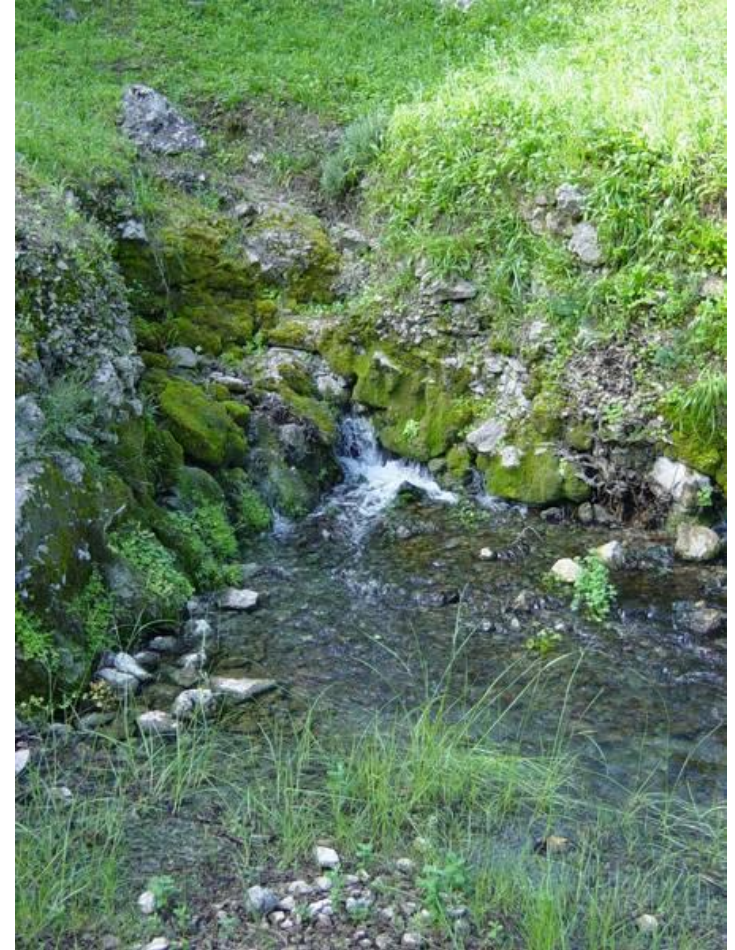


Aguas Subterráneas. Fuentes de Aprendizaje
El Bosque, 8 y 9 mayo 2015

Las aguas subterráneas en la provincia de Cádiz

Santiago García López

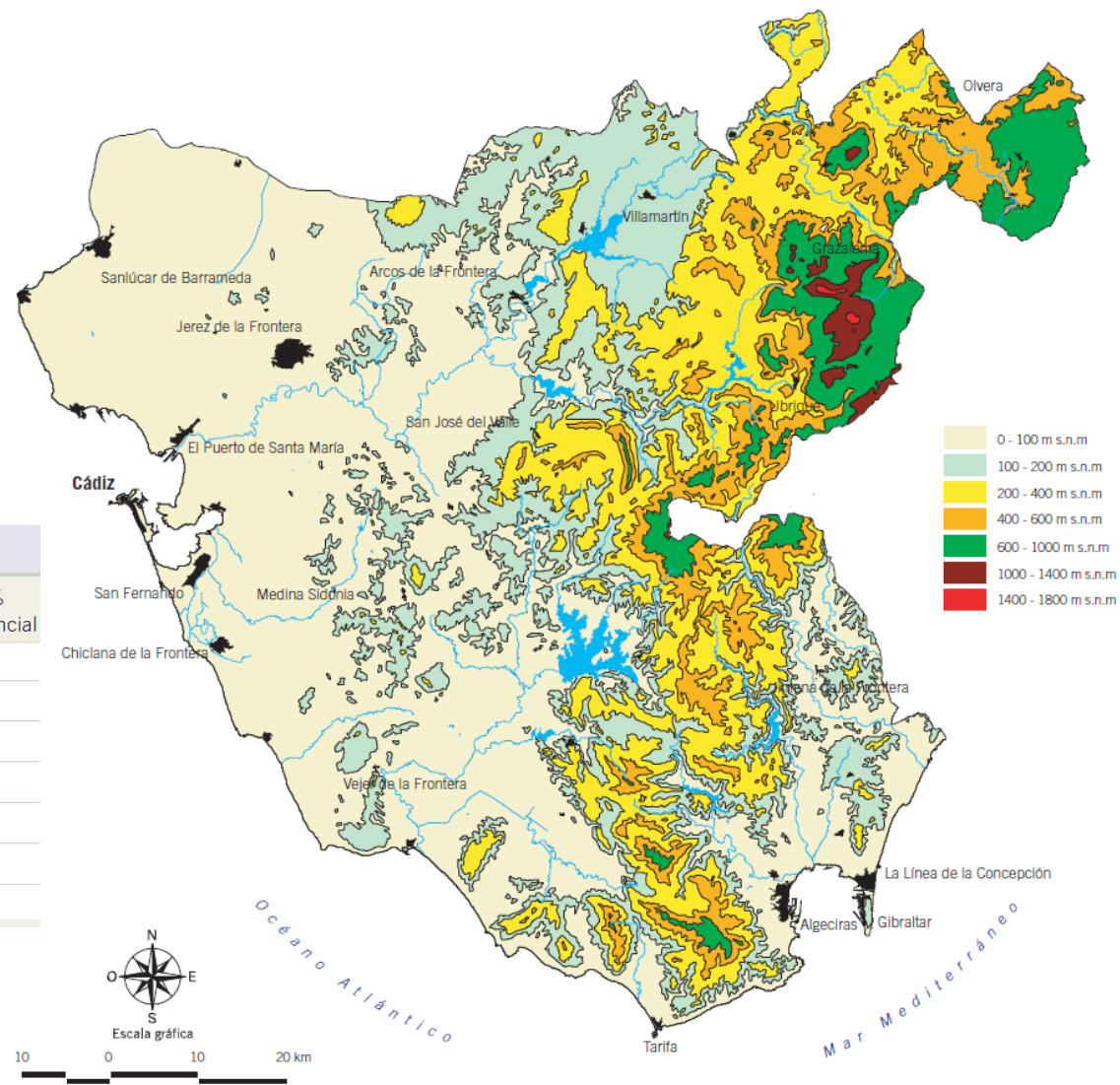
Profesor Titular. Universidad de Cádiz
Departamento de Ciencias de la Tierra
Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales
santiago.garcia@uca.es



Índice:

1. Características fisiográficas y climáticas de la provincia de Cádiz.
2. Litologías que sustentan los acuíferos en la provincia de Cádiz.
3. Masas de agua subterránea.
4. Recursos disponibles y demandas satisfechas.
5. Vulnerabilidad a la contaminación.
6. Diagnóstico del cumplimiento de los objetivos medioambientales (Plan Hidrológico 2009/15).
7. Contribución de las aguas subterráneas al abastecimiento en los periodos de sequía en la provincia de Cádiz.
8. Recarga artificial de acuíferos en la provincia de Cádiz.

1. Características fisiográficas y climáticas de la provincia de Cádiz



Distribución de altitudes en la provincia de Cádiz

Altitud en metros sobre el nivel del mar	Superficie en km ²	Superficie en % sobre el total provincial
0-100	3.864,6	51,93
100-200	1.322,3	17,77
200-400	1.269,0	17,05
400-600	543,1	7,30
600-1.000	387,3	5,20
1.000-1.400	53,1	0,71
1.400-2.000	2,6	0,03

Mapa hipsométrico de la provincia de Cádiz
 (Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz, 2005)



Macizo de Grazalema



Serranía del Aljibe



Relieves subbéticos aislados



Campiña de Jerez



Campiña de Medina Sidonia



Campiña Serranías NE



SERRANÍAS

- Macizo de Grazalema
- Serranías del Aljibe y del Campo de Gibraltar
- Relieves subbéticos aislados (Sierra de Gibalbin, Sierras de la Nava y Lijar, Sierra de las Cabras)

CAMPIÑAS

- Campiña de Jerez-Arcos
- Campiña de Paterna
- Campiña de Medina Sidonia
- Campiña del Campo de Gibraltar
- Campiñas serranas nororientales

VEGAS Y VALLES FLUVIALES

- Guadalete
- Barbate-La Janda
- Palmones-Guadarranque
- Guadiaro-Hozgarganta

LITORAL

- Marismas (Guadalquivir, Bahía de Cádiz y Barbate)
- Playas-Costa baja arenosa (Chipiona-Rota, Conil-Cabo de Trafalgar, Bahía de Algeciras-Punta Mala)
- Costa mixta playas-acantilados (Punta Las Piedras-Cabo Roche, Los Caños de Meca-Barbate, Ensenada de Barbate-Punta Mala-Punta Chullera)
- Costa acantilada (Punta de Tarifa-Punta Carnero)

Unidades Fisiográficas de la provincia de Cádiz
(Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz, 2005)



Valle del Guadalete



Valle del Guadairo



Barbate - La Janda



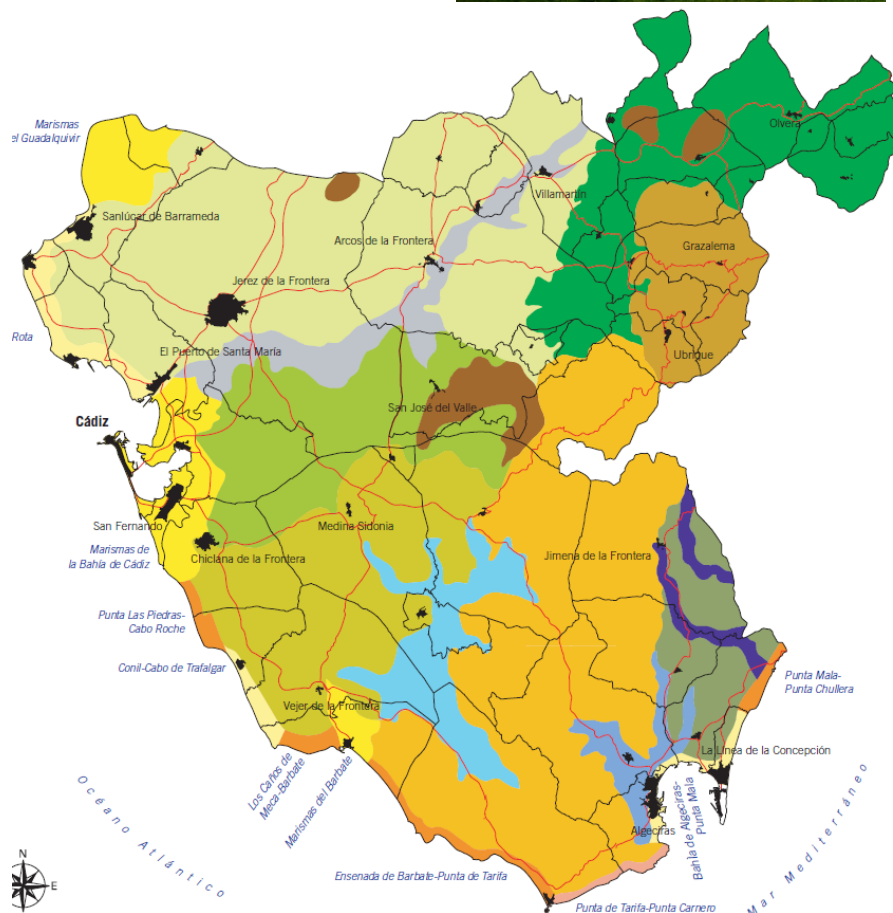
Marismas



Playa - Costa baja



Costa acantilada



SERRANÍAS

- Macizo de Grazalema
- Serranías del Aljibe y del Campo de Gibraltar
- Relieves subbéticos aislados (Sierra de Gibalbin, Sierras de la Nava y Lijar, Sierra de las Cabras)

CAMPIÑAS

- Campiña de Jerez-Arcos
- Campiña de Paterna
- Campiña de Medina Sidonia
- Campiña del Campo de Gibraltar
- Campiñas serranas nororientales

