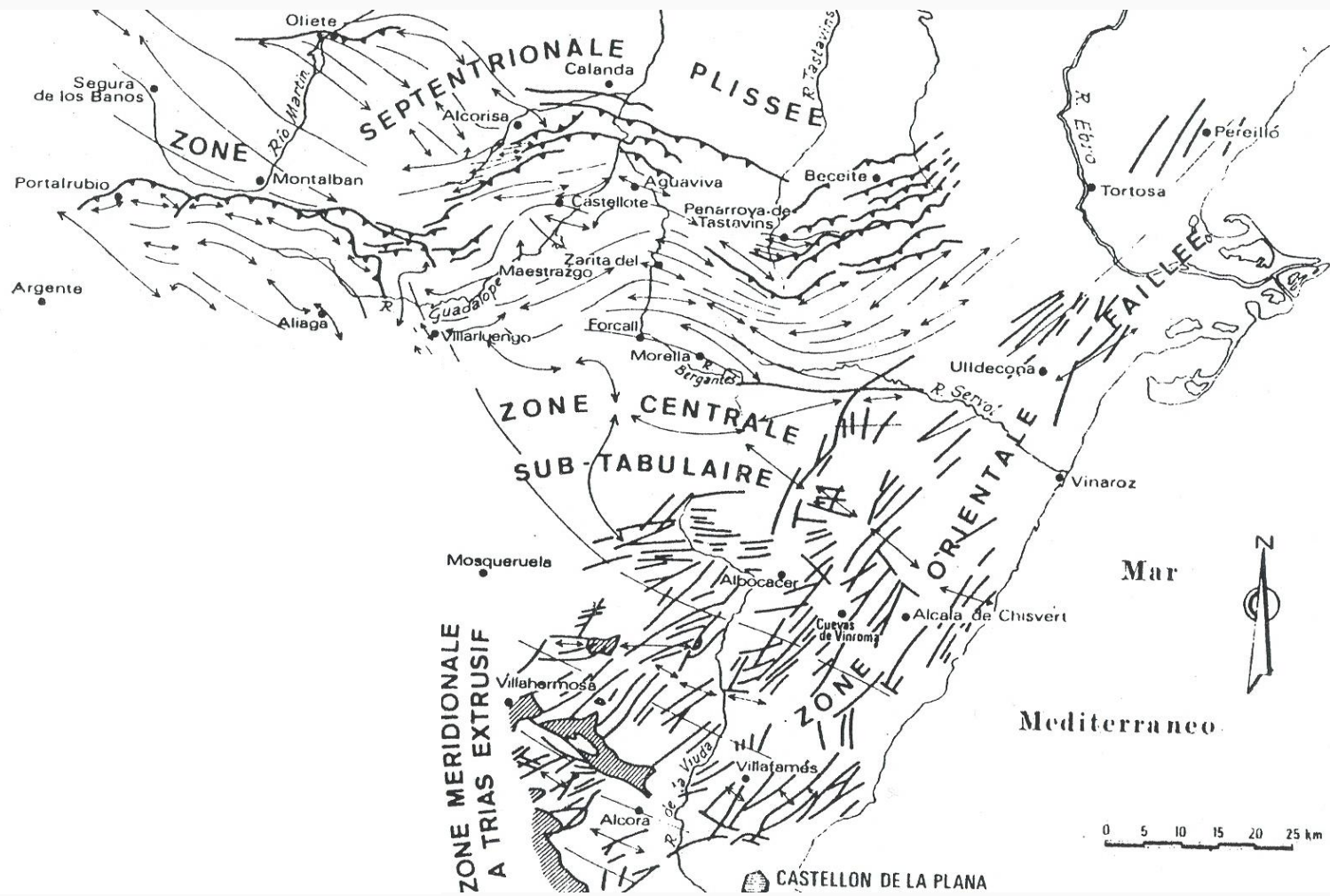
Acuífero Jurásico
(espesor medio 1.200 m)

Alta permeabilidad por fisuración y karstificación (Kimmeridgiense superior-Portlandiense y Lías-Dogger) mejores características hidrodinámicas

← Base impermeable

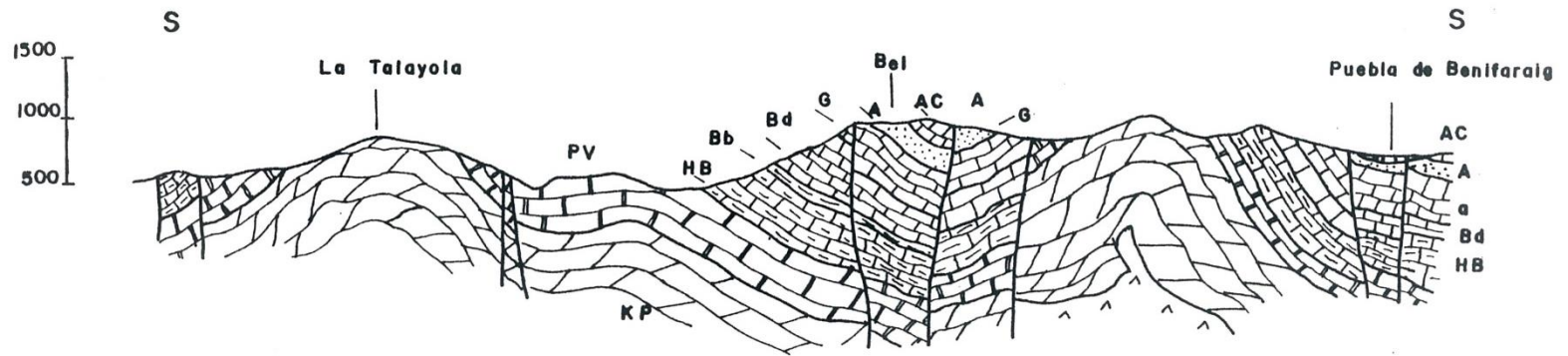
Unidades litoestratigráficas del Jurásico en El Maestrazgo

(IGME, 2007)



ESQUEMA ESTRUCTURAL DEL MAESTRAZGO (Canerot, 1974)

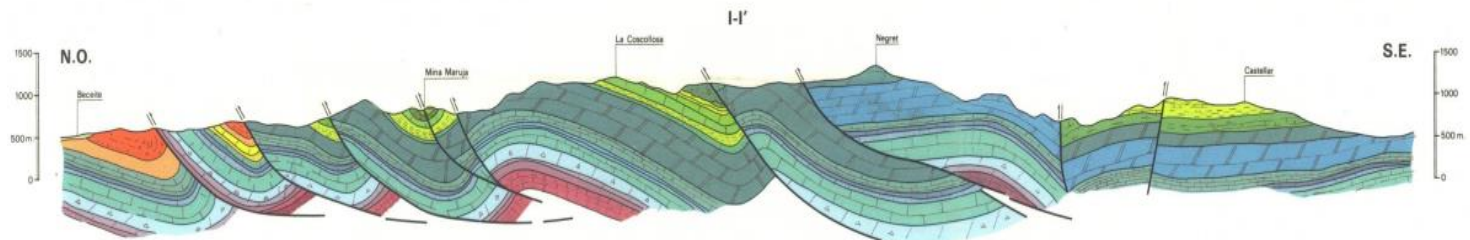
CORTE ESTRUCTURAL EN LA ZONA SEPTENTRIONAL PLEGADA: SECTOR TALAYOLA-POBLA DE BENIFASAR



(IGME-DPC, 1988)

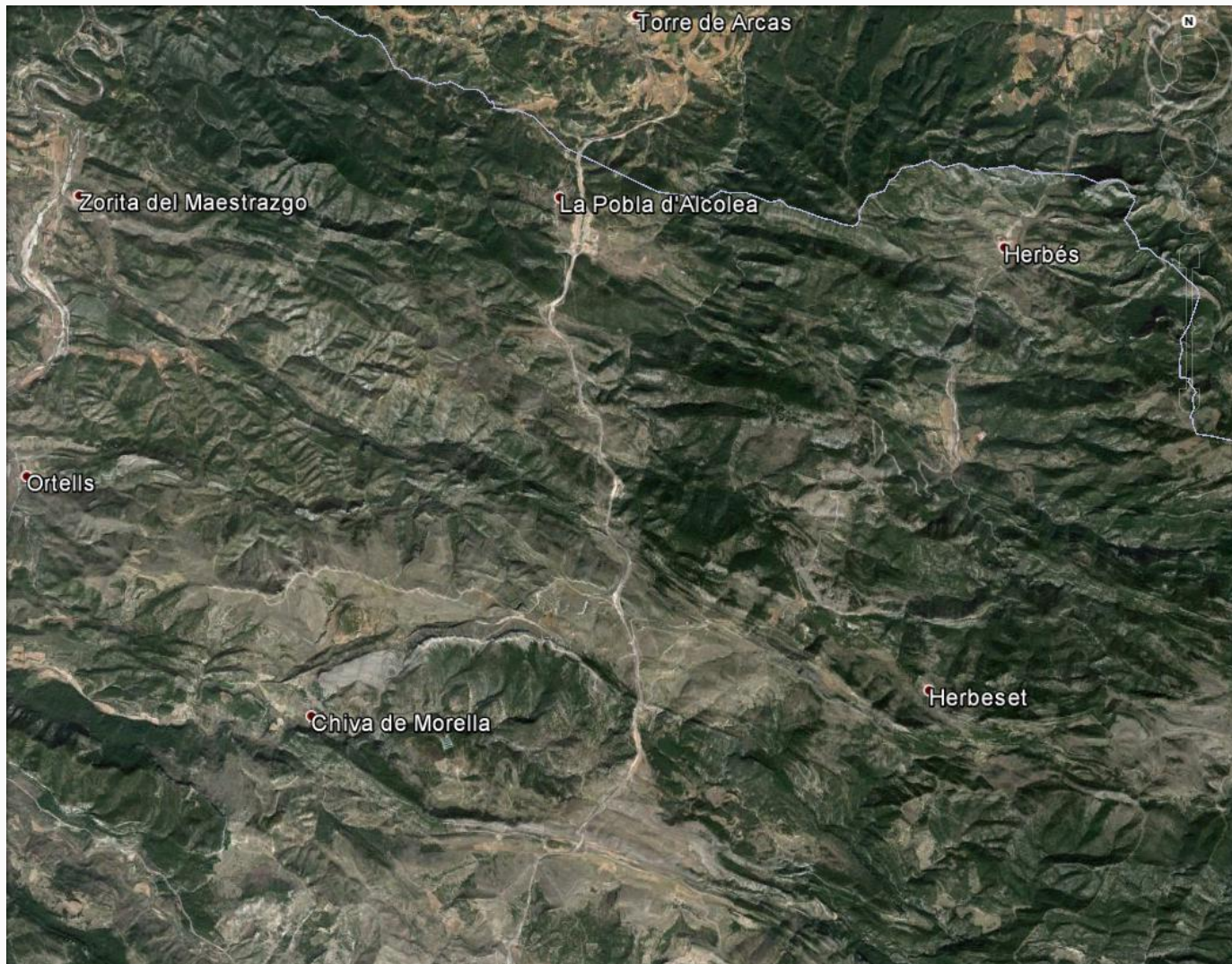
- AC - Albiense - Cenomaniense
- AC - Albiense -
- G - Gorgasiense
- Bd - Bedouillense
- Bb - Bedouillense- Basal
- HB - Hauteriviense - Barremiense
- Jurásico | - PV- Portlandense-Valangiense
- | - KP- Kimmeridgense

Proyección U.T.M. Elipsoide Internacional

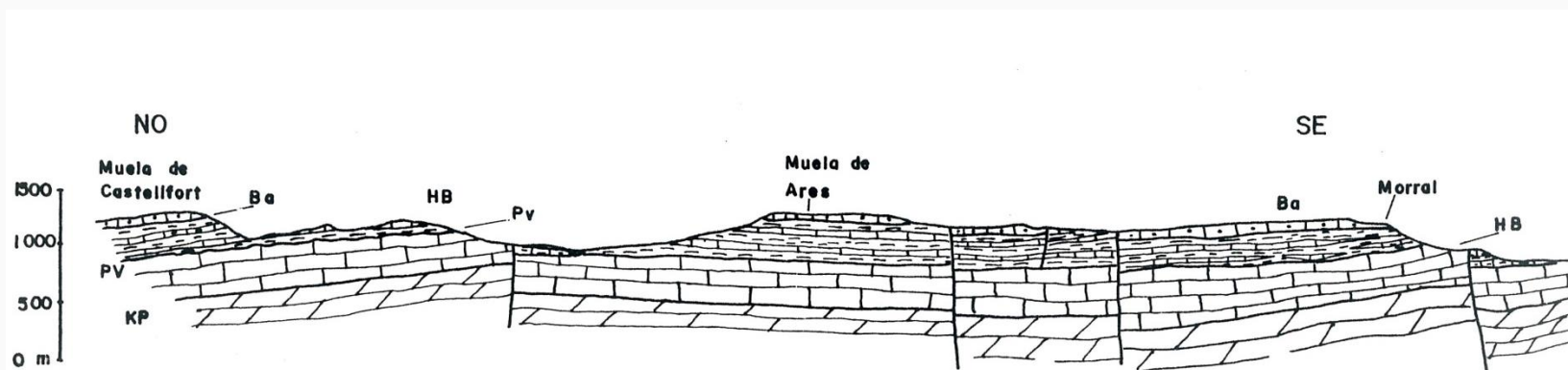


(Fte: MAGNA. IGME)

CORTE ESTRUCTURAL EN LA ZONA SEPTENTRIONAL PLEGADA

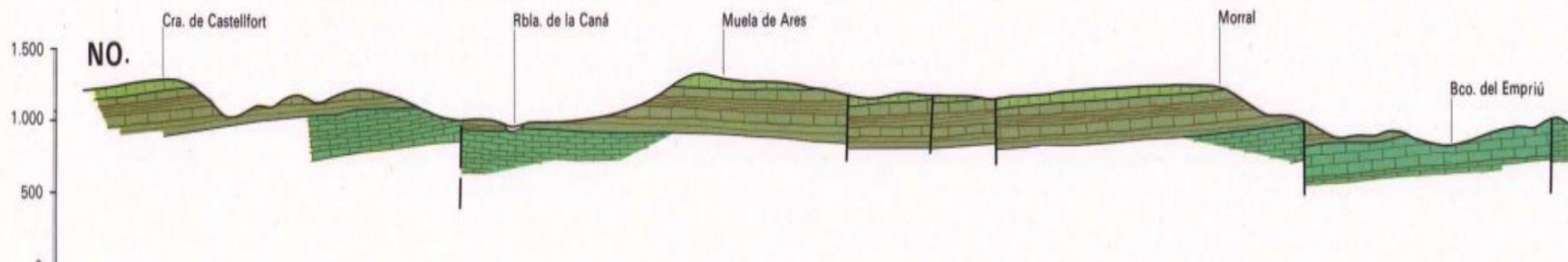


CORTE ESTRUCTURAL EN LA ZONA CENTRAL SUBTABULAR: SECTOR ARES DEL MAESTRE-CASTELLFORT



(IGME-DPC, 1988)

- Ba - Barremiense Superior
- HB - Hauteriviense - Berremiense
- Pv - Portlandiense - Valangiense
- KP - Kimmendgense - Portlandiense



(Fte: MAGNA. IGME)

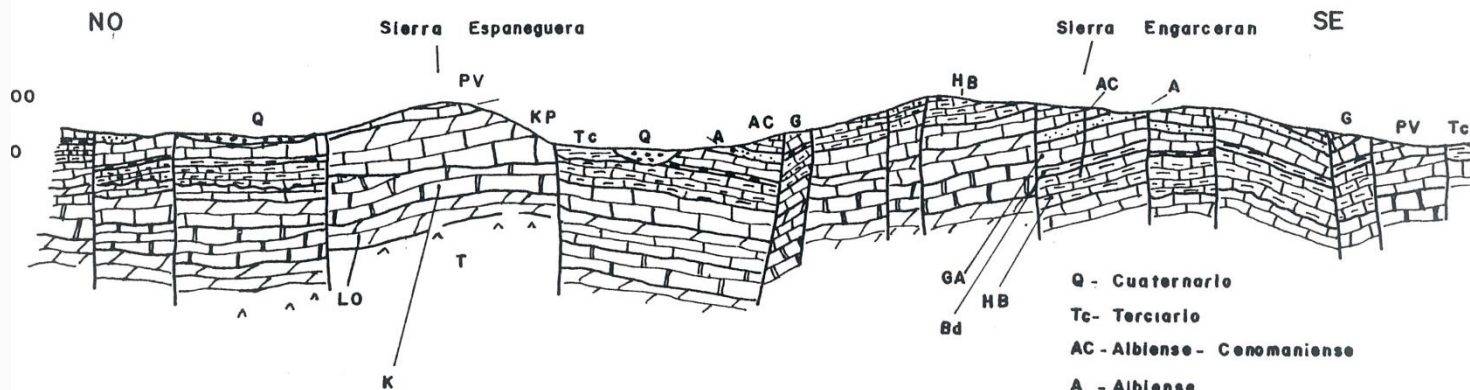
ZONA CENTRAL SUBTABULAR: SECTOR ARES DEL MAESTRE-CASTELLFORT



ZONA CENTRAL SUBTABULAR: SECTOR ARES DEL MAESTRE-CASTELLFORT

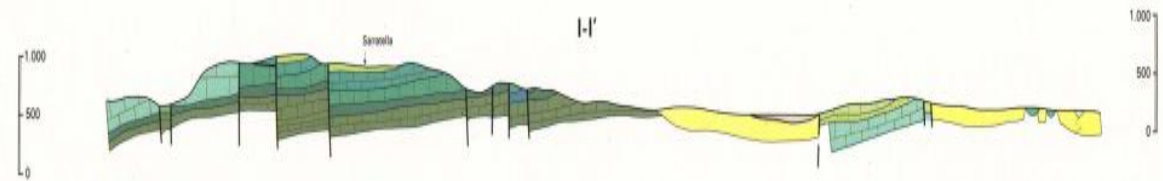


CORTE ESTRUCTURAL EN LA ZONA ORIENTAL FALLADA: SECTOR TORRE EMBESORA-SIERRA DE ENGARCERÁN

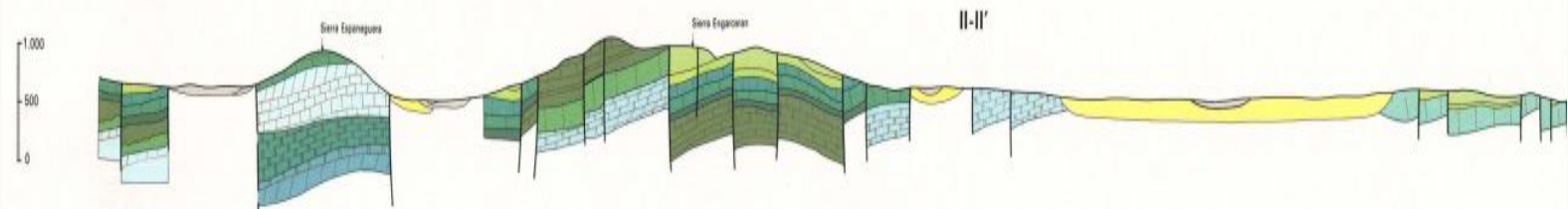


(IGME-DPC, 1988)

