



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE ECONOMÍA Y COMPETITIVIDAD



Instituto Geológico y Minero de España



El modelo de flujo de la Loma de Úbeda (España): una herramienta de gestión sostenible e investigación



Heredia, J.⁽¹⁾; Manzano, M. ⁽²⁾; González, A. (1); Ortega, L.⁽²⁾
Rodríguez Arévalo, J. ⁽⁴⁾; Muñoz de la Varga, D. ⁽⁴⁾

- (1) Instituto Geológico y Minero de España, IGME
- (2) Universidad Politécnica de Cartagena, UPCT
- (3) Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, CEDEX

Dto. Hidráulica, FCEIA, UNR – Septiembre de 2013



Universidad Politécnica de Cartagena



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

**QUE IMPLICA EL DESARROLLO DE UN MODELO?
ENTRE OTRAS COSAS, CONTRASTAR E INTEGRAR
INFORMACIÓN
(NECESIDAD Y BENEFICIO)**

**COMO LO REALIZA?
MEDIANTE LA REPRESENTACIÓN NUMÉRICA DEL MODELO
CONCEPTUAL DEL SISTEMA ESTUDIADO**

**ASÍ, EVOLUCIONA CON EL CONOCIMIENTO,
AL QUE POR OTRO LADO CONTRIBUYE
-con el riesgo de caer en tautologías, je, je-**

MODELOS NUMÉRICOS: integran explícita e implícitamente información del sistema que pueden ser resultados y/o interpretaciones obtenidas con distintas técnicas

→ Herramienta potente

INCERTIDUMBRES Y CARÉNCIAS debido a:

- datos
- cuan ajustado es el modelo conceptual al sistema que quiere describir (idealización fruto del conocimiento respecto a la realidad)
- cuan adecuada sea la representación numérica del modelo conceptual que representa

Avance del conocimiento medio



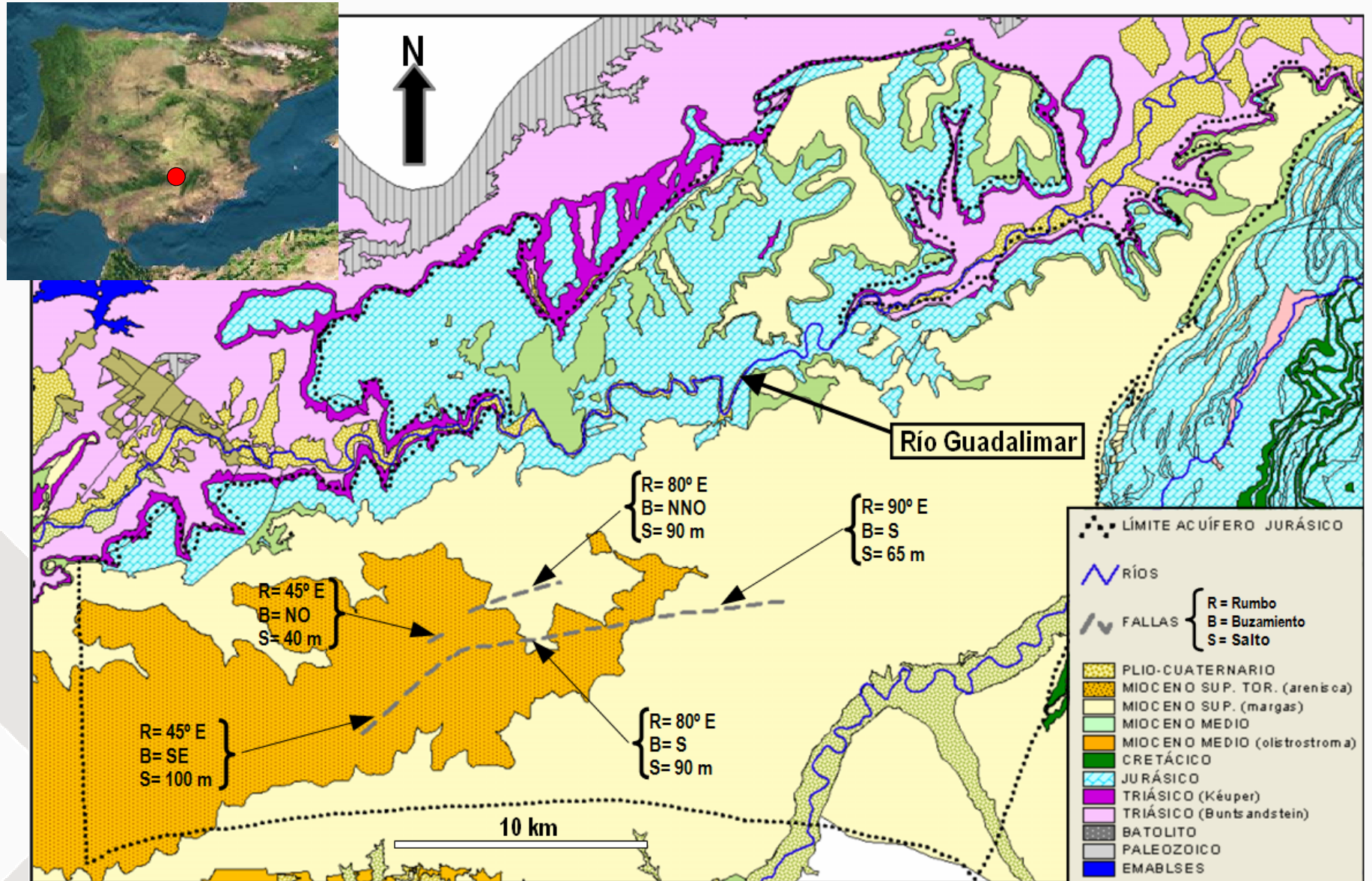
Evolución del modelo conceptual

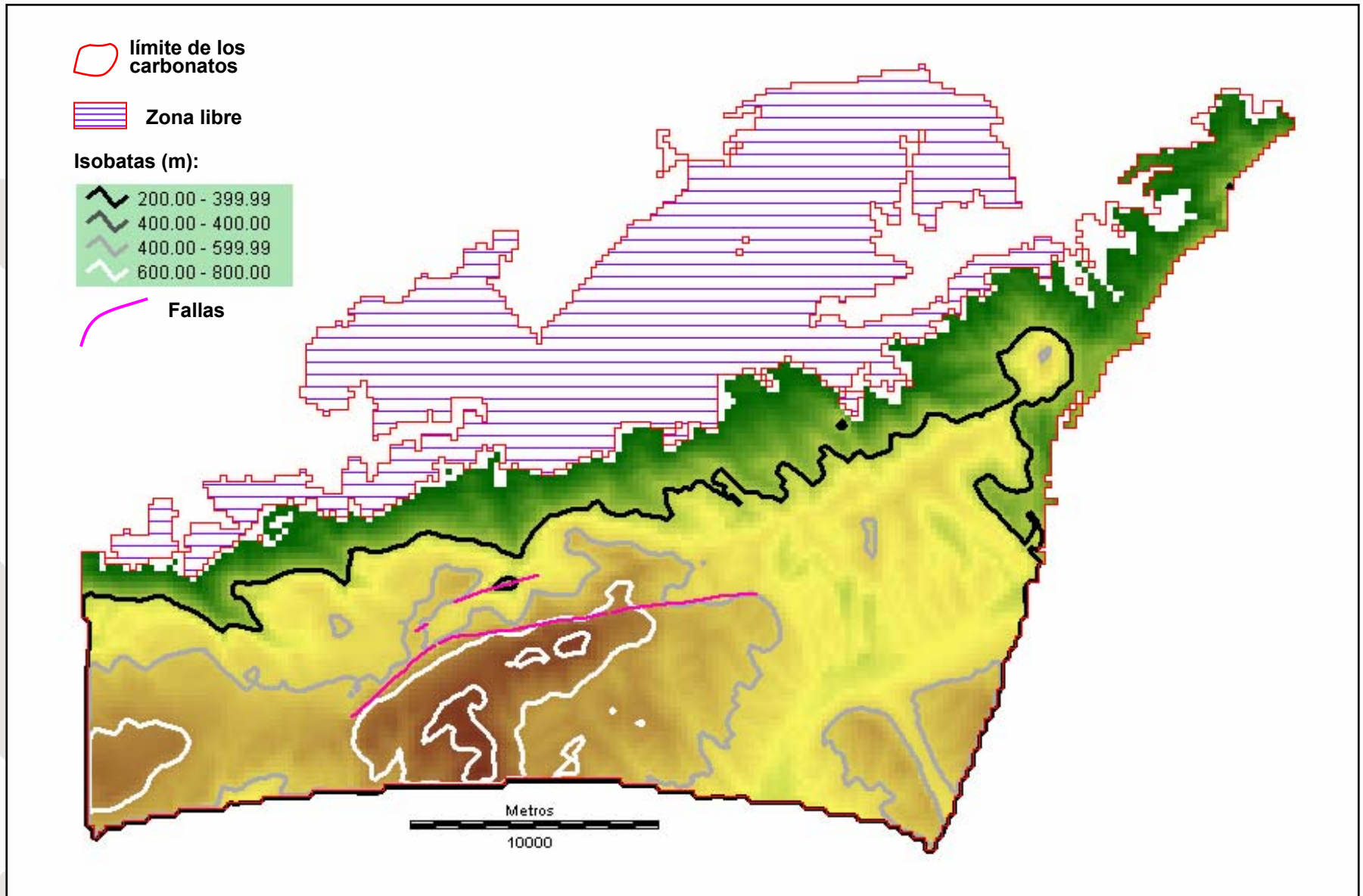


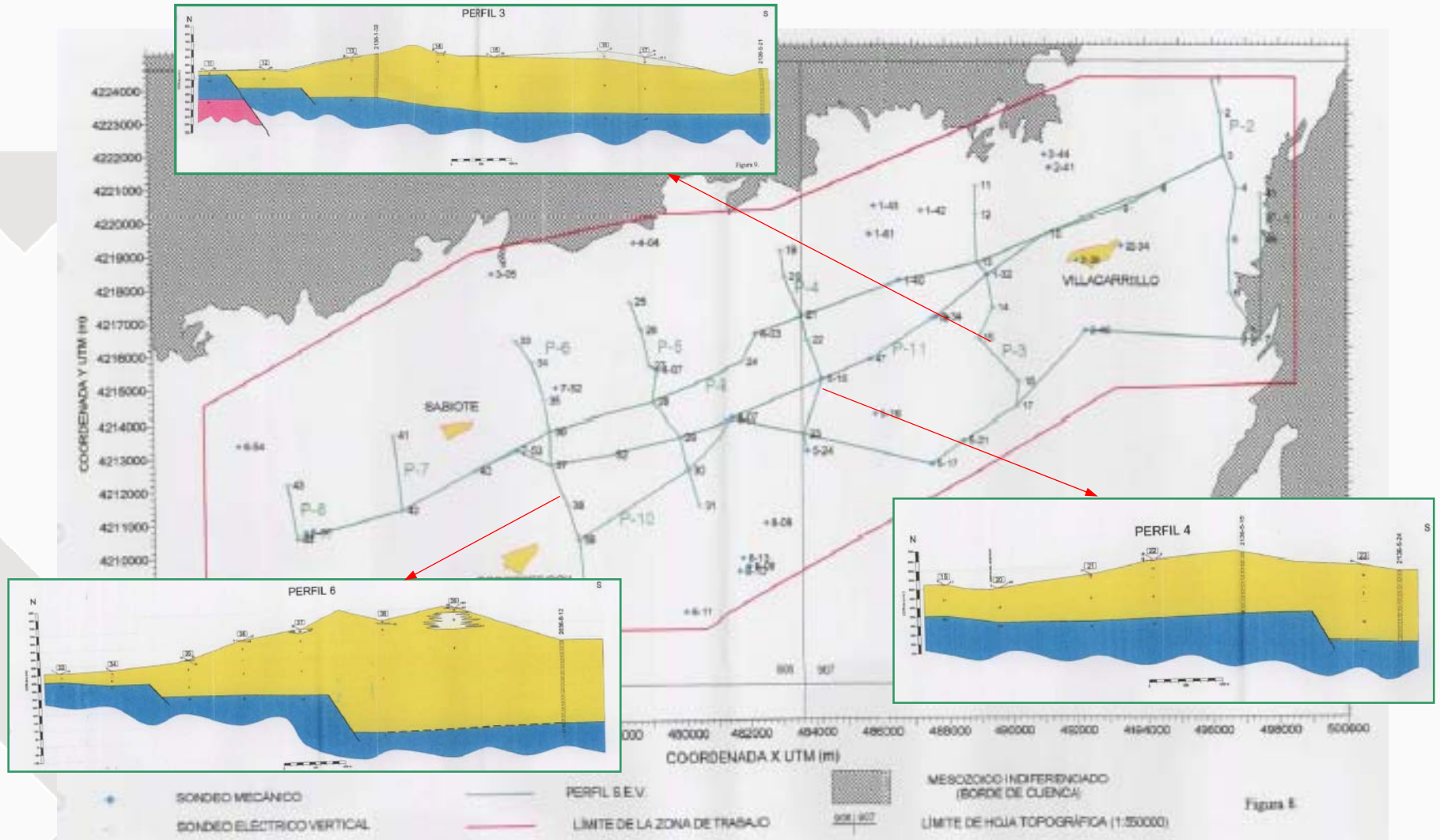
Evolución del modelo numérico

} Diálogo permanente

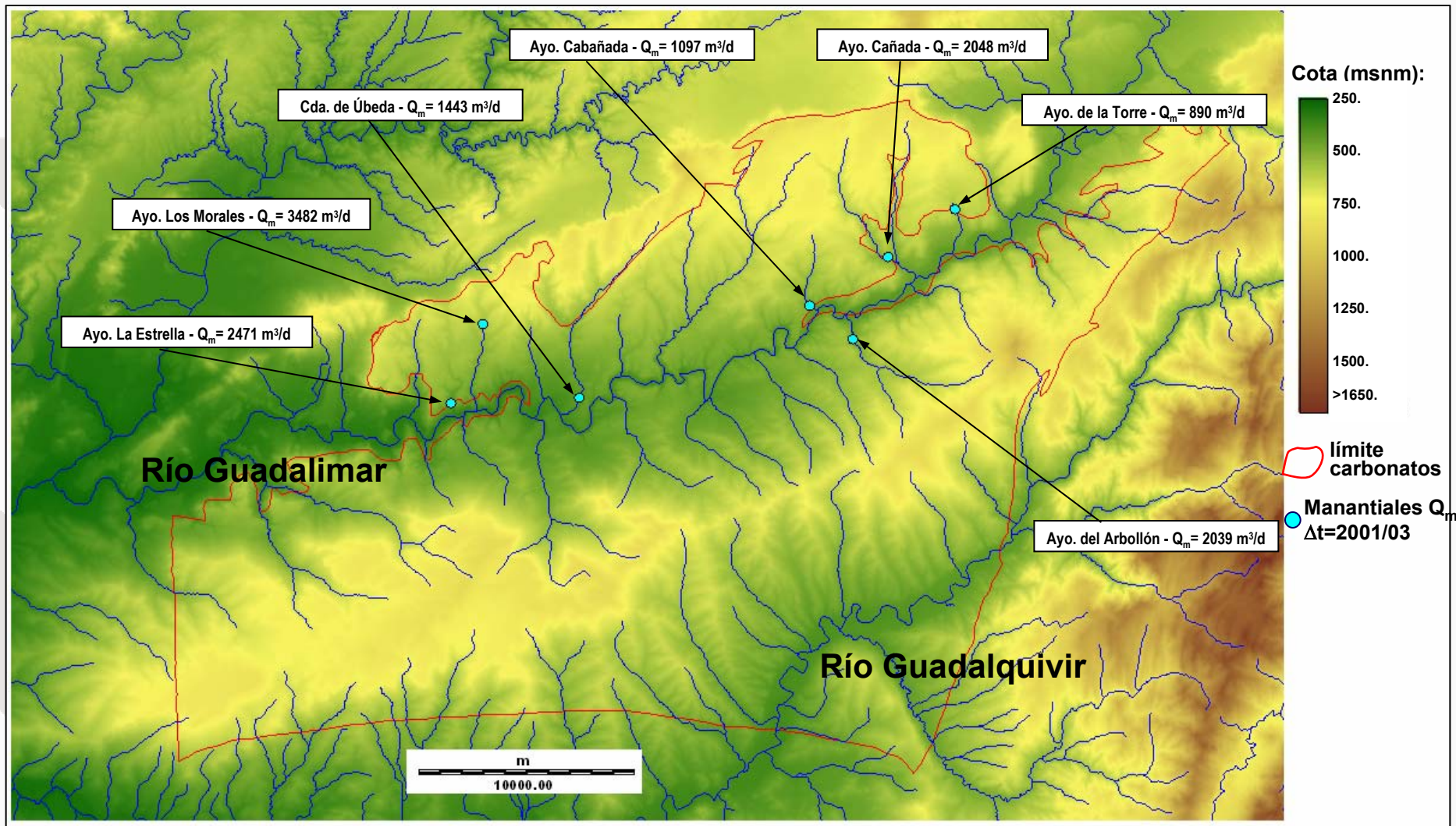
A tener presente: el principio de parsimonia!!!







(de Rodríguez et al., 2007)

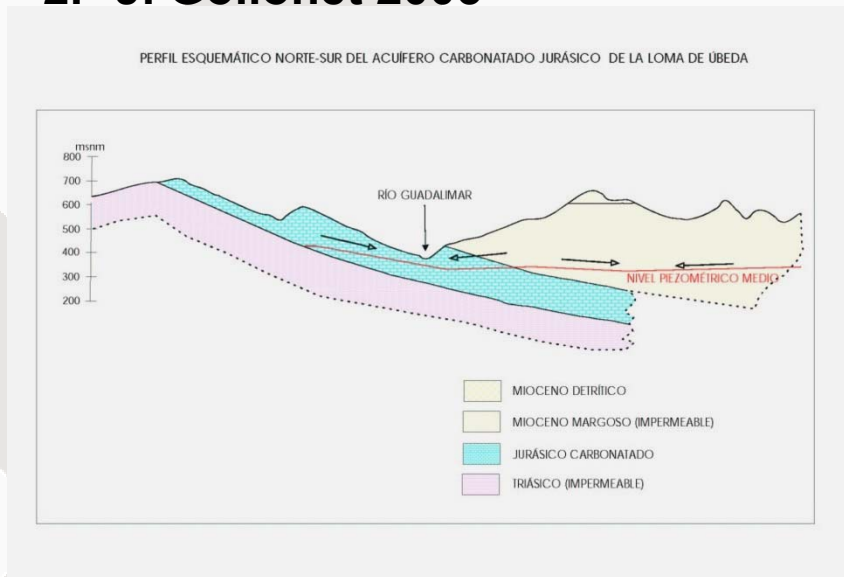


Evolución del modelo conceptual:

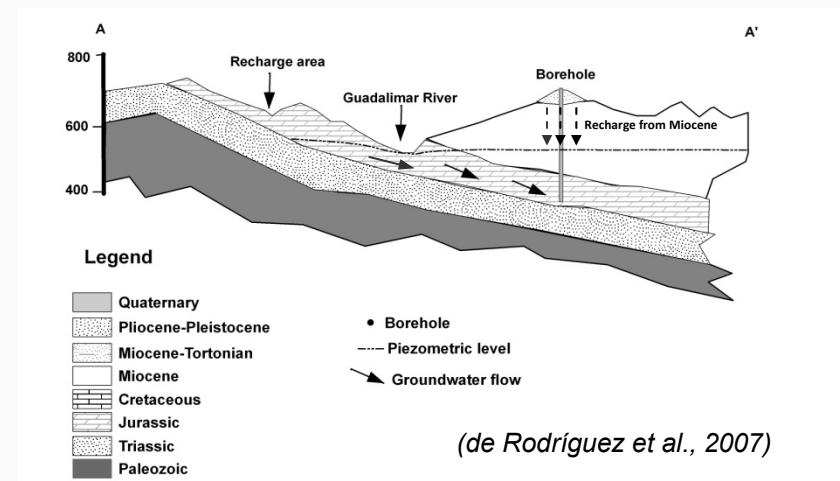
1. IGME 1997



2. J. Gollonet 2005

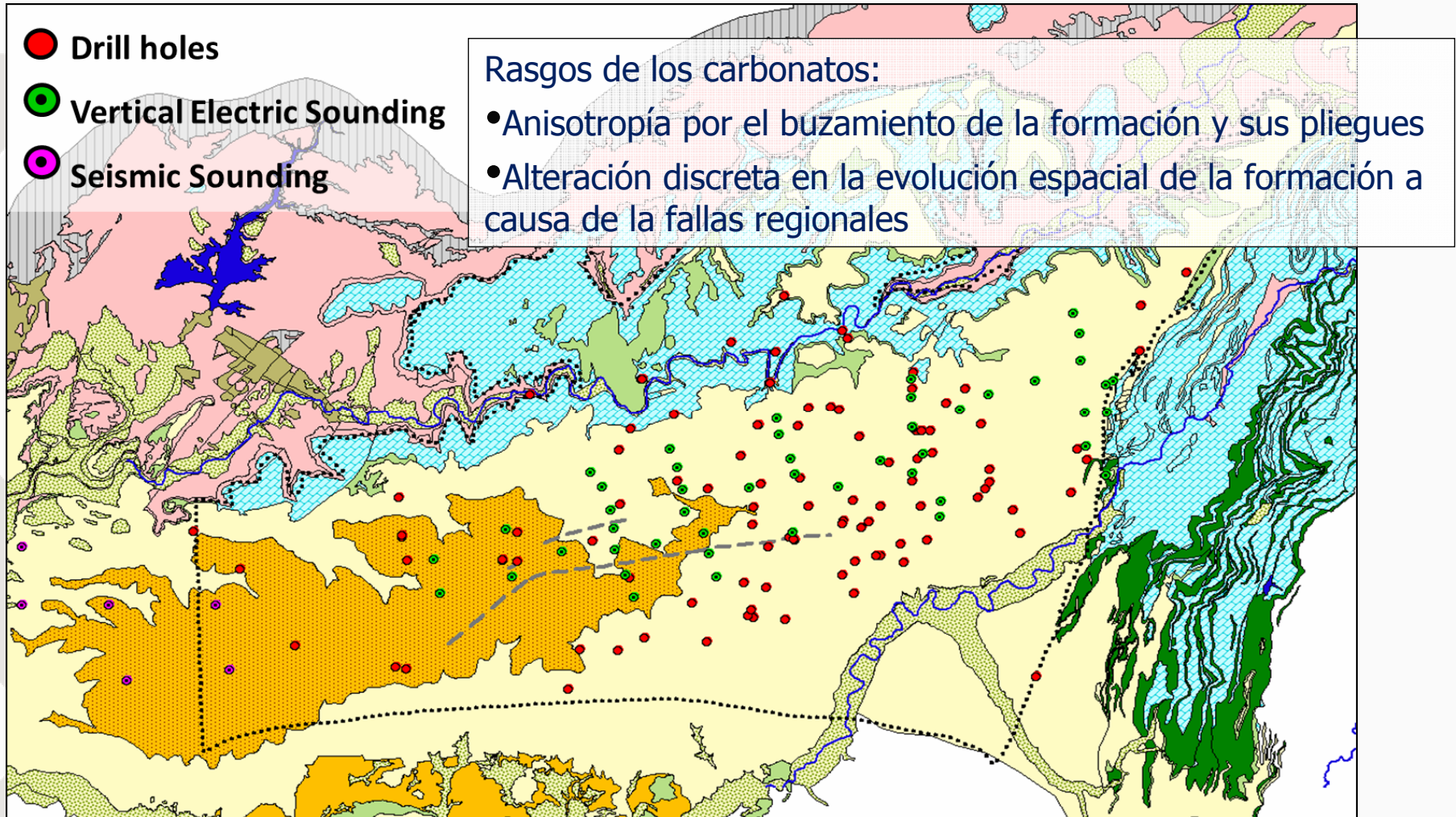


3. CEDEX/IGME 2003-2007



INFORMACIÓN Y CONSIDERACIONES PARA LA MODELACIÓN

143 sondeos, 47 SEV's, 6 sondeos sísmicos y afloramientos de los carbonatos



METODOLOGÍA:

La modelación geométrica emula la “evolución geológica”:

- a. Restitución geométrica como depósito plegado sin fallas (depósito)
- b. Introducción de las discontinuidades por las fallas regionales (tectónica)
- c. Imposición del proceso erosivo (erosión)

I. Se definen por kriging (estimación) muro y techo de los carbonatos sin considerar fallas:

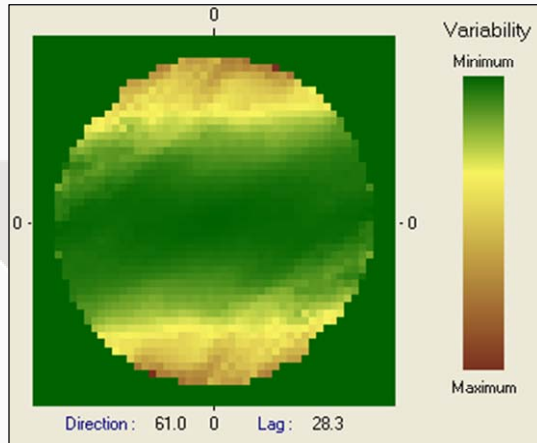
1. Estudio de la anisotropía con variogramas superficiales
2. Obtención del variograma experimental direccional, acorde a la anisotropía
3. Ajuste del modelo del variograma teórico
4. Contraste del ajuste del modelo por validación cruzada
5. Interpolation usando el modelo de variograma ajustado

II. Se calculan las cotas de los labios hundidos y elevados de las fallas considerando sus buzamientos y el saltos

III. Se incorporan como información estos nuevos puntos y se calcula la superficie de techo y muro, considerando las fallas regionales (se siguen los pasos 1 a 5)

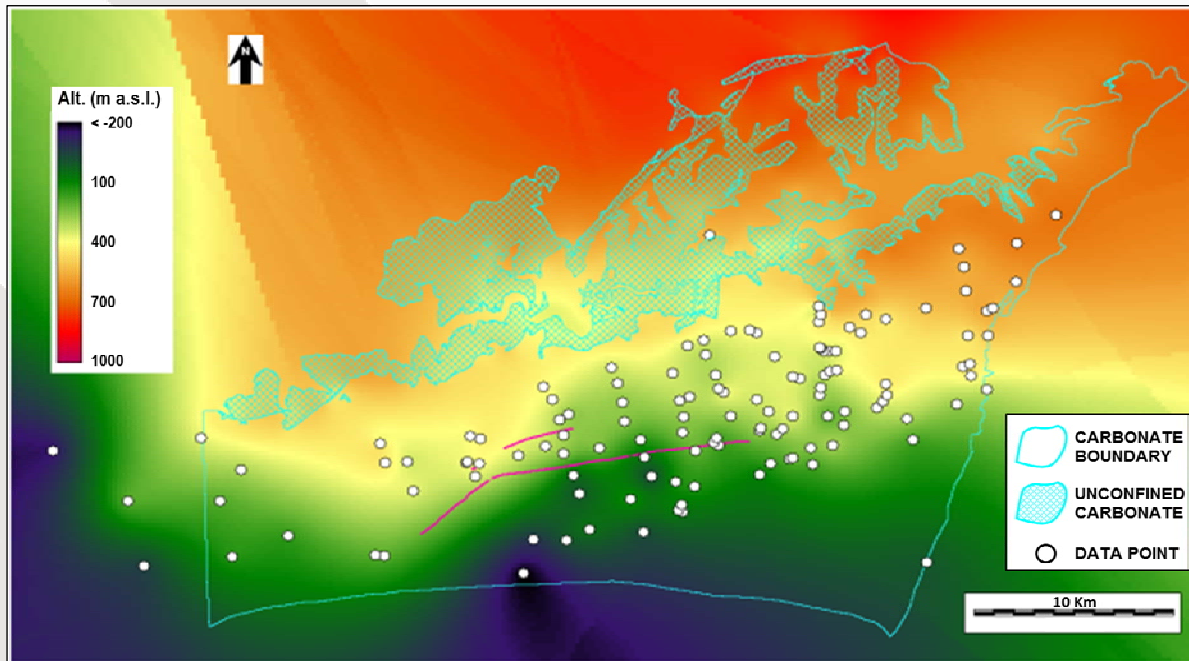
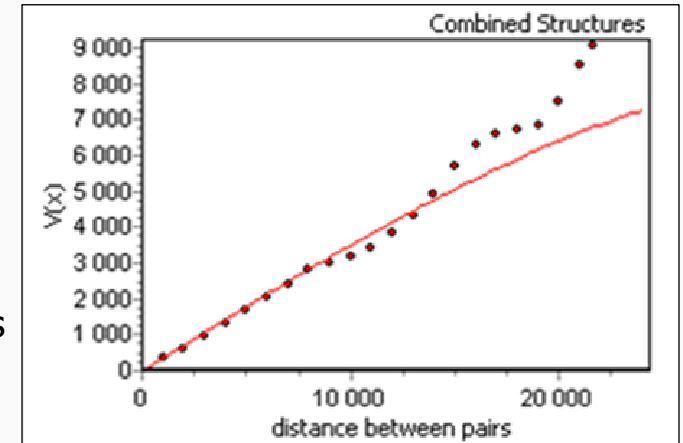
IV. Se impone el MDE en los afloramientos de los carbonatos

MODELADO DEL TECHO DE LOS CARBONATOS SIN CONSIDERAR FALLAS:



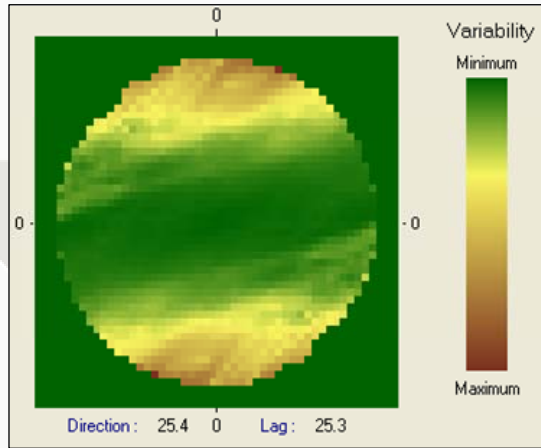
1. Variograma superficial

2. Variogramas direccionales experimental y teórico, dirección N 86 E



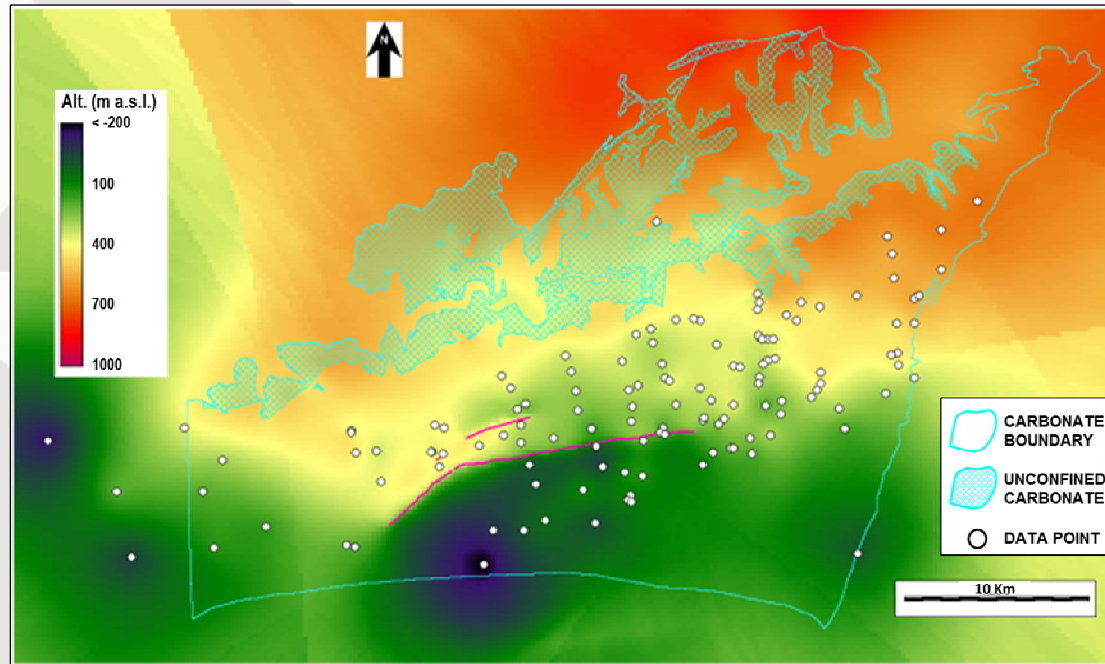
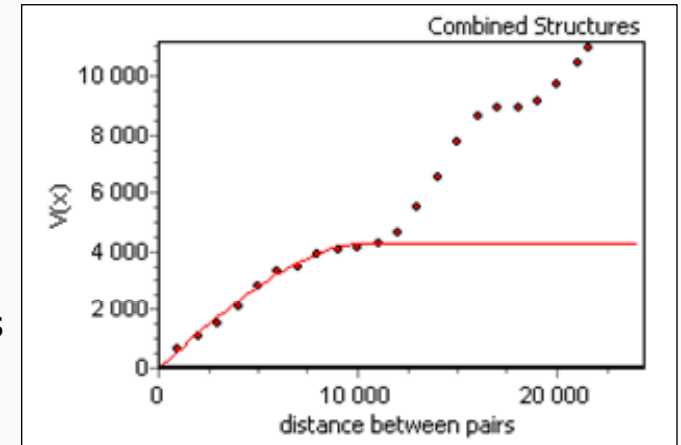
3. Restitución de la superficie del techo de los carbonatos sin considerar fallas

MODELADO DEL TECHO DE LOS CARBONATOS CONSIDERANDO LAS FALLAS:



1. Variograma superficial

2. Variogramas direccionales experimental y teórico, dirección N 86.5 E



3. Restitución de la superficie del techo de los carbonatos considerando las fallas regionales

SECUENCIA DE LA MODELACIÓN NUMÉRICA

PRUEBAS HIDRÁULICAS:

- Escenarios/Dominio: Espacial y Temporal: dependientes de la perturbación
- Resultados: Modelos locales, resultados extrapolables

RÉGIMEN ESTACIONARIO:

- Escenario: régimen natural del acuífero -*no influenciado*-. $P_{1960/95} = 611$ mm
- Dominio: Espacial: todo acuífero (excl. Zona Va. Del Arzobispo)
Temporal: Media 1960/61–1994/95. *Piezometría 1996*
- Resultados: Def. modelo conceptual. B.H. reg. estacionario. C_0 : rég. transitorio

RÉGIMEN TRANSITORIO:

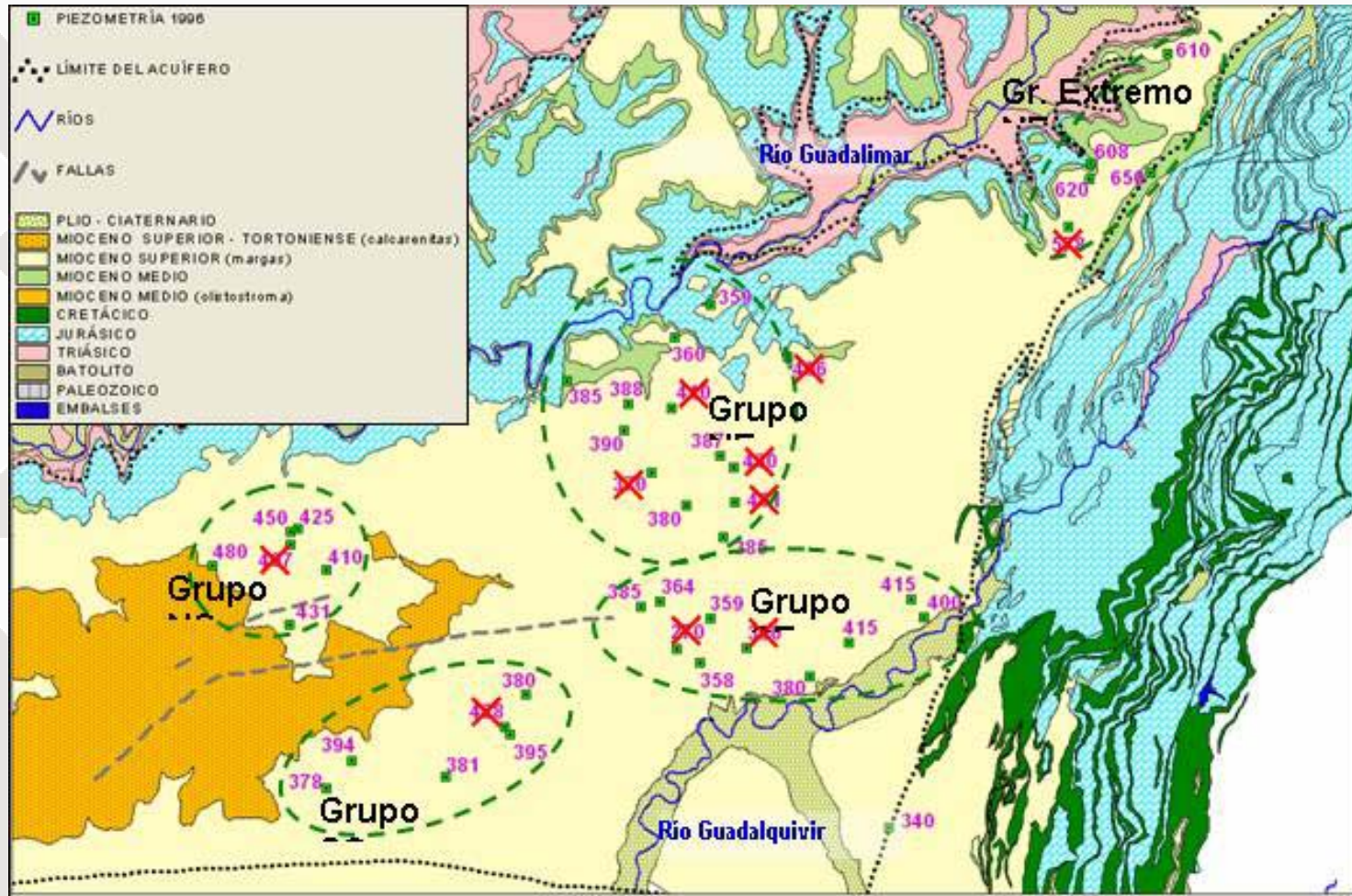
- Escenario: desarrollo de la explotación del acuífero. $P_{2000/06} = 544$ mm
- Dominio: Espacial: todo acuífero (excl. Zona Va. Del Arzobispo)
Temporal: 2000/01-2005/06
- Resultado: Caract. de bombeos: 2005/06 → Def. progresión: 2000/0-2005/06

Balance Hídrico

Propuesta de Explotación sostenible

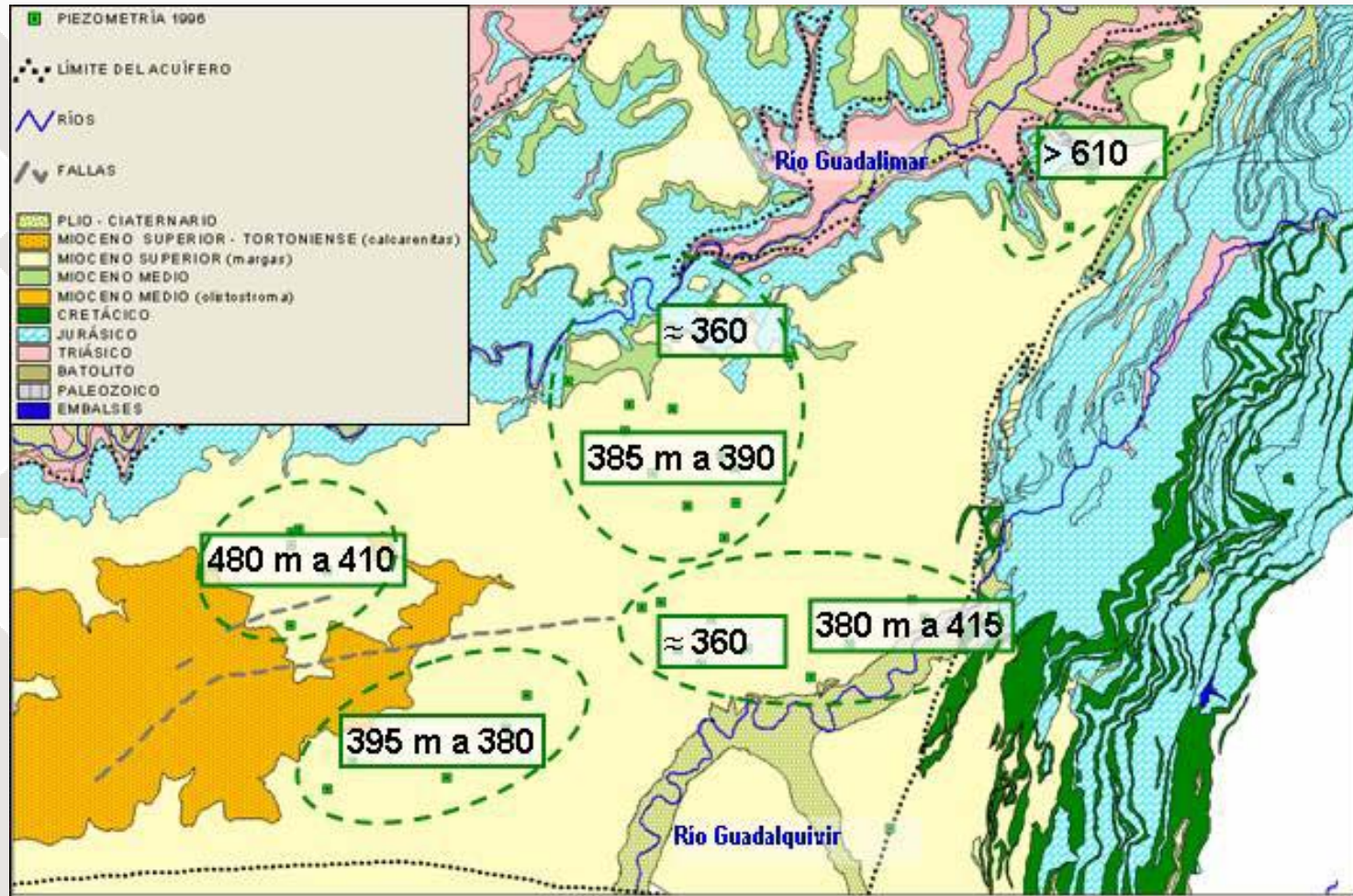
IDENTIFICACIÓN DE MODELO CONCEPTUAL: análisis piezometría 1996