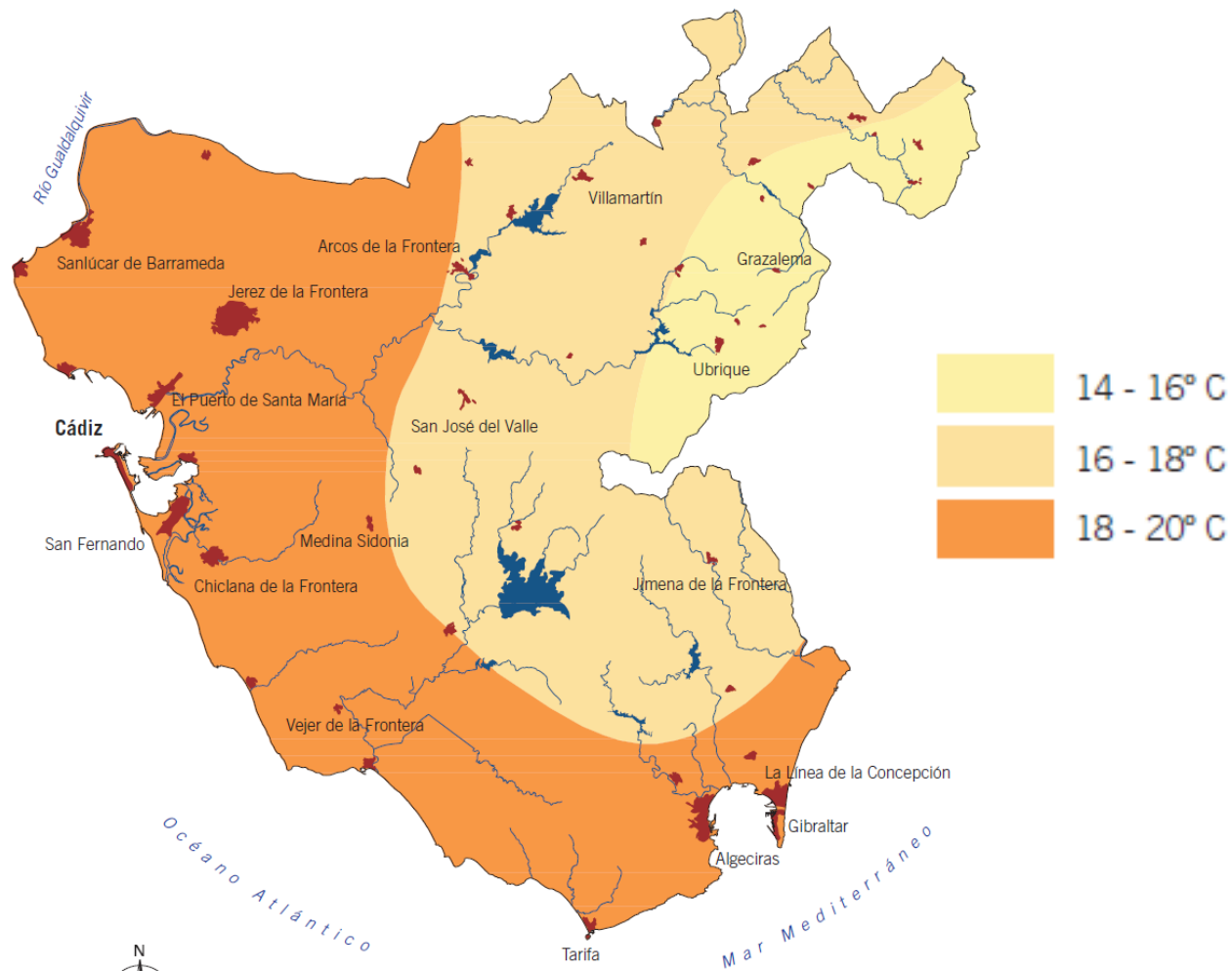
VEGAS Y VALLES FLUVIALES

- Guadalete
- Barbate-La Janda
- Palmones-Guadarranque
- Guadiaro-Hozgarganta

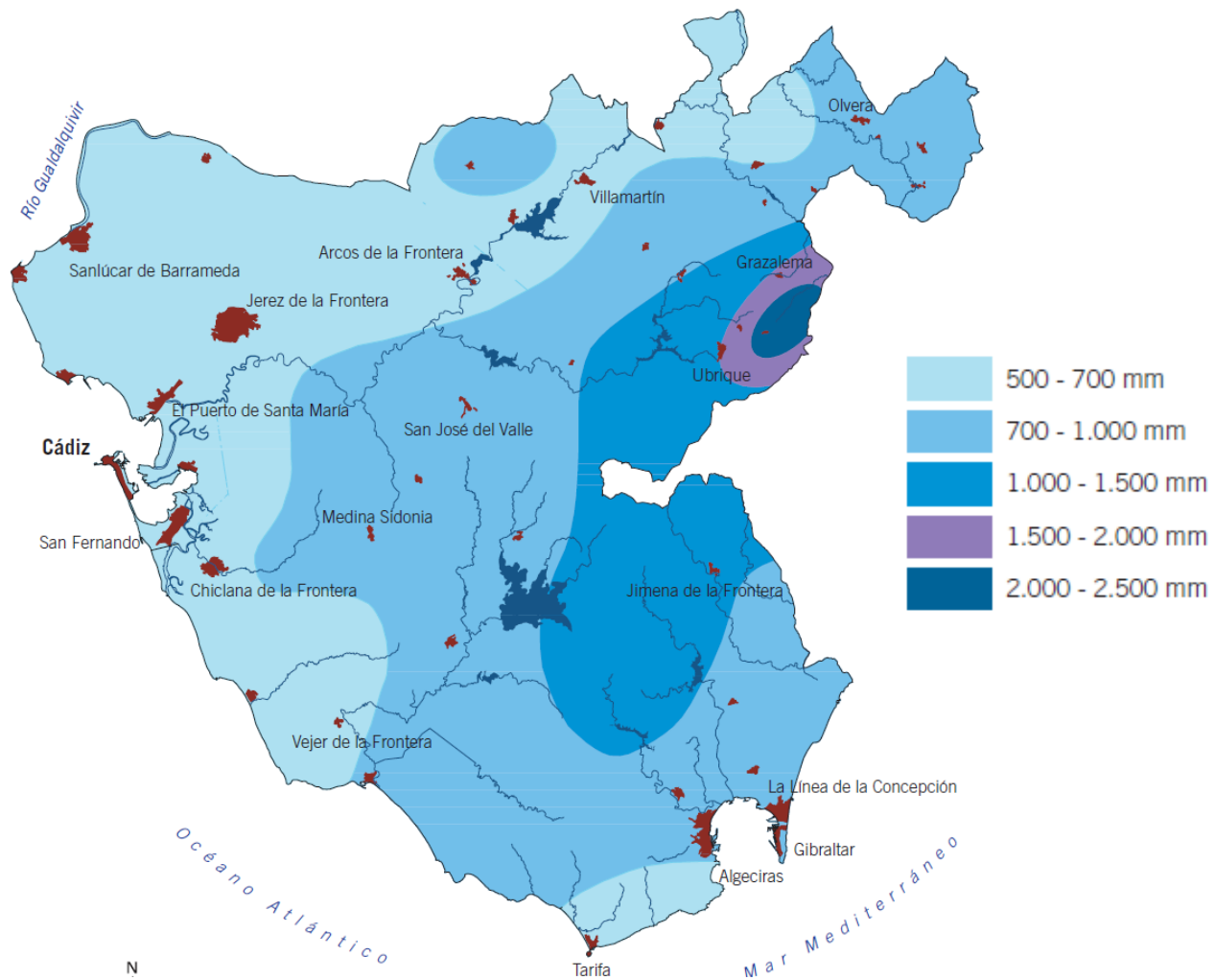
LITORAL

- Marismas (Guadalquivir, Bahía de Cádiz y Barbate)
- Playas-Costa baja arenosa (Chipiona-Rota, Conil-Cabo de Trafalgar, Bahía de Algeciras-Punta Mala)
- Costa mixta playas-acantilados (Punta Las Piedras-Cabo Roche, Los Caños de Meca-Barbate, Ensenada de Barbate-Punta Mala-Punta Chullera)
- Costa acantilada (Punta de Tarifa-Punta Carrero)

Unidades Fisiográficas de la provincia de Cádiz
(Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz, 2005)

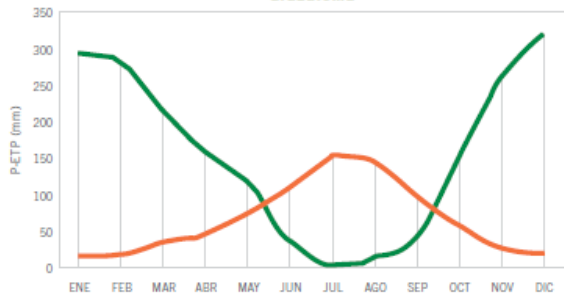


Temperatura media anual en la provincia de Cádiz
 (Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz, 2005)

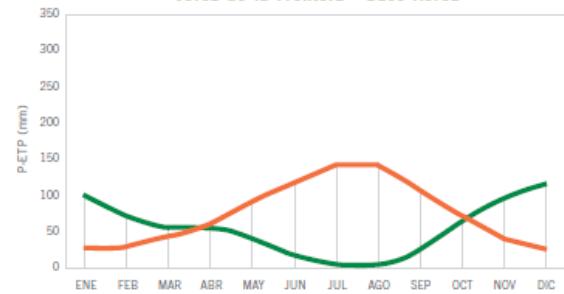


Precipitación media anual en la provincia de Cádiz
 (Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz, 2005)

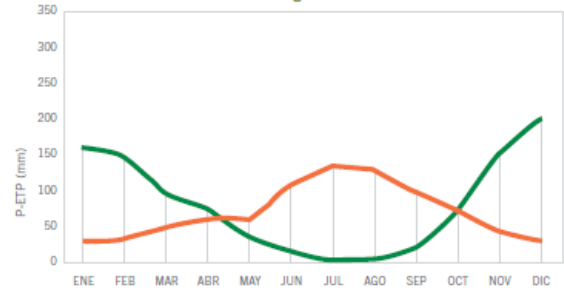
Grazalema



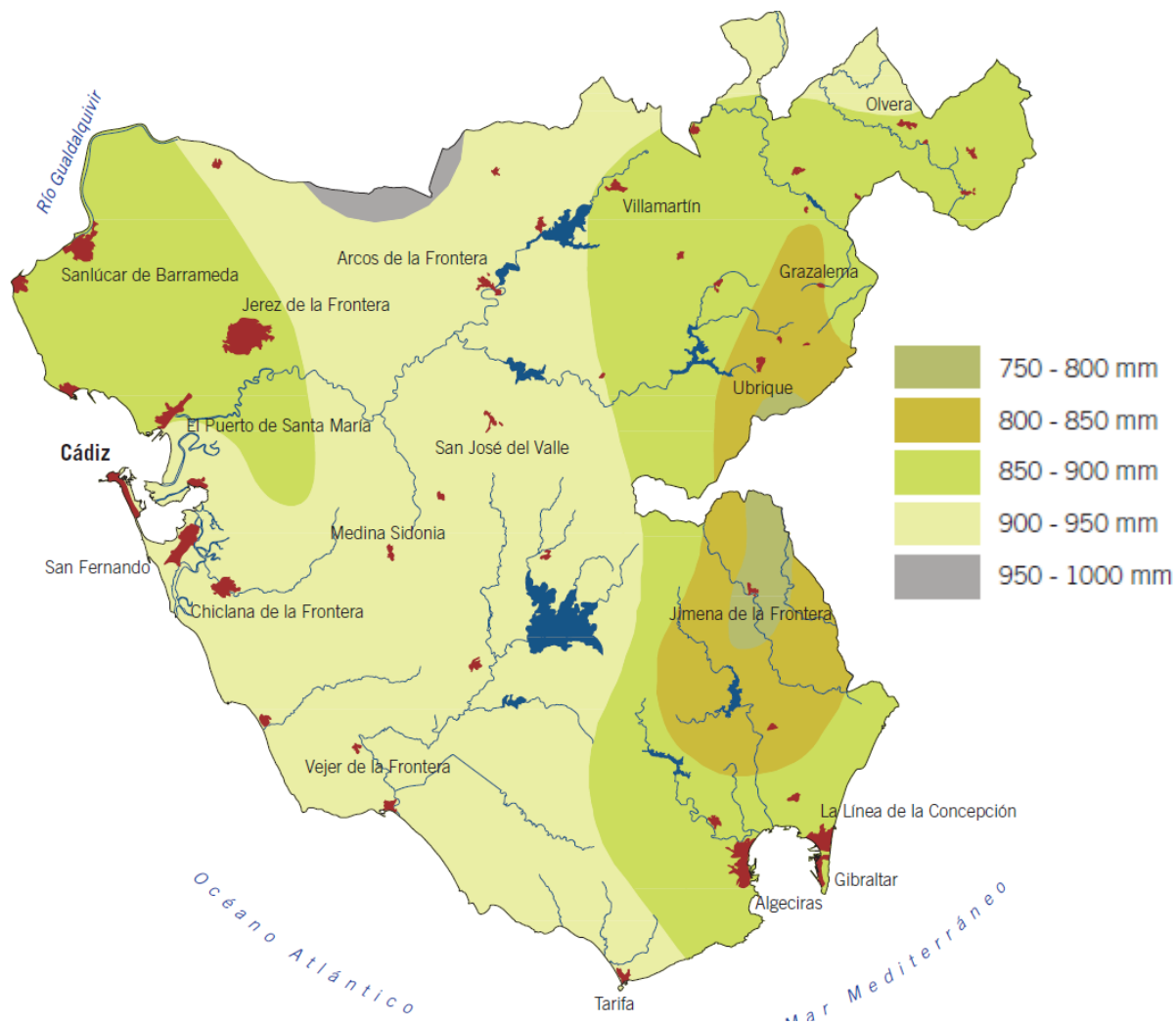
Jerez de la Frontera - Base Aérea



Algeciras



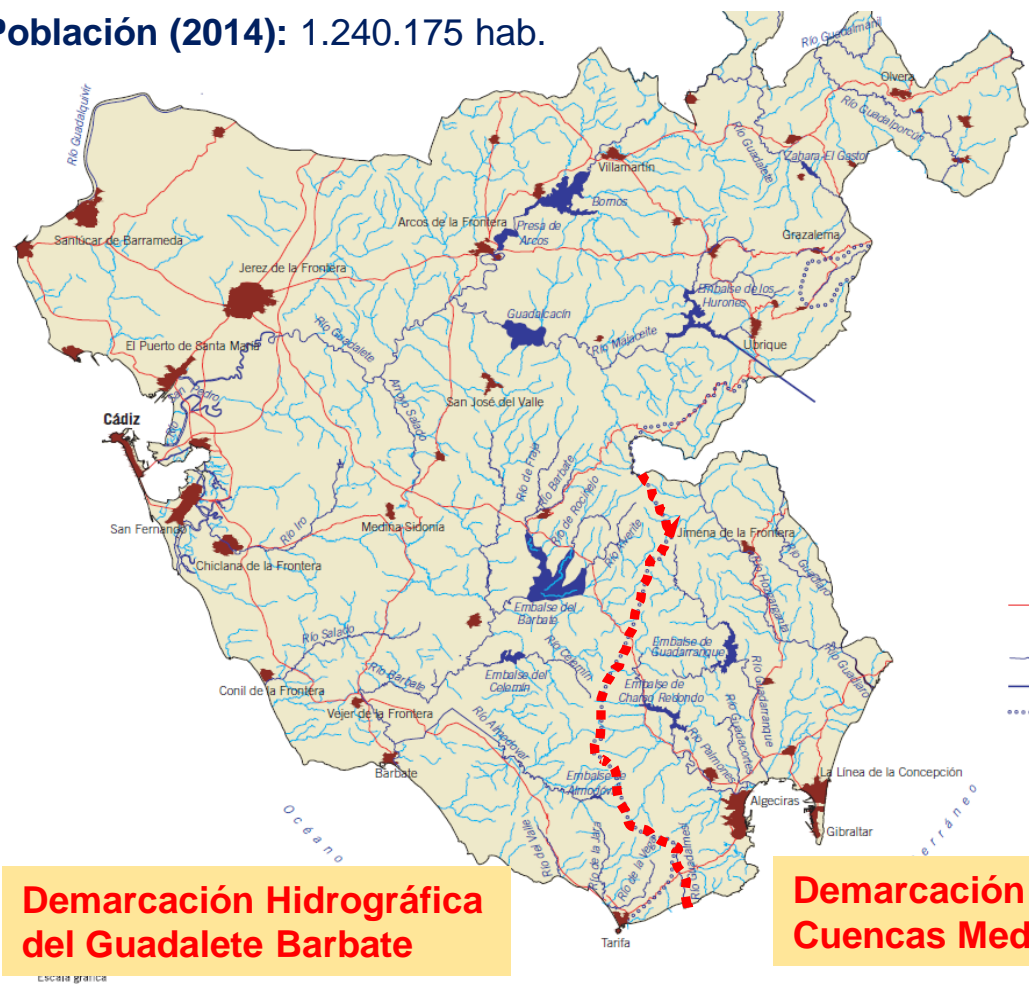
■ Precipitación
■ Evotranspiración potencial



Evapotranspiración potencial media anual en la provincia de Cádiz
 (Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz, 2005)

Superficie provincia de Cádiz: 7.436 km²

Población (2014): 1.240.175 hab.



Demarcación Hidrográfica del Guadalete Barbate

Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas

Sistema / Río	Embalse	Capacidad (hm ³)	Volumen regulado (hm ³)
Guadalete			
	Los Hurones	135	63
	Guadalcacín	800	89
	Bornos	204	75
	Zahara	223	47
Subsistema Guadalete		1.362	274
Barbate			
	Celemín	43	15
	Almodóvar	5	4
	Barbate	231	65
Subsistema Barbate		279	84
Palmones			
	Charco Redondo	73	
Guadarranque			
	Guadarranque	78	
Subsistema I1		151	54,86
Guadlaro			
Subsistema I2			0.80

Red hidrográfica, regulación superficial y división administrativa en la provincia de Cádiz

(Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz, 2005)

SUBBÉTICO Y DEPRESIONES NEÓGENAS Y CUATERNARIAS

CUATERNARIO		30	31	32	33	34	35
TERCIARIO	NEOGENO	PLIOCENO					
		SUPERIOR					
		MEDIO					
		INFERIOR					
		OLIGOCENO					
	PALEOGENO	EOCENO					
		PALEOCENO					
		CRETACICO					
		SUPERIOR					
		INFERIOR					
JURASICO	MALM						
	DOGGER						
	LIAS						
TRIASICO	SUPERIOR						

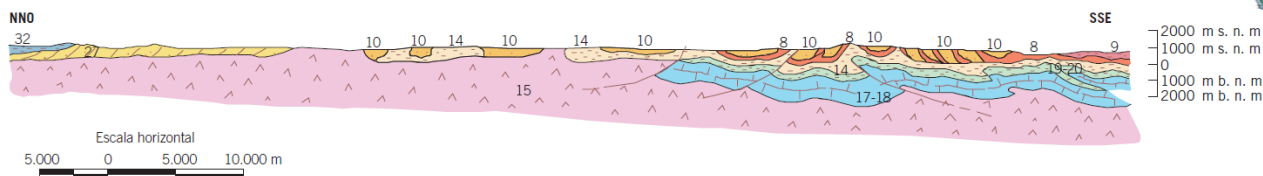
- 35. Arcillas, arenas y costras (depósitos edíficos)
- 34. Arenas, arcillas y cantos (depósitos de ladera)
- 33. Arenas y gravas (depósitos fluviales)
- 32. Arenas, conglomerados y limos de marisma (depósitos litorales), arenas (depósitos edíficos)
- 31. Limos y arcillas (depósitos lacustres)
- 30. Travertinos (depósitos kársticos)
- 29. Arenas y suelos rojos
- 28. Arcillas verdes, brechas y calizas
- 27. Arenas, biocalcarenititas y conglomerados
- 26. Margas grises
- 25. Biocalcarenititas
- 24. Margas azules
- 23. Margas blancas silíceas (moronitas)
- 22. Margas y margocalizas blancas
- 21. Margas y margocalizas con niveles calcáreos turbidíticos
- 20. Calizas y margas rojas (capas rojas)
- 19. Calizas margosas y margas
- 18. Calizas nodulosas, calizas margosas, margocalizas silíceas
- 17. Calizas y dolomías
- 16. Dolomías tableadas y carniolas
- 15. Arcillas, margas, yesos y areniscas

SURCO TURBIDITICO

TERCIARIO	NEOGENO	MIOCENO	BURDIGALIENSE	11	14	13
			AQUITANIENSE	10	12	
		PALEOGENO	OLIGOCENO	SUPERIOR	9	8
	INFERIOR			7		
	EOCENO		LUTECIENSE		5	
			YPRESIENSE			
	CRETACICO	PALEOCENO		4		
		SUPERIOR		3		
		INFERIOR				

- 14. Arcillas versicolores
- 13. Arcillas, areniscas y calizas (Formación Estepona)
- 12. Arcillas, margas, calizas, areniscas y bloques diversos
- 11. Arcillas y margas con niveles de areniscas; a veces, con silixita
- 10. Areniscas del Aljibe
- 9. Margas y areniscas micáceas (Formación Algeiras)
- 8. Calizas y arcillas margosas (Formación Benaiza)
- 7. Margas y arcillas rojas
- 6. Calizas arenosas y bioclásticas, arcillas y margas
- 5. Calizas arenosas y bioclásticas, con margas alternantes
- 4. Calizas de "Microcodium", con arcillas versicolores alternantes
- 3. Calizas, margas y arcillas (Formación Almarchal)
- 2. Arcillas de Facinas
- 1. Areniscas de los Nogales