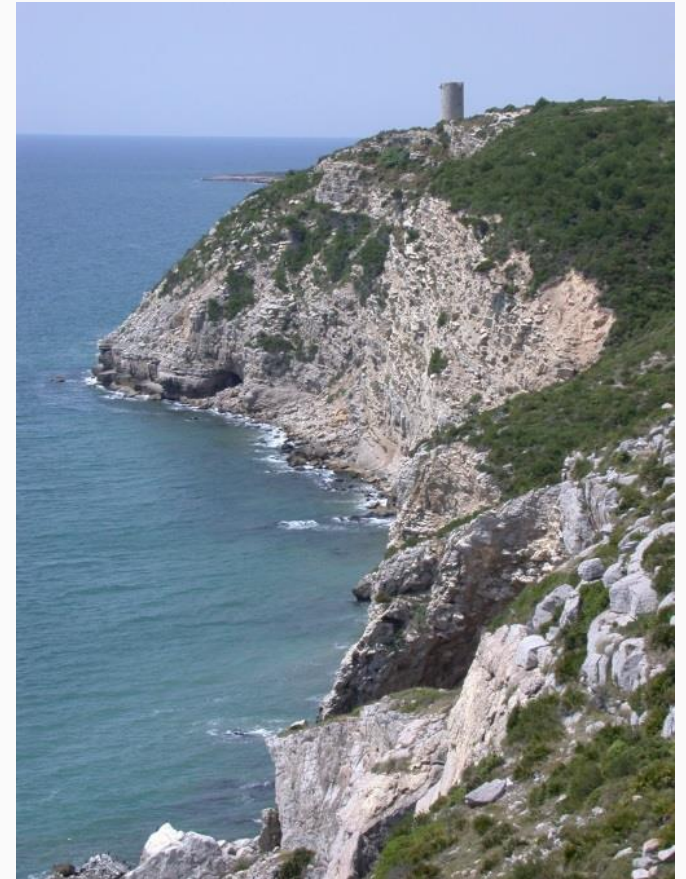
- Q** - Cuaternario
- Tc** - Terciario
- AC** - Albiense - Cenomaniense
- A** - Albiense
- GA** - Gargasense - Albiense
- Bd** - Bedouliense
- HB** - Hauteriviense - Barremiense
- PV** - Portlandiense - Valangiense
- KP** - Kimmeridgense - Portlandiense
- K** - Kimmeridgense
- LO** - Lias - Oxfordiense



(Fte: MAGNA. IGME)

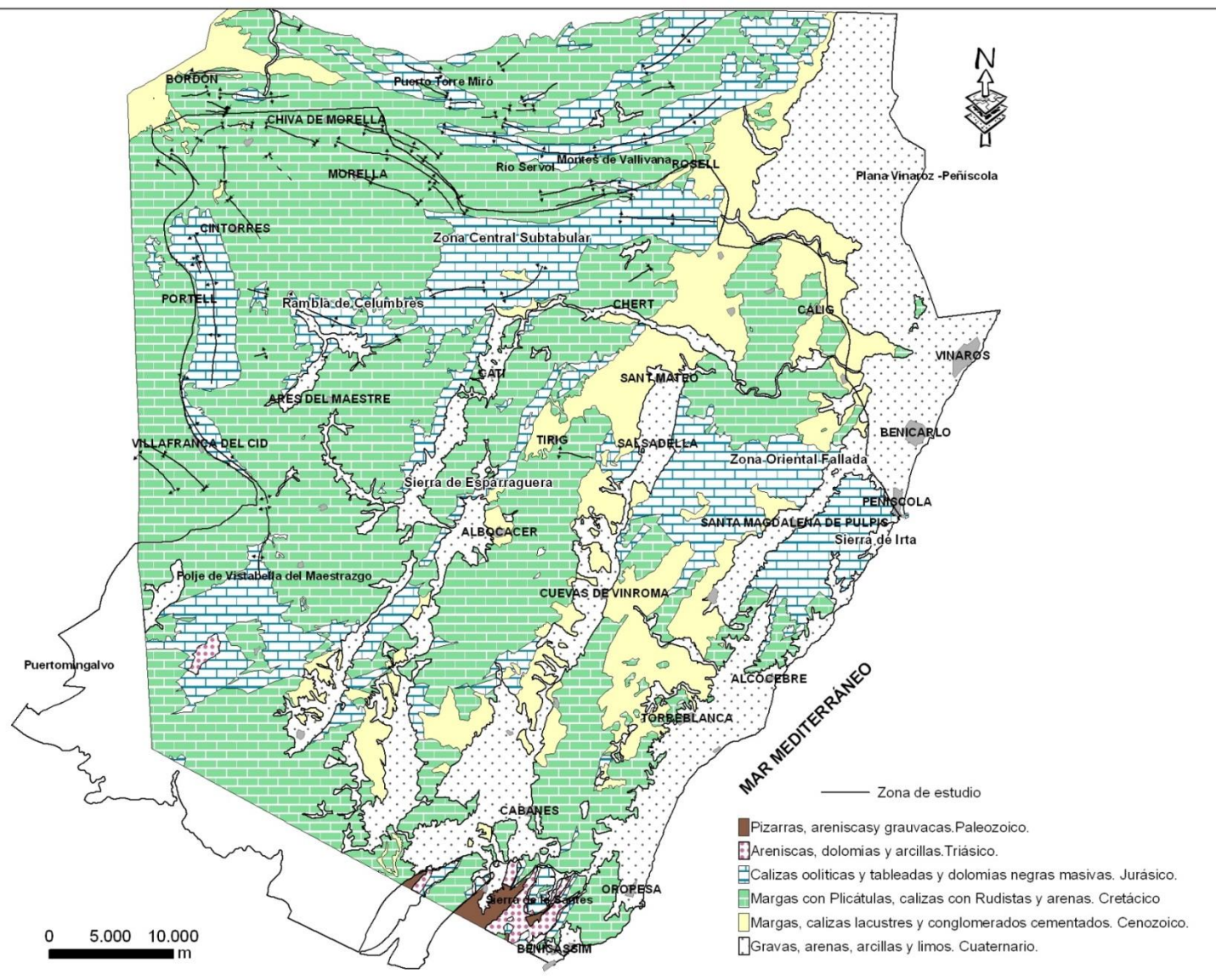






FRENTE COSTERO DE LA SIERRA DE IRTA

Afloramientos permeables jurásicos (azul) y límites del acuífero



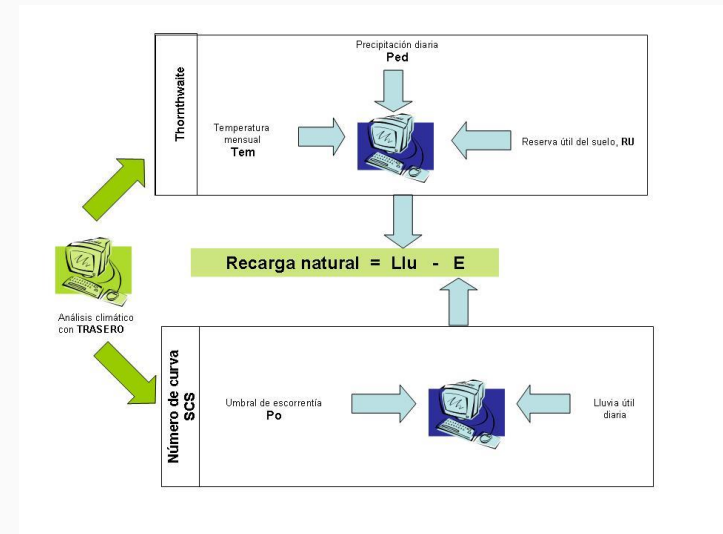
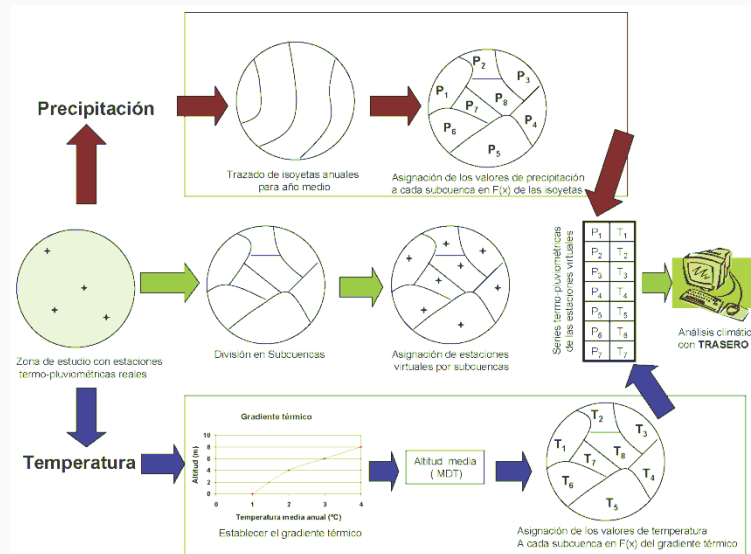
BALANCE HÍDRICO

CALCULO INFILTRACIÓN

Varios métodos:

Thornthwaite, Subcuencas hidrológicas, APLIS

MÉTODO SUBCUENCAS HIDROLÓGICAS



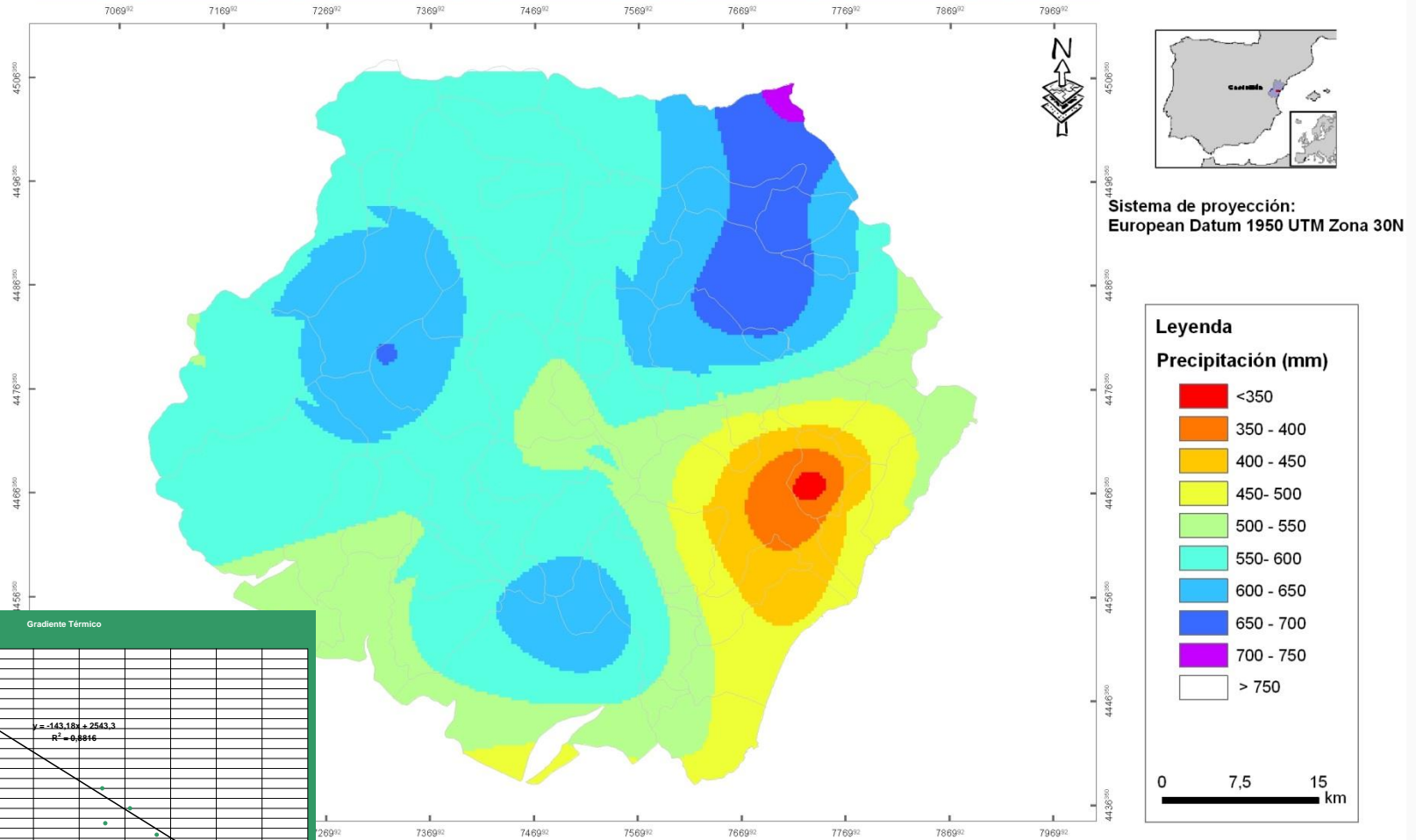
Balace par subcuencas. Estaciones virtuales para cada subcuencia

Combinación métodos hidrogeológicos tradicionales con métodos escorrentía superficial

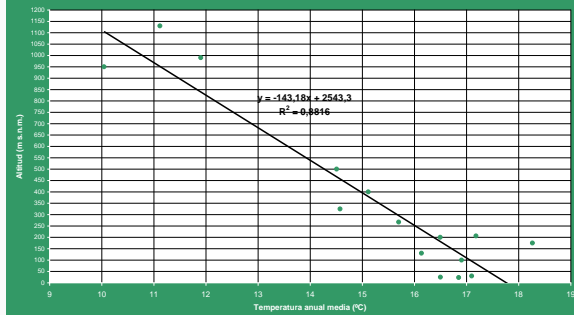
Descomposición de la lluvia útil mediante método Número Curva (USSCS)