Selección y agrupamiento de datos



IDENTIFICACIÓN DE MODELO CONCEPTUAL: análisis piezometría 1996

Análisis de tendencias



ESTUDIOS DEL LABOTAORIO CETA (CEDEX), 2002-2006:

OBJETIVO PRINCIPAL:

Caracterización del medio: «Acuífero Profundo de Úbeda (Carbonatos jurásicos)»

Objetivos Secundarios:

- Contribución a definir el modelo conceptual del «Acuífero Profundo de Úbeda (Carbonatos jurásicos)»

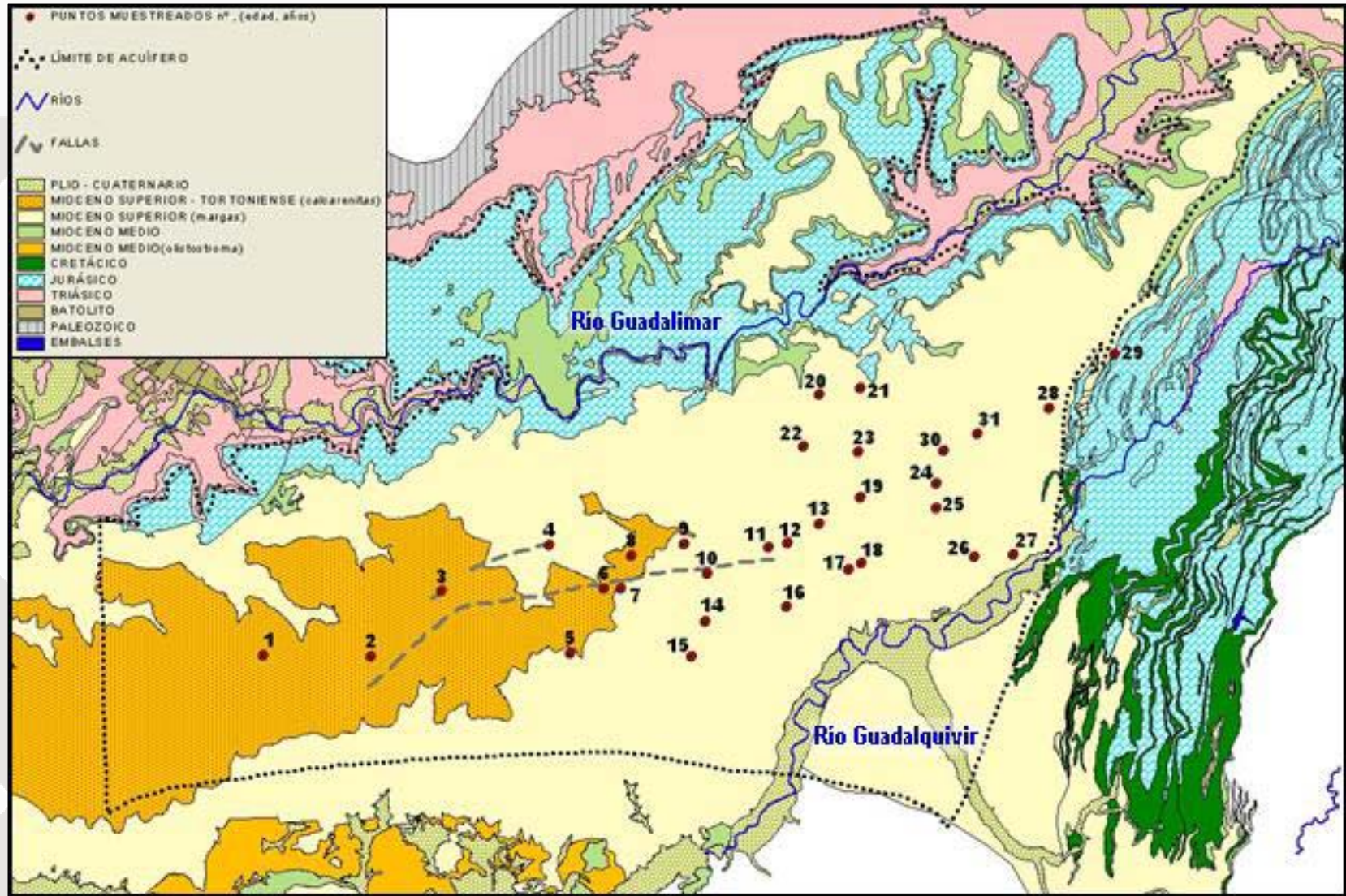
TÉCNICAS APLICADAS:

- Estudio hidroquímico (muestreo y análisis) de la concentración de iones mayoritarios
- Estudio isotópico (muestreo y análisis) de ^2H , ^{18}O , T y ^{14}C

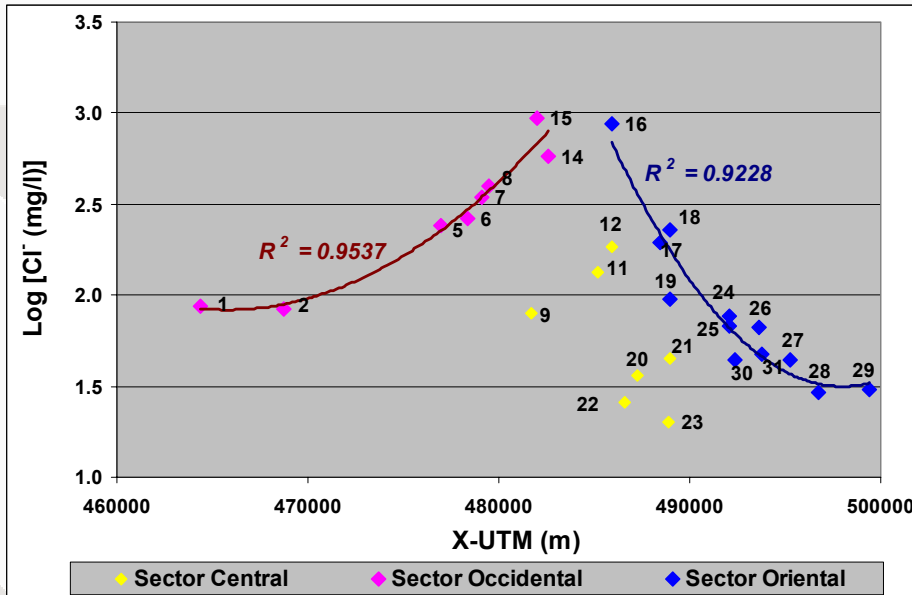
ANÁLISIS CORRELACIONALES:

- Cl^- vs X UTM (longitud geográfica)
- ^{14}C vs X UTM (longitud geográfica)

PUNTOS MUESTREADADOS (2002, 2006)

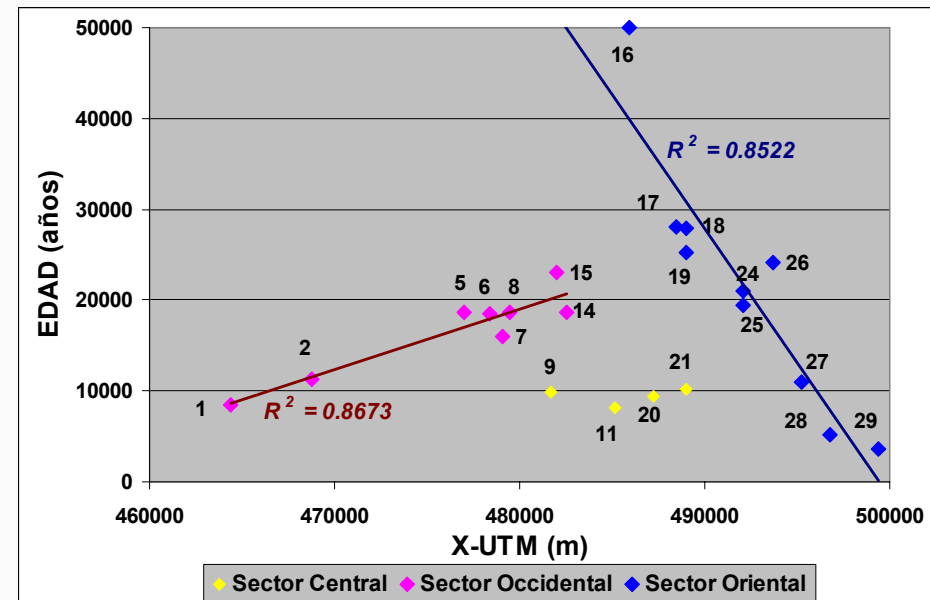


ANÁLISIS CORRELACIONAL



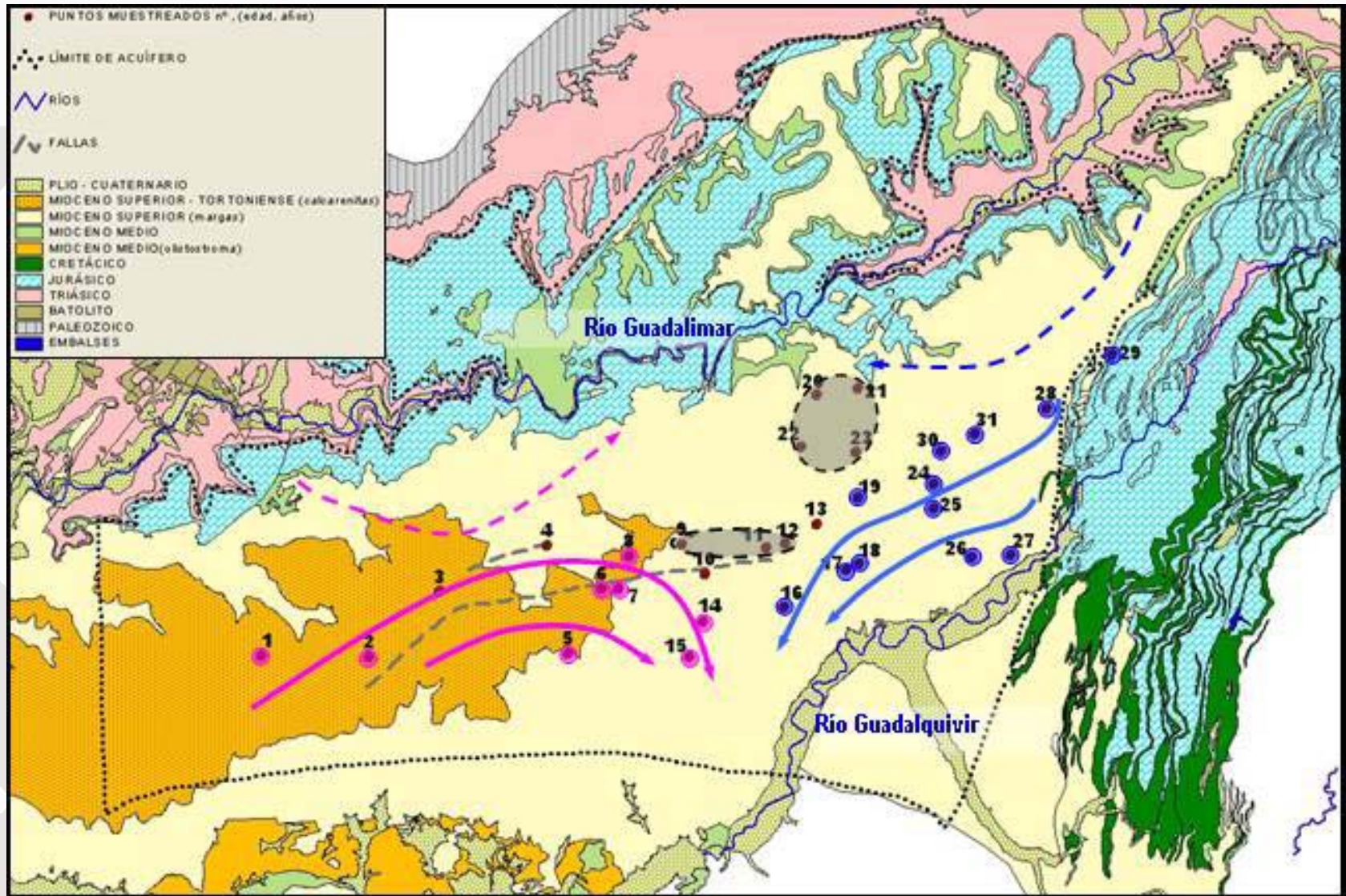
Relación Log 10 (Cl⁻(mg/l)) vs X-UTM (m)
(de Rodríguez et al. 2007)

ESTRUCTURACIÓN ESPACIAL DE LOS DATOS

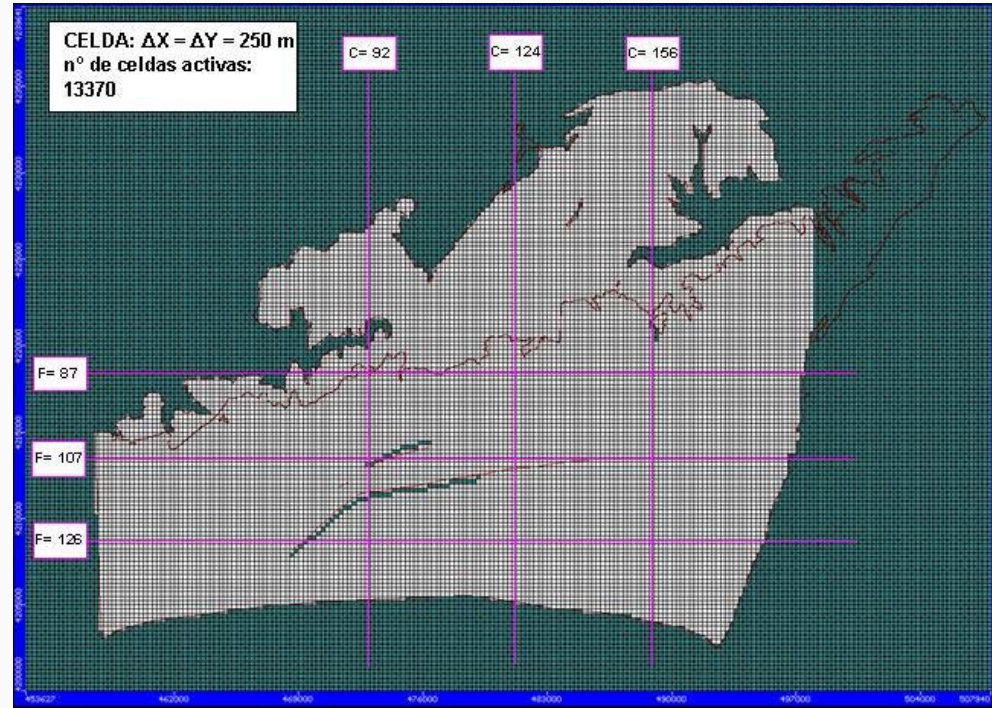
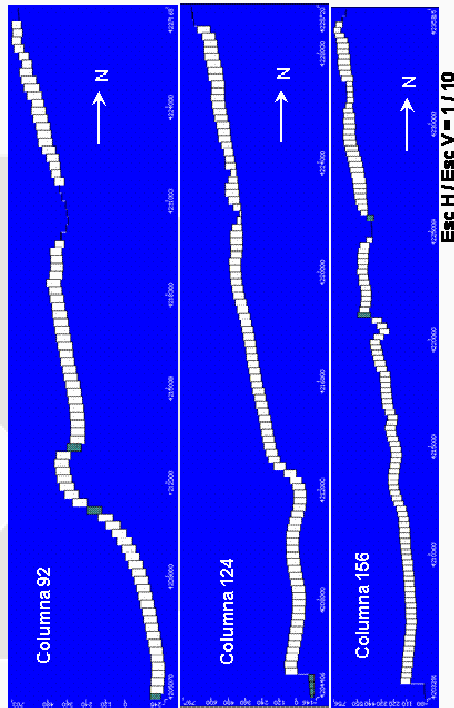


Edad de las aguas (años) vs X-UTM (m)
(de Rodríguez et al. 2007)

ANÁLISIS ESPACIAL DE TENDENCIAS

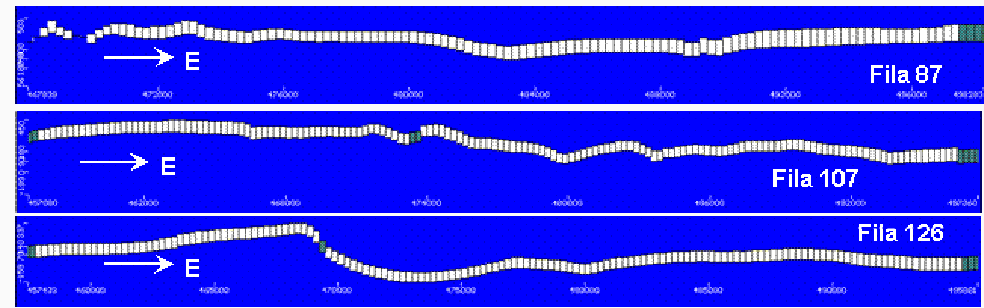


DISCRETIZACIÓN ESPACIAL: mallado



Interpolación: Krigin ordinario
c/ anisotropía

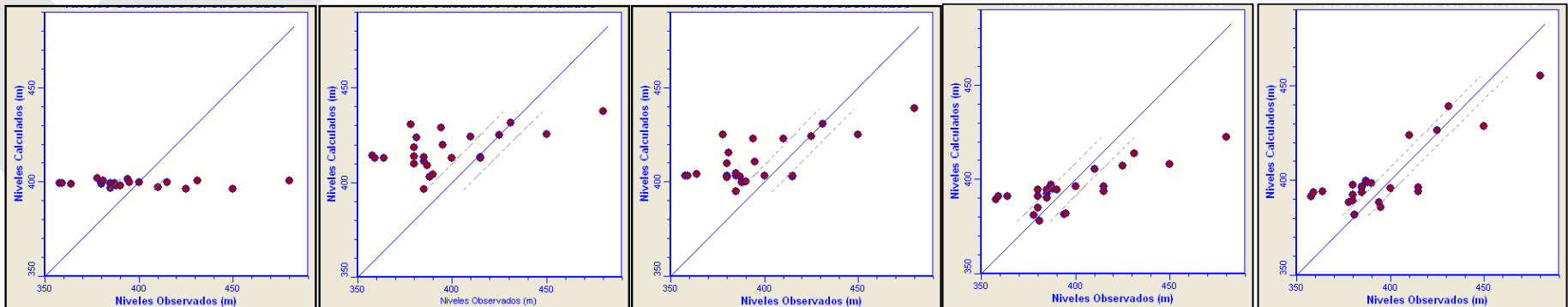
Obs.: restitución geométrica emula la
“evolución geológica” (1- fase depósito,
2- alteración tectónica y 3- fase de erosión)



IDENTIFICACIÓN DE MODELO CONCEPTUAL Contraste de modelos y ajustes

MODELO CONCEPTUAL -descripción-	CRITERIOS DE CALIBRACIÓN	
	Media del valor absoluto de residuos	Desviación estándar de los residuos
1- Recarga: afloramiento calizas. Salida: río Guadalimar. -Modelo conceptual "histórico"-	22,357	28,239
2- Recarga: afloramiento calizas + desde acuífero tortoniense Salida: río Guadalimar	26,281	31,651
3- Recarga: afloramiento calizas + desde acuífero tortoniense Salida: río Guadalimar + río Guadalquivir	21,824	25,907
4- Recarga: afloramiento calizas + desde acuífero tortoniense + escamas orientales. Salida: río Guadalimar + U. Olistost. (?)	15,749	20,688
5- Recarga: afloramiento calizas + desde acuífero tortoniense. Salida: río Guadalimar + U. Olistost./explotación temprana (?)	14,117	16,799

Ajustes:



Conceptualización 1

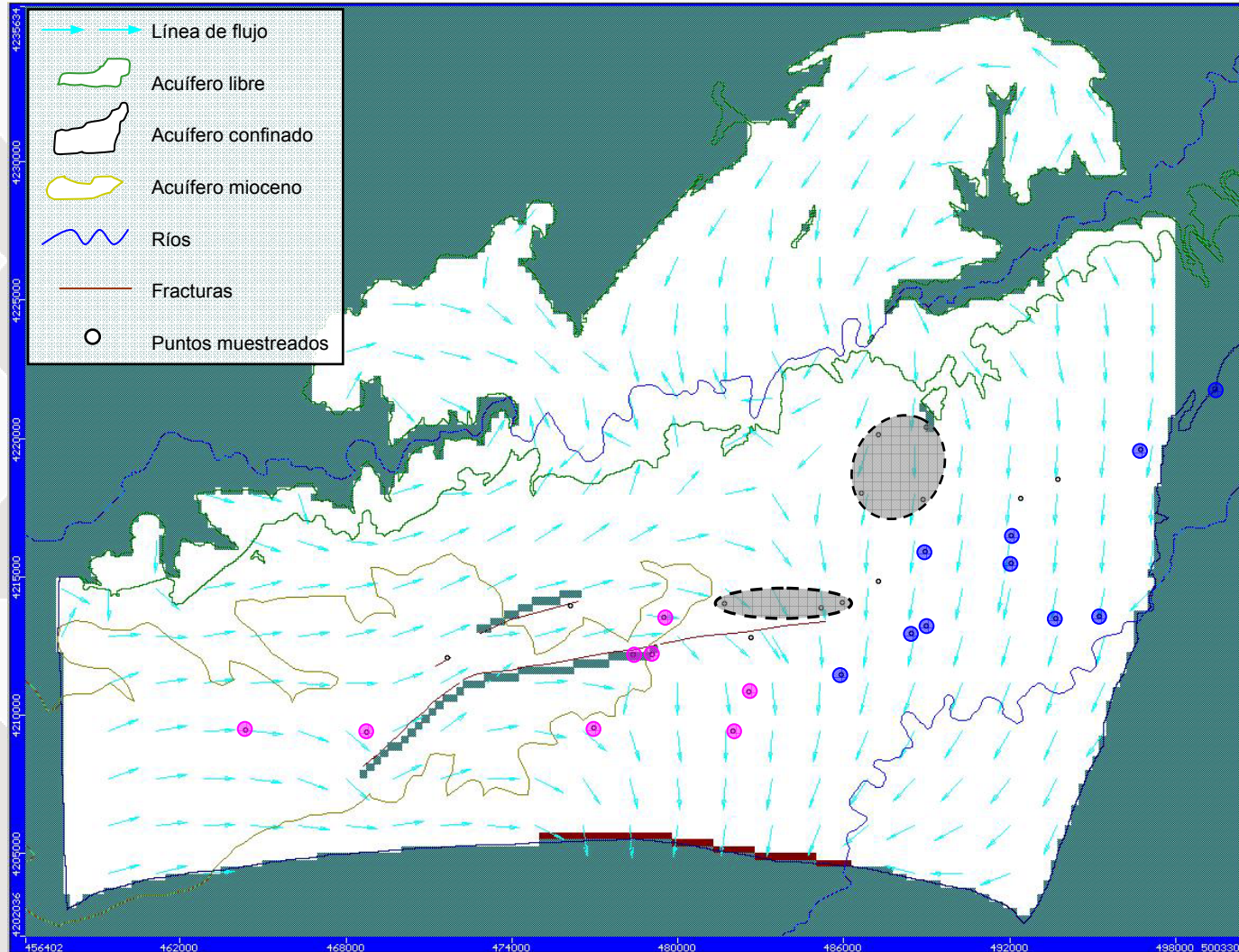
Conceptualización 2

Conceptualización 3

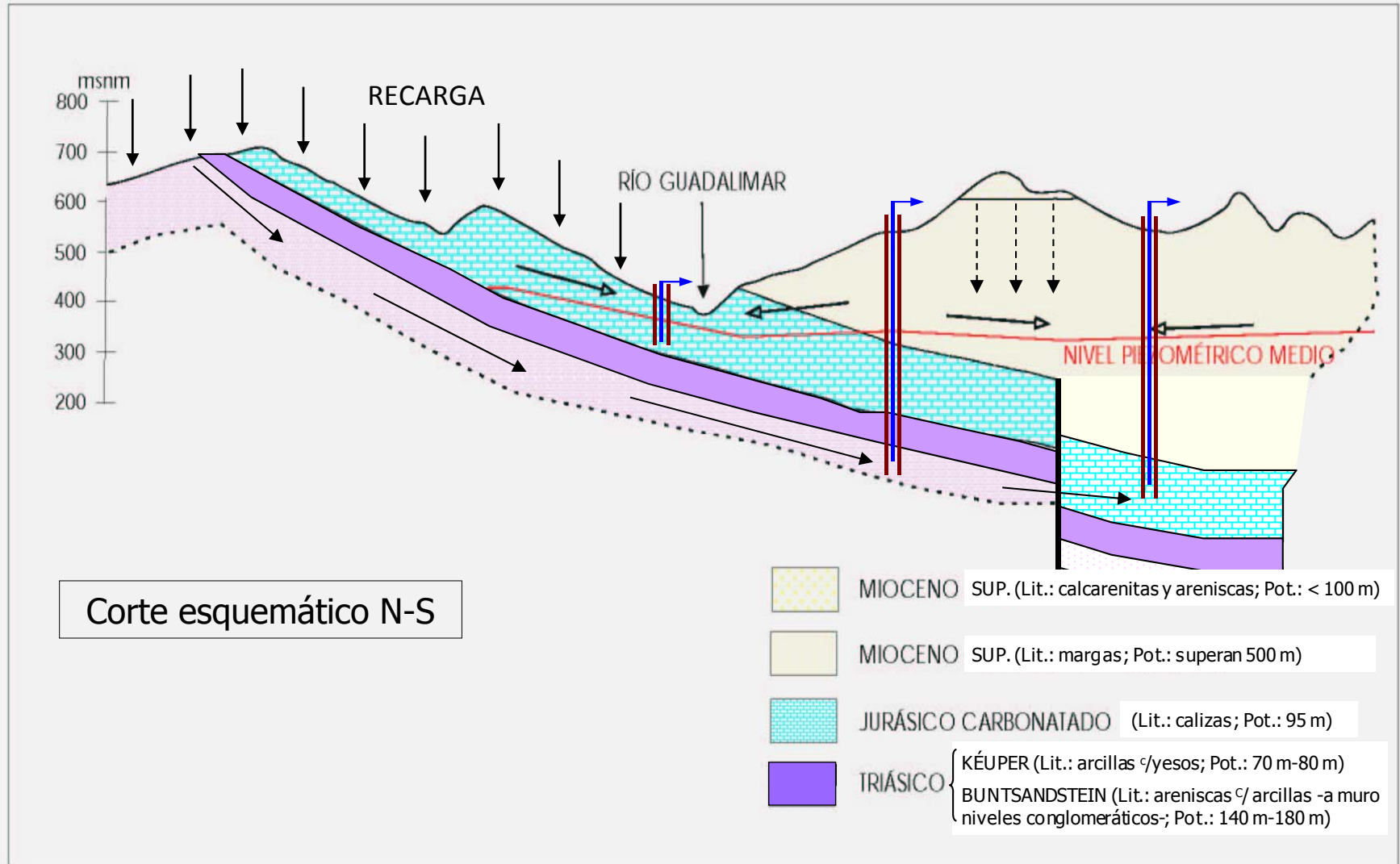
Conceptualización 4

Conceptualización 5

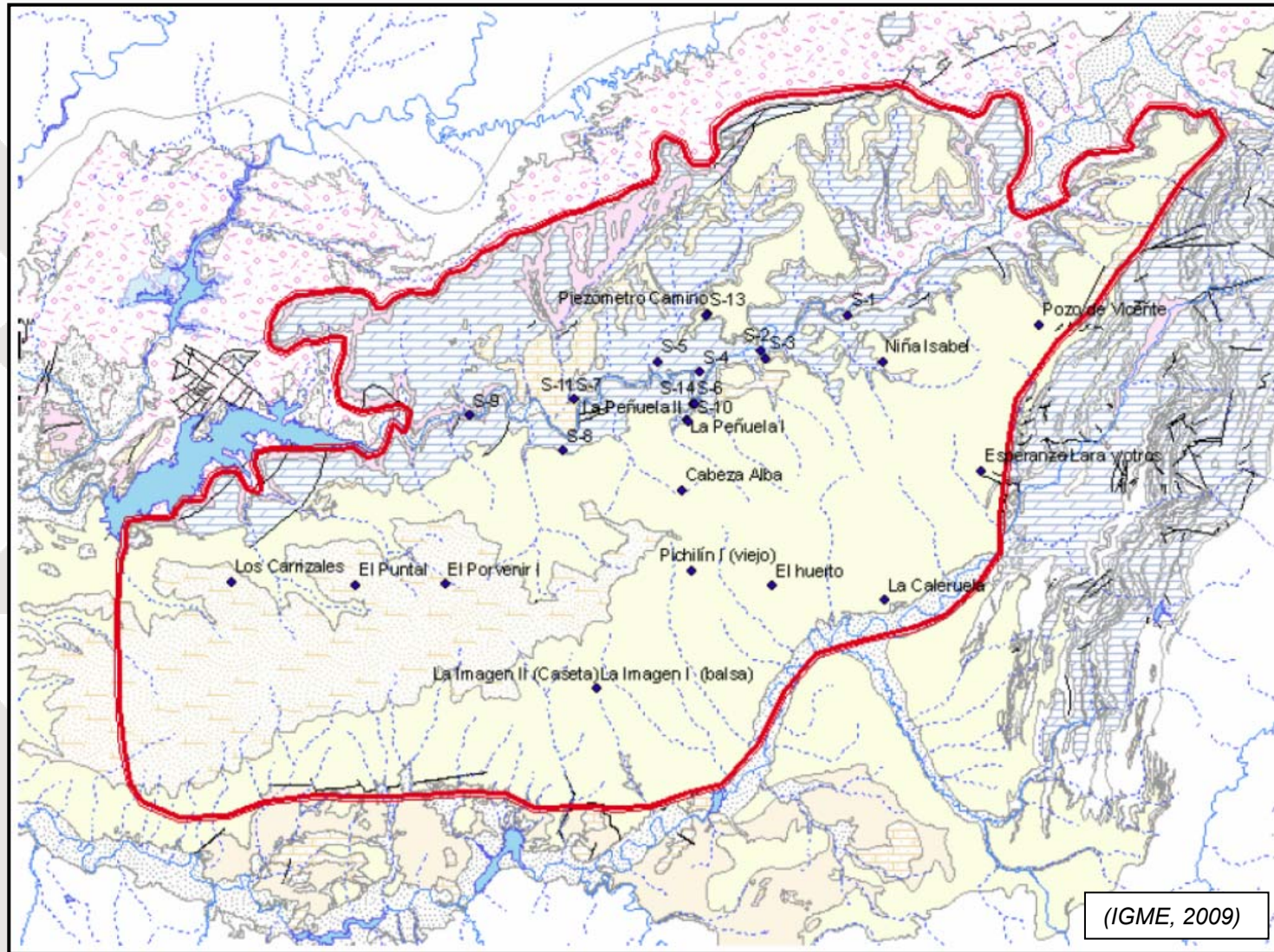
IDENTIFICACIÓN DE MODELO CONCEPTUAL Modelo identificado: Patrón de flujo



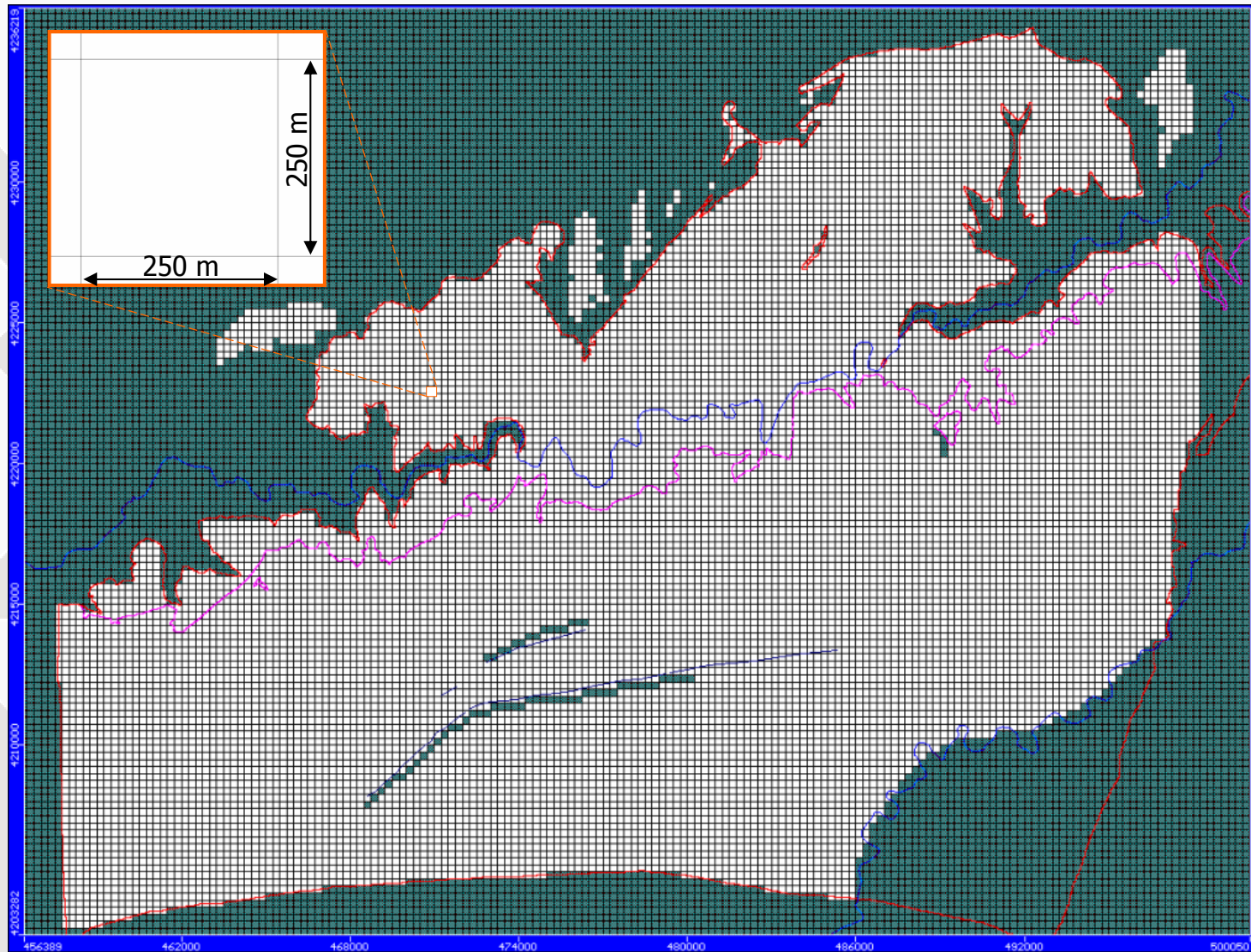
MODELO CONCEPTUAL (IGME 2009)



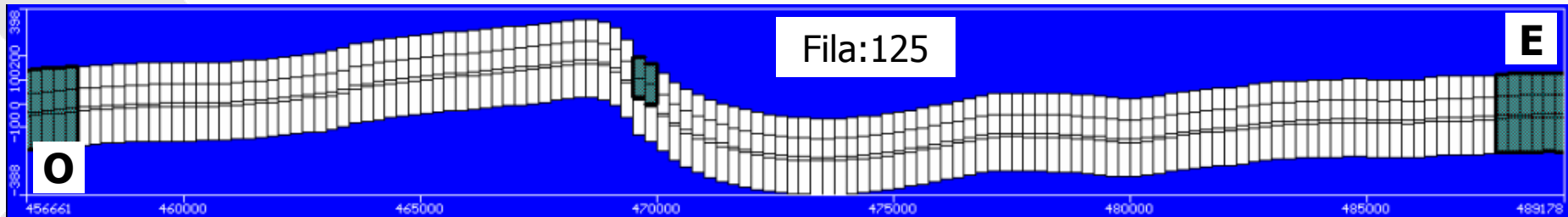
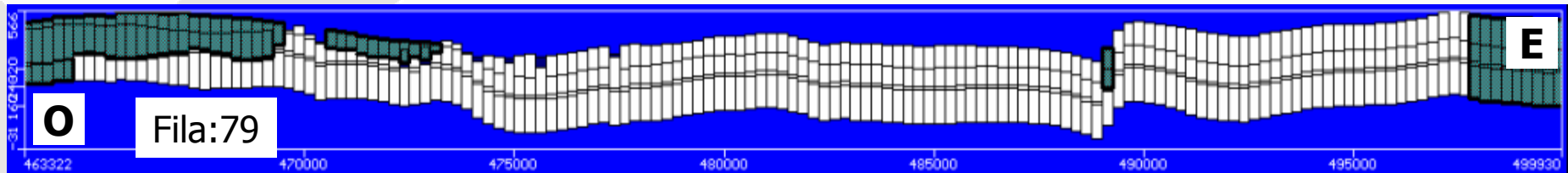
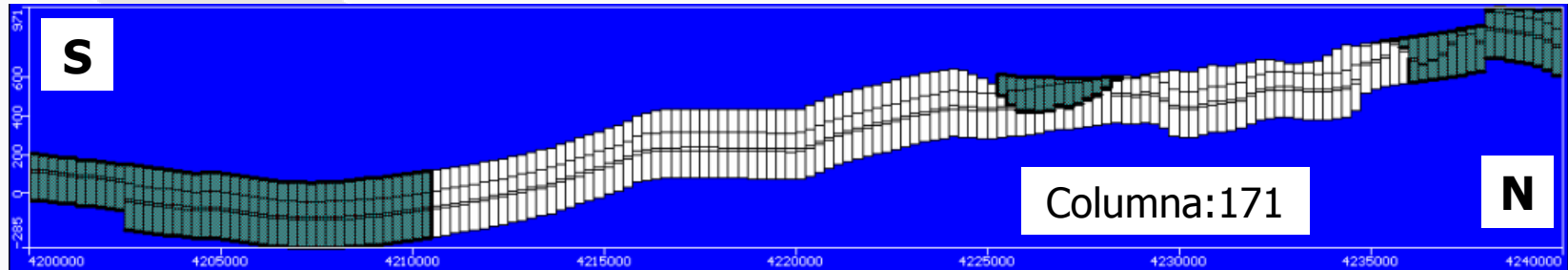
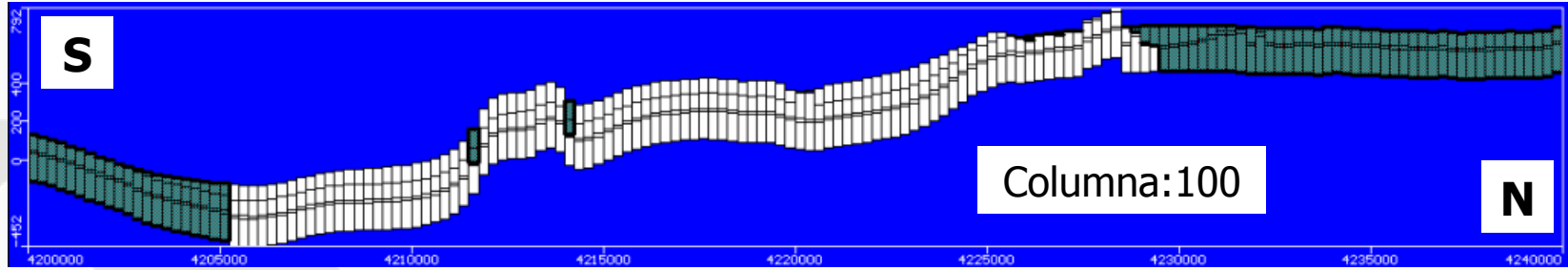
MODELO CONCEPTUAL: Límites del acuífero



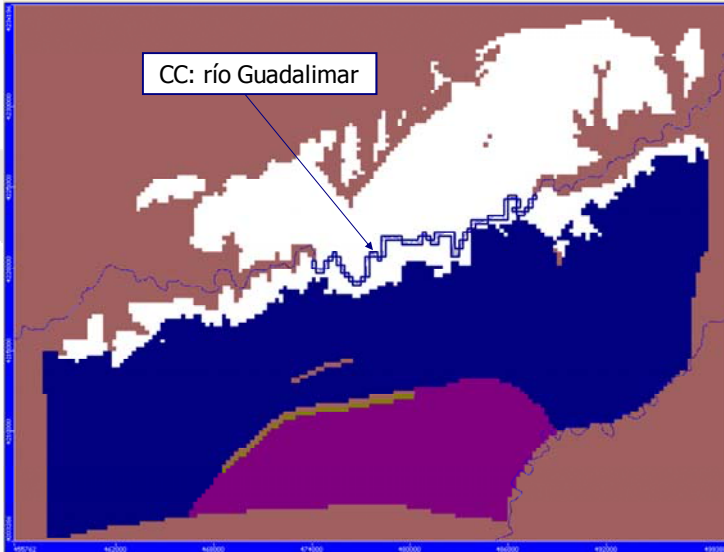
MODELO 3D: Discretización (planta, 240 columnas x 160 filas)



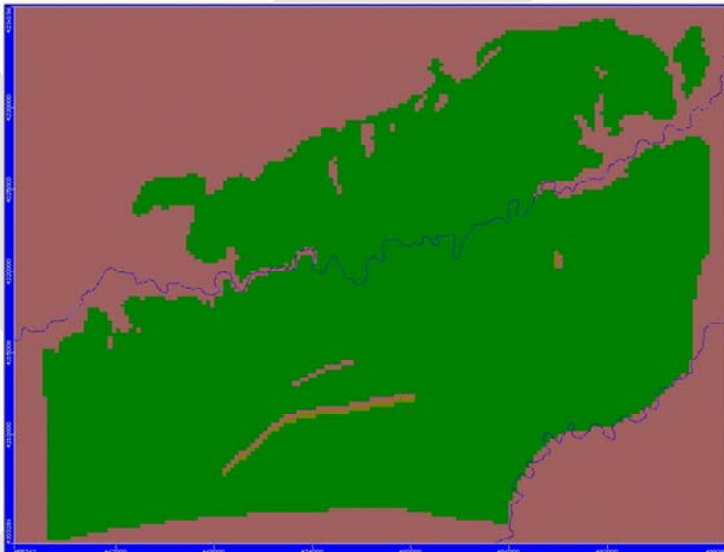
MODELO 3D: Discretización (cortes, 4 capas)