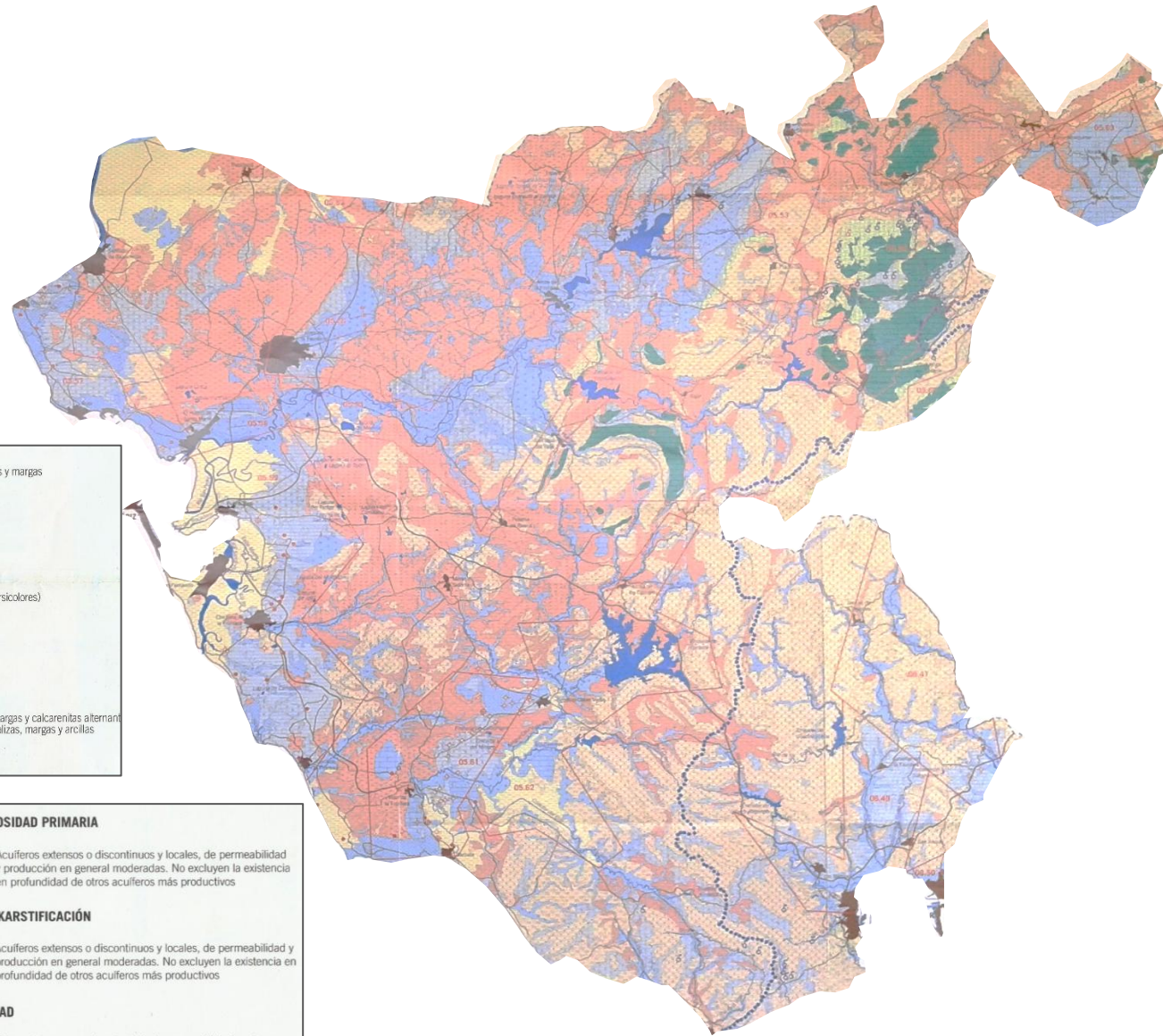
Geología de la provincia de Cádiz



Geología de la provincia de Cádiz

(Atlas Hidrogeológico de la provincia de Cádiz, 2005)

2. Litologías que sustentan los acuíferos en la provincia de Cádiz



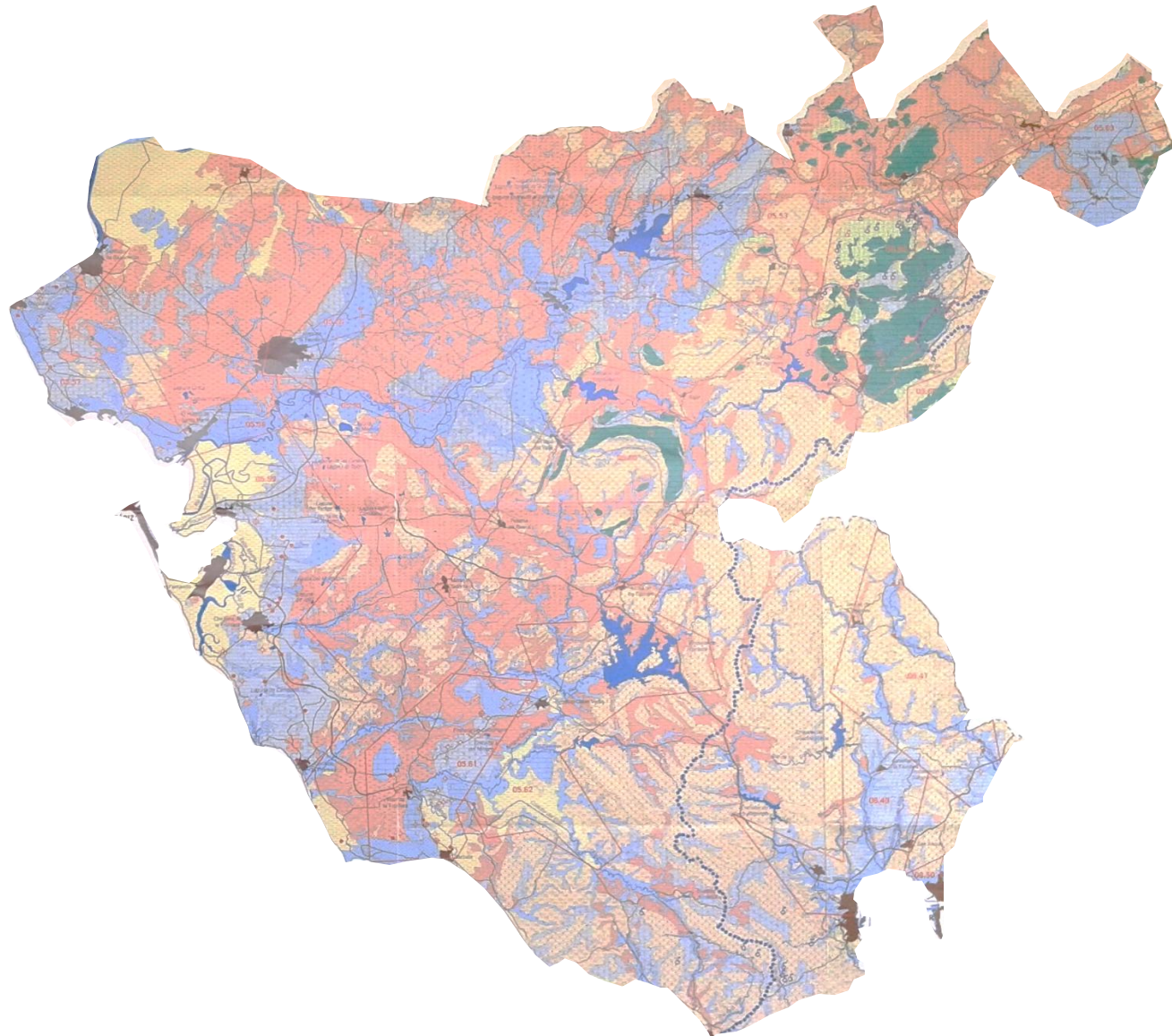
Litología

	Arcillas y arenas con cantos		Calizas nodulosas y margosas, margocalizas y margas
	Gravas, conglomerados, arenas y limos (depósitos fluviales)		Calizas y dolomías
	Arenas litorales y eólicas		Dolomías tableadas y carriolas
	Arcillas, fangos, limos, arenas y gravas		Arcillas, margas, yesos y areniscas
	Travertinos		Arcillas rojas y verdes satinadas (arcillas versicolores)
	Calizas con gasterópodos, arcillas y brechas		Arcillas margosas, arcillas y margas
	Arenas, biocalcareniticas y conglomerados		Areniscas del Aljibe
	Margas azules, margas blancas silíceas y margas grises		Margas, areniscas y arcillas
	Biocalcareniticas		Arcillas con intercalaciones de areniscas; margas y calcarenitas alternant calizas arenosas con arcillas alternantes; calizas, margas y arcillas
	Calizas margosas, margocalizas y margas		Arcillas con areniscas y margas

FORMACIONES DETRÍTICAS PERMEABLES POR POROSIDAD PRIMARIA	
	Acuíferos generalmente extensos, muy permeables y productivos
	Acuíferos extensos o discontinuos y locales, de permeabilidad y producción en general moderadas. No excluyen la existencia en profundidad de otros acuíferos más productivos
FORMACIONES CARBONATADAS PERMEABLES POR KARSTIFICACIÓN	
	Acuíferos generalmente extensos, muy permeables y productivos
	Acuíferos extensos o discontinuos y locales, de permeabilidad y producción en general moderadas. No excluyen la existencia en profundidad de otros acuíferos más productivos
FORMACIONES DE BAJA O MUY BAJA PERMEABILIDAD	
	Formaciones cuaternarias de baja permeabilidad o que, siendo de permeabilidad moderada a alta, son poco potentes y de producción restringida. En algunos sectores, albergan en profundidad acuíferos más permeables y productivos
	Formaciones generalmente de baja permeabilidad, en las que pueden llegar a aparecer sectores locales o puntuales de media a alta permeabilidad, constituyendo acuíferos de interés restringido
	Formaciones generalmente de muy baja permeabilidad. Ocasionalmente, pueden llegar a albergar acuíferos muy superficiales o zonas localizadas de mayor permeabilidad

EDAD			PERMEABILIDAD POTENCIALIDAD ACUÍFERA			
			ALTA	MEDIA	BAJA A MUY BAJA	
CUATERNARIO			[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]	
TERCIARIO	NEÓGENO	PLIOCENO	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]	
		MIOCENO	SUPERIOR	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]
			MEDIO	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]
			INFERIOR	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]
	PALEÓGENO	OLIGOCENO	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]	
		EOCENO	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]	
		PALEOCENO	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]	
		CRETÁCICO	SUPERIOR	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]
			INFERIOR	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]
		MESOZOICO	JURÁSICO	MALM	[Pattern]	[Pattern]
DÖGGER	[Pattern]			[Pattern]	[Pattern]	
TRIÁSICO	LÍAS		[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]	
	SUPERIOR		[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]	

EDAD			PERMEABILIDAD POTENCIALIDAD ACUÍFERA			
			ALTA	MEDIA	BAJA A MUY BAJA	
TERCIARIO	NEÓGENO	MIOCENO	INFERIOR	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]
			BURDIGALIENSE	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]
	PALEÓGENO	OLIGOCENO	SUPERIOR	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]
			MEDIO	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]
			INFERIOR	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]
			PRIABONIENSE	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]
		EOCENO	LUTECIENSE	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]
			YPRESIENSE	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]
			PALEOCENO	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]
			SUPERIOR	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]
CRETÁCICO	INFERIOR	[Pattern]	[Pattern]	[Pattern]		



Materiales con potencialidad acuífera

Subbéticos Jurásicos

Neógenos (Mioceno Superior y Plioceno)

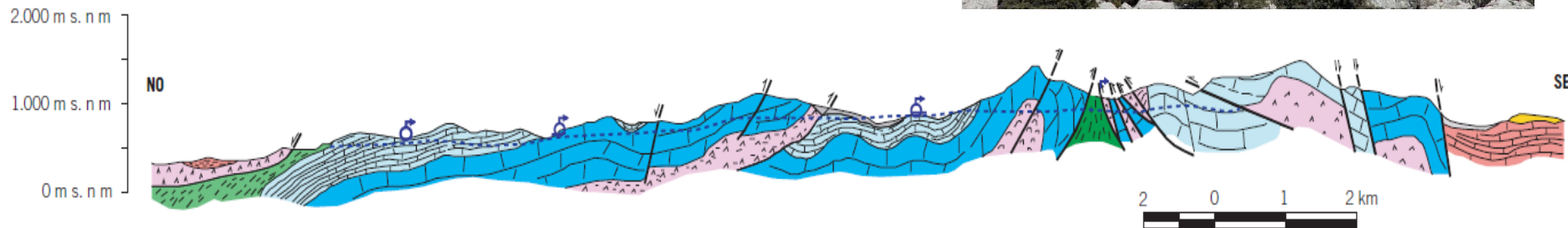
1. Calcarenitas del Mioceno superior.
2. Areniscas y bioconglomerados del Plioceno.

Cuaternarios

Aluviales, coluviales, eólicos, litorales recientes

Materiales SUBBÉTICOS JURÁSICOS: (edad 201-163 M.A.)

- Rocas “duras”, naturaleza carbonatada (calizas, calizas nodulosas y margocalizas).
- Fuertes relieves.
- Disposición estructural compleja: pliegues, escamas, cabalgamientos, fallas...
- Basamento constituido por arcillas yesíferas triásicas (nivel de despegue).



- Porosidad y permeabilidad secundaria (por fisuración y karstificación)
 - Porosidad “en grande”
 - Heterogeneidad
 - Flujo subterráneo no difuso: conductos
- Acuíferos muy productivos (moderados/pobres si margocalizas). Dinámica rápida.
- Compartimentación. Saltos NP. Múltiples descargas.
- Profusión de formas exokársticas y endokársticas





Polje sobre calizas jurásicas (Villaluenga del Rosario)



Polje del los Llanos del Republicano



Sima de Villaluenga

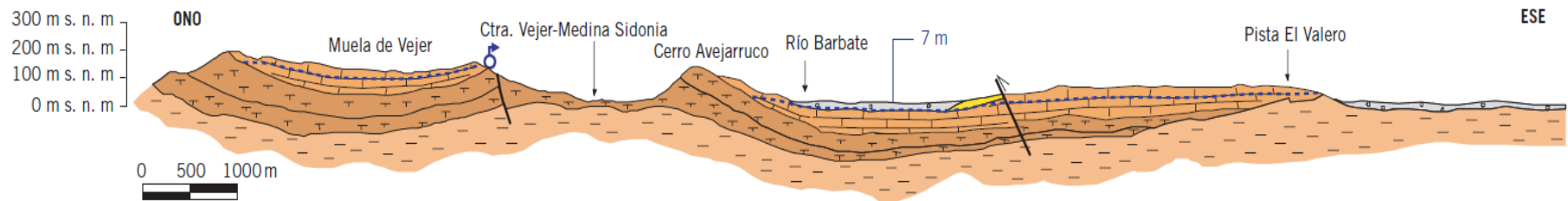


Sima del Republicano

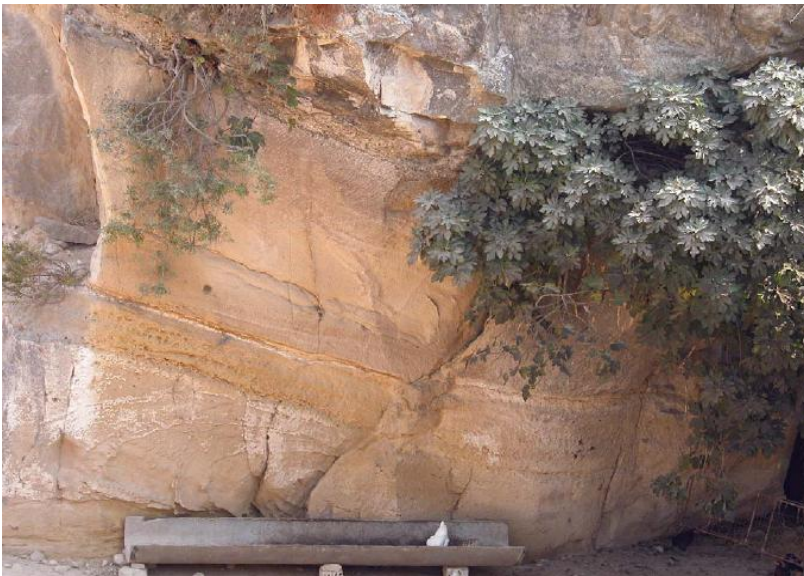
Materiales NEÓGENOS (MIOCENO SUP y PLIOCENO): (edad entre 11 y 5 m.a.)