Calculo infiltración. Método Subcuencas Hidrológicas

Mapa de precipitación media anual desde octubre de 1975 hasta septiembre de 2006

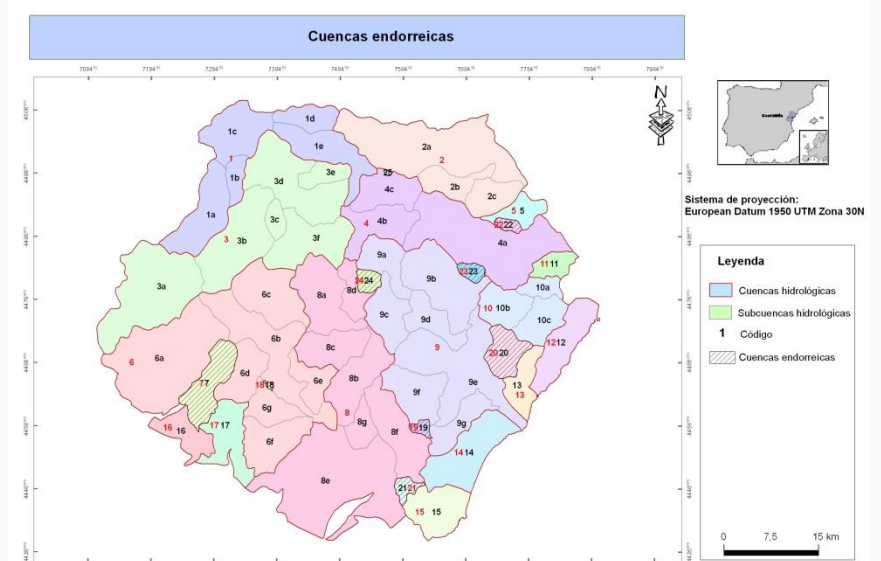
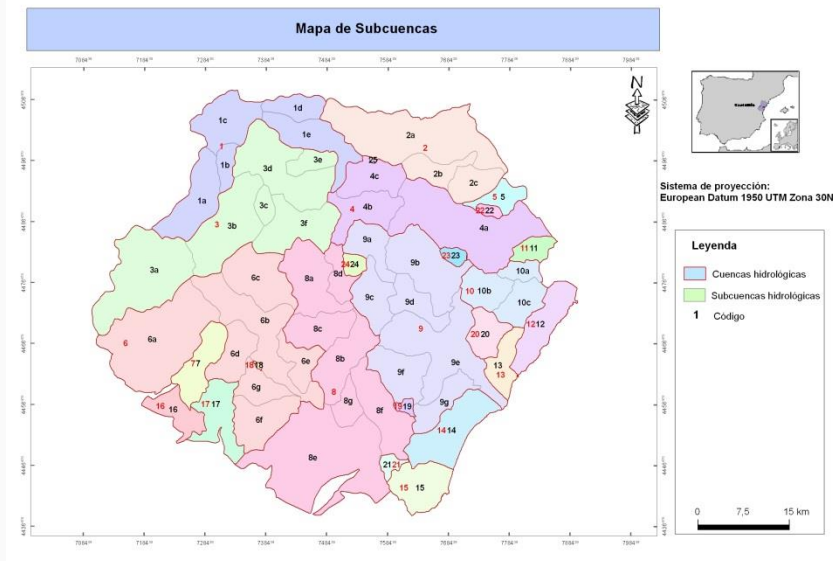
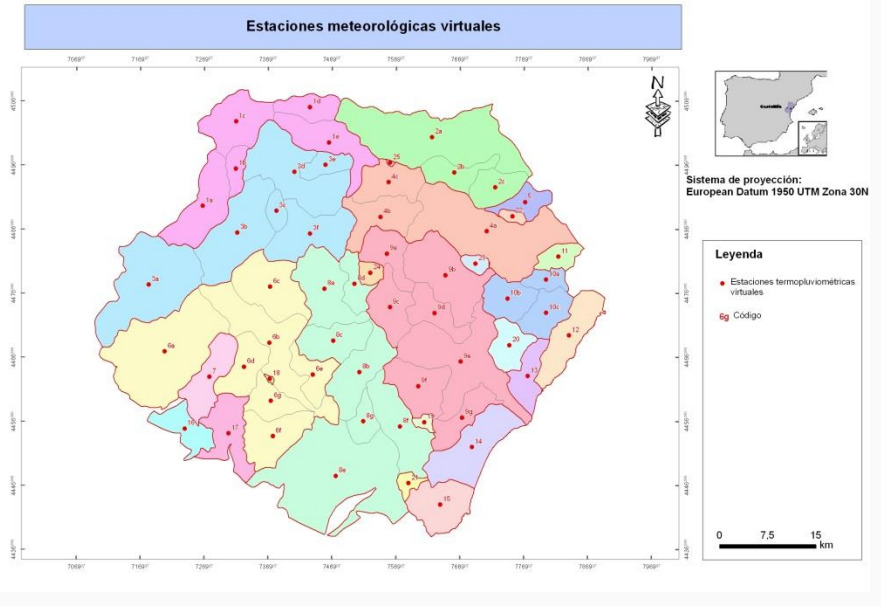
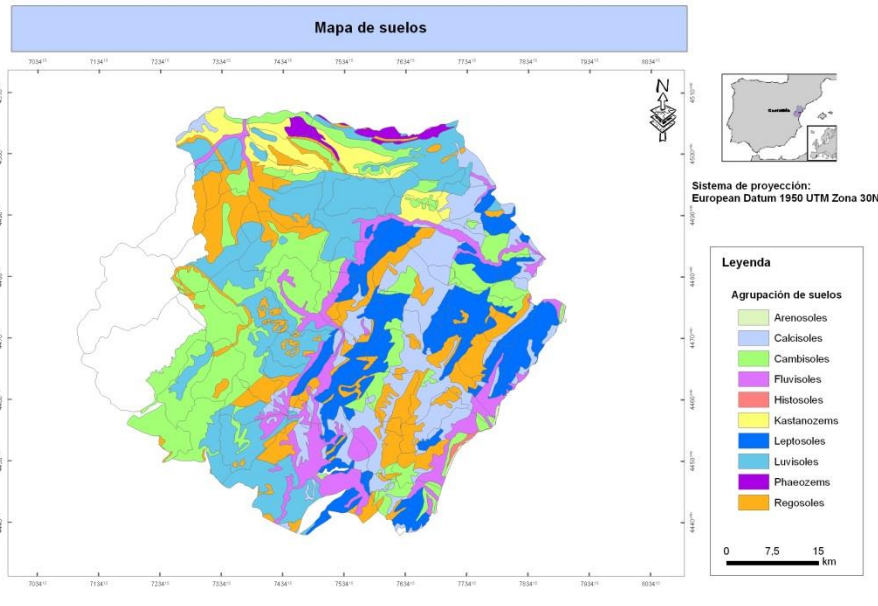


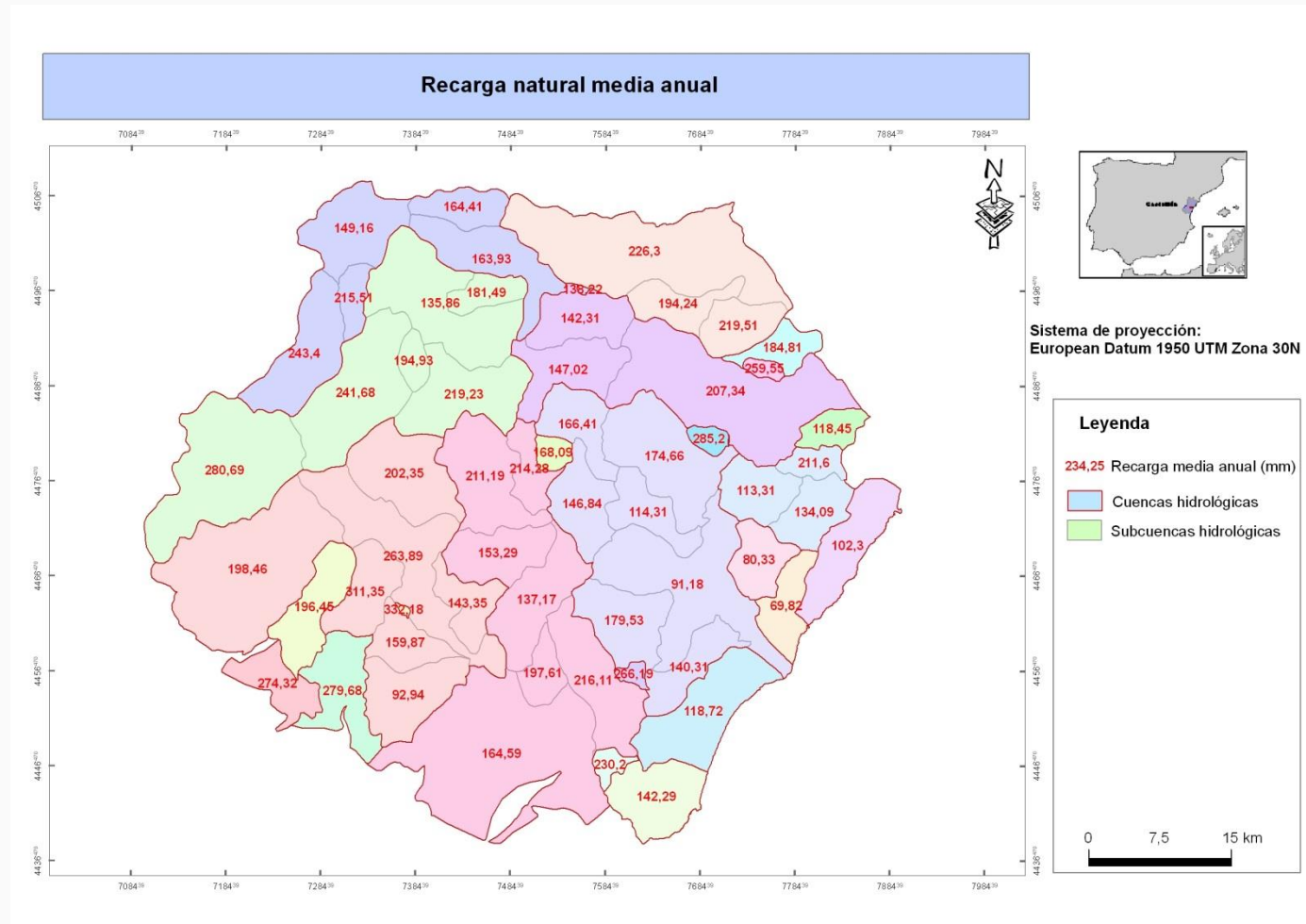
Gradiente Térmico



(IGME, 2007)

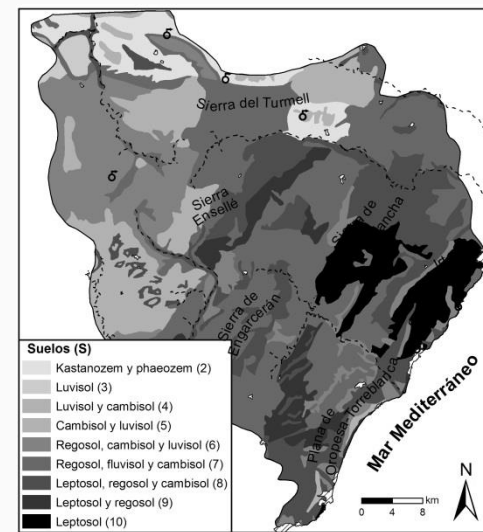
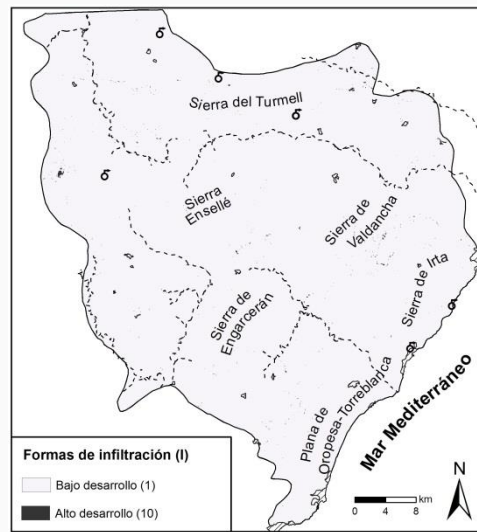
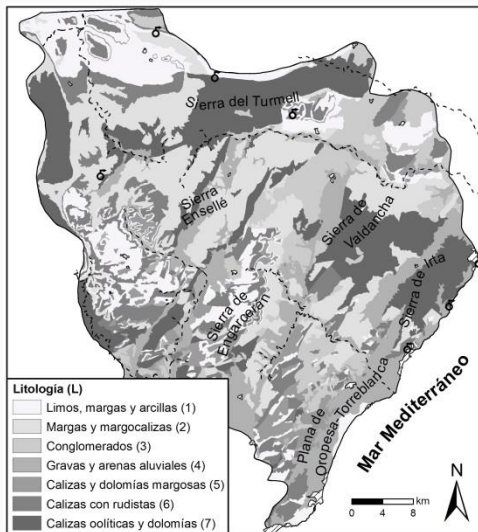
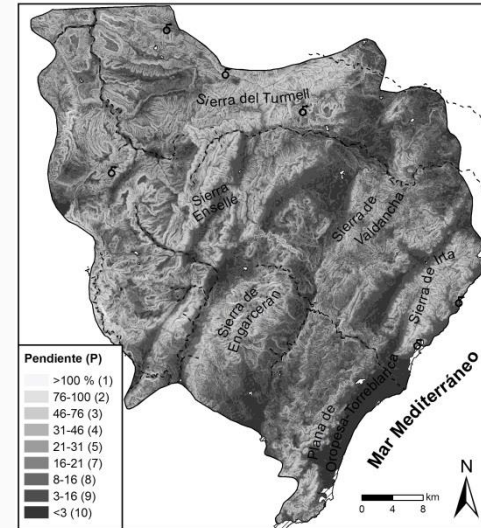
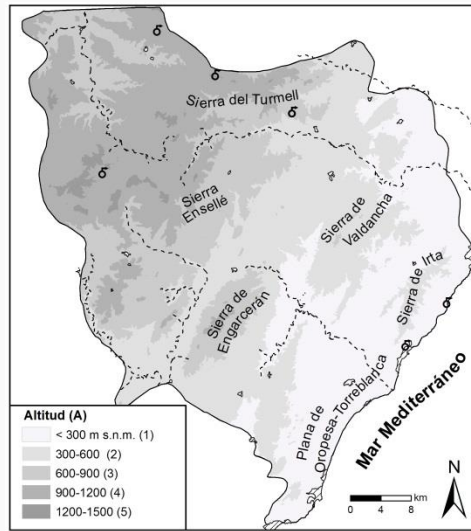
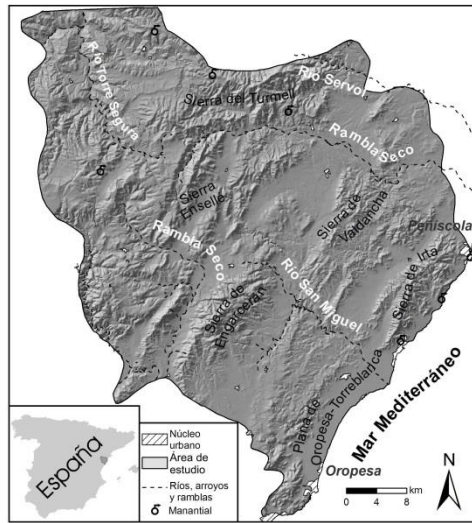
Calculo infiltración. Método Subcuencas Hidrológicas





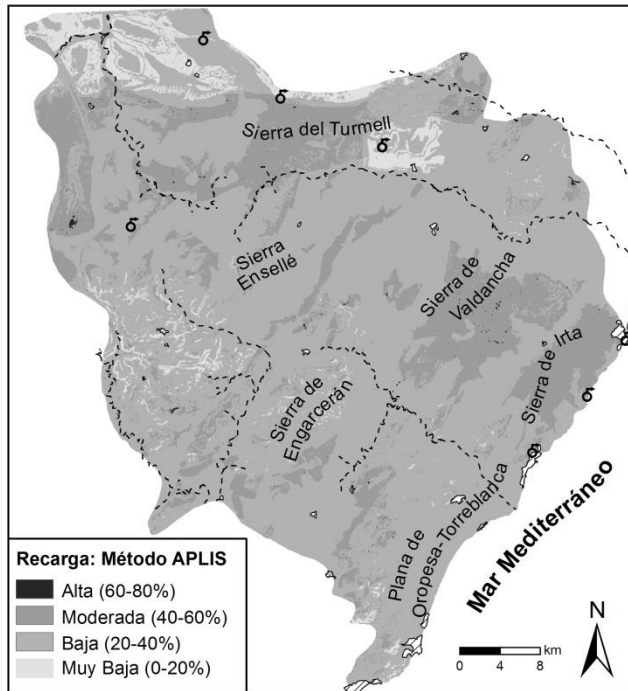
Método de subcuencas hidrologicas (junio 2007)	2.368,30	394 hm ³ /a
-------------------------------------------------------	----------	------------------------

CALCULO INFILTRACIÓN. MÉTODO APLIS (Andreo et al., 2007)



Parámetros del método APLIS

(Andreo et al., 2007)



Método APLIS

Distribución espacial de la recarga

	Superficie km ²	Precipitación (P)		Índice APLIS	Recursos hm ³ /año
		mm	hm ³ /año	% P	
Acuífero jurásico	502	627	315	45	142
Acuíferos cretácicos	395	600	237	38	91
Acuíferos detríticos Neóg-Q	381	580	221	32	71
Materiales baja permeabilidad	1136	630	716	24	172
Total área de estudio	2414	617	1489	32	476
Total (corregido)	2414	617	1489	28	420

(Andreo et al., 2007)






INFILTRACIÓN NATURAL. RECURSOS RENOVABLES

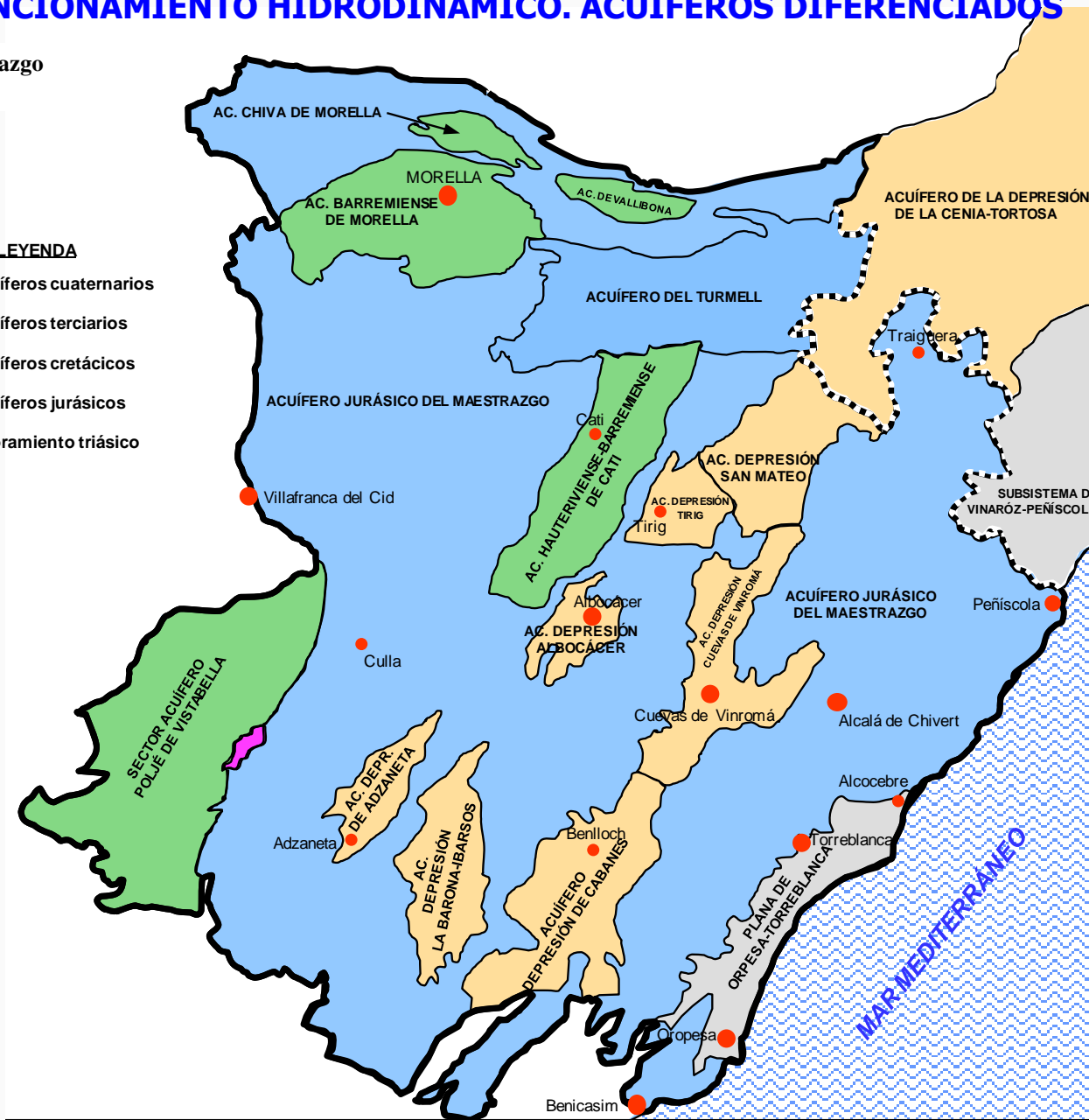
Estudio	Superficie (km ²)	Recarga anual media (hm ³)	Infiltración unitaria (hm ³ /km ²)	Periodo (años)	Reserva útil aplicada (mm)	Drenaje en sierra de Irta (hm ³)
IGME-IRYDA (1977)	7.800	700	0.09	1949-1963		175
IGME (1988)	6.600	535	0.08			174
Ballesteros (1989)	1.800	163	0.09			80
Serrano et al. (1995)						64
Hidrometeorológico (Thornthwaite) (abril 2007)	2.400	373	0.15	1970-2004	50 mm	
Método APLIS (abril 2007)	2.400	420 (476)	0.17 (0,2)			
Método de subcuencas hidrológicas (junio 2007)	2.368,30	394	0.16	1975-2006	14 a 34 mm (según tipo suelo)	
Plan Hidrológico Júcar (2015-2021) MASub 080.108 y 109	2.142,7	360	0,17			