MODELO 3D: zonificación K y Ss (Calizas jurásicas) + CC Río Guadalimar



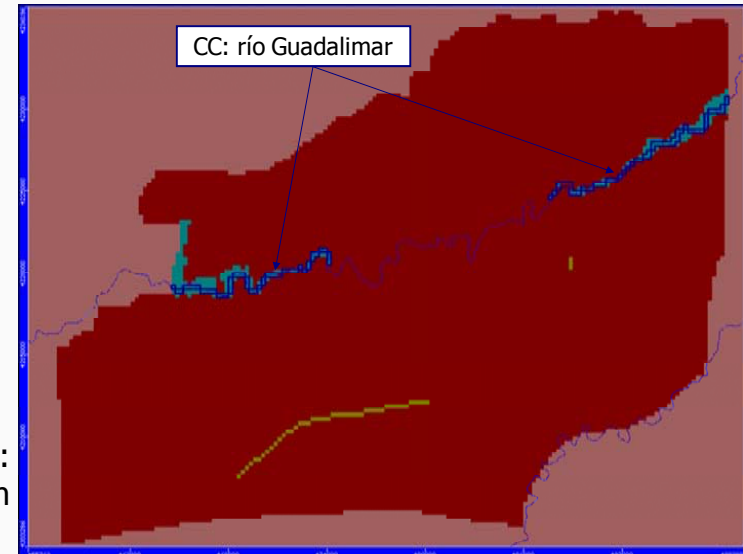
Capa 1 (libre/confinada):
Carbonatos jurásicos



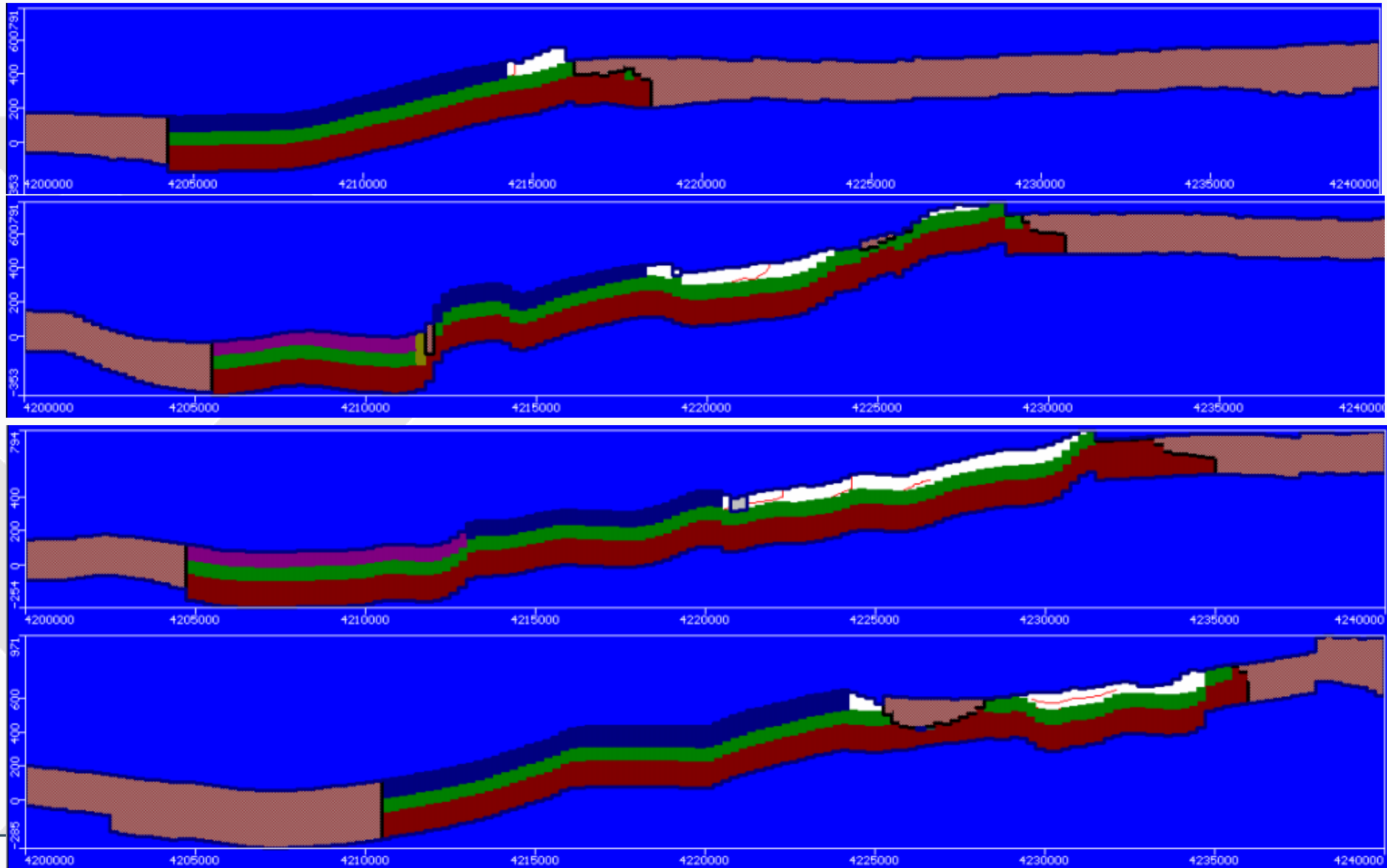
Capa 2 (confinada):
Keuper

Capas 3 y 4 (confinadas):
Buntsandstein

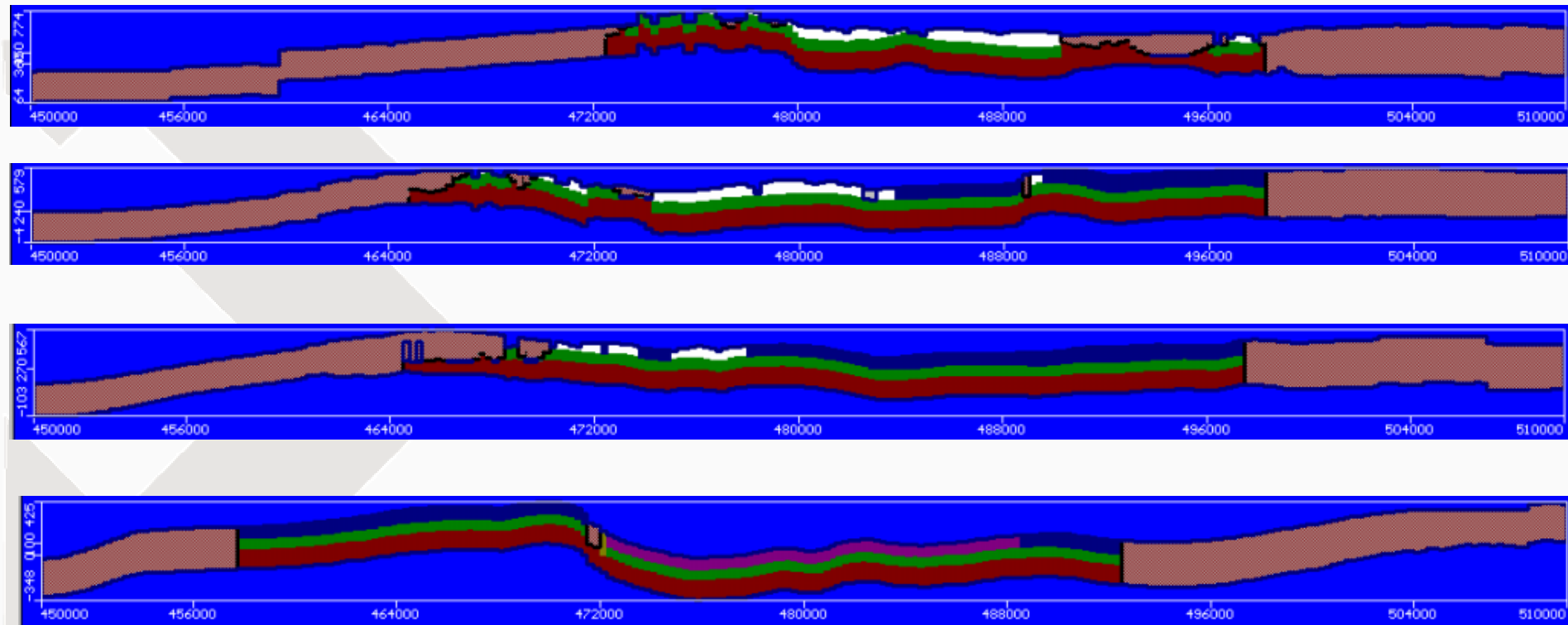
Formación	Pot. (m)	K (m/d)	T (m ² /d)	S _s (1/m)	S _v
Caliza Jur. Libre	85	0,25	21,25	1x10 ⁻³	0,05
Caliza Jur. Confinadas	96	3,0	288	5x10 ⁻⁵	0,01
Trias: Keuper	80	0,001	0,08	5x10 ⁻⁵	0,001
Aluvial Guadalimar	5	10	50	5x10 ⁻³	0,05
Trias: Buntsandstein	160	0,5	80	1x10 ⁻⁴	0,02
Caliza Jur. Conf. (profunda)	96	3,0	288	5x10 ⁻⁵	0,01
Fractura	100	0,5	50	1x10 ⁻⁴	0,01
Meandro Guadalimar	85	5	42,5	1x10 ⁻³	0,1



MODELO NUMÉRICO: zonificación K y Ss (Cortes N-S)



MODELO NUMÉRICO: zonificación K y Ss (Cortes O-E)



MODELO 3D: zonificación recarga

BALANCE HIDRICO GLOBAL 2000-01 a 2005-06

Precipitación media anual = 544 mm

Recargas medias anuales

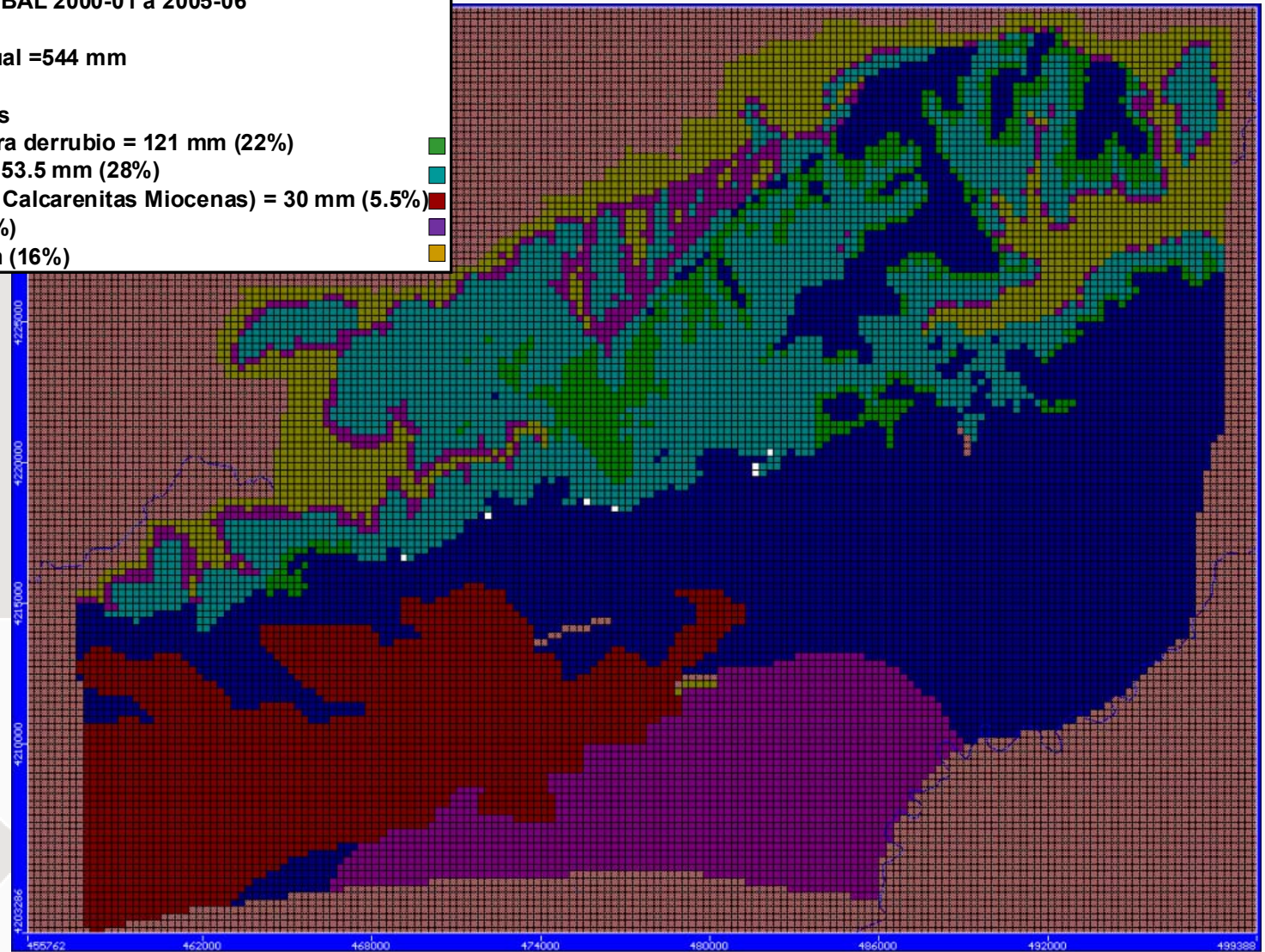
Caliza Libre con cobertera derrubio = 121 mm (22%)

Caliza Libre aflorante = 153.5 mm (28%)

Caliza Confinada (desde Calcarenitas Miocenas) = 30 mm (5.5%)

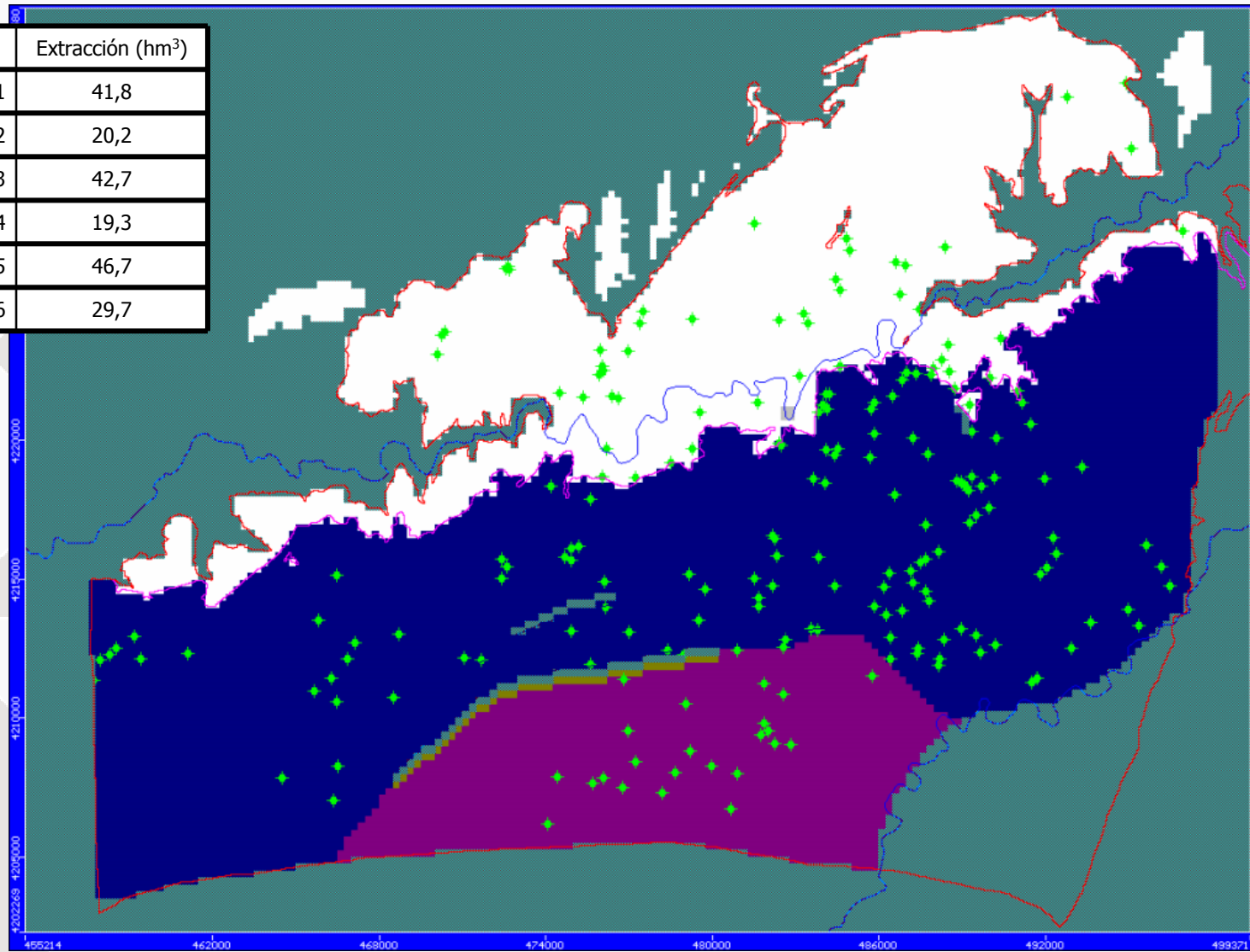
Trias Keuper = 17 mm (3%)

Trias Bundstein = 86 mm (16%)

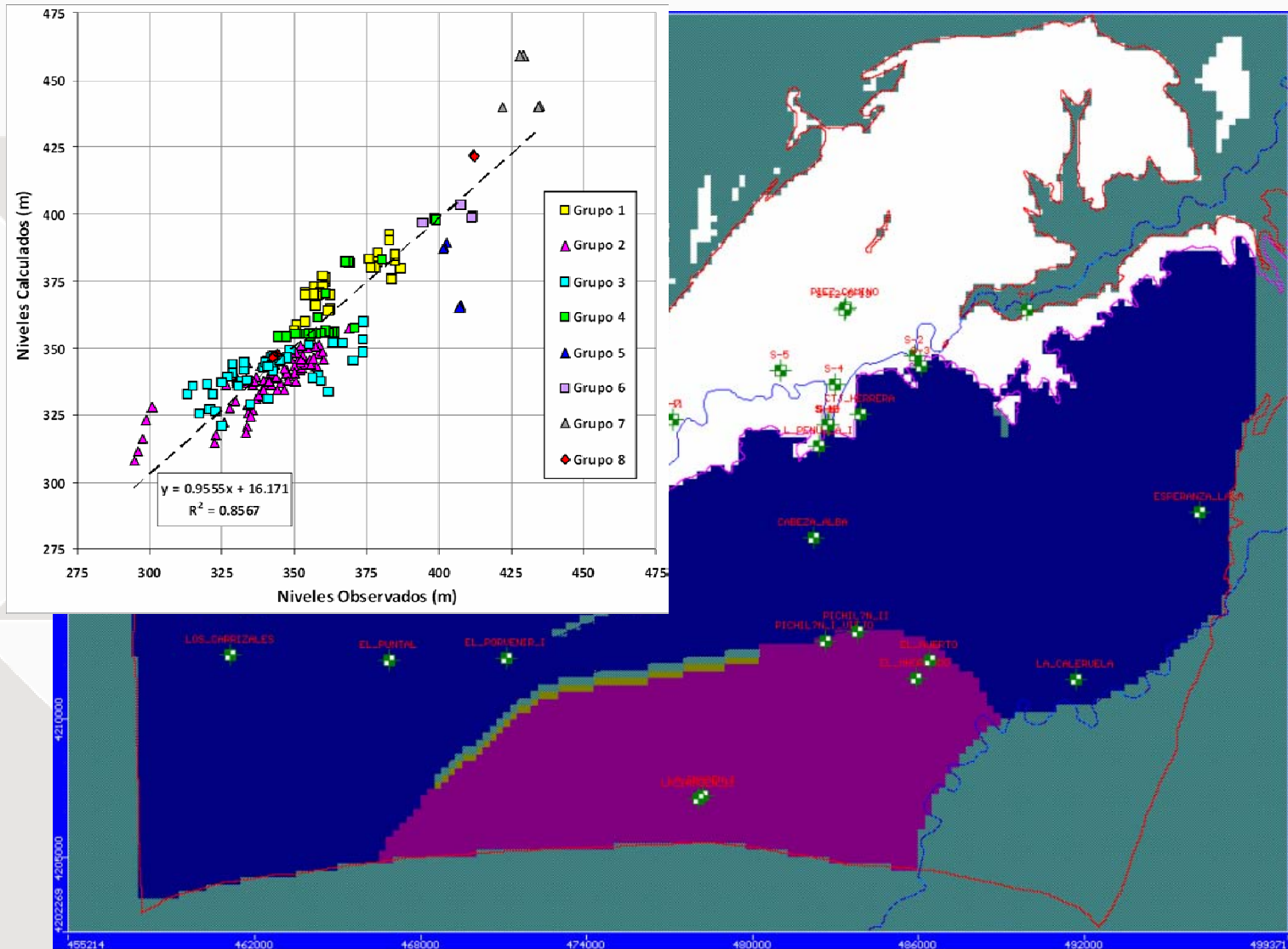


MODELO 3D: CC Bombeos (208 sondeos)