Dos formaciones con gran potencialidad acuífera:

1. Calcarenitas del Mioceno superior. Potencia 80-100 m.
 2. Areniscas y bioconglomerados del Plioceno. Potencia 5-20 m
- Depósitos de origen marino somero y litoral
 - En muchos casos: relleno de fosas tectónicas.
 - Afectado por plegamiento de mayor radio y fallas que hunden bloques.
 - Producen relieves estructurales y acantilados (mayor resistencia a la erosión)



- Porosidad y permeabilidad primaria (intersticial)
 - Porosidad “en pequeño”
 - Homogeneidad
 - Flujo subterráneo lento, de tipo difuso
- Acuíferos con mayor almacenamiento que carbonatados. Dinámica lenta, inercia, >regulación.
- Variación vertical de granulometría y con ello propiedades hidrogeológicas. Intercalaciones arcillosas.
- Acuíferos multicapa



Calcarenitas del mioceno superior en antigua cantera de la barriada de San Cristóbal (El Puerto de Santa María).



Calcarenitas bioclásticas miocenas con estratificación cruzada (La Barca de Vejer)



Arenas pliocenas del acuífero detrítico de Puerto Real (Fuente del Gallo)



Bioarenisca y conglomerado pliocuaternarios (facies ostionera) en playa de la Ballena (Rota)



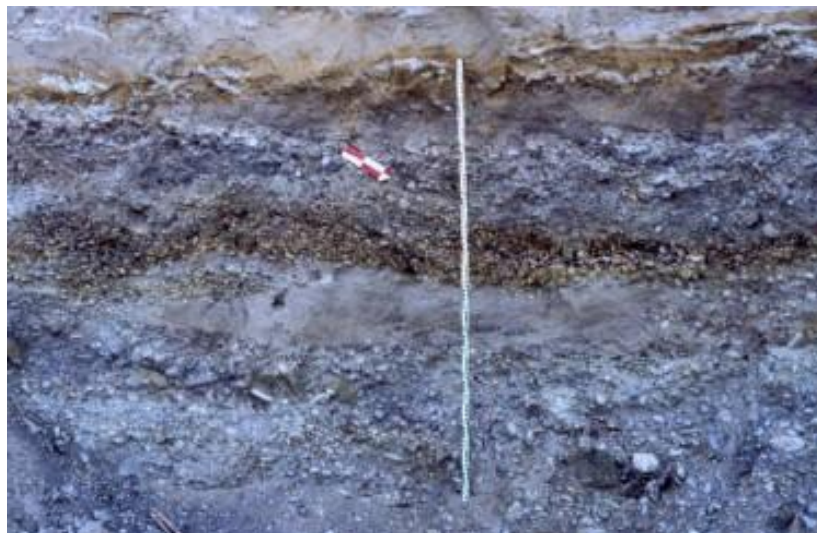
Detalle de las arenas pliocenas del acuífero detrítico de Puerto Real



Biocalcarenitas pliocenas (acantilado de Conil)

Materiales CUATERNARIOS:

En general, materiales no consolidados: aluviales, coluviales, eólicos, litorales recientes, etc



Depósitos aluviales recientes (Río Guadalete)



Dunas eólicas fijadas por la vegetación de repoblación (El Puerto de Santa María)



Depósitos eólicos y de playa actuales (Punta Paloma, Tarifa)



Depósitos coluviales al pie de calizas jurásicas de la Sierra de Grazalema

3. Masas de agua de la provincia de Cádiz

Masa de agua subterránea: volumen claramente diferenciado de aguas subterráneas en un acuífero o acuíferos. Unidad de gestión.

PROVINCIA DE CÁDIZ

Demarcación Hidrográfica del Guadalete Barbate

- 5.969 km²
- 14 masas de agua subterránea (2 parcialmente)
 - 4 Carbonáticas (Subbético-Jurásico)
 - 10 Detríticas
- Superficie acuífera: 1.927 km² (32% de la Demarcación)

Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas:

- 980 km² (aprox)
- 2 masas de agua subterránea (1 parcialmente)
 - 1 Detrítica
 - 1 Mixta
- Superficie acuífera aprox.: 219 km² (22% de la Demarcación)



Masas de agua subterránea identificadas en la Demarcación Hidrográfica Guadalete Barbate (P.H., p36)

Masa de Agua Subterránea	Localización	Población Asentada (nº hab.)	Marco Geográfico		Topografía				
			Hidrografía	Coordenadas del centroide		Geometría		Altitud (m.s.n.m.)	
				U.T.M. X	U.T.M. Y	Perímetro (km)	Superficie (km ²)	Máxima	Mínima
062.001 Setenil	Se sitúa al sur del punto triple en el que confluyen las provincias de Cádiz, Málaga y Sevilla	17.897	Río principal: Guadalete	303654,8	4082804,2	144,01	227,85	1.120,54	304,90
062.002 Sierra de Líbar	Se sitúa entre las provincias de Málaga y Cádiz	-	Río principal: Guadalete	291890,9	4062297,6	44,68	49,77	1.396,61	643,46
062.003 Sierra de Lijar	Se sitúa al nordeste de la provincia de Cádiz	5.726	Río principal: Guadalete	286514,1	4087121,8	29,74	24,16	1.050,06	272,70
062.004 Sierra de Grazalema-Prado del Rey	Se sitúa en la provincia de Cádiz. La masa de agua subterránea de Arcos de la Frontera-Villamartín constituye su límite oeste	28.594	Río principal: Guadalete	279355,1	4072029,2	137,46	362,38	1.642,99	139,86
062.005 Arcos de la Frontera-Villamartín	Se sitúa al norte de la provincia de Cádiz. Engloba los embalses de Arcos y Bornos	51.001	Río principal: Guadalete	258828,1	4077821,4	238,47	330,18	336,89	46,36
062.006 Sierra Valleja	Se sitúa en la provincia de Cádiz, al sur de la población de Arcos de la Frontera	< 500	Río principal: Guadalete	251566,4	4065862,6	63,78	37,12	295,18	29,43
062.007 Sierra de las Cabras	Se sitúa en la provincia de Cádiz. Al norte limita con el embalse del Guadalcaçín	4.289	Río principal: Guadalete	256237,4	4054527,7	69,06	63,76	678,76	92,28
062.008 Aluvial de Guadalete	Se sitúa en la provincia de Cádiz, ocupando los márgenes de los ríos Guadalete y Majaceite, así como de sus afluentes más importantes	3.090	Río principal: Guadalete	238577,4	4059266,1	516,82	225,28	235,46	0,01
062.009 Jerez de la Frontera	Se sitúa en la provincia de Cádiz, al este-noreste de la población de Jerez de la Frontera	199.597	Río principal: Guadalete	225638,5	4068116,6	90,05	75,75	74,45	2,78
062.010 Sanlúcar-Rota-Chipiona-Puerto de Santa María	Se localiza al noroeste de la provincia de Cádiz, entre las poblaciones de Sanlúcar de Barrameda, Chipiona, Rota y El Puerto de Santa María	194.838	Río principal: Guadalete, Salado	202216,7	4064179,3	254,33	152,16	123,40	0,00
062.011 Puerto Real	Se localiza en la provincia de Cádiz, limitando al sur con la población de Chiclana de la Frontera	113.235	Río Principal: Iro, San Pedro	220933,8	4045398,5	115,94	114,09	92,04	0,00
062.012 Conil de la Frontera	Se sitúa en la provincia de Cádiz, al sur de la población de Chiclana de la Frontera	20.301	Río Principal: Iro, Salado	220087,5	4027705,6	107,1	115,51	143,91	0,00
062.013 Barbate	Se localiza en la provincia de Cádiz, limitando al sur con el municipio de barbate y el río que lleva el mismo nombre	35.410	Río Principal: Barbate, Salado, Conilete, San Ambrosio	234452,5	4014953,1	135,62	116,00	217,62	0,00
062.014 Benalup	Se localiza en el interior de la provincia de Cádiz, limitando al este con la población de Benalup	7.038	Río Principal: Barbate.	243238,5	4026137,9	35,45	32,59	222,61	17,43

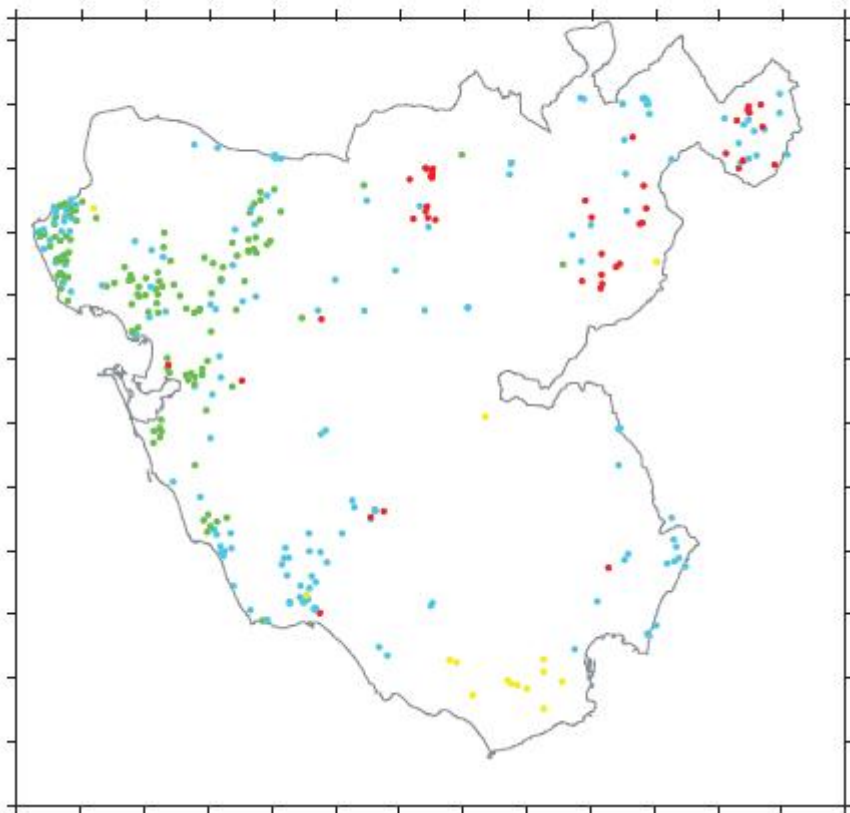


Tabla 13. Resumen de los datos de caracterización para las masas de agua subterránea

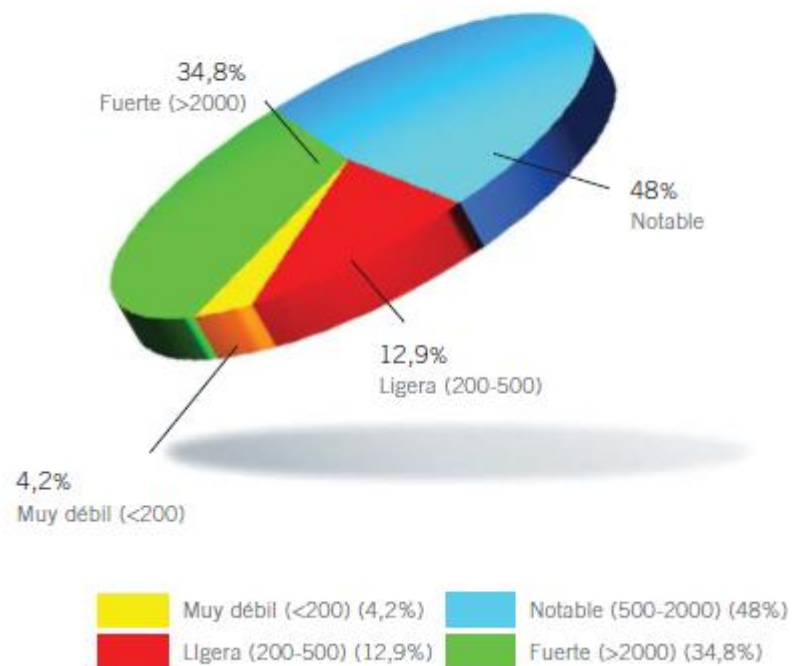
Denominación de la masa de agua		Área (km ²)	Coordenadas UTM		Tipología
Código	Nombre		X	Y	
060.047	Guadiario-Genal-Hozgarganta	239,05	291.721	4.032.404	Mixto
060.049	Guadarranque-Palmones	139,33	281.395	4.013.494	Detrítico

Masas de agua subterránea en la provincia de Cádiz, pertenecientes a la Demarcación Hidrográfica de las Cuencas Mediterráneas Andaluzas (P.H., p33-34)

Mineralización

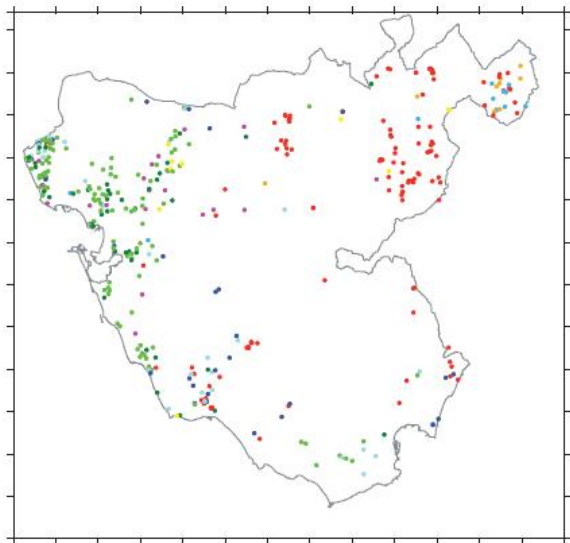


Porcentaje de puntos clasificados según su mineralización ($\mu\text{S}/\text{cm}$)

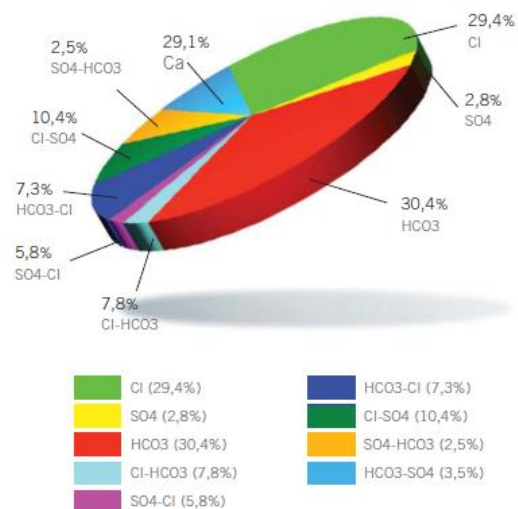


Características hidroquímicas de las aguas subterráneas de la provincia: CONDUCTIVIDAD

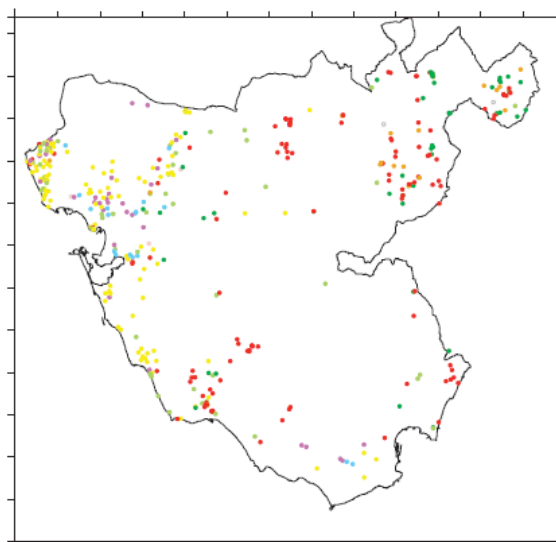
Facies aniónica



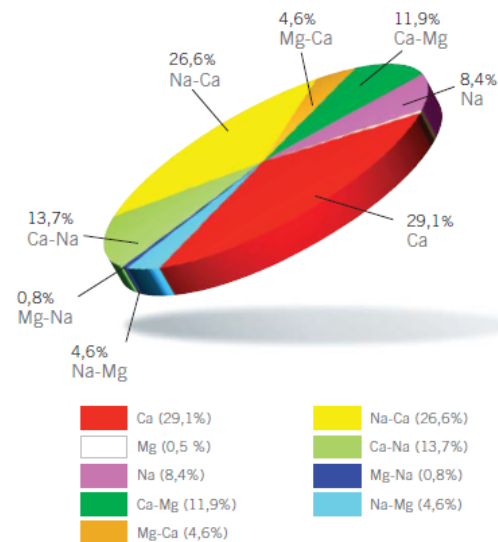
Facies aniónica
Porcentaje de puntos de cada clase



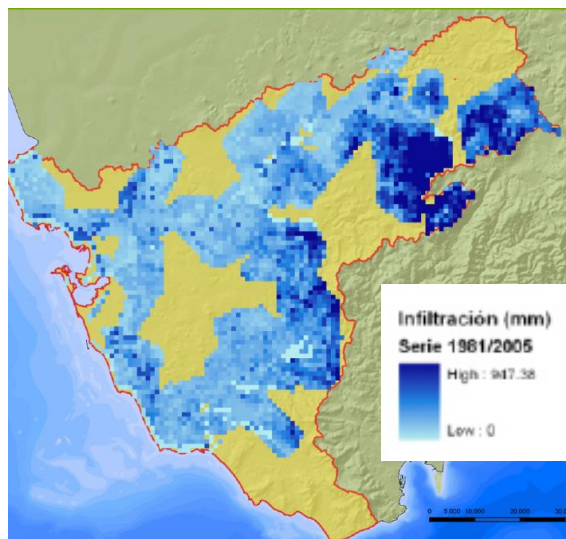
Facies catiónica



Facies catiónica
Porcentaje de puntos de cada clase



4. Recursos disponibles y demandas satisfechas



RECURSOS DISPONIBLES:

Recarga del acuífero (por diversas vías), menos el flujo para objetivos de calidad ecológica en agua superficial asociada

Criterio general: 0,8

Ac. Costeros: 0,7

S^a Grazalema: 0,4

Código	Nombre	Superficie (km ²)	Entradas a las masas de agua (hm ³ /año)			Extracciones (hm ³ /año)	Recursos disponibles ¹⁷ (hm ³ /año)
			Infiltración por lluvia	Retornos procedentes de riego	Otras entradas		
062.001	Setenil	227,85	15,8	0,2	2	3,5	14,4
062.002	Sierra de Líbar	49,77	35,4				9,7
062.003	Sierra de Líjar	24,16	6,2			1,7	5,0
062.004	Sierra de Grazalema – Prado del Rey	362,38	91,4	0,1		6,8	36,6
062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	330,18	20,8	2,4		18	18,6
062.006	Sierra Valleja	37,12	3,2	0,5			3,0
062.007	Sierra de las Cabras	63,76	9,9			2	7,9
062.008	Aluvial del Guadalete	225,28	17,5	9,8		7,3	21,8
062.009	Jerez de la Frontera	75,75	6,2	3,1		1,2	7,4
062.010	Sanlúcar – Chipiona – Rota – Puerto de Santa María	152,16	13,8	2,2	1	1,1	11,9
062.011	Puerto Real	114,09	8,8	1,3	0,7	1,8	7,6
062.012	Conil de la Frontera	115,51	10,8	0,7	0,3	5,2	8,3
062.013	Barbate	116,01	11,2	2,4	0,7	14,1	11,1
062.014	Benalup	32,59	3,3	0,3		5,1	2,9

254,3

23,0

4,7

67,8

166,2

Estimación del recurso disponible en las masas de agua subterránea de la Demarcación (P.H., p 278)

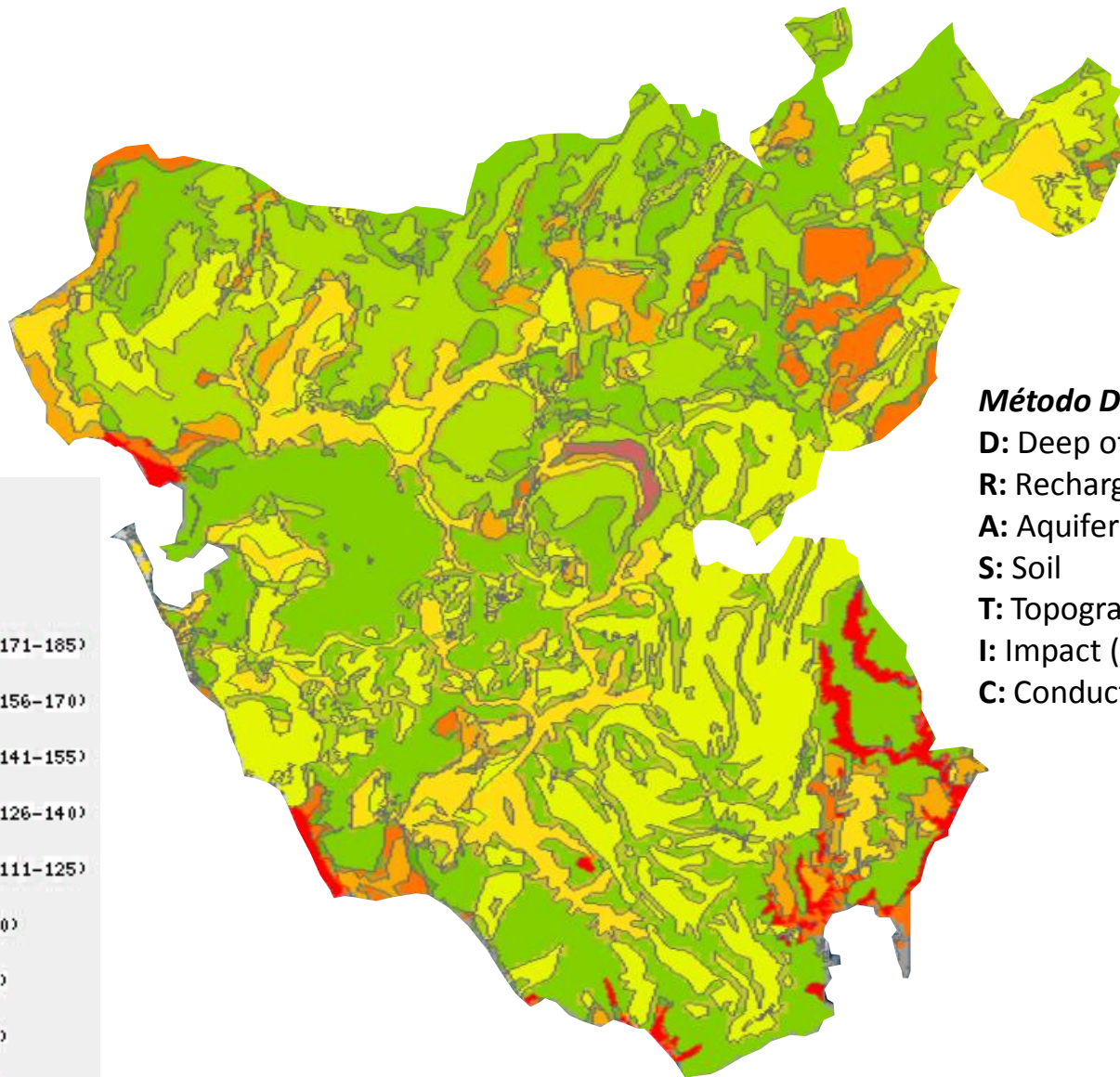
DEMANDA: caudales y volúmenes de agua que son precisados para desarrollar cada actividad. Necesidad de agua para uno o varios usos.

Demanda	Superficial		Subterráneo		Reutilización		Desalación		Transferencia		Demanda Total hm ³ /año
	hm ³	%	hm ³	%	hm ³	%	hm ³	%	hm ³	%	
Urbana (UDU)	101,756	83,7	20,048	16,5	0	0	0	0	68,48 ¹	56,4	121,534
Agraria (UDA)	272,797	85,7	37,524	11,8	8,128	2,6	0	0	0	0	318,451
Industrial (UDI)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Energía (UDE)	15,240	100	0	0	0	0	0	0	0	0	15,240
Recreativa (UDR)	0,780	12,2	4,035	63,3	1,560	24,5	0	0	0	0	6,375
TOTAL	390,573	84,61	61,607	13,4	9,688	2,10	0	0	68,48	14,84	461,600

¹: Volumen medio anual del transvase Guadiaro-Majaceite resultante del modelo SIMPA 1940-2005

Resumen de demandas por origen del recurso. Escenario actual (P.H., p 123)

5. Vulnerabilidad a la contaminación de las aguas subterráneas de la provincia de Cádiz



Método DRASTIC (Aller et al., 1987):

D: Deep of groundwater

R: Recharge (Net)

A: Aquifer

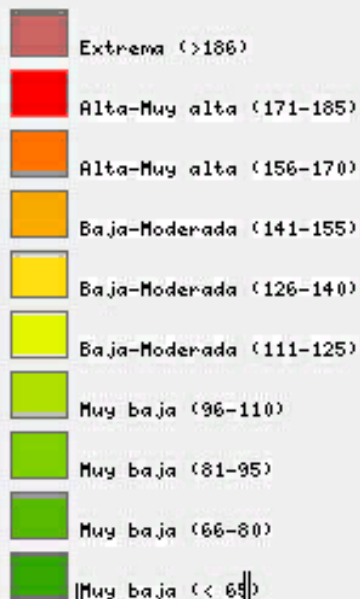
S: Soil

T: Topography (Slope)

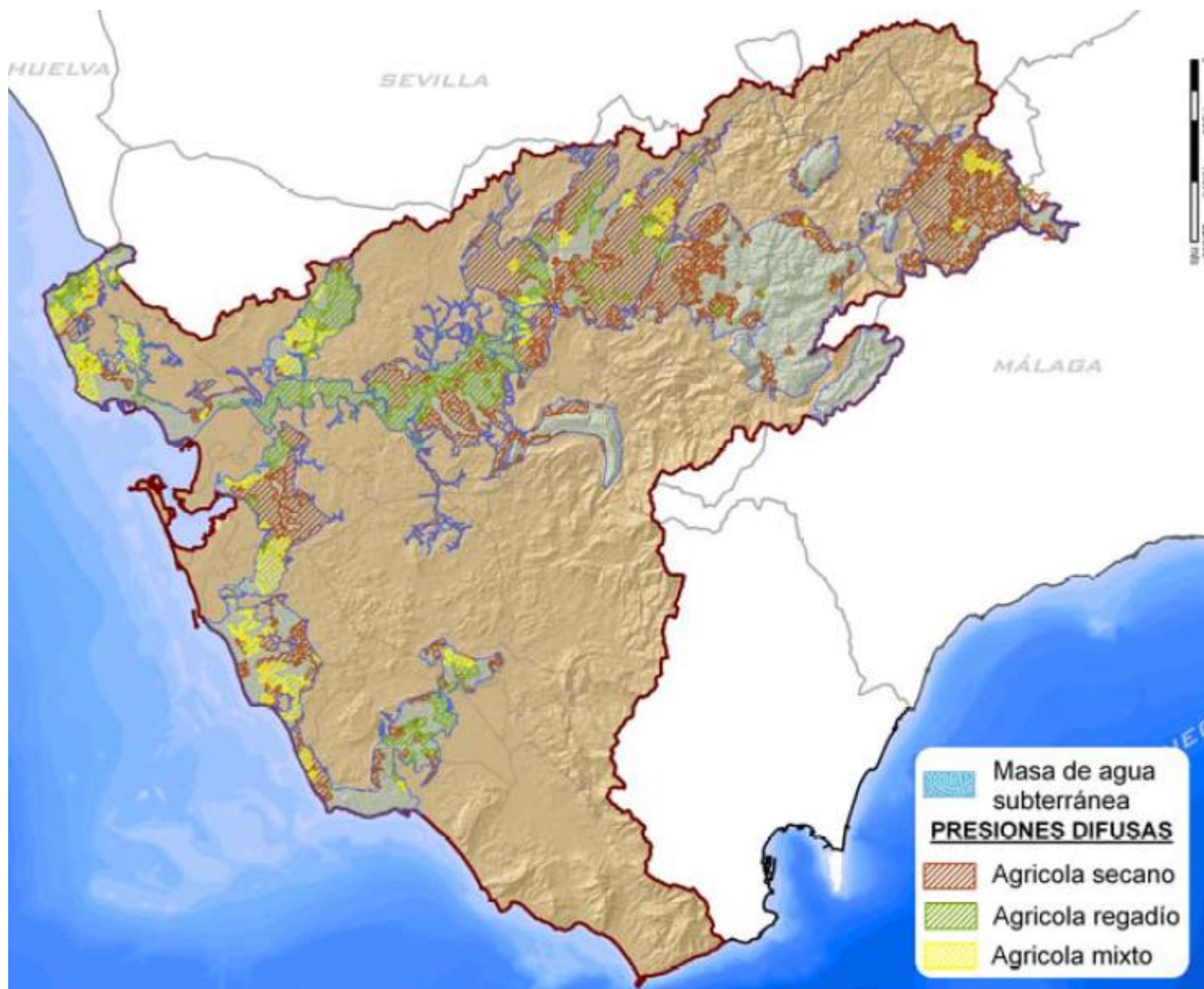
I: Impact (of ZNS)

C: Conductivity (Hydraulic)

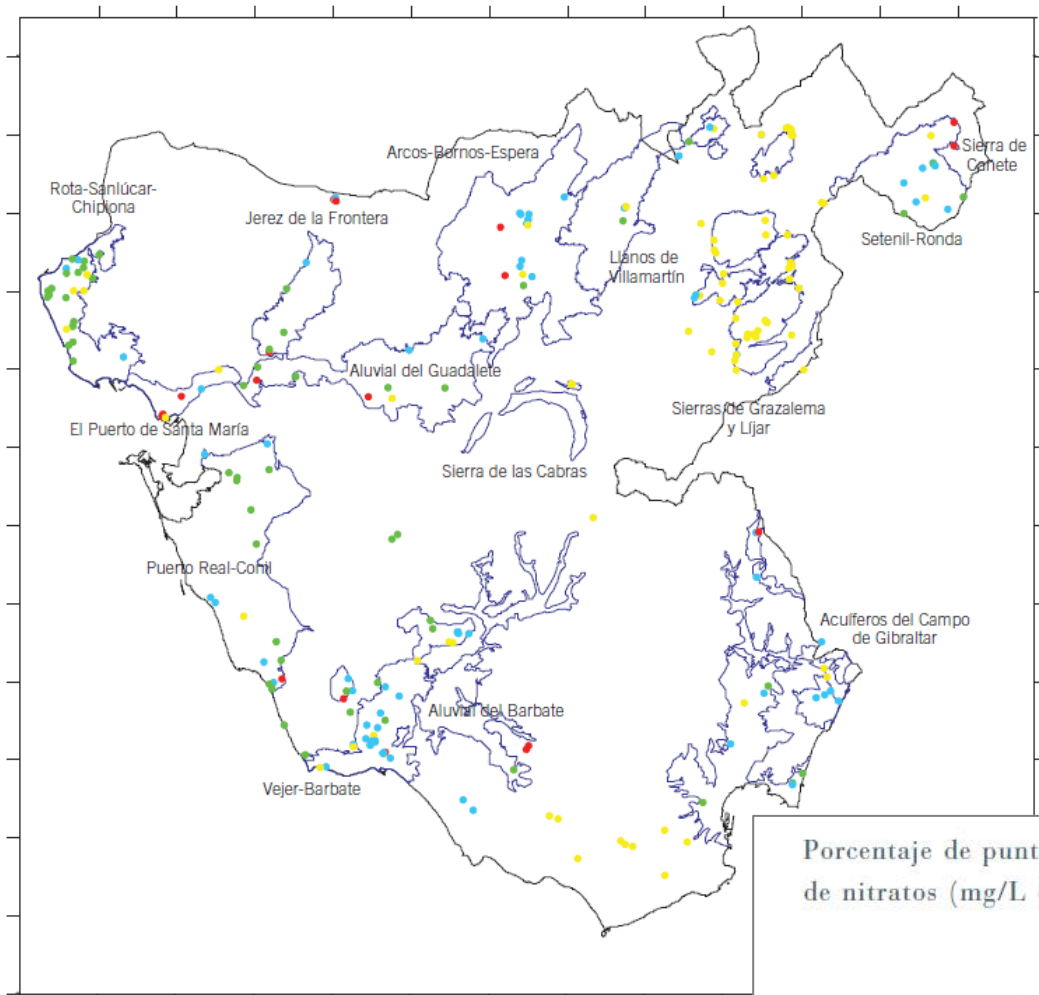
Vulnerabilidad



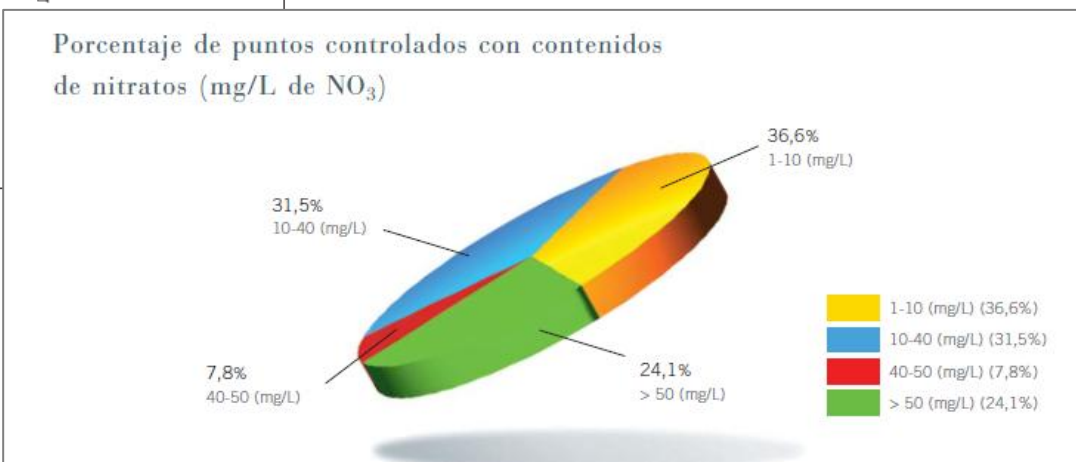
Vulnerabilidad frente a la contaminación de aguas subterráneas en la provincia de Cádiz
(Fuente: REDIAM, originalmente a escala 1:400.000)