FUNCIONAMIENTO HIDRODINAMICO. ACUIFEROS DIFERENCIADOS

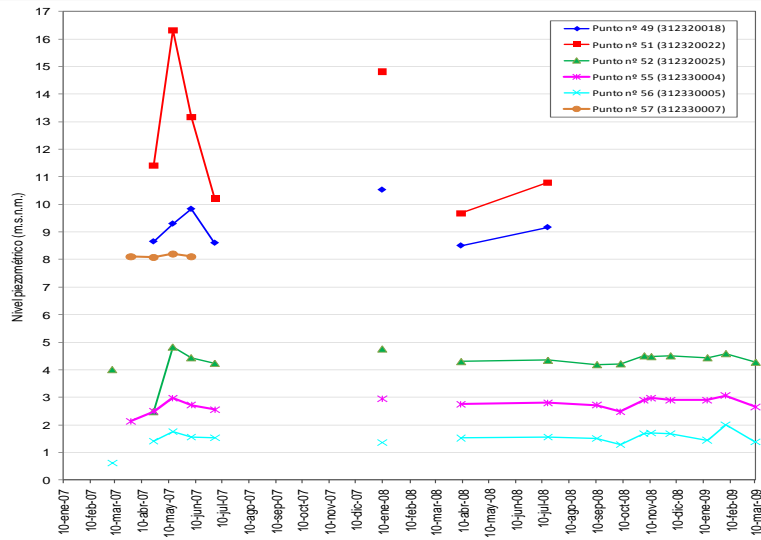
Acuífero de El Maestrazgo
(IGME, 2007)

LEYENDA

-  Acuíferos cuaternarios
-  Acuíferos terciarios
-  Acuíferos cretácicos
-  Acuíferos jurásicos
-  Afloramiento triásico

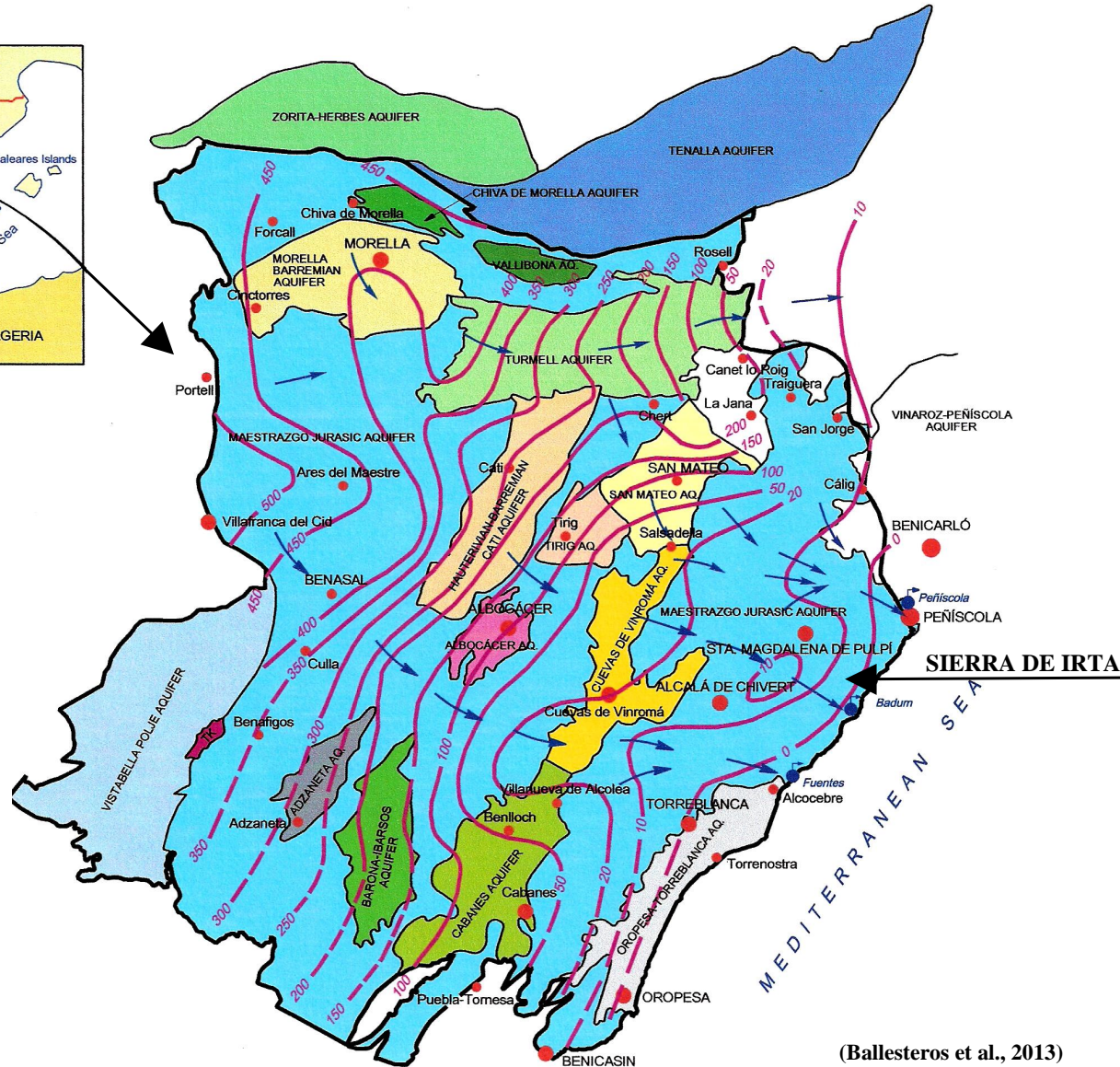
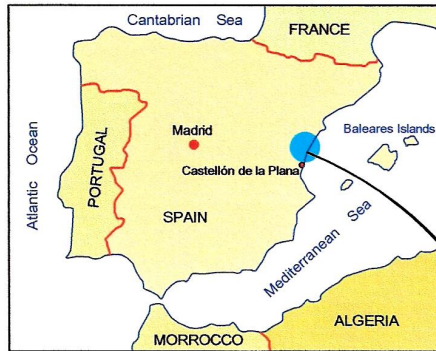


Niveles piezométricos



(IGME, 2007)

FUNCIONAMIENTO HIDRODINAMICO



Superficie: 2.400 km²

Gradiente hidráulico: 0,1-0,3 %

Circulación preferencial por conductos

Flujo perpendicular línea de costa

Superficie piezométrica >300 m

Sin surgencias en el interior (man. Chert)

PARAMETROS HIDRODINÁMICOS

T: 1.000-4.000 m²/día

qs: 5-10 l/s/m

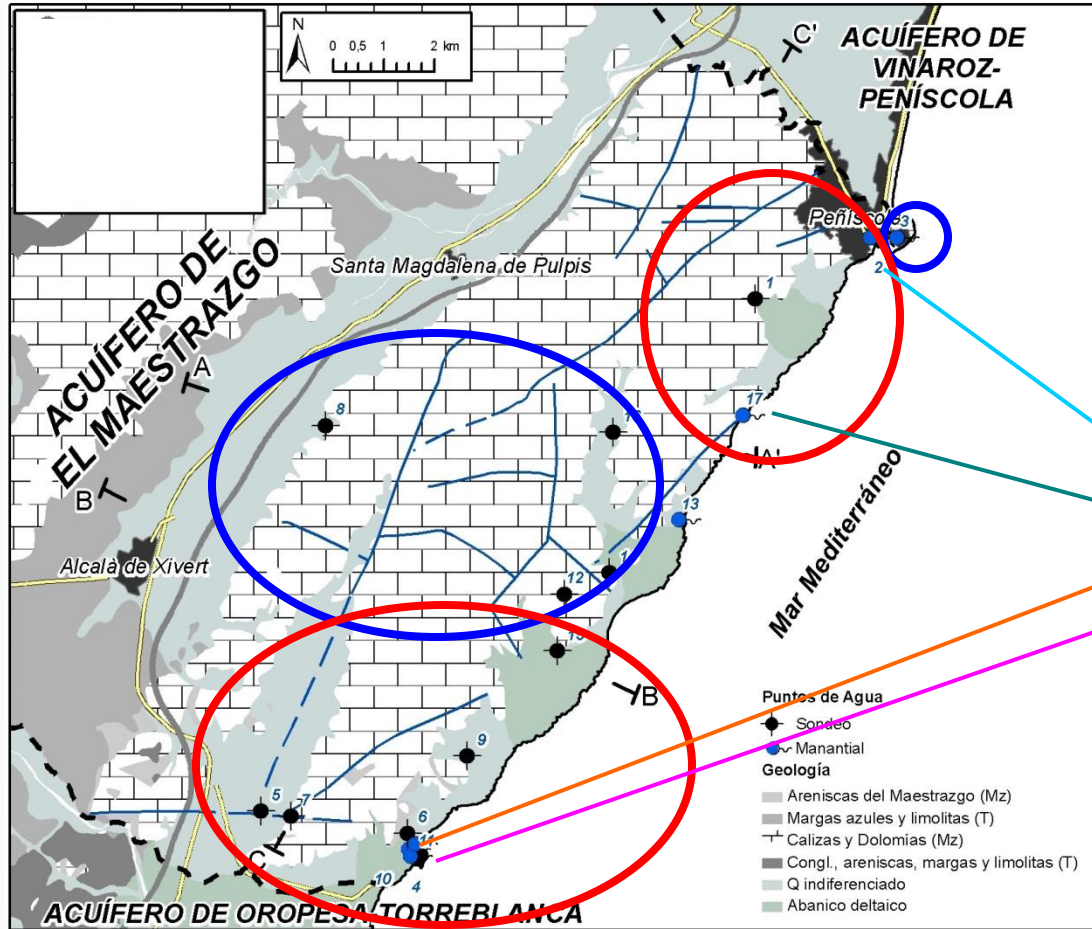
(Ballesteros et al., 2013)

ACUÍFERO EL MAESTRAZGO. SECTOR LITORAL

**Surgencias costeras: 64-175 hm³/a
(2,0-5.5 m³/s)**



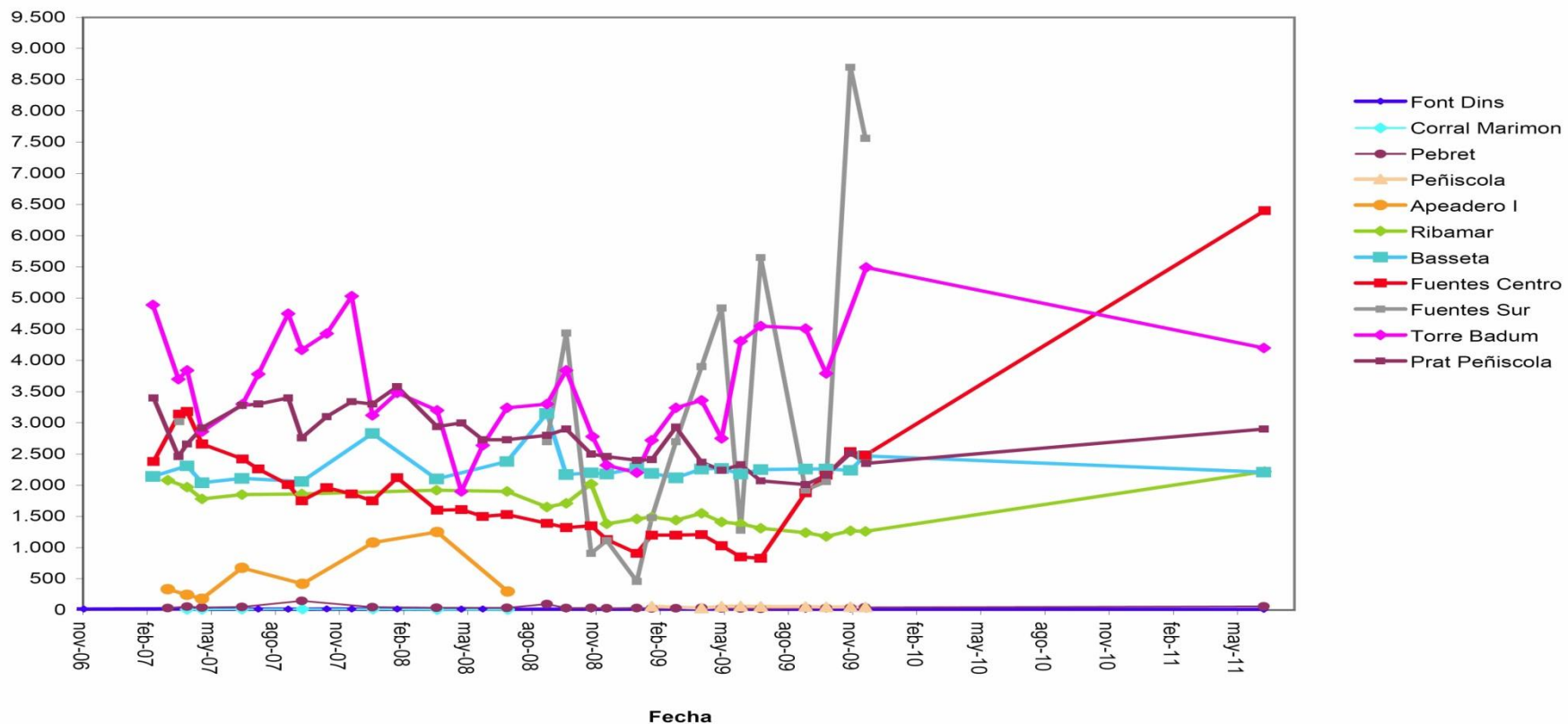
(Ballesteros et al., 2013)



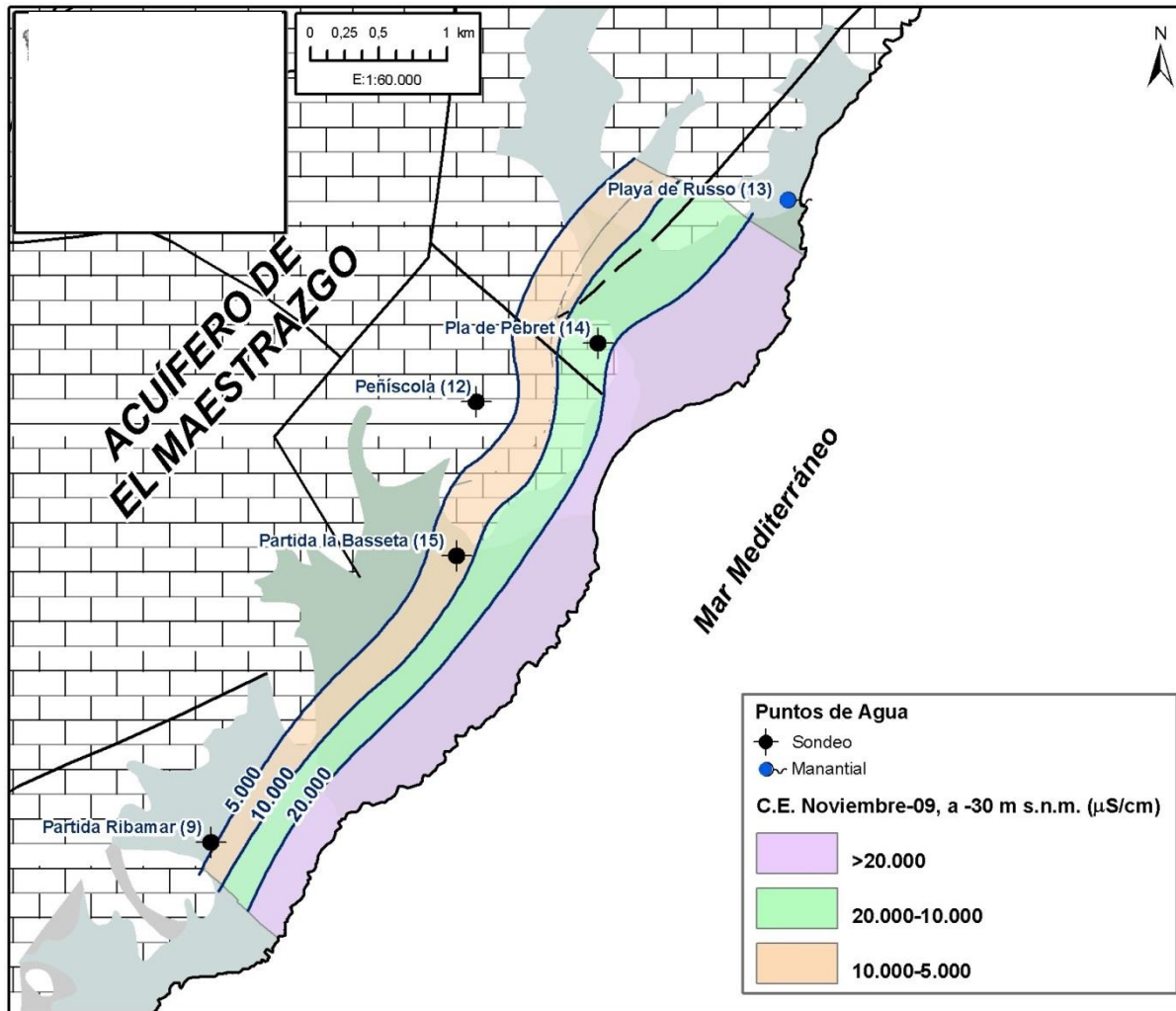
- Facies bicarbonatada cálcica
TDS < 500 mg/l Cl⁻ < 50 mg/l
- Facies clorurada sódica
TDS > 3.500 mg/l Cl⁻ > 1.500 mg/l