Año	Extracción (hm ³)
2000/01	41,8
2001/02	20,2
2002/03	42,7
2003/04	19,3
2004/05	46,7
2005/06	29,7




MODELO 3D: Puntos de observación y ajuste resultante




GESTIÓN HÍDRICA PROPUESTA PARA UNA EXPLOTACIÓN SOSTENIBLE

- Sector libre margen derecha del río Guadalimar = 5,5 hm³/a

- Sectores  libre margen izquierda del río Guadalimar
confinado = 27 hm³/a

- Sector de Villanueva del Arzobispo = 3 hm³/a

TOTAL ≈ 35,5 hm³/a

Posibles impactos 

- disminución en la descarga al Guadalimar*
- incremento de la recarga inducida desde el Guadalimar*

PROYECTO REDESAC:

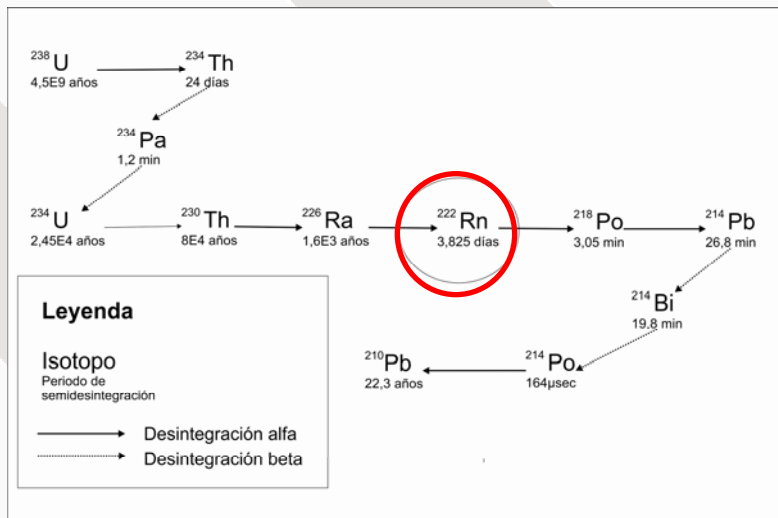
OBJETIVO PRINCIPAL:

Estudio para el uso del ^{222}Rn como marcador litogénico de las aguas subterráneas

Objetivos Secundarios:

Identificación de la formaciones por la que circulan las aguas. Respecto a las agua superficiales, identificación de la formación de la que procede la descarga

- Cuantificación de la descarga subterránea a cuerpos de agua superficiales



Características generales ^{222}Rn :

- Gas noble radioactivo de origen litogénico, con un periodo de semidesintegración de 3,82 días.
- Parte de la cadena de desintegración del ^{238}U , producto de la desintegración de ^{226}Ra .
- Incoloro, inodoro, insípido e inerte.
- Su concentración en aguas subterráneas es mucho mayor que en aguas superficiales, lo que permite usarlo como trazador de la existencia de descargas a cuerpos de agua superficial.

ESCENARIOS

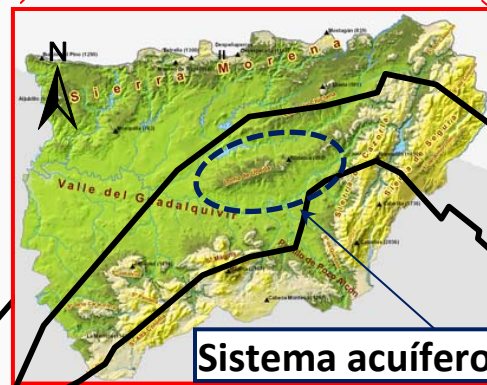
1. Iberá (ARGENTINA)
2. M.A.S. Alcadozo (ESPAÑA)
3. Sistema Acuífero Profundo de Úbeda (ESPAÑA)



Los Esteros del Iberá

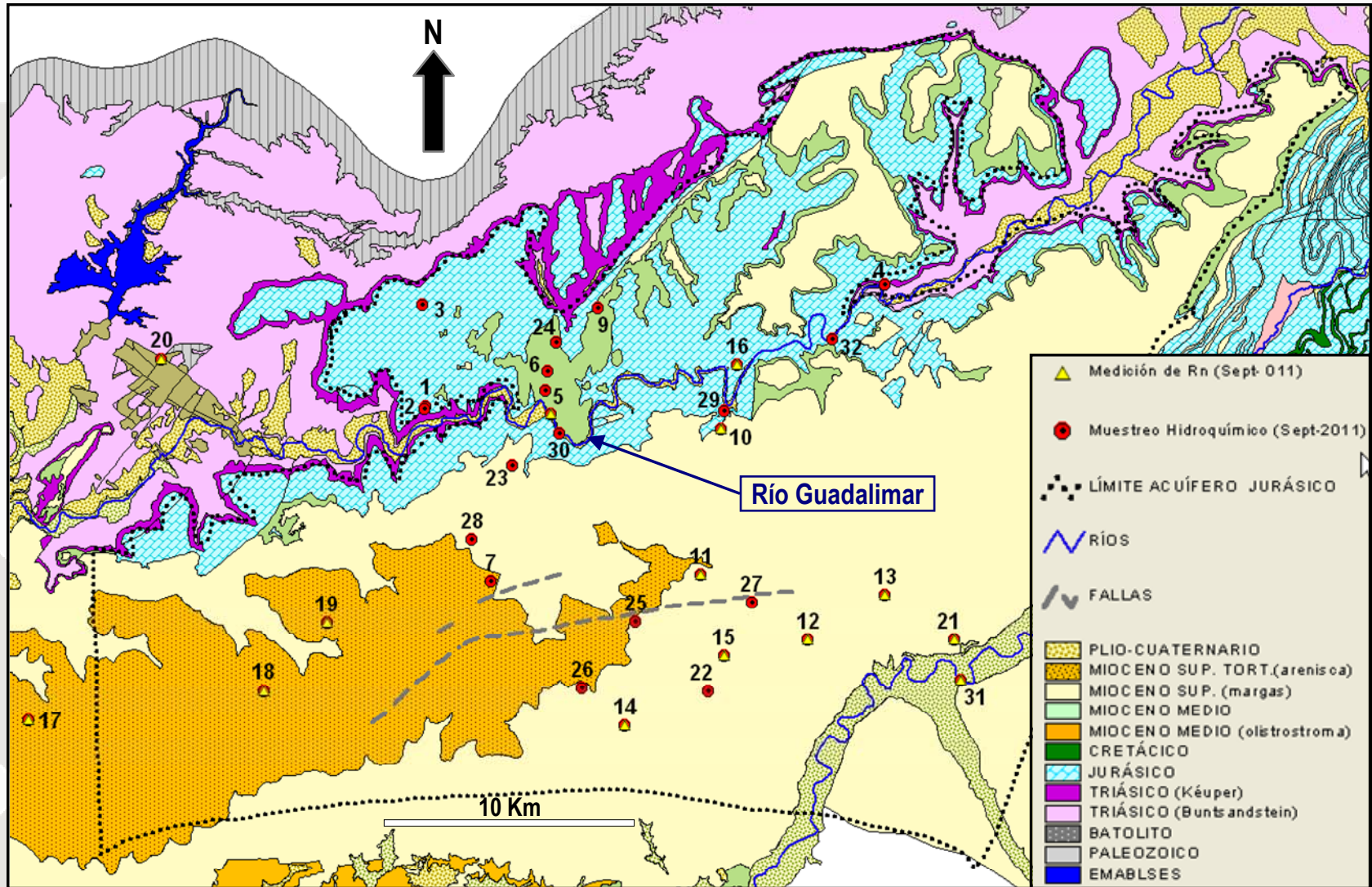


MAS Alcadozo



Sistema acuífero de Úbeda

PUNTOS MUESTREADOS Y MEDIDOS (Julio-Septiembre 2011)



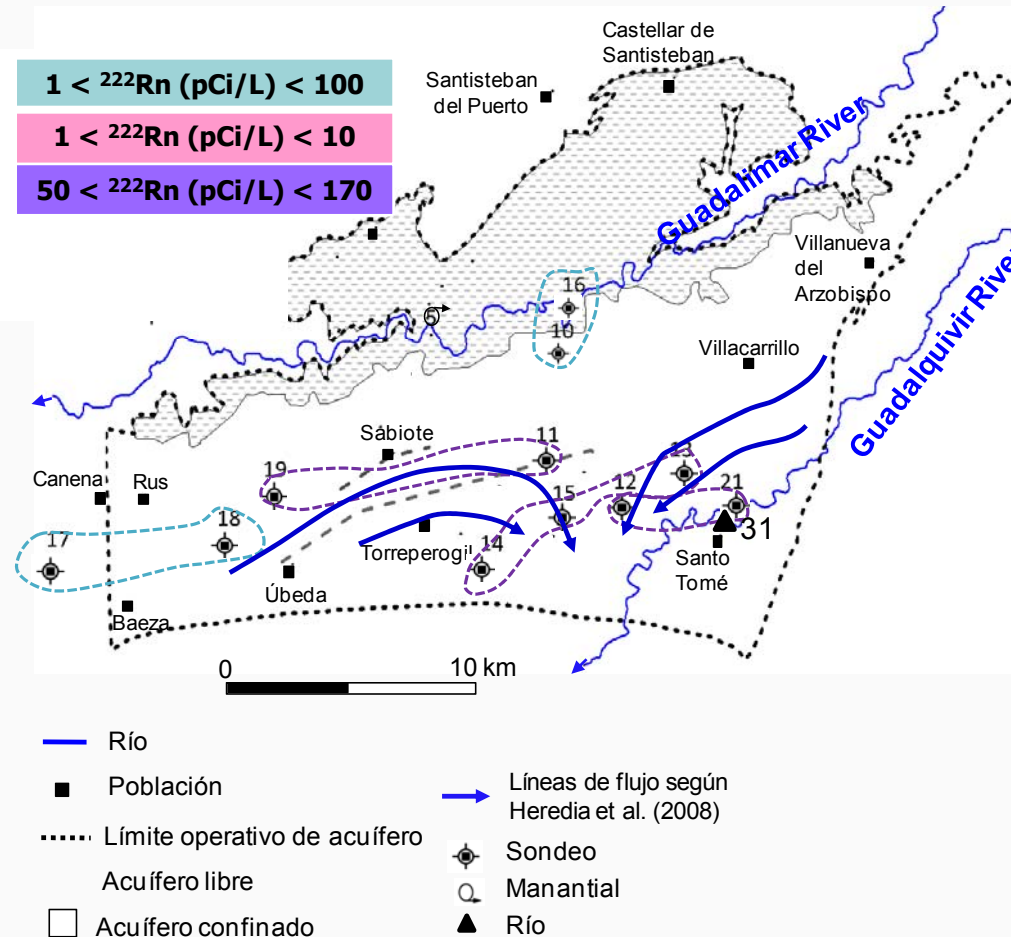
RESULTADOS PRELIMINARES

Las aguas del SAPU son mezcla, en distinta proporción, de agua que ha circulado por: los carbonatos jurásicos, las areniscas y arcillas triásicas y las margas miocenas

TRAZADO QUÍMICO

- Manantiales (1 a 6 y 8); río Guadalimar (30 y 32) y sondeos (10 y 16): Agua de Jurásico + algo de Triásico
- Sondeos (17, 18, 11, 19) Aumentan SO_4 y Cl por mezcla creciente con agua en contacto con yeso y halita. Agua mezcla con aportes mayormente de Jurásico, algo de Triásico y un aporte creciente del Mioceno.
- Sondeos (13, 14, 21, 15, 12): Mismo origen que las anteriores, pero acompañadas de reducción.

TRAZADO ISOTÓPICO



CONTRASTE CON EL MODELO FLUJO DEL SAPU

Limitaciones:

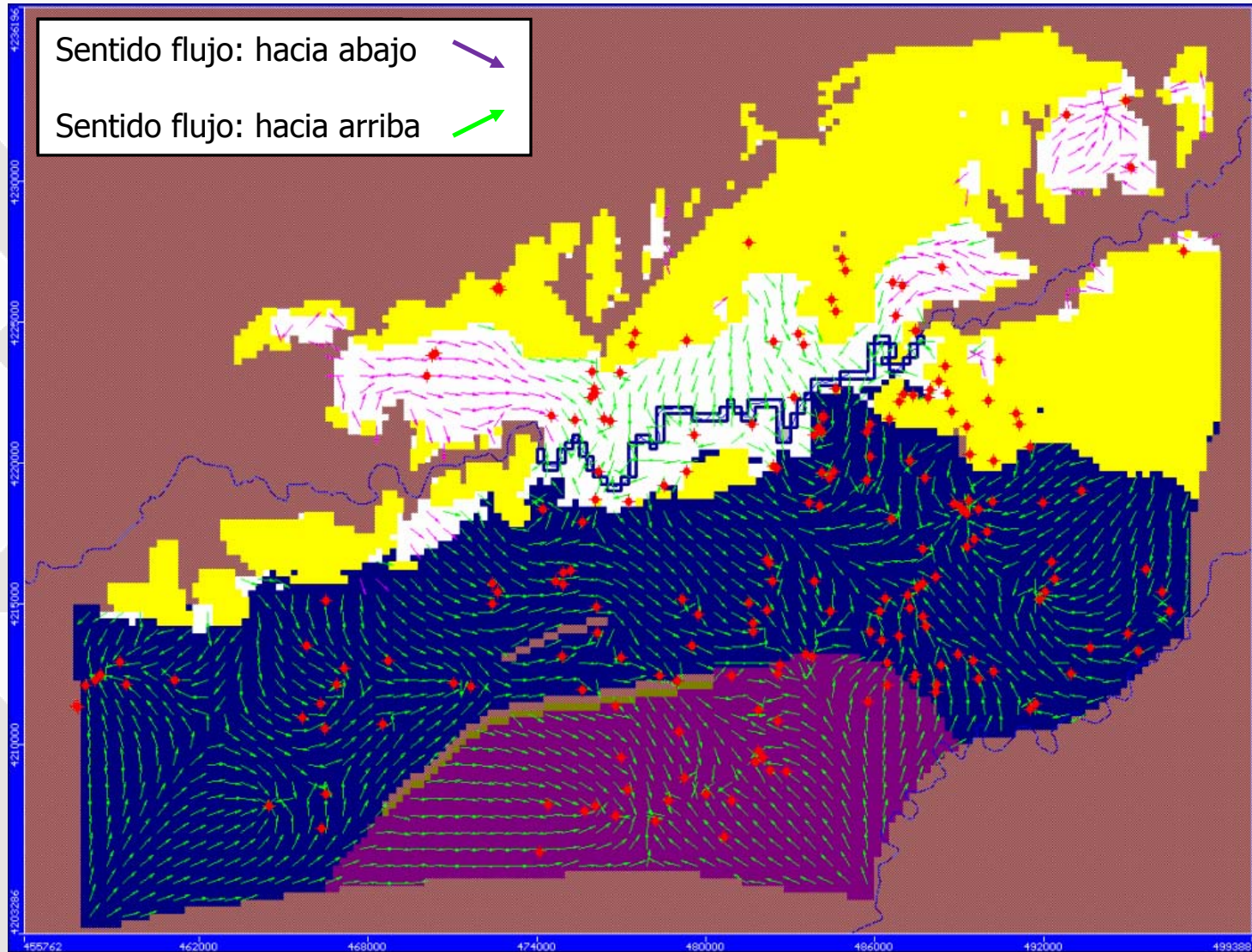
- Herramientas más adecuadas de contraste: modelo de transporte, modelo de mezcla de aguas
- Representación de las formaciones miocenas:
 - Explícitamente: celdas activas + condiciones de contorno
 - Implícitamente: condiciones de contorno
- Conceptualización: Flujo (q o borde impermeable), Transporte (C , q_m), Dominio

Se realizan simulaciones en condiciones hidroclimatológicas análogas a Septiembre del 2011.

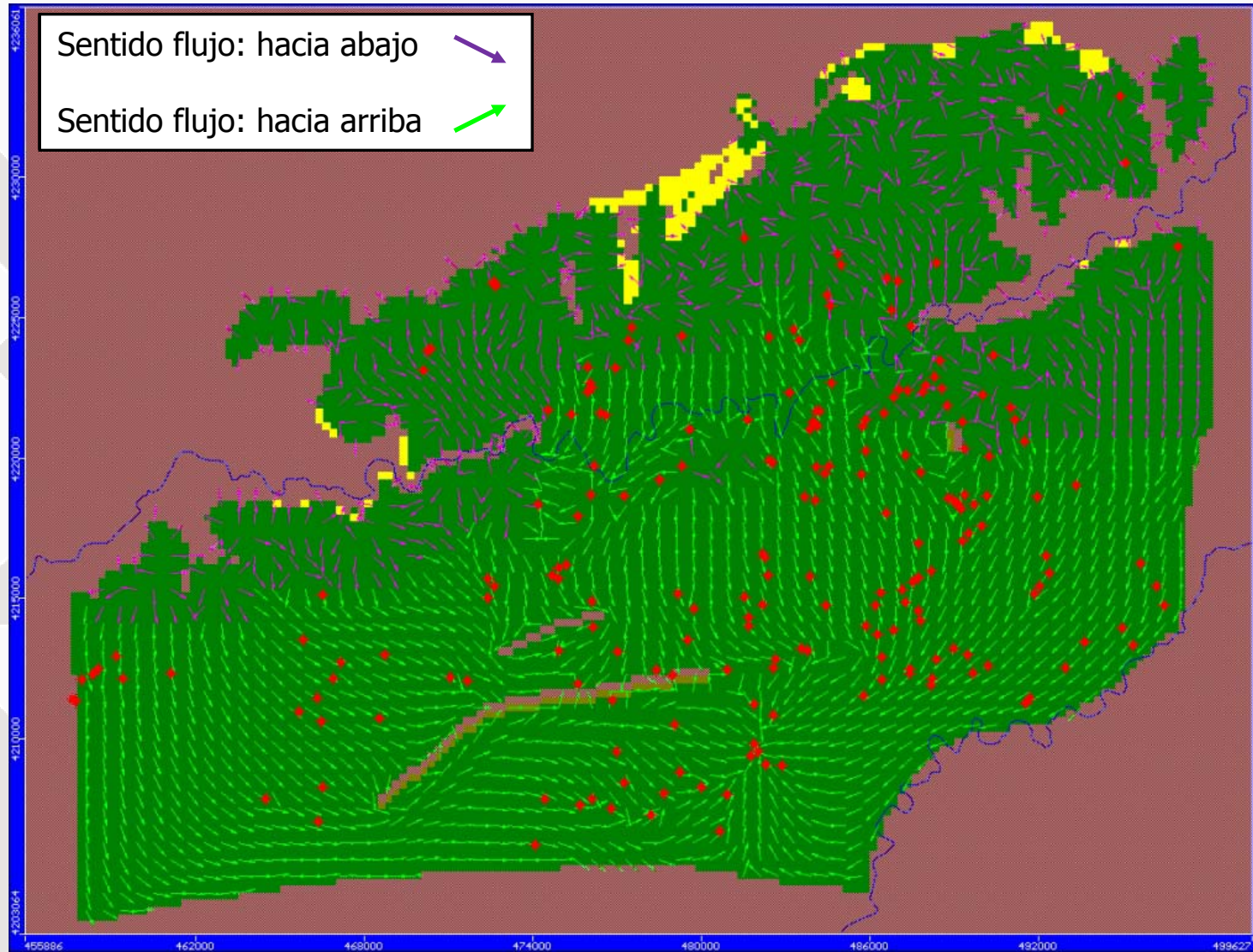
Resultados a analizar en el contraste:

- PATRÓN DE FLUJO:
 - Contraste cualitativo, general y de detalle del SAPU
- BALANCE HÍDRICO EN LOS SONDEOS MUESTREADOS:
 - Contraste cuantitativo de detalle: evaluación de las aportaciones de cada formación en los sondeo muestreados ~~Se evalúa~~ mezcla de aguas en el sondeo
 - Hipótesis que las celdas de cada formación vecinas al sondeo tienen igual grado de mezcla