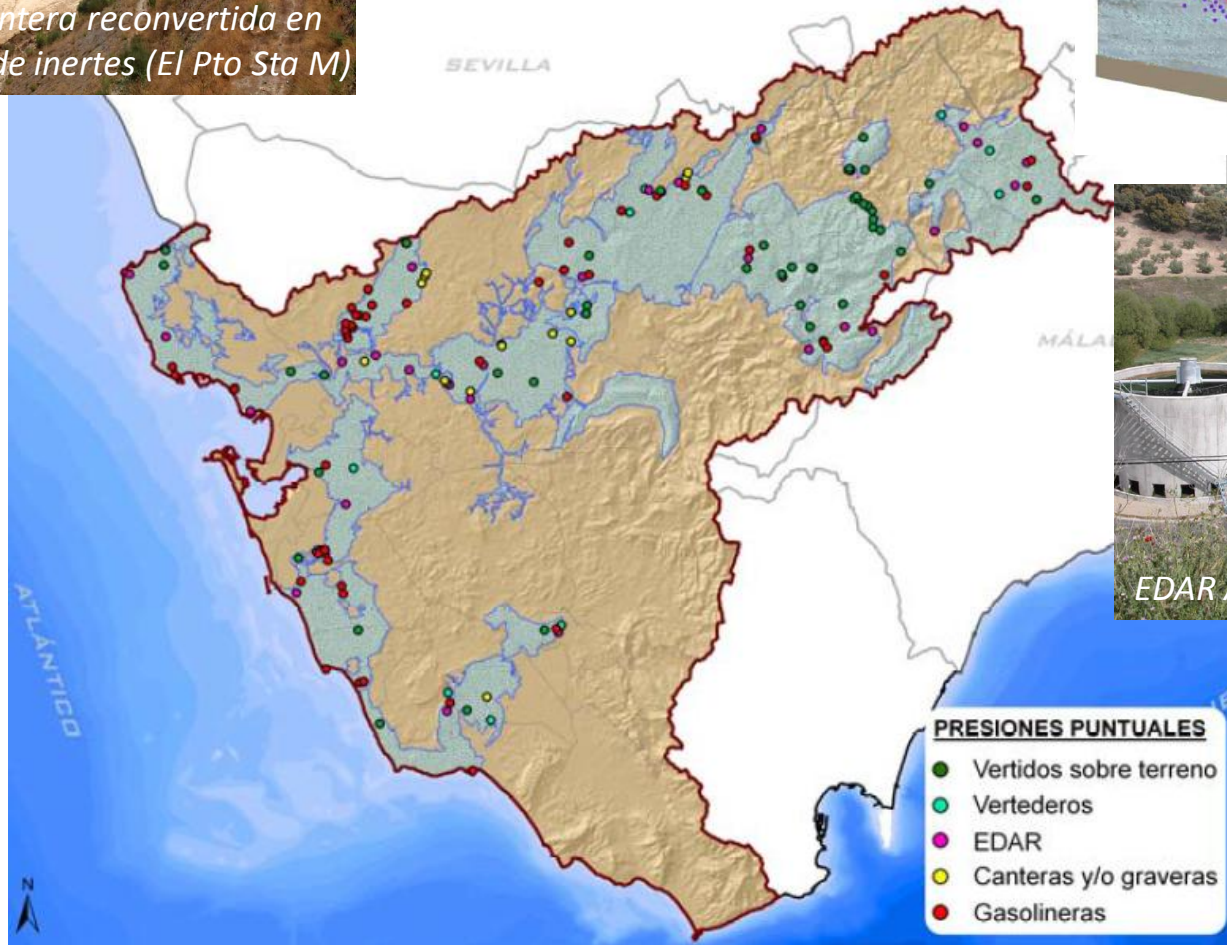
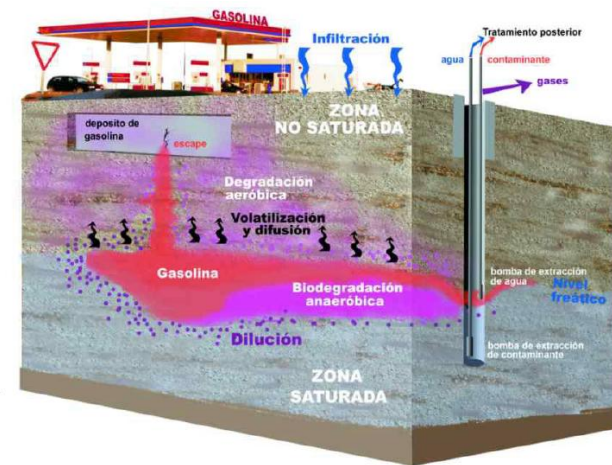


Contaminación difusa de origen agrario sobre masas de agua subterránea

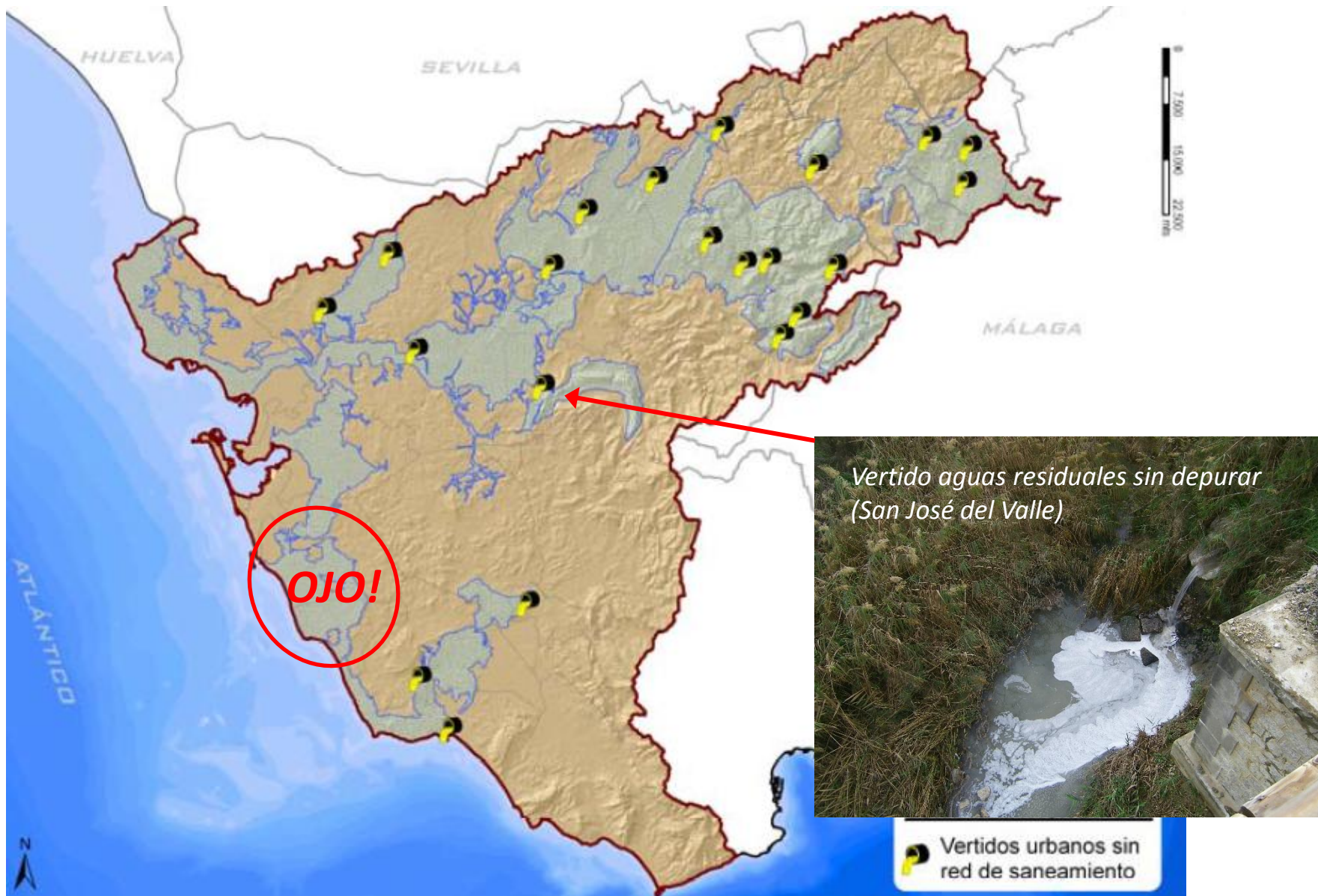


NITRATOS

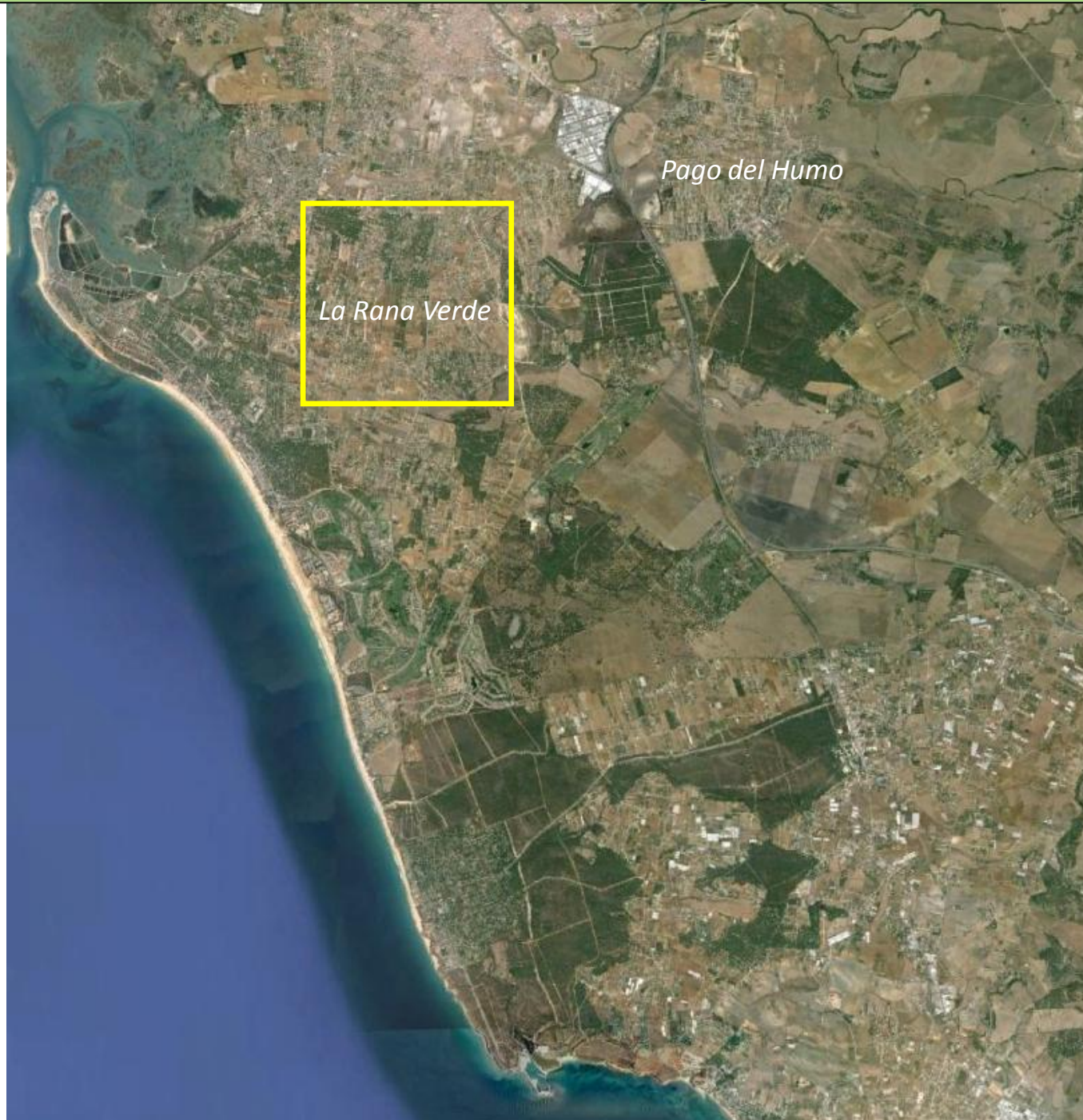




Presiones puntuales sobre masas de agua subterránea (P.H., p 143)



Vertidos urbanos no conectados a red de saneamiento sobre masa de agua subterránea (P.H., p 141)



*Masa de Agua Subterránea:
062.012 Conil de la Frontera*

- Contaminación por infiltración de aguas residuales.
- Ausencia de redes de saneamiento.
- Parcelación ilegal, cambio uso del suelo sin construcción de las infraestructuras.
- Problema: ordenación del territorio y proliferación de urbanización ilegal.



Contaminación de un pozo de extracción de aguas subterráneas por efecto de una fosa séptica



6. Diagnóstico del cumplimiento de los objetivos medioambientales (Plan Hidrológico 2009/15)

EVALUACIÓN DEL BUEN ESTADO DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS:

Conforme a la Instrucción de Planificación Hidrológica (Orden ARM-2656-2008), el estado de una masa de agua subterránea se evalúa atendiendo a los siguientes indicadores:

Estado Cuantitativo:

- Índice de explotación (I.E.)
- Niveles piezométricos en puntos de control.

**MAL
ESTADO**

{ I.E. > 0,8
Tendencia clara a ↓ niveles

Estado Cualitativo:

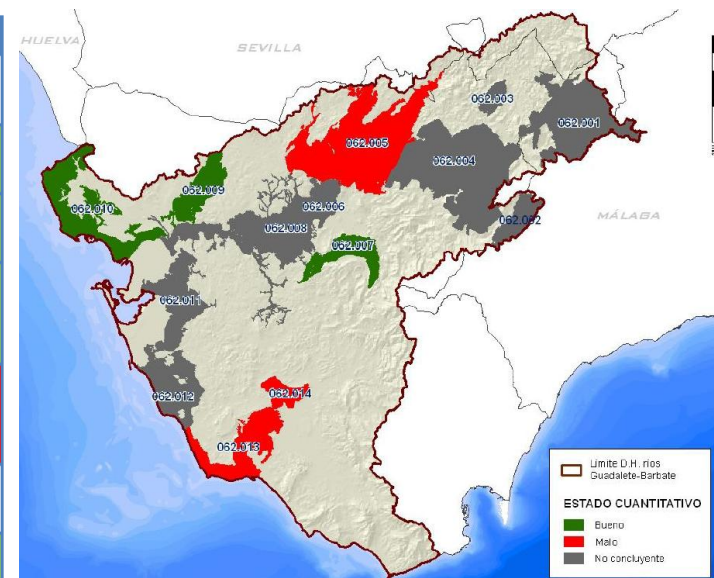
- Nitratos (50 mg/L)
- Plaguicidas (0,1µg/L individual, 0,5 µg/L conjunto)
- Arsénico 10 µg/L
- Fluoruro 1,5 mg/L
- Otros contaminantes (Cd, Pb, NH₄⁺, Cl⁻, SO₄⁼, orgánicos...)