SALINIDADES MÁXIMAS (mg/l de Cl ⁻)	
Man. P. Peñíscola (3)	: 3.600 (var. 1.600)
Man. T. Badum (17)	: 5.500 (var. 3.600)
Fuente Centro (4)	: 6.400 (var. 5.600)
Fuentes Sur (10)	: 8.700 (var. 8.200)

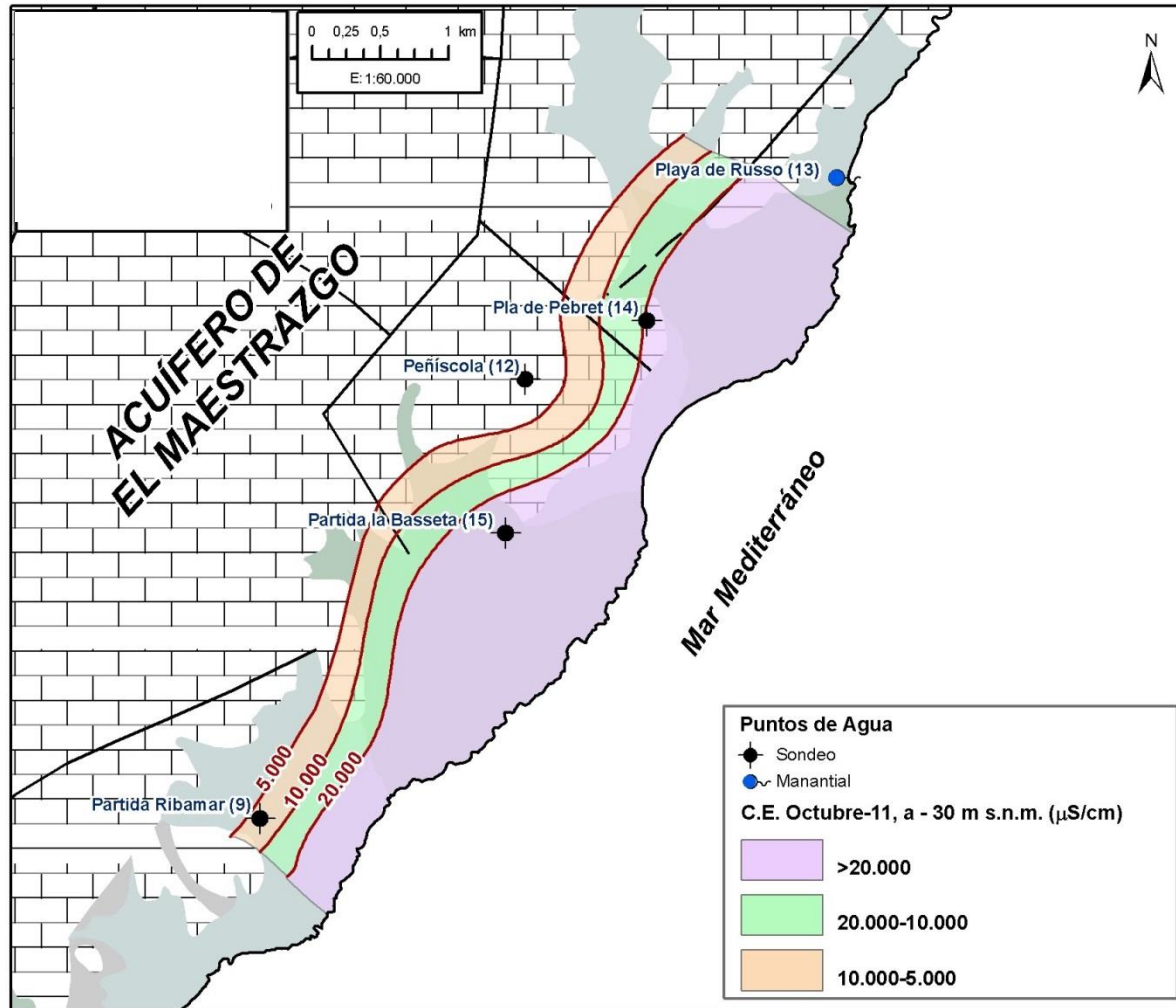
(Ballesteros et al., 2013)



Mezcla agua marina área litoral. Modelo de mezcla agua marina/agua subterránea Torre Badum (entre 14,1% y 33,4%). Importantes variaciones temporales

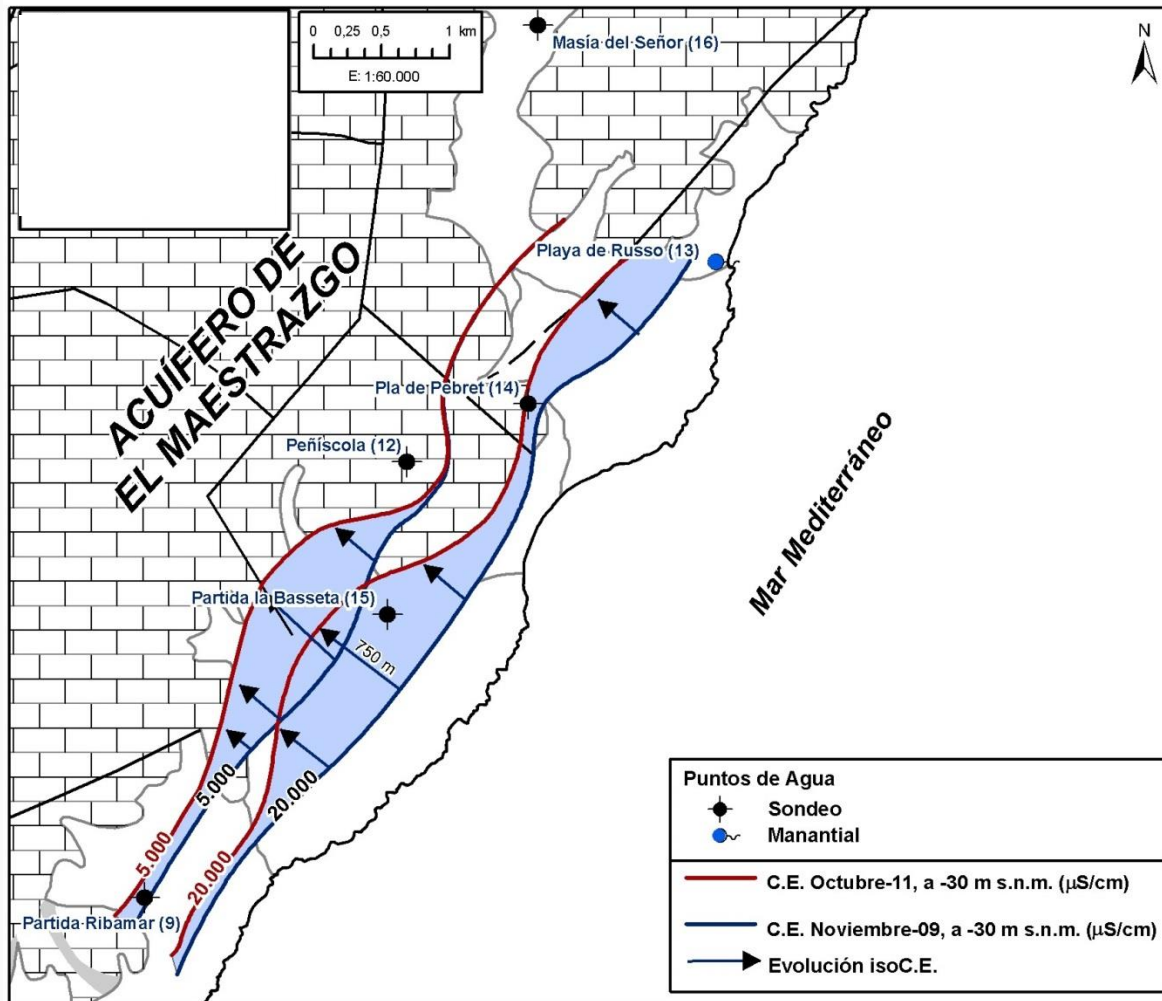


Isoconductividades eléctricas en el sector litoral del acuífero de El Maestrazgo
Cota de referencia 30 m b.n.m. Noviembre de 2009



Isoconductividades eléctricas en el sector litoral del acuífero de El Maestrazgo
Cota de referencia 30 m b.n.m. Octubre de 2011

EVOLUCIÓN INTERFASE SALINA

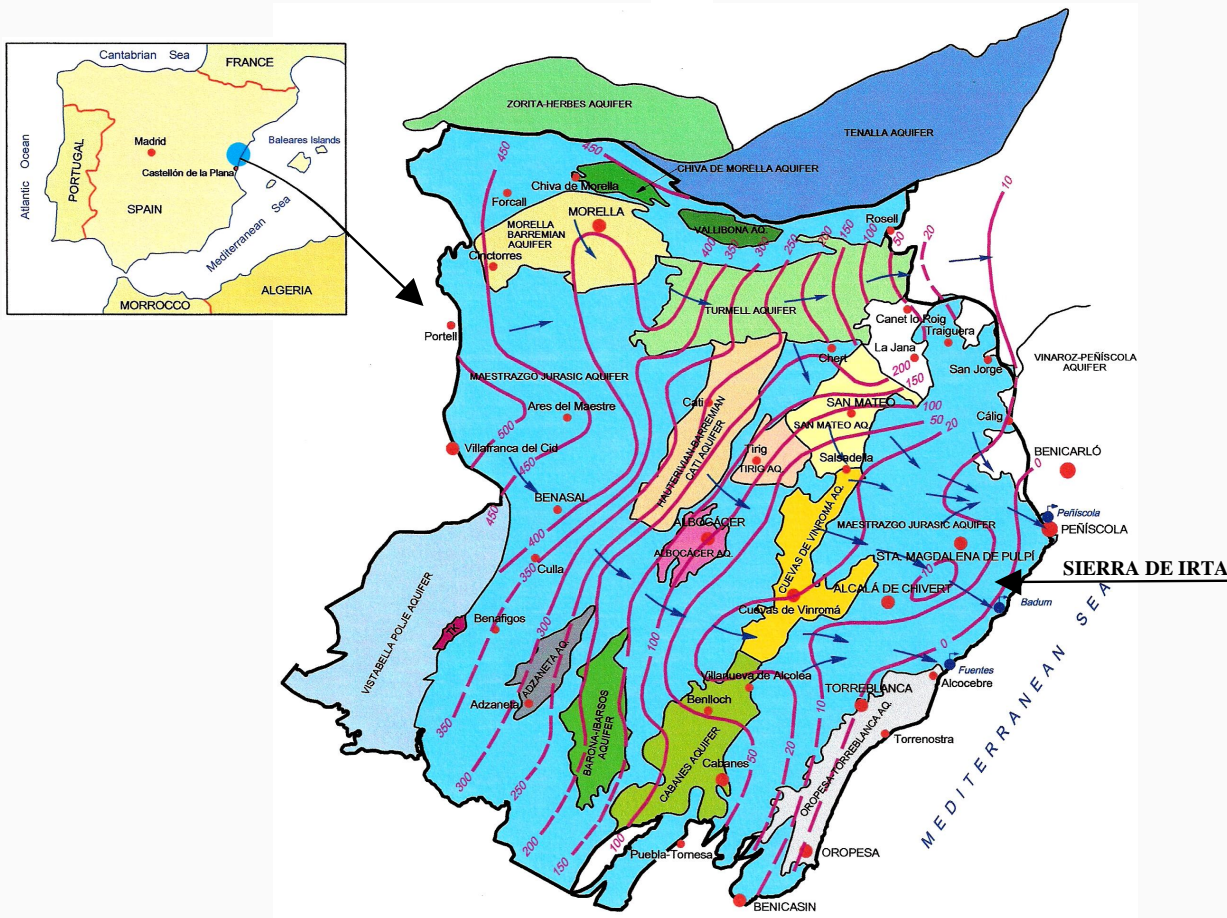


Desplazamiento de la interfase durante el periodo de control (**noviembre 2009**-octubre de 2011)
Cota de referencia 30 m b.n.m.

BALANCE HIDRICO

Entradas	
Infiltración por agua de lluvia	394 hm ³ /año
Total	394 hm ³ /año

Salidas	
Salidas hacia otros acuíferos:	
Plana Vinaroz-Peñíscola	39 hm ³ /año
Oropesa-Torreblanca	4 hm ³ /año
Salidas mar infra. Oropesa-Torreblanca	23 hm ³ /año
Extracciones por bombeos	20 hm ³ /año
Manantiales costeros	174 hm ³ /año
Diferencia: Salidas directas no visibles	134 hm ³ /año
Total	394 hm ³ /año

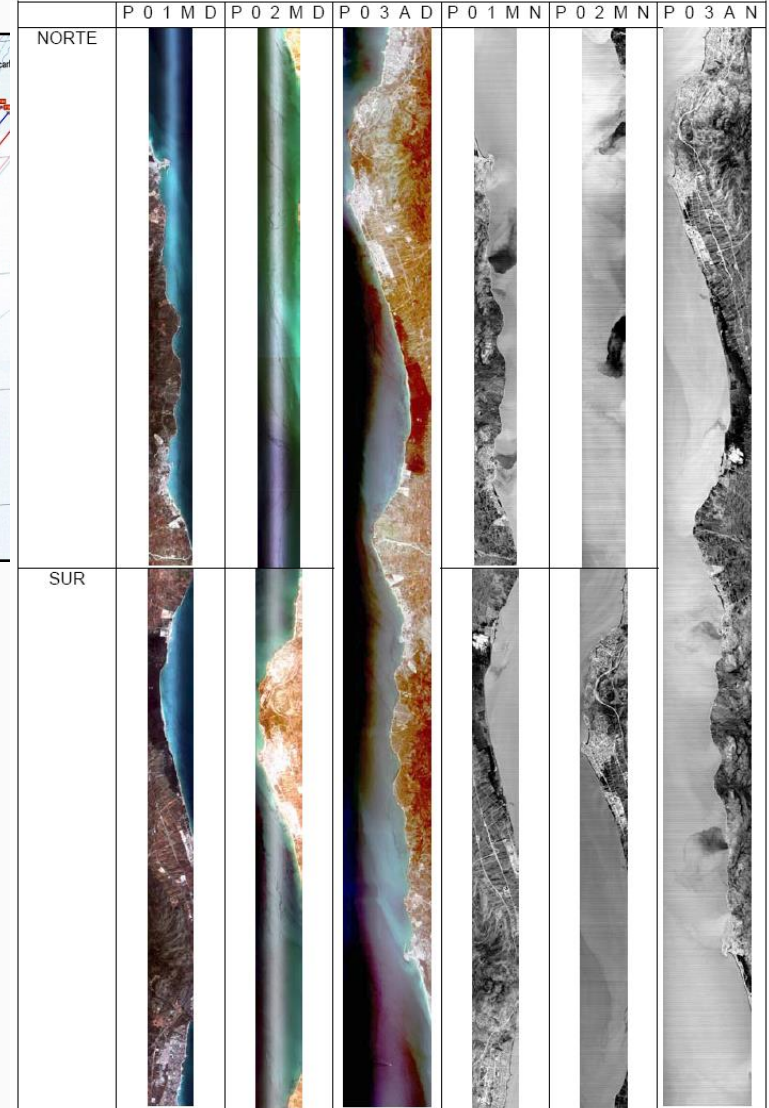
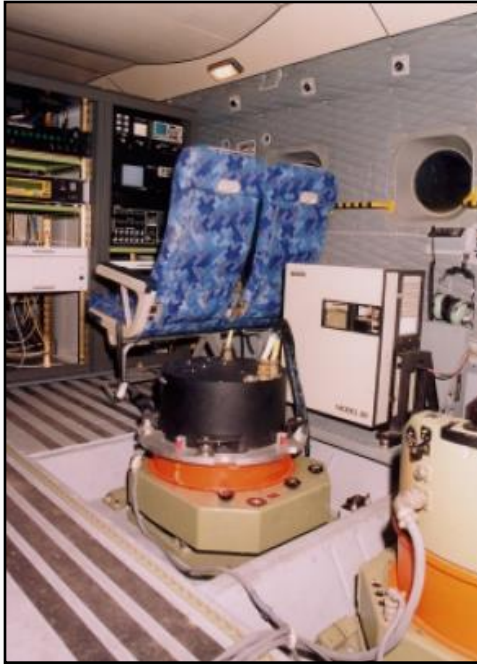