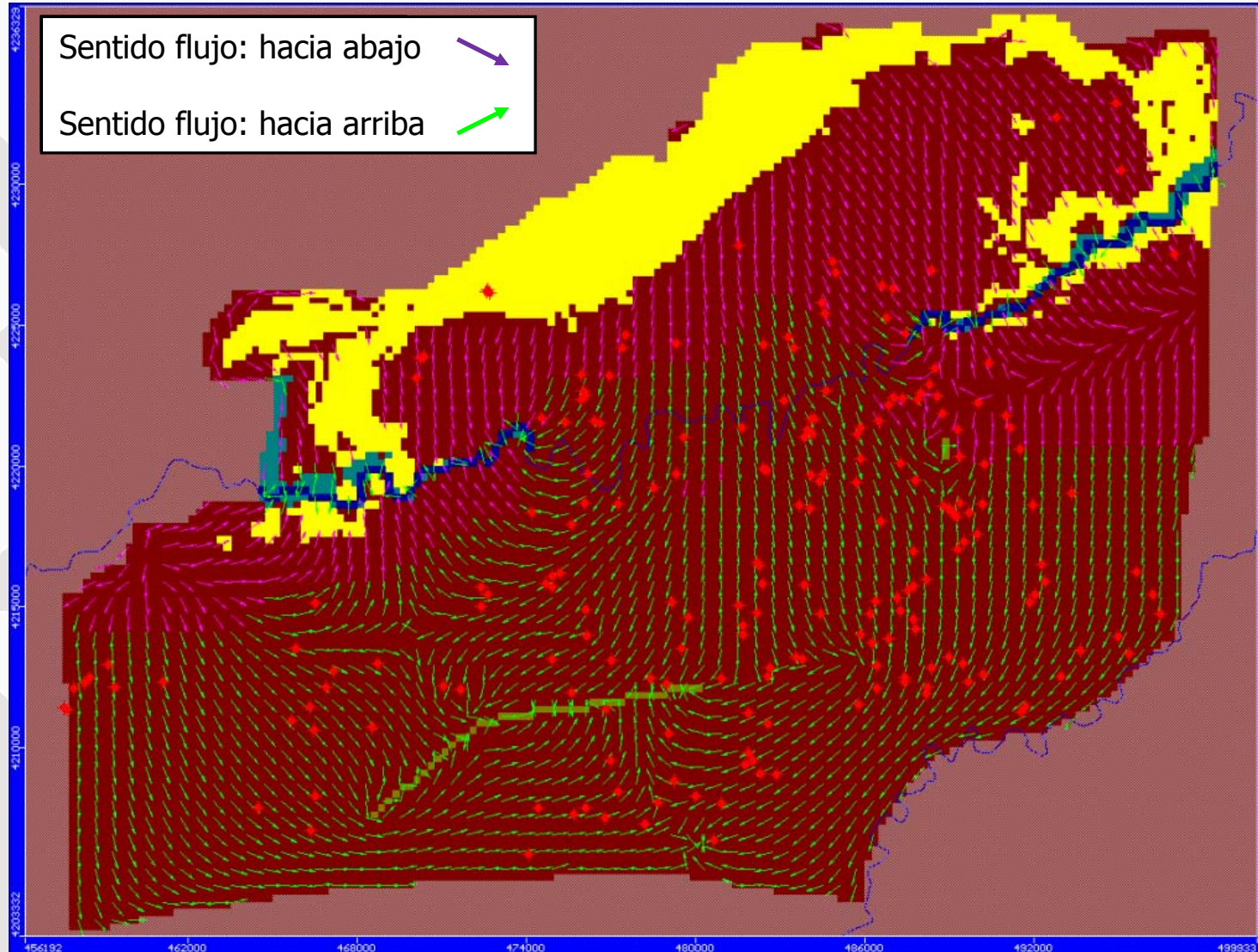
PATRÓN DE FLUJO (zonificación K + río + pozos): capa 1 - Carbonatos jurásicos -



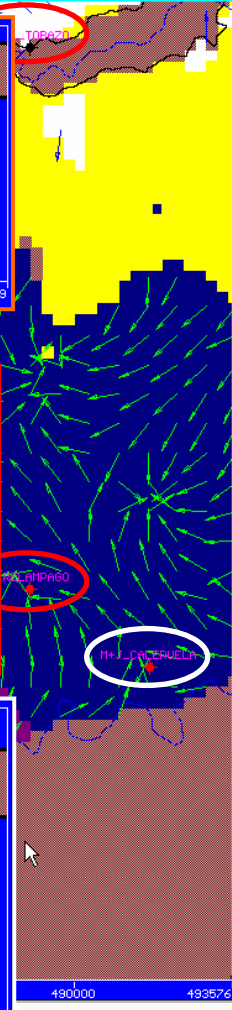
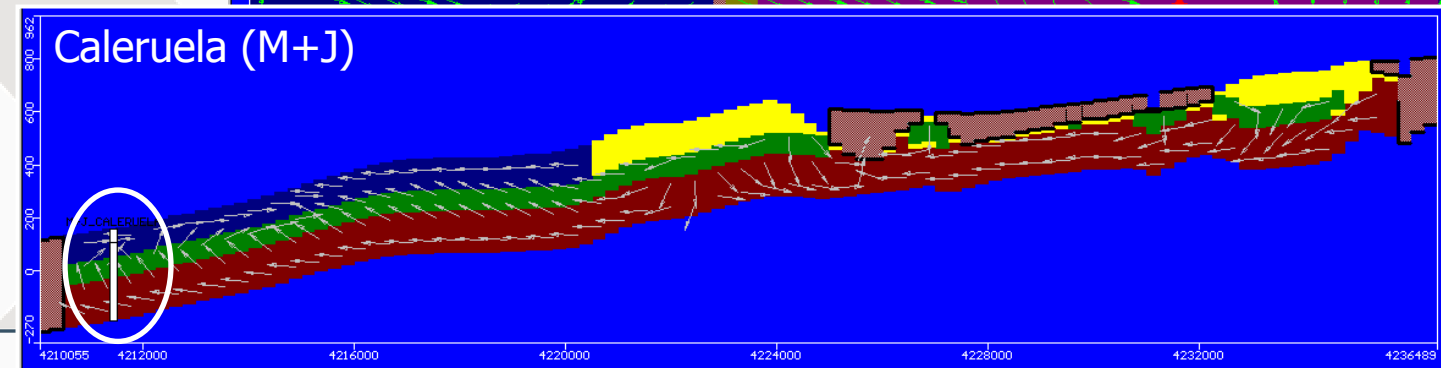
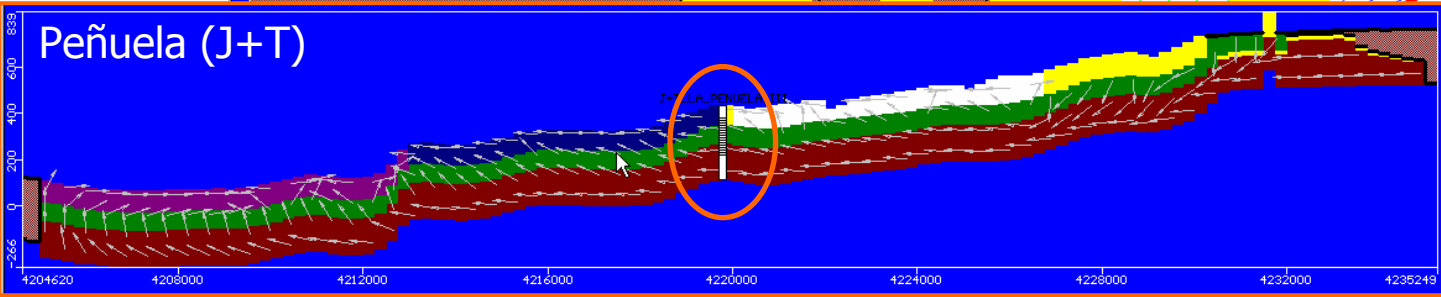
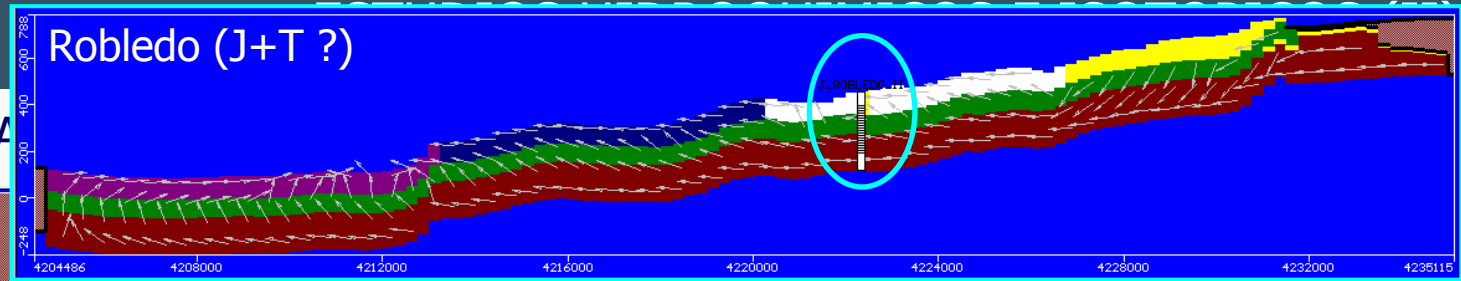
PATRÓN DE FLUJO (zonificación K + río + pozos): capa 2 - Keuper -



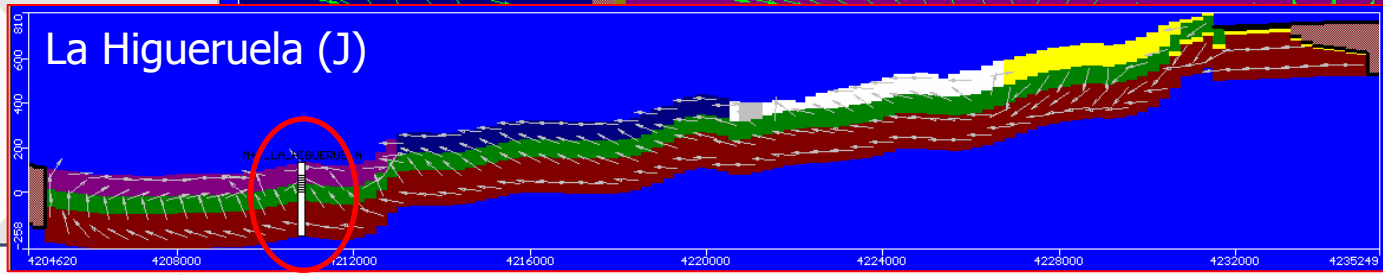
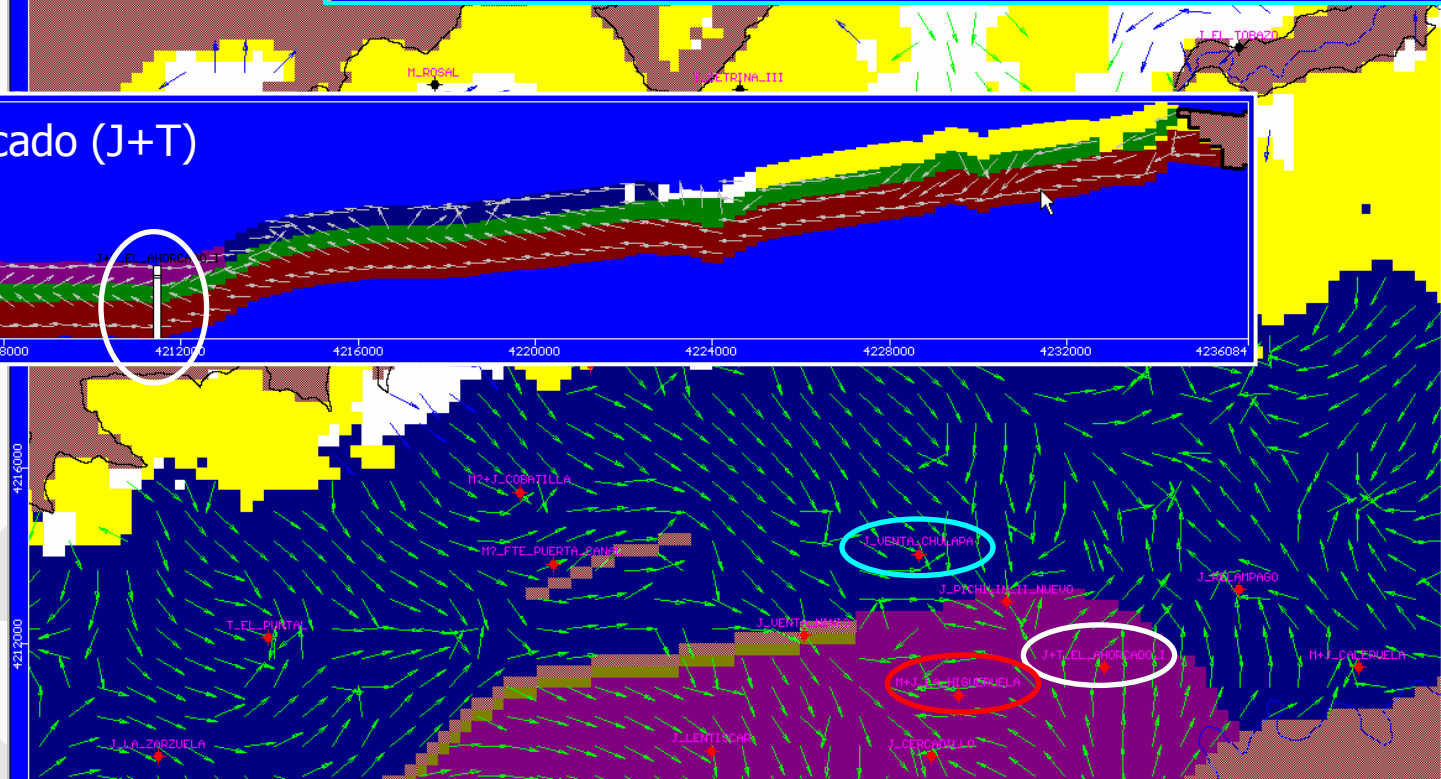
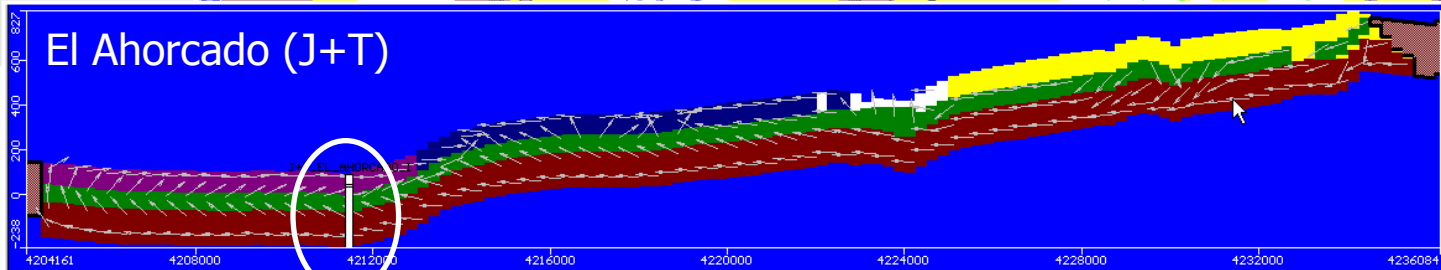
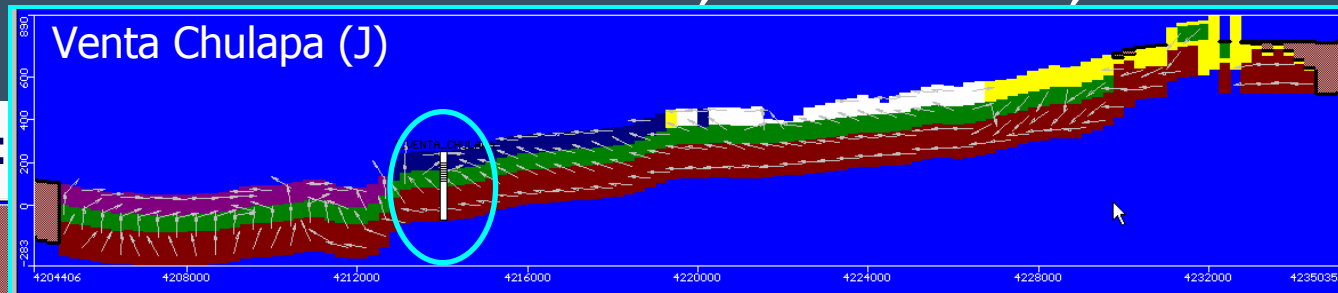
PATRÓN DE FLUJO (zonificación K + río + pozos): capa 3 - Buntsandsstein -



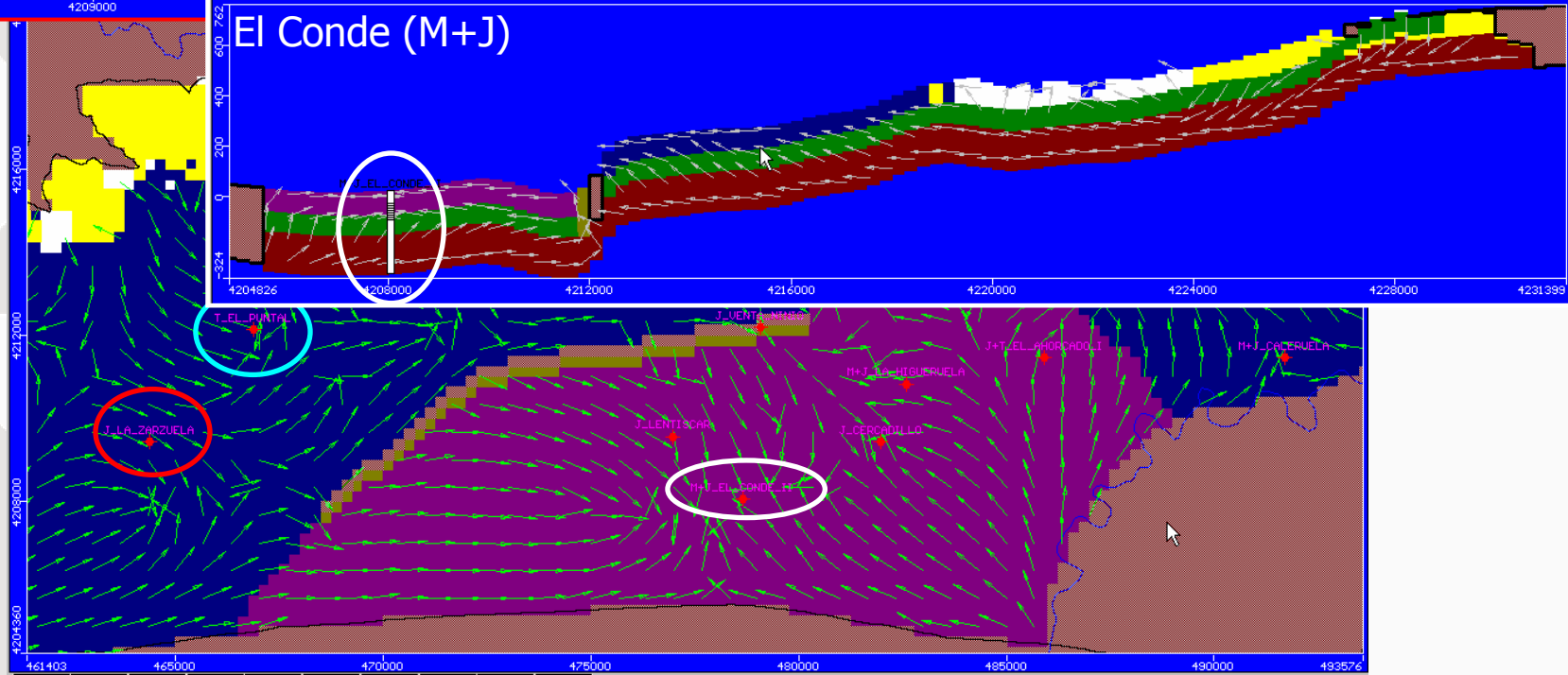
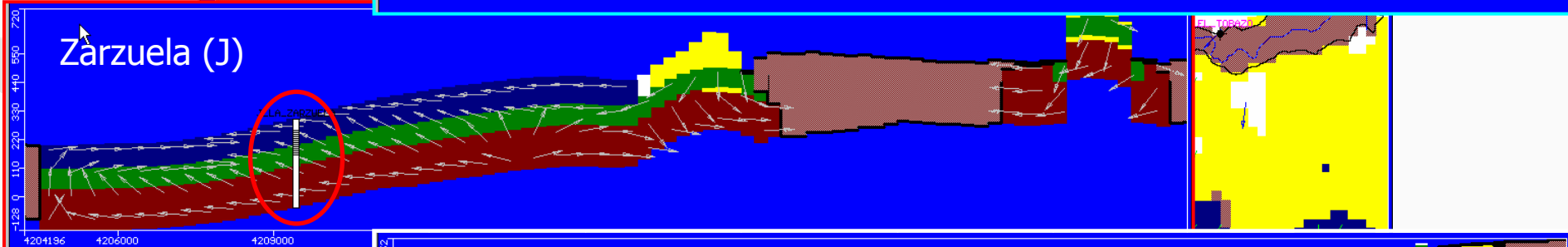
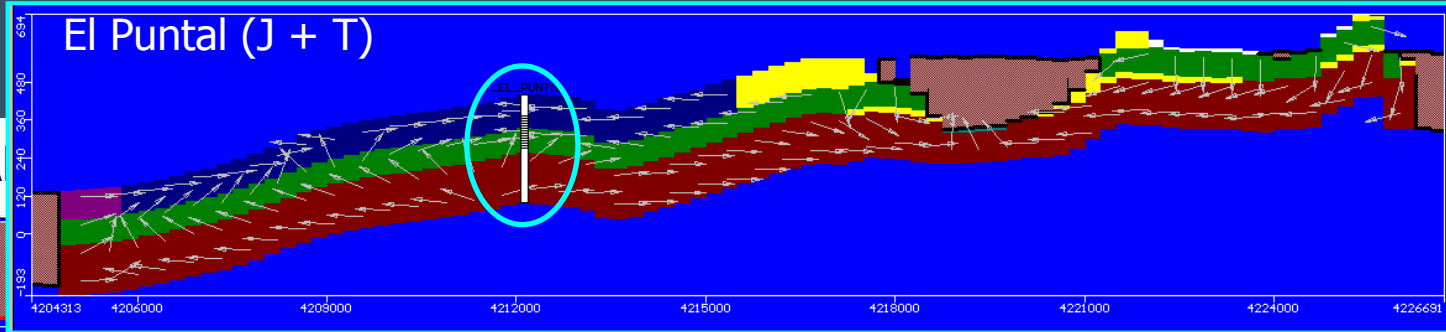
PUNTOS MUESTREA