Código	Nombre	Extracciones (hm ³ /año)	Recursos disponibles ¹⁶ (hm ³ /año)	Índice de explotación
062.001	Setenil	3,5	14,4	24%
062.002	Sierra de Líbar	0	9,7	0%
062.003	Sierra de Lijar	1,7	5	34%
062.004	Sierra de Grazalema – Prado del Rey	6,8	36,6	19%
062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	18	18,6	97%
062.006	Sierra Valleja	0	3	0%
062.007	Sierra de las Cabras	2	7,9	25%
062.008	Aluvial del Guadalete	7,3	21,8	33%
062.009	Jerez de la Frontera	1,2	7,4	16%
062.010	Sanlúcar – Chipiona – Rota – Puerto de Santa María	1,1	11,9	9%
062.011	Puerto Real	1,8	7,6	24%
062.012	Conil de la Frontera	5,2	8,3	63%
062.013	Barbate	14,1	11,1	127%
062.014	Benalup	5,1	2,9	176%

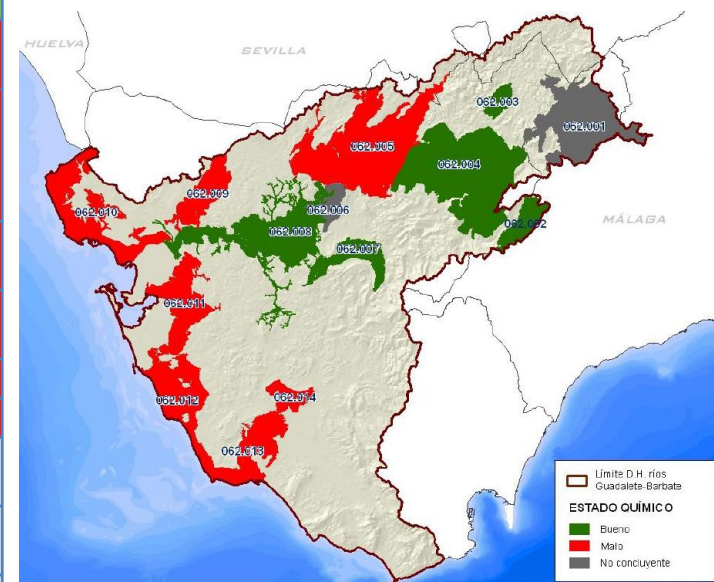
Índice de explotación de la masa o grupo de masas de agua subterránea (P.H., p 276)

Código	Nombre	Nº De Piezómetros Disponibles Para La Evaluación	Índice De Llenado Enero 2006 (%)	Índice De Llenado Más Reciente (%)*	Diferencia Entre El III (Enero 2006) Y El III Más Reciente*
062.001	Setenil	No se dispone de un registro reciente representativo, por lo que no se ha podido evaluar el estado cuantitativo de la masa de agua subterránea.			
062.002	Sierra de Líbar	No se dispone de un registro reciente representativo, por lo que no se ha podido evaluar el estado cuantitativo de la masa de agua subterránea.			
062.003	Sierra de Lijar	No se dispone de un registro reciente representativo, por lo que no se ha podido evaluar el estado cuantitativo de la masa de agua subterránea.			
062.004	Sierra de Grazalema – Prado del Rey	No se dispone de un registro reciente representativo, por lo que no se ha podido evaluar el estado cuantitativo de la masa de agua subterránea.			
062.005	Arcos de la Frontera - Villamartín	3,00	56%	41%	-15%
062.006	Sierra Valleja	No se dispone de un registro reciente representativo, por lo que no se ha podido evaluar el estado cuantitativo de la masa de agua subterránea.			
062.007	Sierra de las Cabras	4,00	51%	39%	-13%
062.008	Aluvial del Guadalete	No se dispone de un registro reciente representativo, por lo que no se ha podido evaluar el estado cuantitativo de la masa de agua subterránea.			
062.009	Jerez de la Frontera	8,00	51%	68%	17%
062.010	Sanlúcar – Chipiona – Rota – Puerto de Santa María	7,00	63%	79%	16%
062.011	Puerto Real	No se dispone de un registro reciente representativo, por lo que no se ha podido evaluar el estado cuantitativo de la masa de agua subterránea.			
062.012	Conil de la Frontera	No se dispone de un registro reciente representativo, por lo que no se ha podido evaluar el estado cuantitativo de la masa de agua subterránea.			
062.013	Barbate	5,00	58%	36%	-21%
062.014	Benalup	6,00	39%	26%	-14%

Código Masa	Nombre Masa	Estado Cuantitativo	Estado Químico
062.001	SETENIL	No se dispone de datos suficientes para su determinación	NO CONCLUYENTE
062.002	SIERRA DE LÍBAR	No se dispone de datos suficientes para su determinación	BUEN ESTADO QUÍMICO
062.003	SIERRA DE LÍJAR	No se dispone de datos suficientes para su determinación	BUEN ESTADO QUÍMICO
062004	SIERRA DE GRAZALEMA-PRADO DEL REY	No se dispone de datos suficientes para su determinación	BUEN ESTADO QUÍMICO
062.005	ARCOS DE LA FRONTERA-VILLAMARTÍN	MAL ESTADO CUANTITATIVO	MAL ESTADO QUÍMICO
062.006	SIERRA VALLEJA	No se dispone de datos suficientes para su determinación	NO CONCLUYENTE
062.007	SIERRA DE LAS CABRAS	BUEN ESTADO CUANTITATIVO	BUEN ESTADO QUÍMICO
062.008	ALUVIAL DEL GUADALETE	No se dispone de datos suficientes para su determinación	BUEN ESTADO QUÍMICO
062.009	JEREZ DE LA FRONTERA	BUEN ESTADO CUANTITATIVO	MAL ESTADO QUÍMICO
062.010	SANLÚCAR-CHIPIONA-ROTA-PUERTO DE SANTA MARÍA	BUEN ESTADO CUANTITATIVO	MAL ESTADO QUÍMICO
062.011	PUERTO REAL	No se dispone de datos suficientes para su determinación	MAL ESTADO QUÍMICO
062.012	CONIL DE LA FRONTERA	No se dispone de datos suficientes para su determinación	MAL ESTADO QUÍMICO
062.013	BARBATE	MAL ESTADO CUANTITATIVO	MAL ESTADO QUÍMICO
062.014	BENALUP	MAL ESTADO CUANTITATIVO	MAL ESTADO QUÍMICO
MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN BUEN ESTADO		3 de 14	5 de 14
MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA EN MAL ESTADO		3 de 14	7 de 14
MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA CUYO ESTADO NO SE HA PODIDO DETERMINAR		8 de 14	2 de 14



Estado cuantitativo



Estado químico (incumplimiento Nitratos)

Tabla 6.3.2. (1): Evaluación del estado de las masas de agua subterránea de la Demarcación

7. Contribución de las aguas subterráneas al abastecimiento en los periodos de sequía en la provincia de Cádiz

EXPLOTACIÓN SUBTERRÁNEA DE EMERGENCIA EN LA COMARCA DEL CAMPO DE GIBRALTAR. AÑO 1995

- Intensa sequía de mediados de los 90 (s. XX).
- REAL DECRETO-LEY 1/1995 de 10 febrero: Obras declaradas de interés general, de urgencia y emergencia

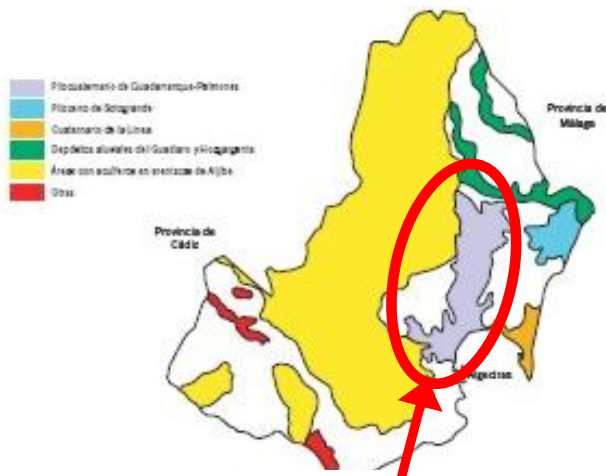
ACTUACIONES CAMPO GIBRALTAR:

Ejecución/adequación de sondeos profundos para alumbramiento de aguas subterráneas en un número próximo a 30, junto al Canal de Guadarranque-Miraflores y sector del Pinar del Rey, en el **acuífero de Guadarranque-Palmones**.

3744 REAL DECRETO-LEY 1/1995, de 10 de febrero, por el que se arbitran medidas de carácter urgente en materia de abastecimientos hidráulicos.

El trienio hidrológico 1991-1992, 1992-1993, 1993-1994, ha sido el más seco del presente siglo en el centro y sur de la península Ibérica, es decir, en el ámbito territorial de las cuencas hidrográficas del Guadiana, Guadalquivir, Sur, Segura y Júcar y en gran parte de la del Tago. El período ya transcurrido del año 1995 no sólo no ha paliado, sino que ha venido a agravar esta crítica situación.

Como consecuencia de ello y atendiendo al volumen de los recursos embalsados, la situación del conjunto de las citadas cuencas es notablemente peor que las

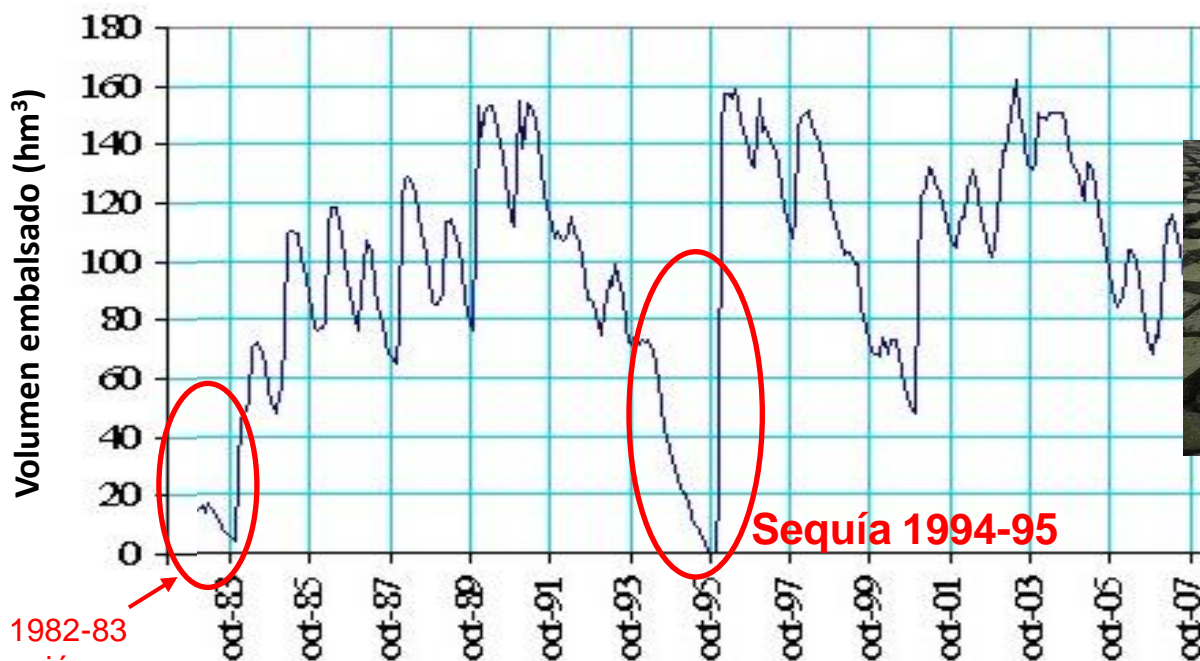
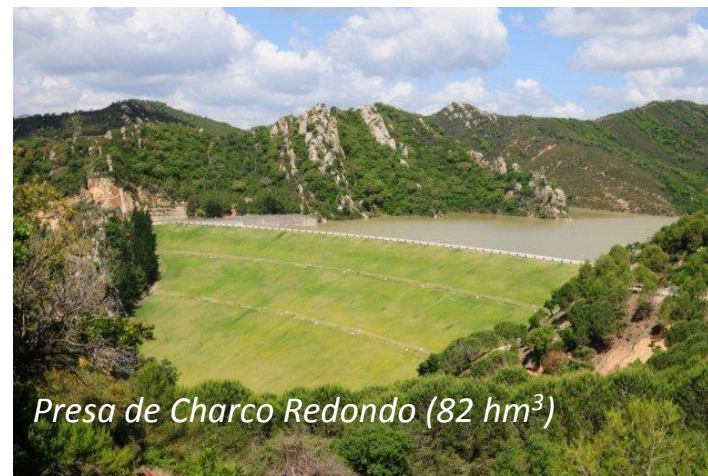


Acuífero Guadarranque-Palmones

OBJETIVO:

Satisfacer con aguas subterráneas las demandas del Campo de Gibraltar, durante el periodo en que los embalses se encontraban bajo mínimos.

Población: 250.000 habitantes
Polo industrial importante



Sequía de 1982-83
Fin construcción presa
Charco Redondo

Evolución del volumen embalsado conjunto en los embalses de Guadarranque y Charco Redondo en el Campo de Gibraltar.

Fuente: <http://hercules.cedex.es/indhdr/publico/CuencasInternasAndal/res.htm>



Embalse de Guadarranque durante la sequía de 1995



Embalse de Guadarranque

Acuífero de Sotogrande

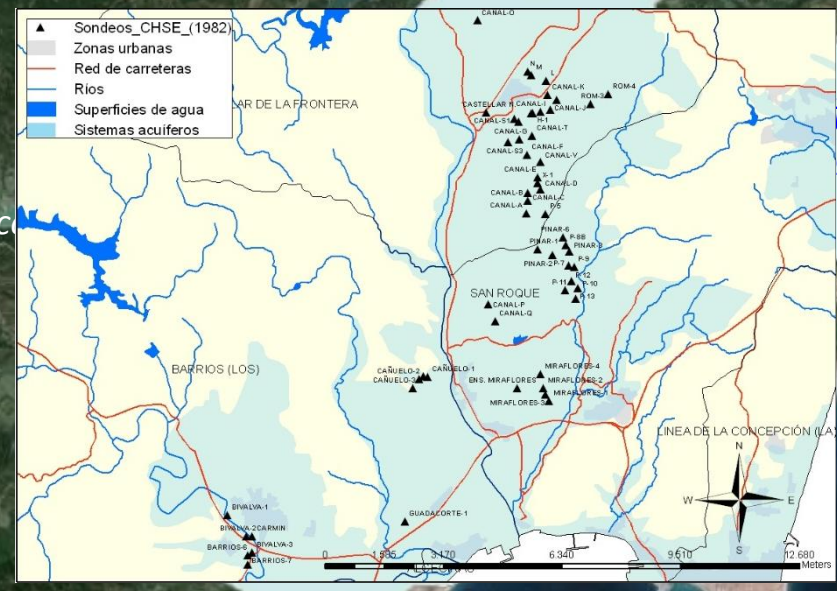
Embalse de Charco Redondo

Acuífero de Guadarranque-Palmones

Embalse de Guadarranque

Embalse de Charca

fero de grande



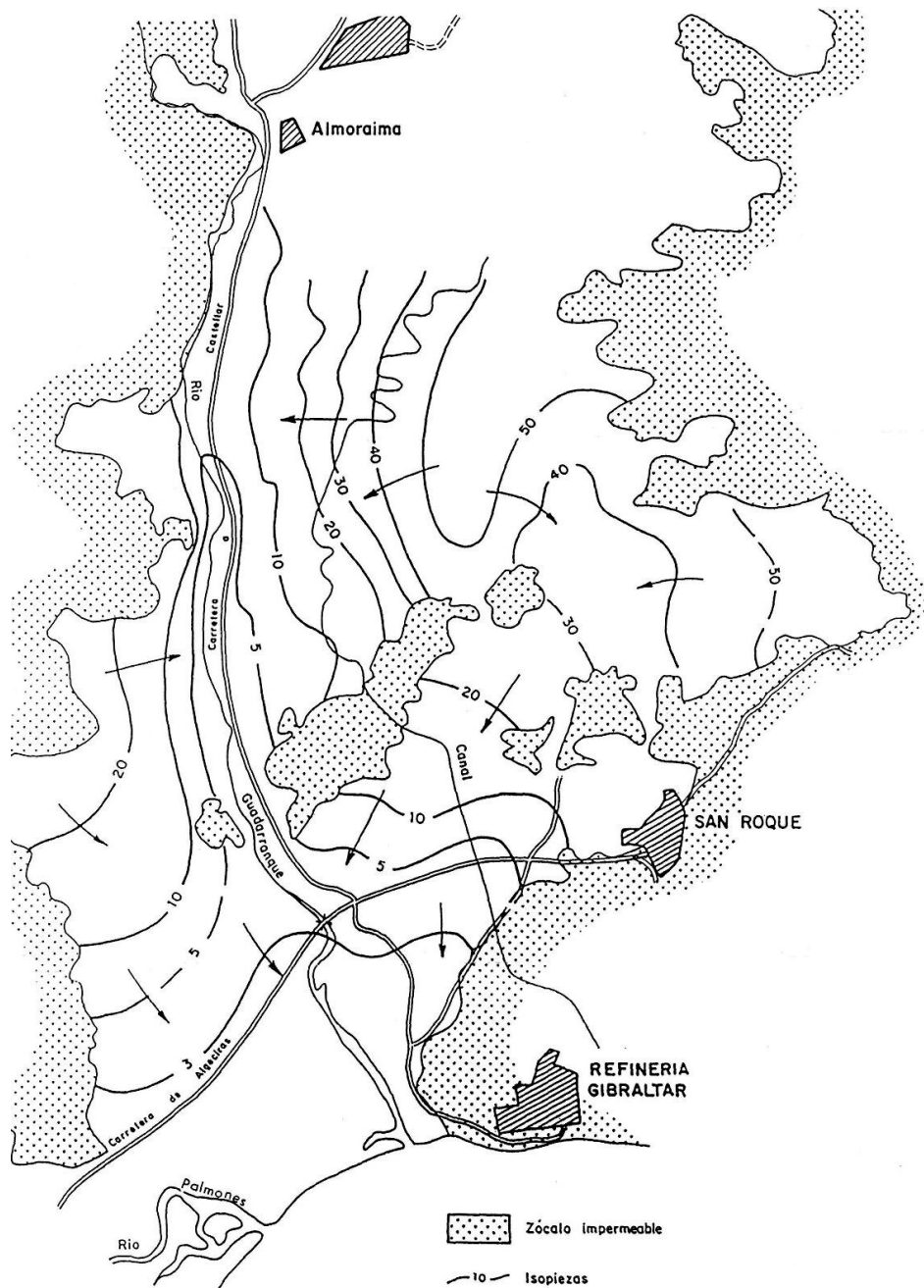
CARACTERÍSTICAS DE LOS SONDEOS:

- Profundidad entre 55 m y 122 m.
- Entubados en hierro, con diámetros de 300 y 400 mm.
- Filtros silíceos y tubería ranurada según los tramos productivos.
- Caudal de explotación: entre 8 y 50 l/s.
- Profundidad del nivel estático: entre 12 y 40 m.