Recursos renovables: 394 hm³/a

Bombes: 20 hm³/a (5%). Recursos existentes: 374 hm³/a

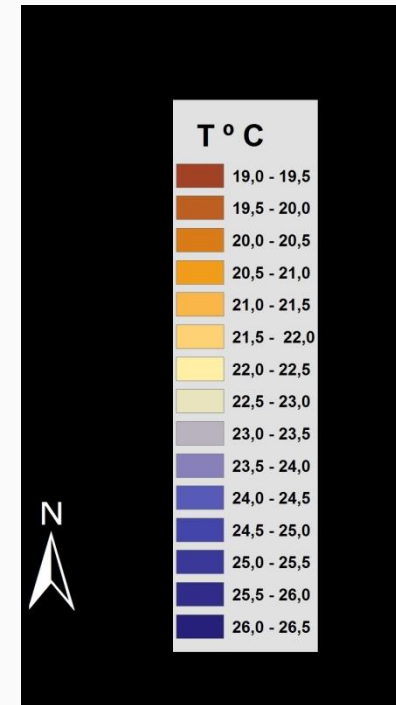
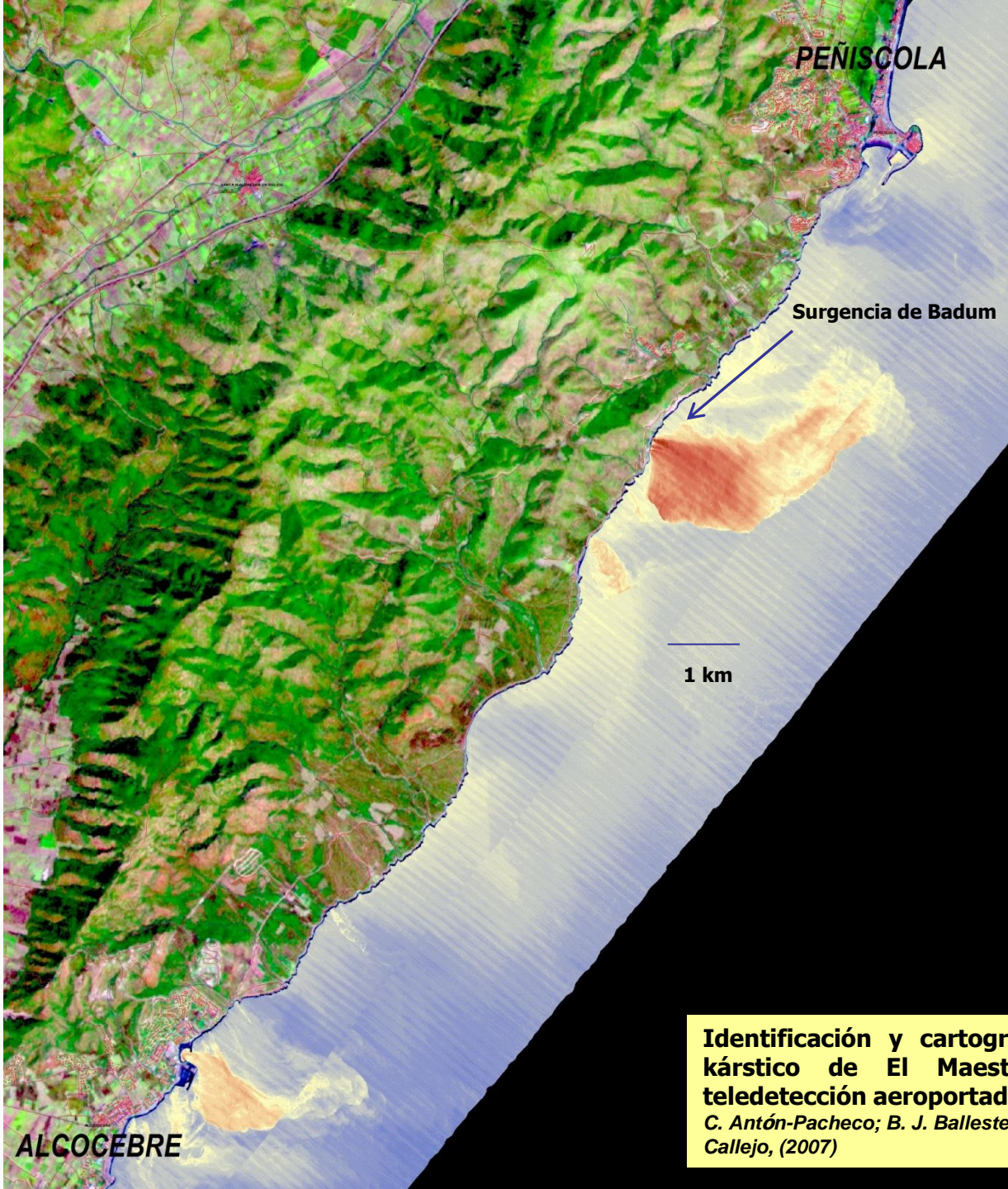
Recursos disponibles= Recursos renovables-Recursos medioambientales (intrusión y marjalerías)

IDENTIFICACIÓN Y CARTOGRAFÍA DE SURGENCIAS COSTERAS MEDIANTE TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN AEROPORTADA EN EL INFRARROJO TÉRMICO



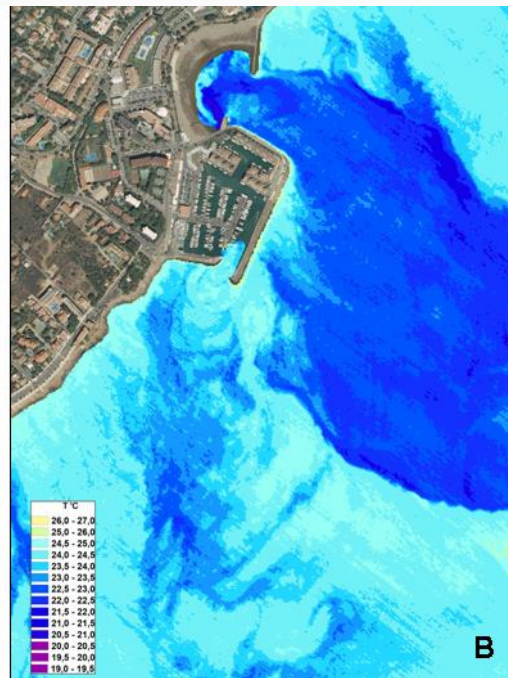
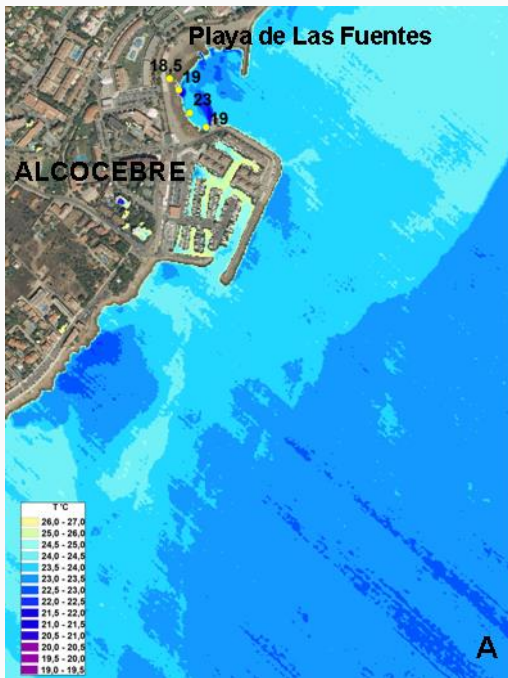
Sistema AHS instalado en un avión CASA 212-200 del INTA





Identificación y cartografía de surgencias costeras en el acuífero kárstico de El Maestrazgo (Castellón) mediante técnicas de teledetección aeroportada en el infrarrojo térmico

C. Antón-Pacheco; B. J. Ballesteros; M. Mejías; E. de Miguel; J.C. Gumiel; J. A. Gomez y P. Callejo, (2007)



A: imagen de día

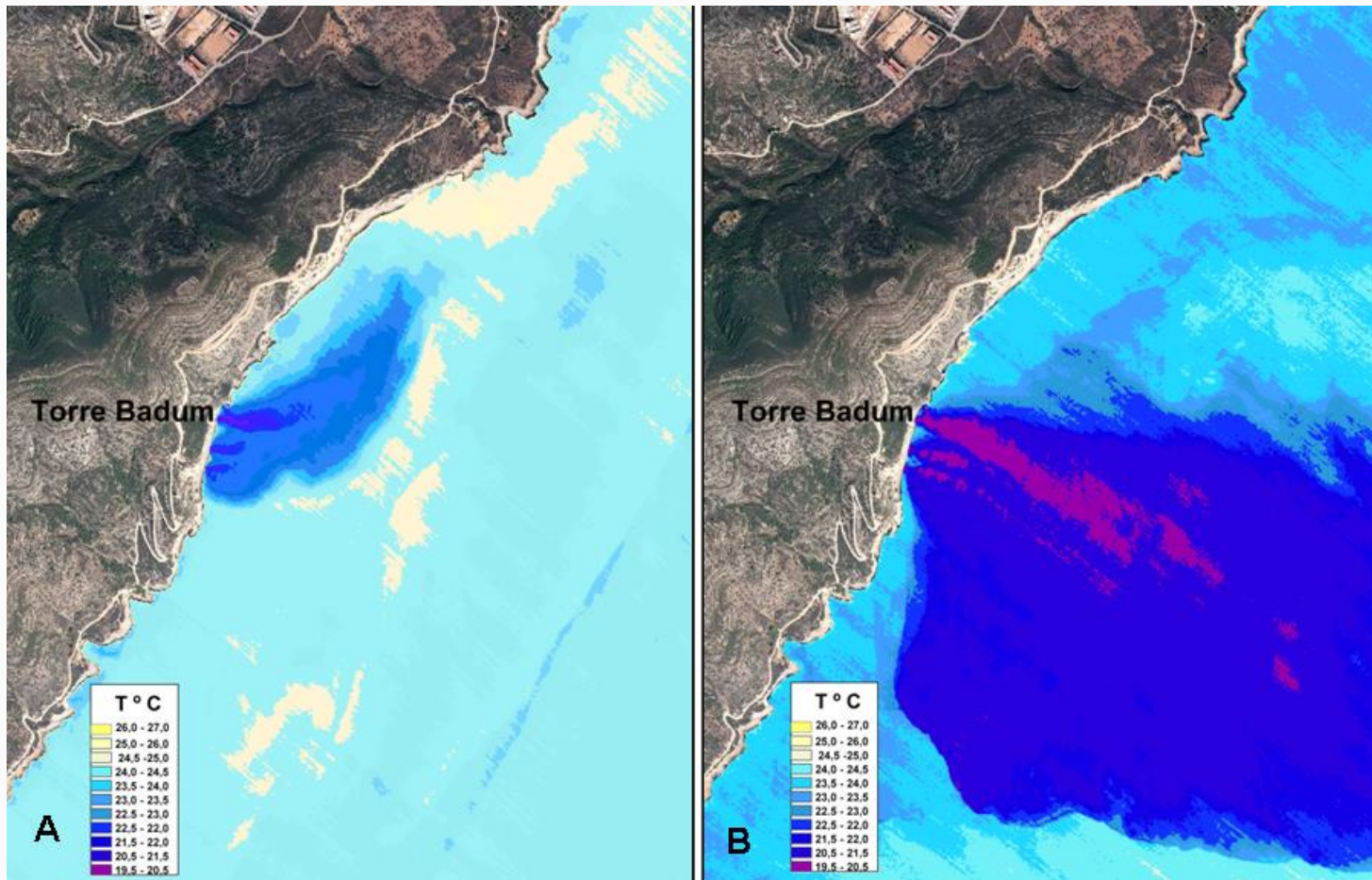
B: Imagen de noche

Anomalías térmicas. Playa de las Fuentes Alcossebre



Anomalías térmicas. Prat de Peñíscola

(IGME., 2007)



A: imagen de día
B: Imagen de noche

Anomalías térmicas en el sector de Torre Badum

RECURSOS RENOVABLES: 373-420 hm³/a

BOMBEOS: 20 hm³/a (5%)

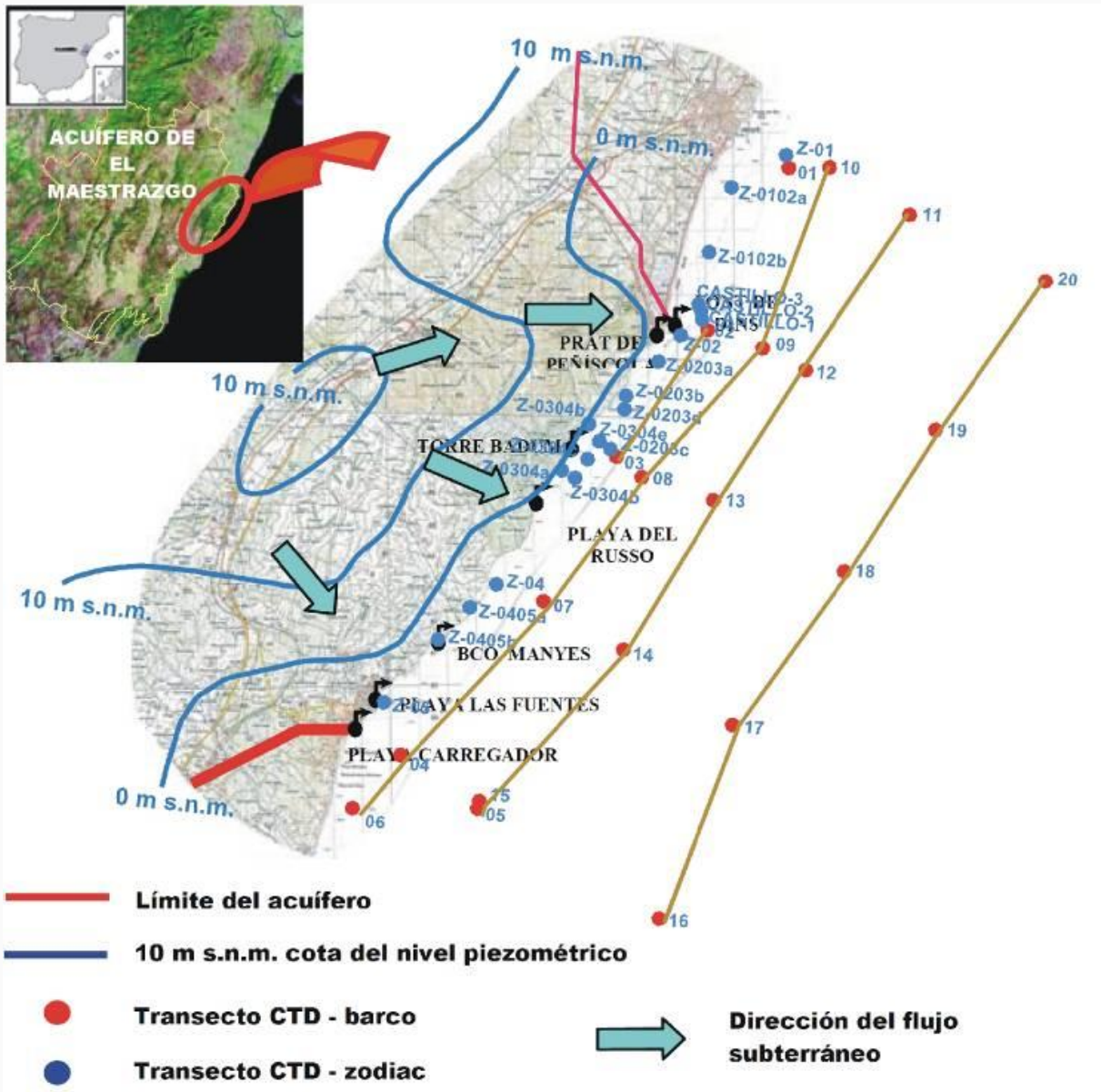
RECURSOS DISPONIBLES: 353-400 hm³/a

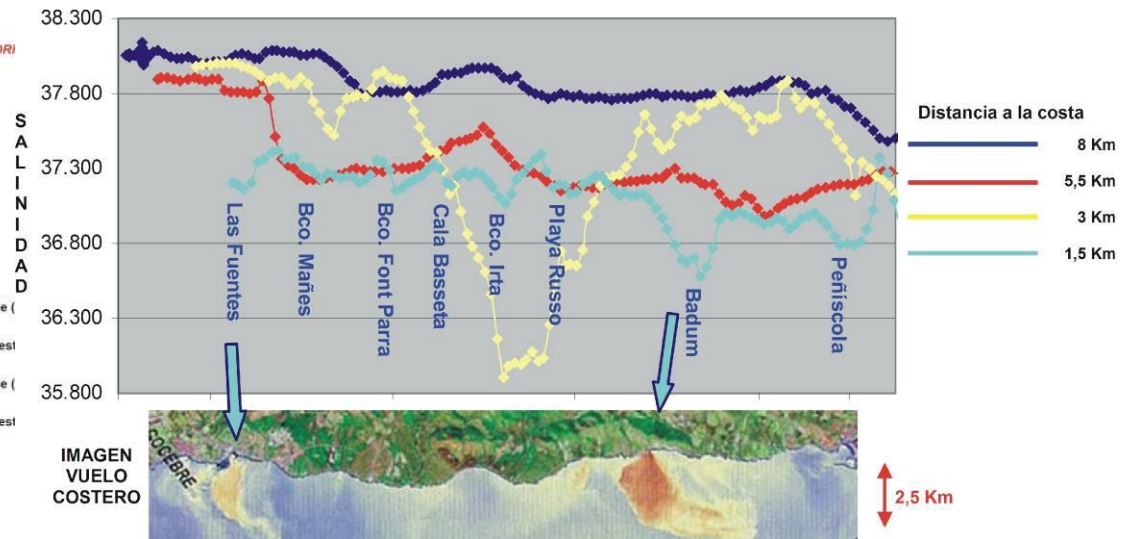
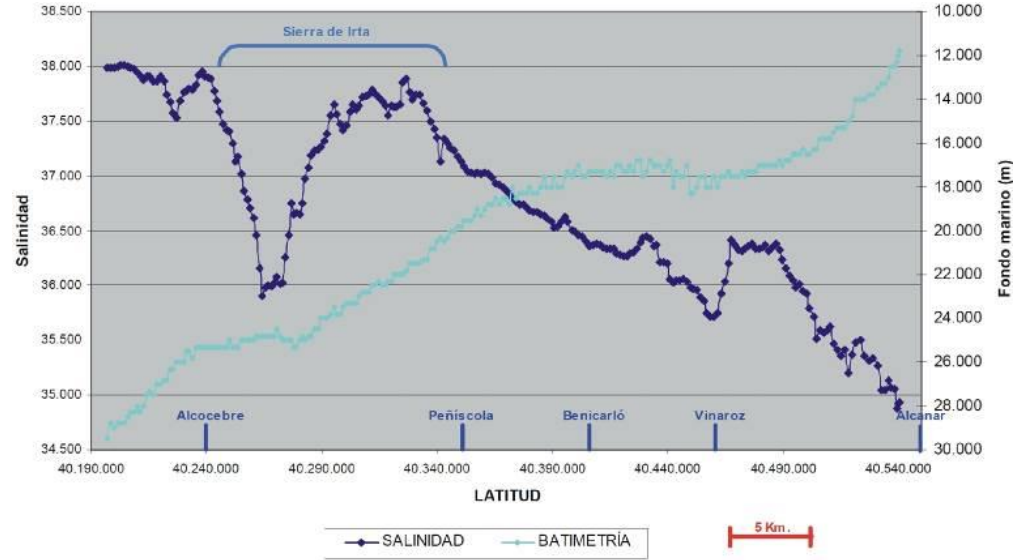
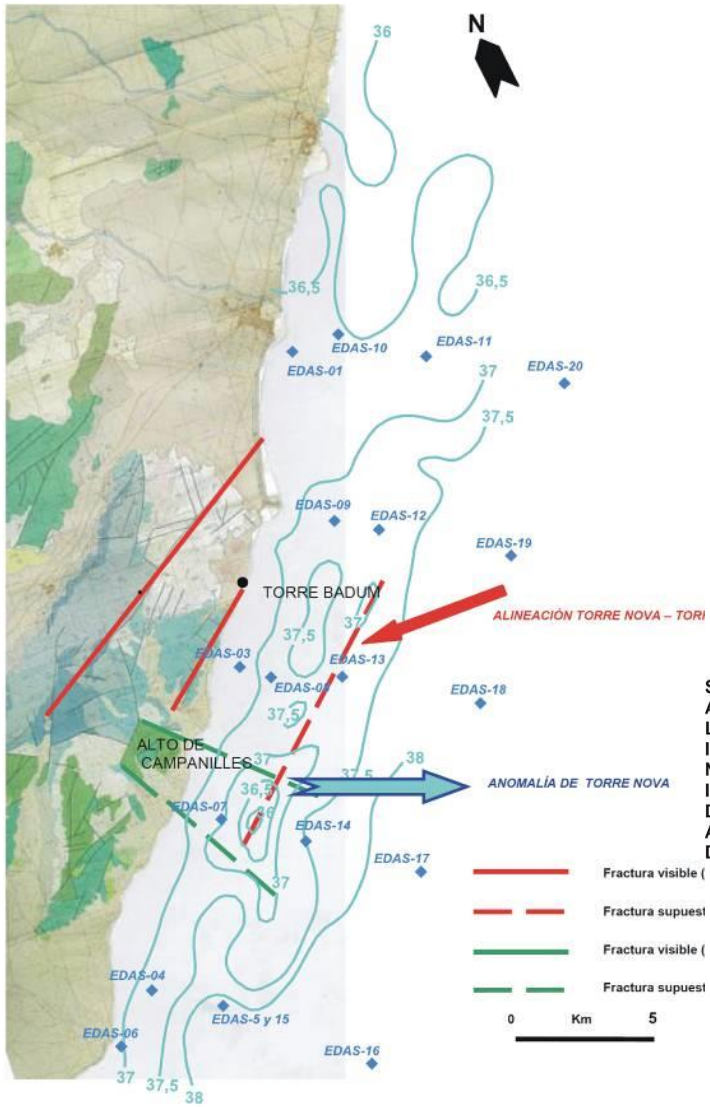
IDENTIFICACIÓN Y CARTOGRAFÍA DE SURGENCIAS COSTERAS MEDIANTE PERFILES DE SALINIDAD Y MUESTREO

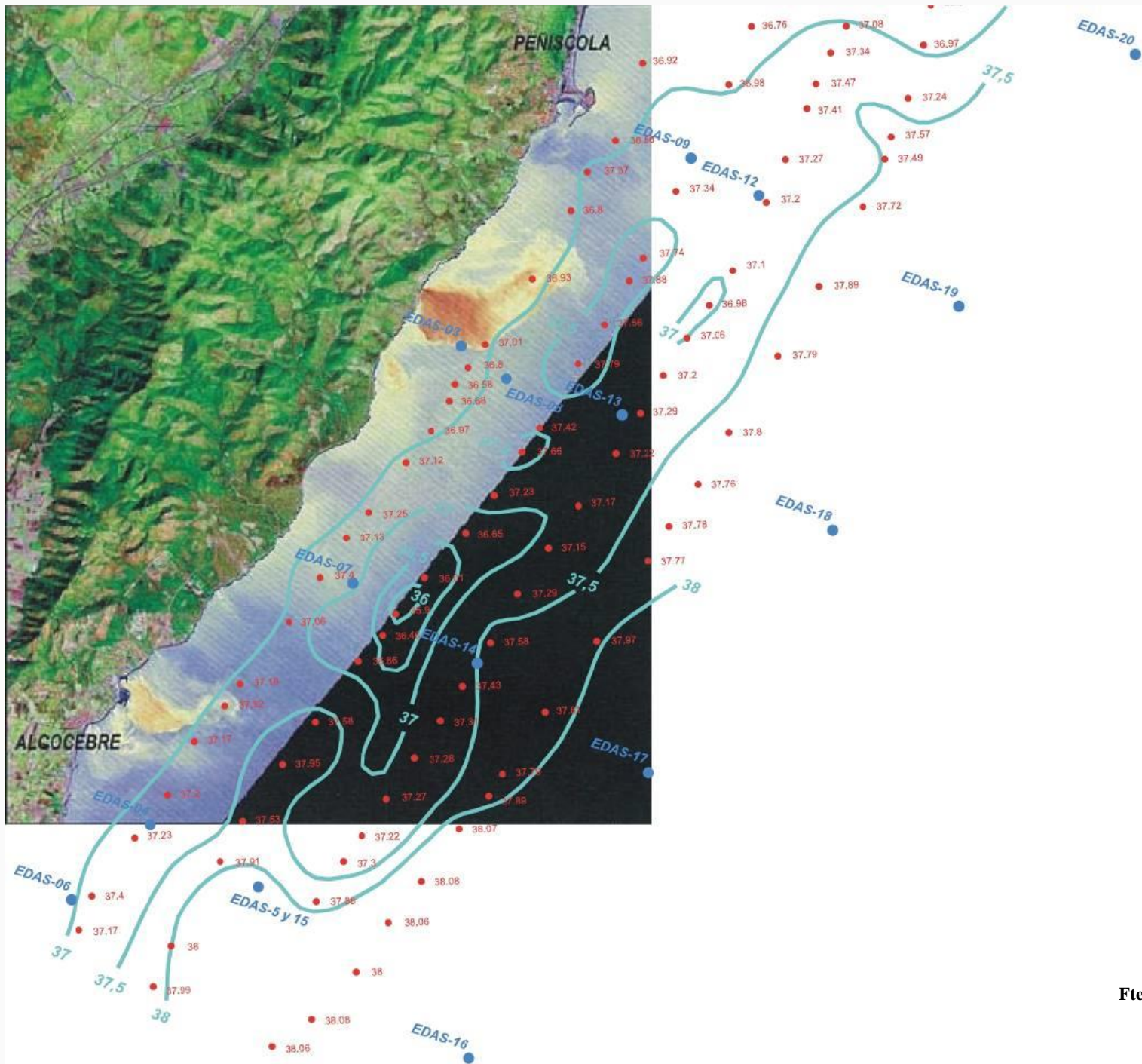


Buque oceanográfico García del Cid











MÉTODO: ISÓTOPOS DEL RADIO (determinación descargas submarinas)

◆ Diferente periodo de semidesintegración

^{223}Ra (11.4 d), ^{224}Ra (3.6 d),
 ^{226}Ra (1600 y), ^{228}Ra (5.75 y)

◆ Enriquecimiento en aguas subterráneas

◆ Desorción de partículas en aguas salobres

◆ Como resultado se obtiene la velocidad del flujo



CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA E ISOTÓPICA

TSD (mg/l)	Nº análisis	Cond. (µS/cm)	Nº análisis
0-500	40	0-500	31
501-1.000	6	501-1.000	14
1.001-2.500	2	1.001-5.000	4
2.501-5.000	5	5.001-10.000	6
5.001-7.500	5	10.001-15.000	3
7.501-10.000	1	15.001-20.000	1
>10.000	1	>20.000	1

	Facies hidroquímica	Nº muestras
Aguas bicarbonatadas	Bicarbonatada cálcica	33
	Bicarbonatada magnésica	2
	Bicarbonatada cálcico-magnésica	1
	Bicarbonatada magnésico-cálcica	1
	Bicarbonatada magnésico-sódica	1
	Bicarbonatada-clorurada cálcica	2
	Bicarbonatada-sulfatada cálcica	1
	Bicarbonatada-nitratada cálcico-magnésica	1
	TOTAL	42
Aguas cloruradas	Clorurada sódica	12
	Clorurada cálcico-magnésica	1
	Clorurada sódico-cálcica	1
	TOTAL	14
Aguas sulfatadas	Sulfatada cálcica	2
	Sulfatada cálcico-magnésica	1
	Sulfatada magnésico-sódica	1
	TOTAL	4

Muestreo: 60 puntos (entre 2004 a 2008)

15 manantiales, 45 sondeos

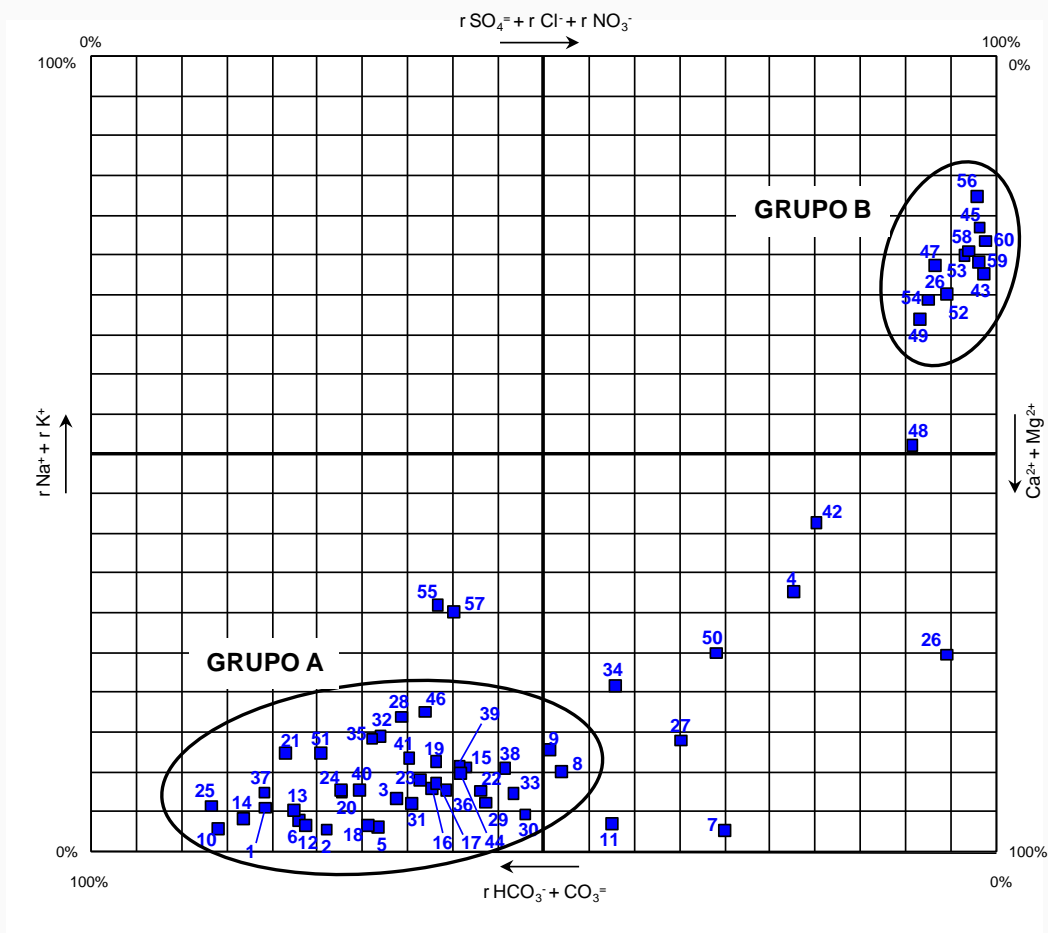
278 análisis químicos

159 de isótopos estables (¹⁸O y ²H)

71 de tritio

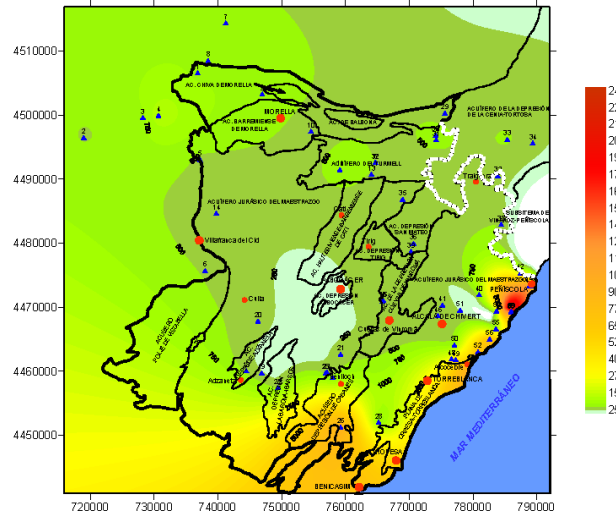
8 de carbono-13.

Determinaciones campo de pH, CE y Tº

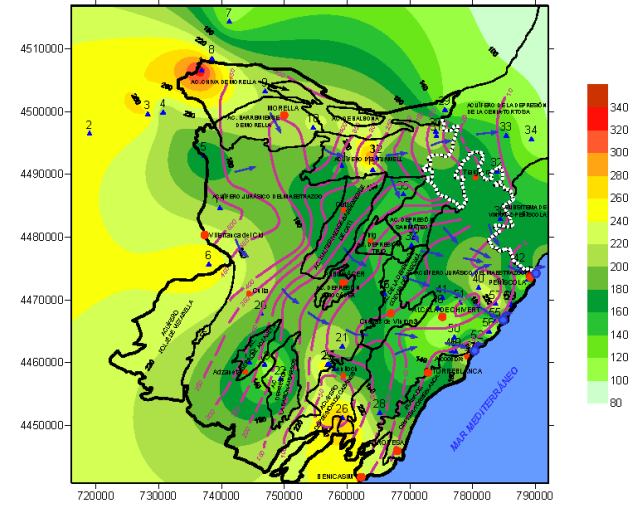


Bicarbonatada (70%)
Bicarbonatada cálcica (55%)
Cloruradas (23,3%). Zona costera
Sulfatados (6,7%)

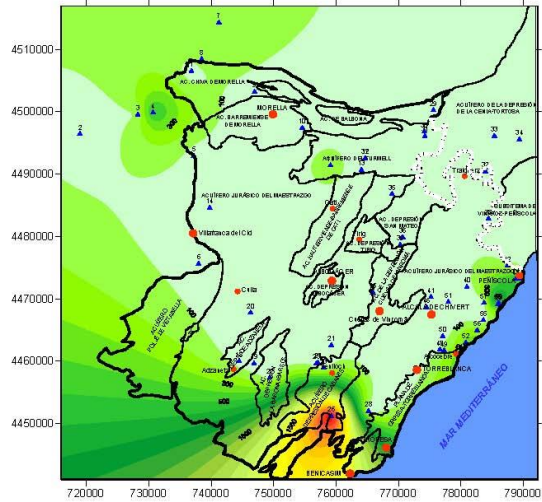
Mapa de isoconductividad eléctrica CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)



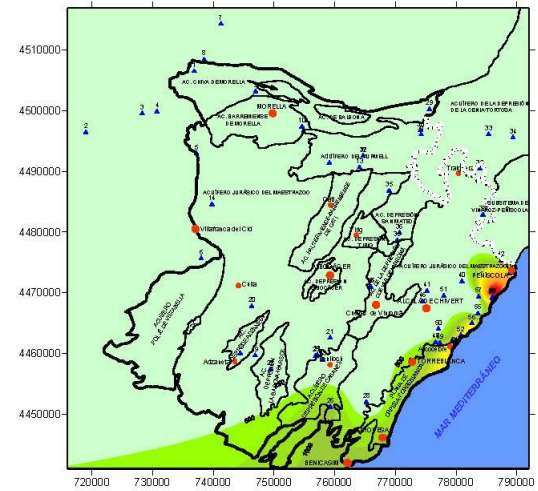
Mapa de isocontenido bicarbonatos (mg/l)