ACUÍFERO (deducido a partir de los sondeos):

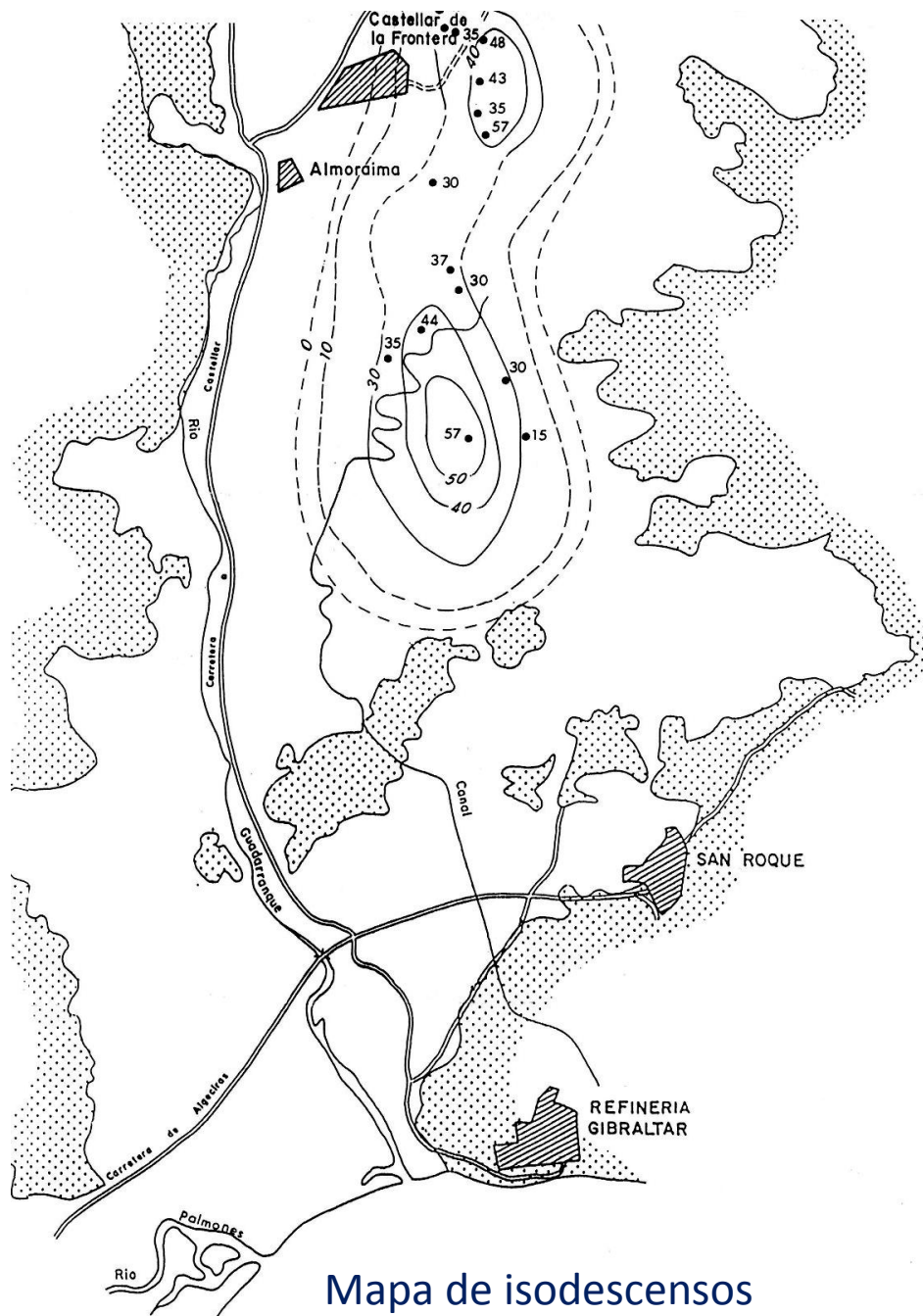
- Acuífero multicapa muy heterogéneo, constituido por niveles subhorizontales de gravas y arenas de diferente granulometría con intercalaciones de limos y arcillas confinantes ($K_V \ll K_H$).
- Porosidad eficaz: baja, en torno al 2%.
- Transmisividad: baja, entre 10 y 200 m²/día.
- Nivel piezométrico: entre 50 y 30 m.s.n.m.





MAPA DE ISOPIEZAS ANTERIOR AL BOMBEO

- Nivel piezométrico entre 50 y 0 m.s.n.m.
- Direcciones de flujo y gradientes hidráulicos
- Río recibe descarga subterránea
- Volumen de reservas explotables (estimado): 40 hm³



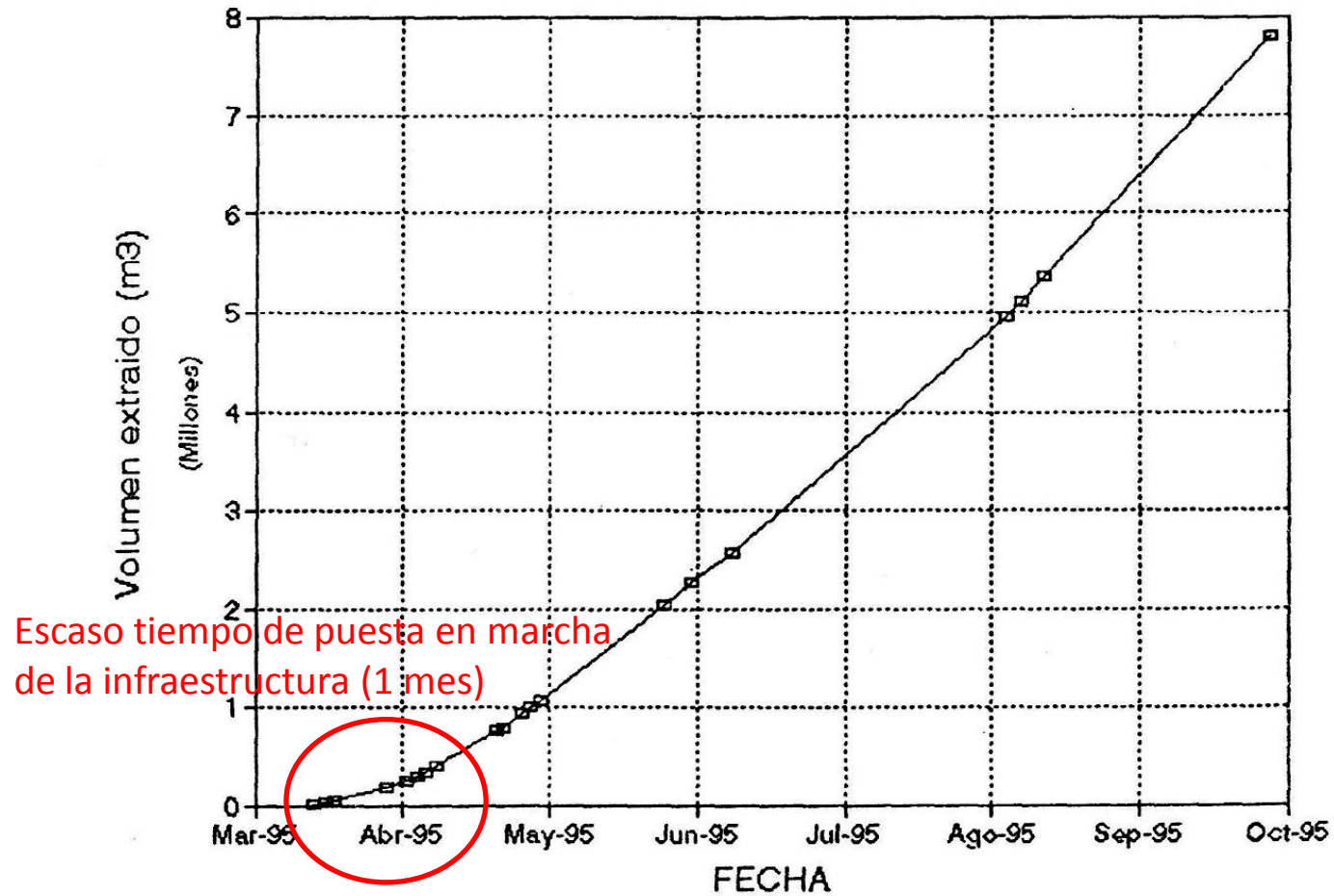
Mapa de isodescensos

DATOS DE LA EXPLOTACIÓN

- Caudal potencial conjunto (30 sondeos) : 1.000 l/s (2,9 hm³/mes), aunque se explotan 480 l/s (1,3 hm³/mes)
- Explotación realizada: 8 hm³
- Descensos producidos: 50 m (sector de Pinar del Rey) y 40 m (sector de Castellar)
- Afección a los manantiales y a la descarga al río Guadarranque.



Manantial de Castellar Nuevo



Evolución del volumen de agua subterránea extraído durante la metasequía de 1995, desde el acuífero de Guadarranque-Palmones, durante 7 meses.

EL AGUA SUBTERRÁNEA TAMBIÉN RESOLVIÓ EL PROBLEMA EN LA BAHÍA GADITANA

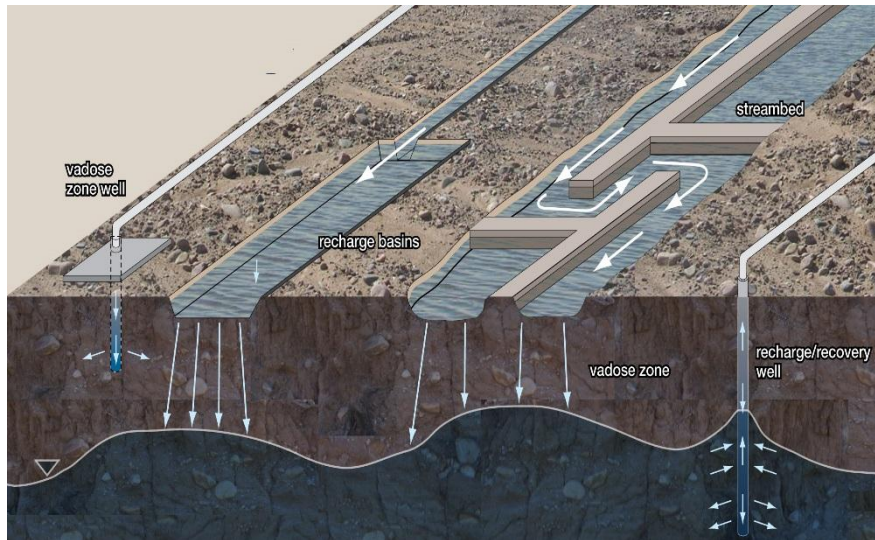


Apoyo al abastecimiento de la Bahía de Cádiz en la sequía del período 1992 a 1995, mediante bombeos en el acuífero Arcos-Bornos. Se suministraron 500 L/seg que se incorporaron directamente al abastecimiento, aprovechando la infraestructura de distribución a partir del embalse existente aguas arriba del acuífero

8. Recarga artificial de acuíferos en la provincia de Cádiz

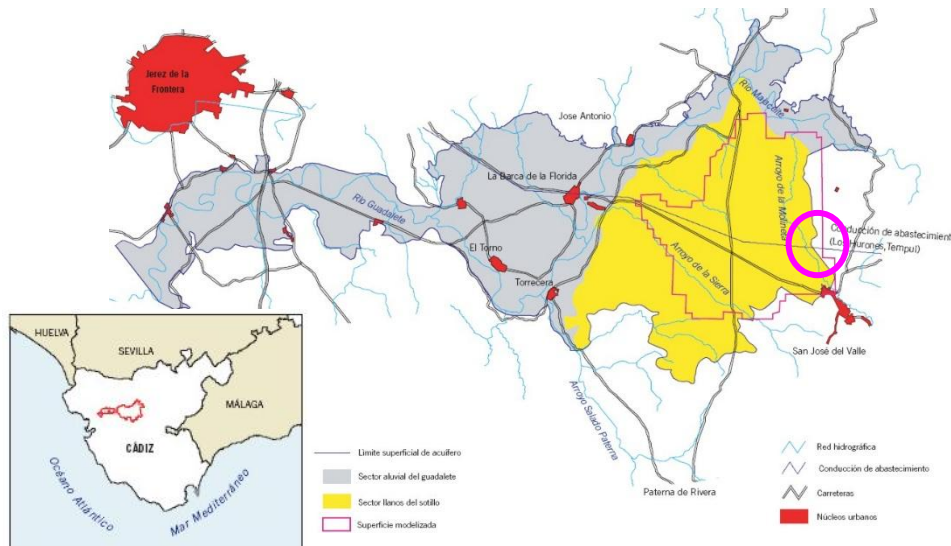
RECARGA ARTIFICIAL:

- Herramienta de la gestión hídrica planificada: uso conjunto
- Las aguas superficiales sobrantes o de otro origen se introducen de forma artificial o forzada en los acuíferos para su almacenamiento temporal.
- Se consigue incrementar la disponibilidad de recursos subterráneos, utilizando la capacidad de almacenamiento/regulación de los acuíferos.



PLANTA PILOTO DE RECARGA ARTIFICIAL DE “LOS SOTILLOS”:

- En el acuífero de los Llanos de Sotillos, incluido en la masa de agua subterránea 062.008 “Aluvial del Guadalete”.
- Iniciativa consecuencia del acuerdo Comunidad de Regantes/CHG (sequía 1995)



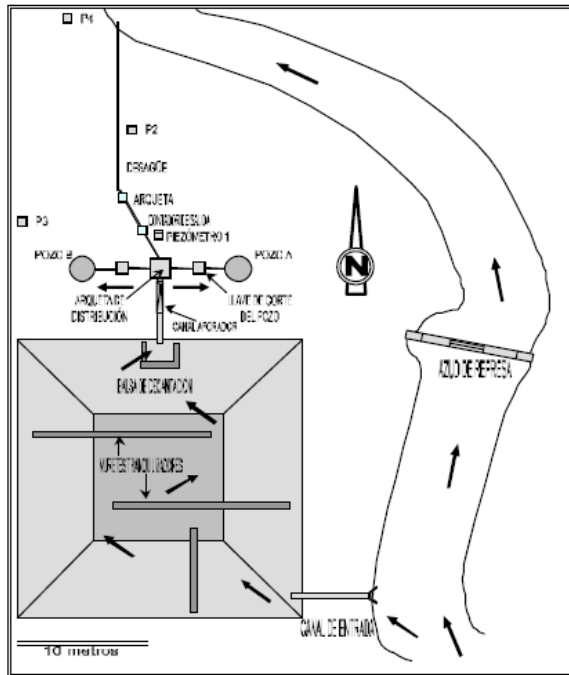
CARACTERÍSTICAS DEL ACUÍFERO:

- Superficie: 45 km². Espesor entre 10 y 100 m.
- Litología: arenas, gravas, cantos y arcillas de origen litoral (Plioceno) y de origen fluvial (Pliocuaternalio y Cuaternario). Base impermeable: arcillas, margas y margocalizas (Triásico, Cretácico y Mioceno).
- Recursos anuales: unos 25 hm³/año.
- Uso agrícola. Cambio de uso del territorio sobre el 10% superficie: central termosolar



ELEMENTOS PLANTA PILOTO DE RECARGA

- **Compuerta** regulable (arroyo de la Molineta, de donde se deriva el agua).
- **Balsa de decantación** de paredes inclinadas de hormigón y muretes de ladrillo.
- **Dispositivos de aforo** y de desagüe.
- **Pozos de infiltración** (20 m profundidad y 1 m diámetro), rellenos de grava y cantos rodados y filtro.
- **Sistema de tuberías** para limpieza del filtro por bombeo.





DESARROLLO DEL ENSAYO Y RESULTADOS

- La instalación funcionó durante 8 periodos (entre 3/12/2002 y 13/05/2003)
- Volumen total recargado 115.000 m³, con un caudal máximo de 50,3 l/s y un caudal medio de 18,9 l/s.
- Con un caudal de 8 l/s, en 50 horas se producía un abombamiento de la superficie piezométrica de 5 m en un radio de 12 m y 1 m en un radio de 25 m.
- Algunos problemas relacionados con finos-limpieza.



VIABILIDAD

PROPUESTAS:

- Acuífero de Arcos-Villamartín. Excedentes del embalse de Bornos (5 hm³)
- Acuífero de Vejer-Barbate. Excedentes invernales del embalse de Barbate (5 hm³).

Aguas Subterráneas. Fuentes de Aprendizaje
El Bosque, 8 y 9 mayo 2015

Muchas gracias por su atención

Santiago García López

Profesor Titular. Universidad de Cádiz

Departamento de Ciencias de la Tierra

Facultad de Ciencias del Mar y Ambientales

santiago.garcia@uca.es