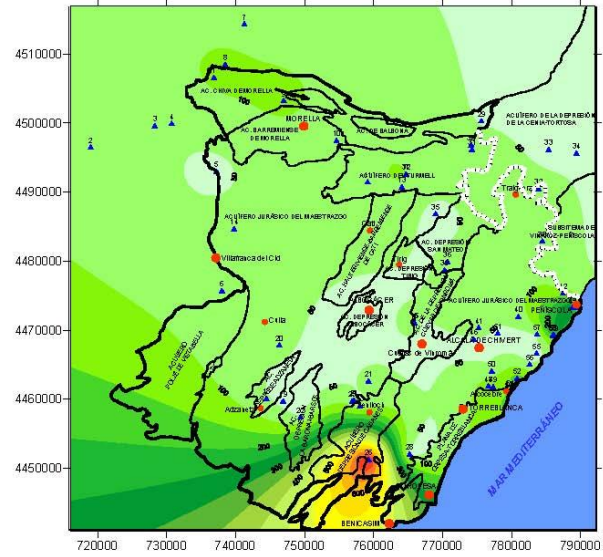
MAPA DE ISOCONTENIDOS DE SULFATOS (mg/l)



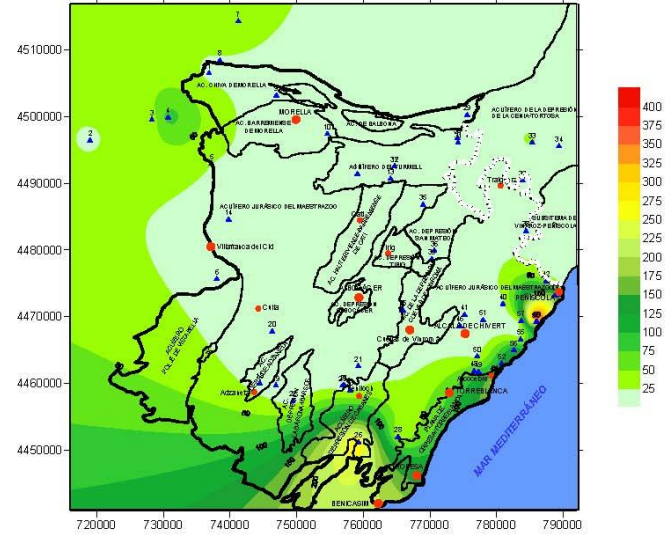
MAPA DE ISOCONTENIDOS DE CLORUROS (mg/l)



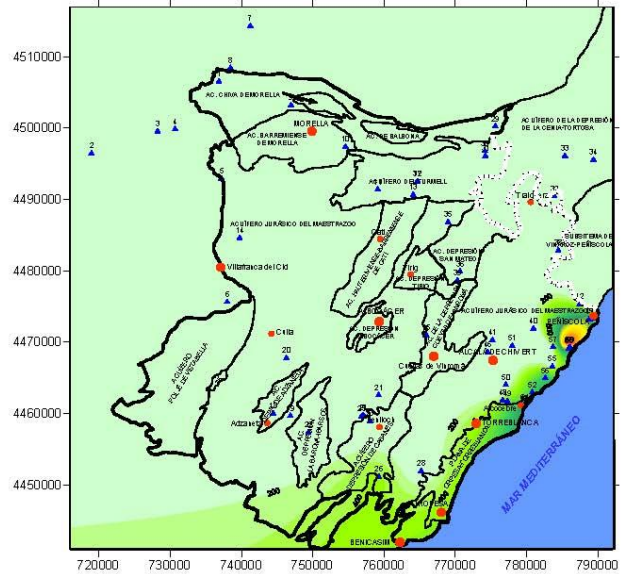
MAPA DE ISOCONTENDIDOS DE CALCIO (mg/l)



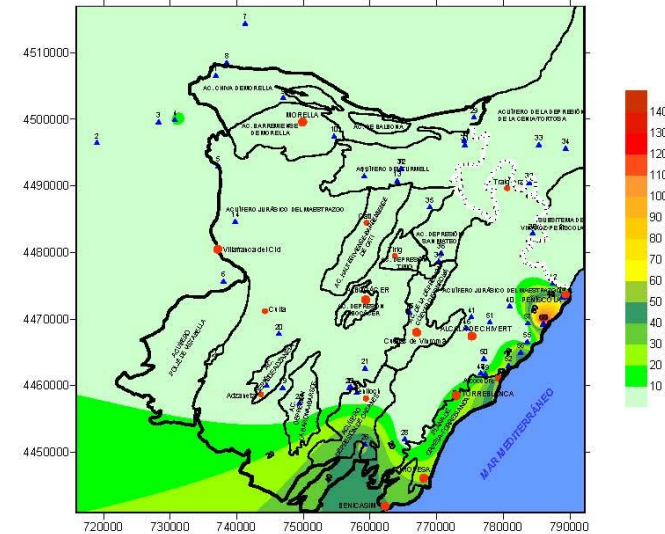
MAPA DE ISOCONTENDIDOS DE MAGNESIO (mg/l)



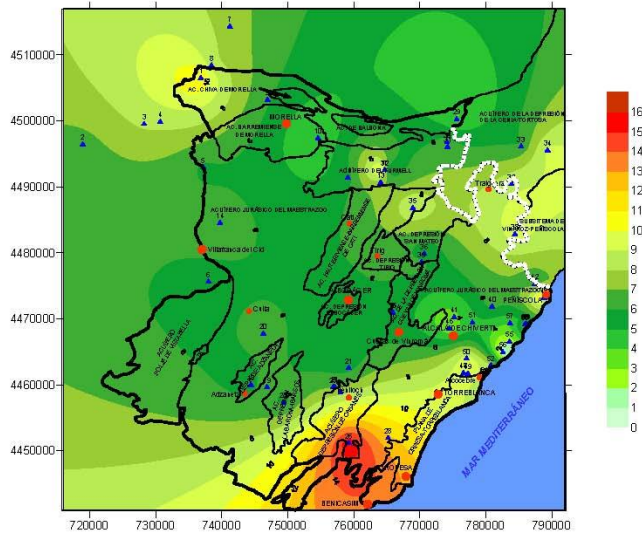
MAPA DE ISOCONTENDIDOS DE SODIO (mg/l)



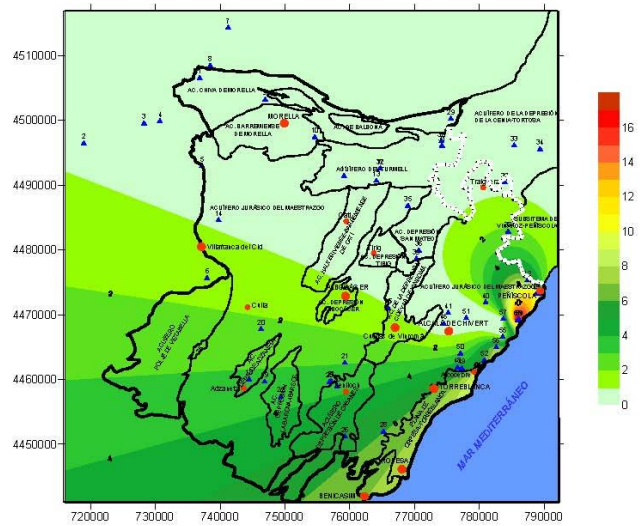
MAPA DE ISOCONTENDIDOS DE POTASIO (mg/l)



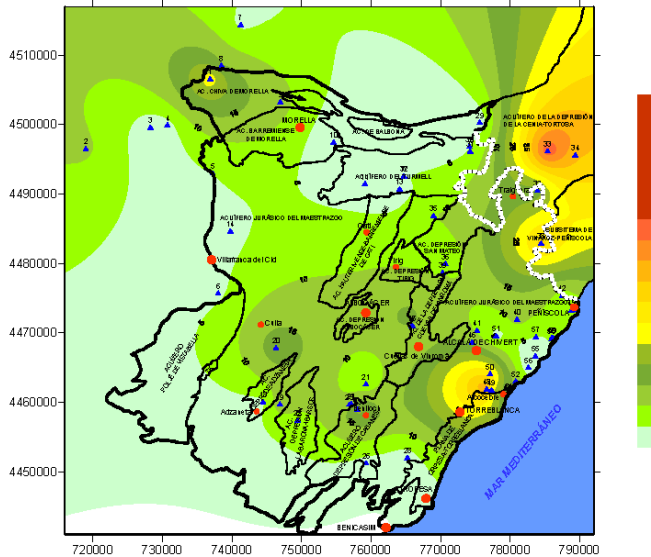
MAPA DE ISOCONTENIDOS DE SÍLICE (mg/l)



MAPA DE ISOCONTENIDOS DE BROMO (mg/l)

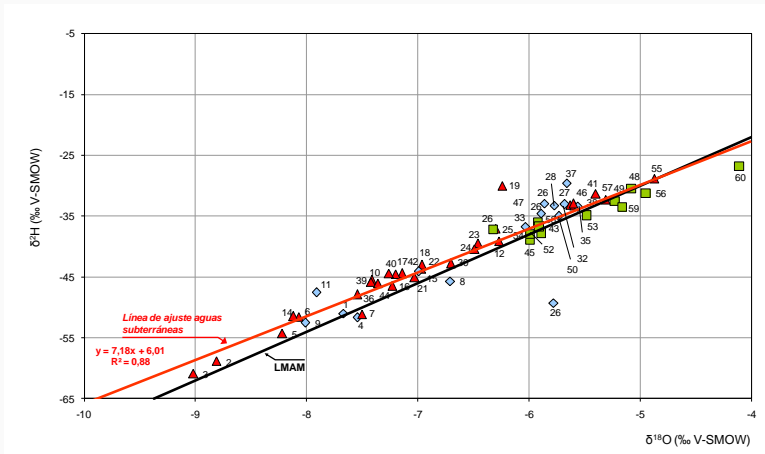


Mapa de isocontenidos nitratos (mg/l)

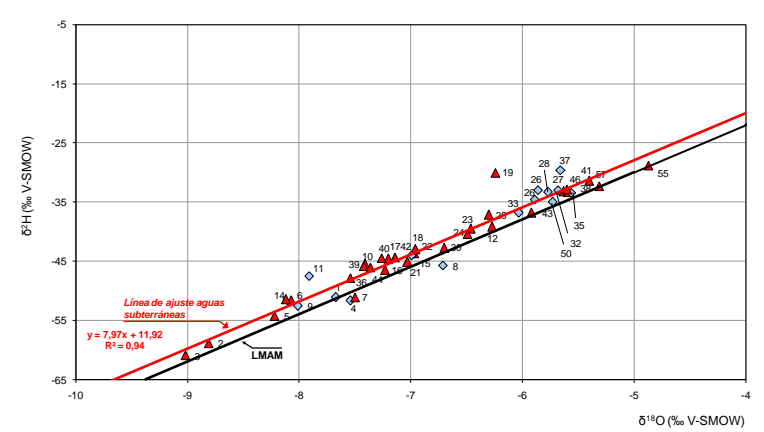


NO ₃		DQO	
Rango (mg/l)	Nº muestras	Rango (mg/l)	Nº muestras
0-5	21	0-1	45
6-10	12	1,1-5	5
11-25	18	5,1-10	6
26-50	5	>10	1
>50	2	Total	57
Total	58		

Determinaciones isotópicas

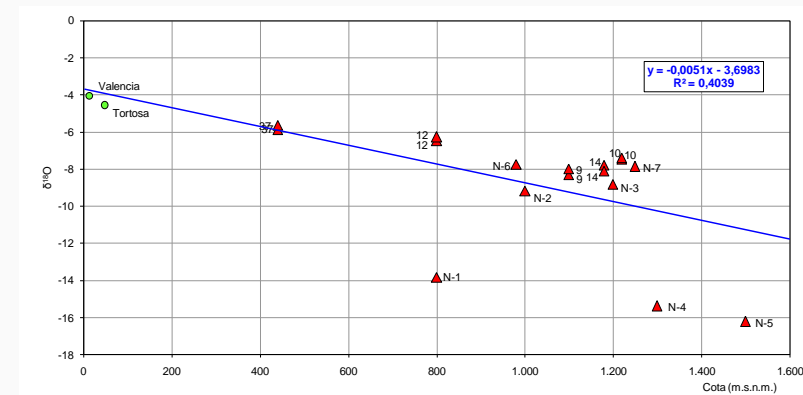


Relación $\delta^{18}\text{O}$ vs. $\delta^2\text{H}$. Totalidad muestras

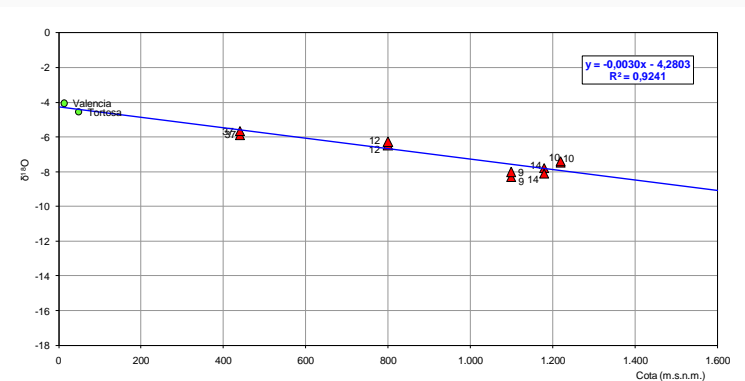


Relación $\delta^{18}\text{O}$ vs. $\delta^2\text{H}$ Salvo las afectadas por intrusión marina

Relación contenido ^{18}O y altitud



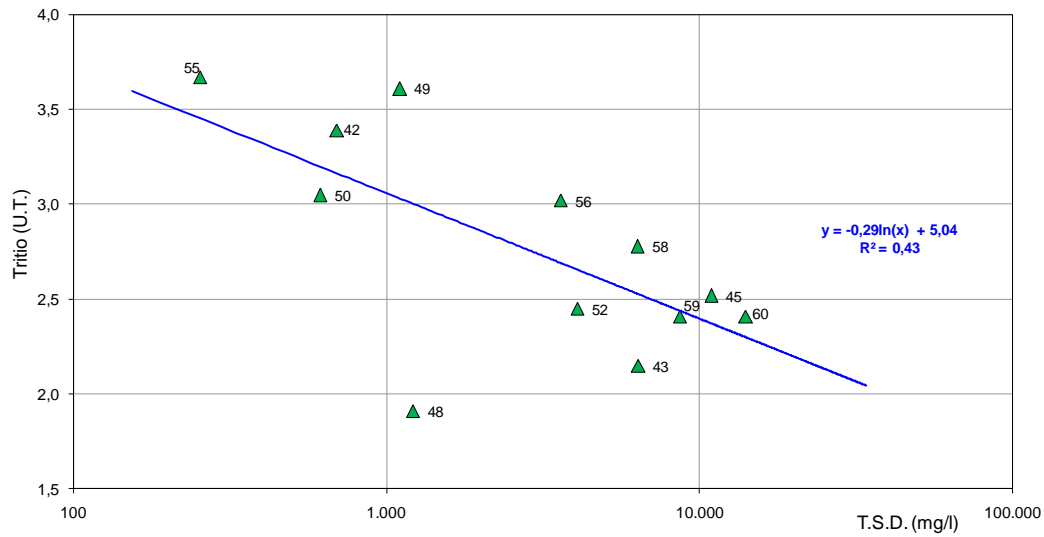
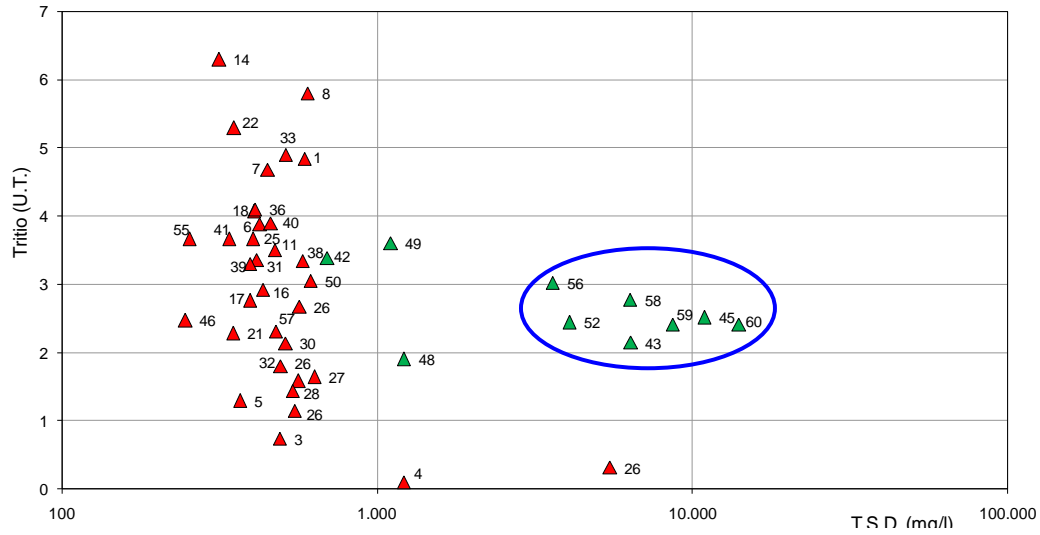
Muestras de manantiales, aguas meteóricas y estaciones pluviométricas



Manantiales y estaciones pluviométricas

$$^{18}\text{O} = -0,0030x - 4,2803: \quad (-0,30\text{‰ por } 100 \text{ m})$$

Determinaciones isotópicas



Relación T.S.D. vs. ^3H (verde afectadas intrusión marina)

RESULTADOS DEL ESTUDIO HDROQUÍMICO E ISOTÓPICO

Valor exceso de deuterio (d) y valores de tritio indican:



**infiltración y circulación del agua rápida
Acuífero con baja inercia. Implica elevada vulnerabilidad**

Procedencia del agua del acuífero (basada en valores ^{18}O). Recarga:



Surgencias costeras (Prat de Peñíscola, Torre Badum y Las Fuentes): Altitudes superiores a sierra Irtá (572 m)

Font de Dins: recarga estimada >700 m

EL ACUÍFERO DE EL MAESTRAZGO

**Un tesoro que hay que conservar
y que puede ser aprovechado de manera sostenible**



*Una buena base científica es la mejor garantía para el
diseño y toma de decisiones en políticas ambientales*