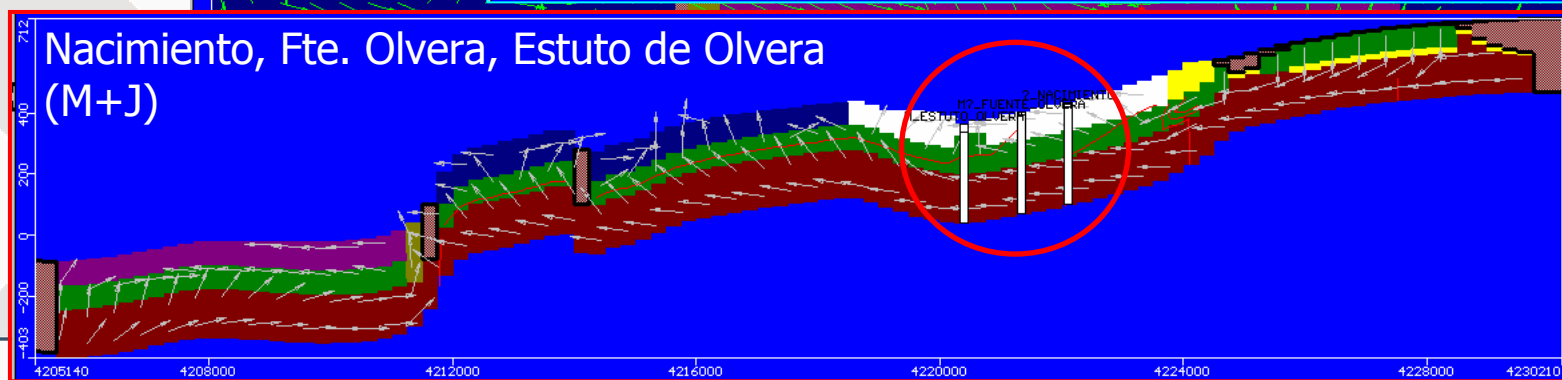
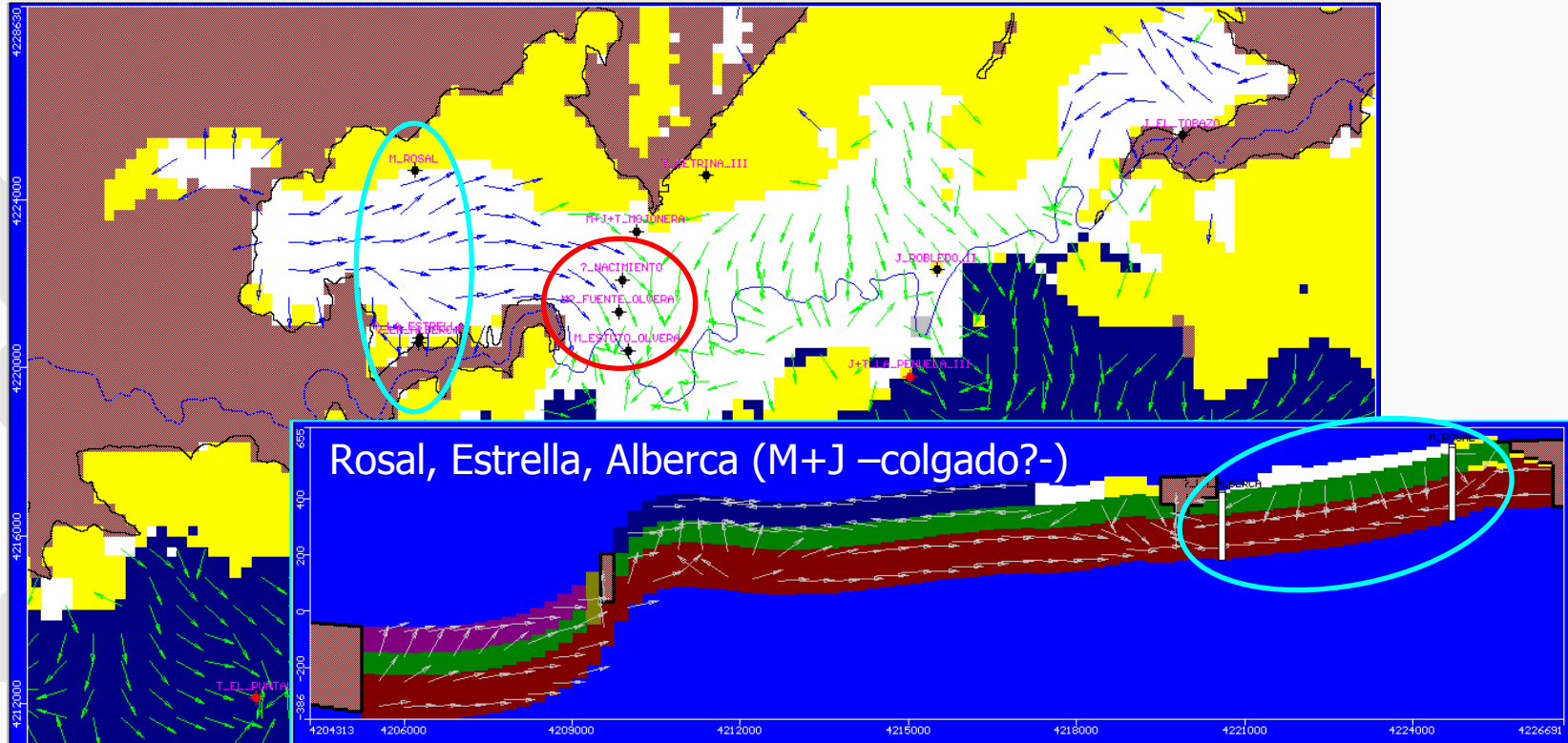
PUNTOS MUESTREADADOS:



PUNTOS MUESTREA



PUNTOS MUESTREADADOS: Balance Hídrico, mezcla de aguas por formaciones (cortes N-S)



CONCLUSIONES

1. El patrón de flujo resultante del modelo indica que en el sector confinado de los carbonatos jurásicos y en parte del libre (sector sur, entorno del río Guadalimar) las aguas circulantes incorporan en diferente grado aguas procedentes de:

1. En general, las formaciones triásicas suprayacentes
2. En el sector SO, la recarga (por percolación) desde las calcarenitas miocenas (Acuífero Detrítico de Úbeda)

2. El patrón de flujo del modelo es coherente con el agrupamiento sugerido por el trazado hidroquímico

3. El patrón de flujo del modelo, en principio, NO es coherente con el agrupamiento sugerido por el trazado isotópico (tema abierto)

PROYECTO REDESAC:

OBJETIVO PRINCIPAL:

Estudio para el uso del ^{222}Rn como marcador litogenético de las aguas subterráneas

Objetivos Secundarios:

- Identificación de las formaciones por las que circulan las aguas. Respecto a las aguas superficiales, identificación de la formación de la que procede la descarga

 Identificación de la descarga subterránea a cuerpos de agua superficiales

Contribución a la caracterización SAPU-río Guadalimar



Mejora en el establecimiento de una gestión hídrica sostenible del SAPU

Concesiones de aguas superficiales y subterráneas en el tramo estudiado y aguas abajo del mismo

TÉCNICAS APLICADAS:

- medición de la actividad de ^{222}Rn , aforos diferenciales (ultrasonido y micromolinetes)

BALANCE HÍDRICO (2000/01-2005/06): Global

BALANCE GLOBAL:								
AÑO HIDROLÓGICO		2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	MEDIO
SALIDAS (hm ³)	Río Guadalimar	65.6	56.0	54.6	54.0	46.9	46.5	53.9
	Manantiales	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5
	Bombeos	41.8	20.2	42.6	19.3	46.5	29.7	33.4
	TOTAL	107.8	76.7	97.7	73.8	93.8	76.7	87.8
ENTRADAS (hm ³)	Recarga infiltración	74.6	36.5	62.5	73.5	4.4	35.5	47.8
	Río Guadalimar	0.4	0.5	0.4	0.4	0.6	0.6	0.5
	TOTAL	75.0	37.0	62.9	73.9	5.0	36.0	48.3
DÉFICIT		-32.8	-39.7	-34.9	0.0	-88.9	-40.7	-39.5
Descenso anual aprox.(m)		-3.3	-4.0	-3.5	0.0	-8.9	-4.1	-3.9

Déficit \approx -40 hm³/año \rightarrow Descenso medio anual \approx 4 m

BALANCE HÍDRICO (2000/01-2005/06): Formaciones

Calizas Libre		2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	MEDIO
SALIDAS (hm ³)	<i>Cal. Libre a Cal. Confinada</i>	3.4	2.9	3.3	3.4	3.2	2.8	3.2
	<i>Cal. Libre a Trias (por fracturas)</i>	34.0	18.0	29.1	34.1	4.7	17.4	22.9
	Río Guadalimar	6.0	5.1	6.1	6.8	4.7	5.0	5.6
	Manantiales	0.5	0.4	0.5	0.5	0.4	0.4	0.5
	Bombeos	1.7	0.8	1.6	0.8	1.9	1.2	1.3
	TOTAL	45.6	27.3	40.6	45.6	14.8	26.9	33.5
ENTRADAS (hm ³)	<i>Cal. Confinada a Cal. Libre</i>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5
	<i>Trias (por fracturas) a Cal. Libre</i>	1.7	1.6	1.5	1.4	1.4	1.4	1.5
	Recarga	55.3	25.3	45.8	54.5	0.0	24.5	34.2
	Río Guadalimar	0.4	0.5	0.4	0.4	0.6	0.6	0.5
	TOTAL	57.9	27.9	48.2	56.8	2.5	26.9	36.7
DÉFICIT		12.4	0.7	7.6	11.2	-12.3	0.0	3.3
Obs. Río Gadalimar en recodo		0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4
Calizas Confinadas		2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	MEDIO
SALIDAS (hm ³)	<i>Cal. Confinada a Cal. Libre</i>	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5
	<i>Cal. Confinada a Fractura*</i>	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	<i>Cal. Confinada a Trias (por fracturas)</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Bombeos	38.0	18.4	38.8	17.5	42.2	26.9	30.3
	TOTAL	38.5	19.0	39.3	18.1	42.7	27.4	30.8
ENTRADAS (hm ³)	<i>Cal. Libre a Cal. Confinada</i>	3.4	2.9	3.3	3.4	3.2	2.8	3.2
	<i>Fractura* a Cal. Confinada</i>	1.7	2.1	2.2	2.4	2.5	2.9	2.3
	<i>Trias (por fracturas) a Cal. Confinada</i>	10.3	11.1	11.4	11.8	12.2	13.1	11.7
	Recarga	5.0	4.6	4.9	5.0	4.3	4.6	4.7
	TOTAL	20.5	20.7	21.8	22.7	22.1	23.4	21.9
DÉFICIT		-18.0	1.8	-17.5	4.5	-20.6	-3.9	-9.0

Descarga al río Guadalimar 5.6 hm³/año (11 %)

Calizas confinadas: Déficit ≈ -9 hm³/año → Descenso medio anual ≈ 3.5 m

BALANCE HÍDRICO (2000/01-2005/06): Formaciones

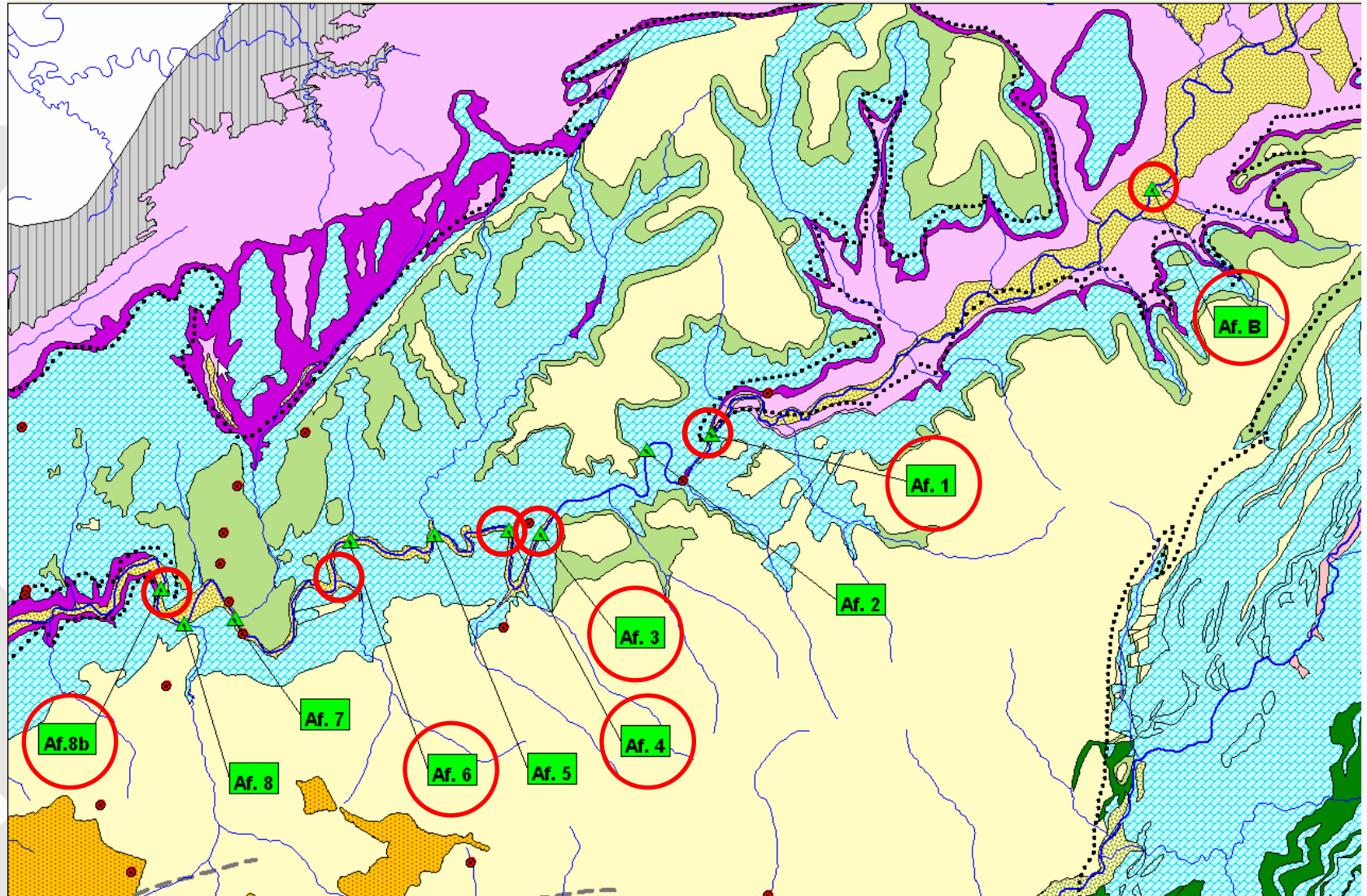
TRIAS (Keuper + Buntsandstein)		2000/01	2001/02	2002/03	2003/04	2004/05	2005/06	MEDIO
SALIDAS (hm ³)	<i>TRIAS a Fractura*</i>	1.7	2.1	2.1	2.4	2.4	2.8	2.3
	<i>TRIAS a Calizas (por fracturas)</i>	12.1	12.7	12.9	13.2	13.6	14.5	13.2
	Bombeos	2.1	1.0	2.2	1.0	2.5	1.6	1.7
	Río Guadalimar	59.6	50.9	48.6	47.2	42.2	41.5	48.3
	TOTAL	75.5	66.7	65.8	63.8	60.7	60.5	65.5
ENTRADAS (hm ³)	<i>Fractura* a TRIAS</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	<i>Calizas a TRIAS (por fracturas)</i>	34.0	18.0	29.1	34.1	4.7	17.4	22.9
	Recarga	14.2	6.5	11.8	14.0	0.1	6.3	8.8
	TOTAL	48.2	24.6	40.9	48.1	4.8	23.7	31.7
DÉFICIT		-27.2	-42.1	-24.9	-15.7	-55.9	-36.7	-33.8
Obs.:Fractura*, única fractura representada explícitamente en el modelo								
Recarga Buntsandstein aflorante (estrictamente)		13.0	5.9	10.7	12.8	0.0	5.7	8.0

Descarga a río Guadalimar :

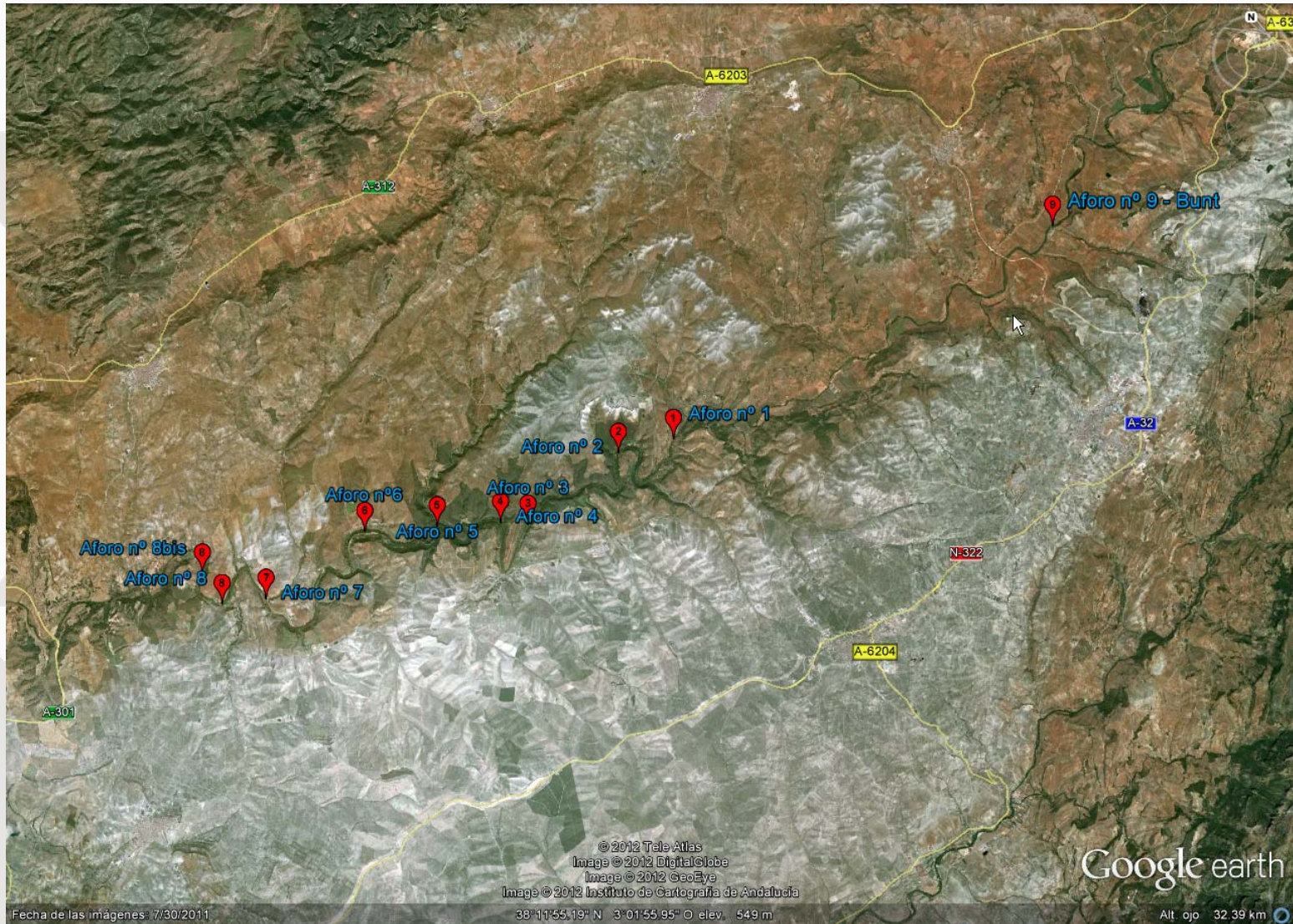
- aguas arriba de los carbonatos: 22.2 hm³/año (41 %)
- aguas abajo de los carbonatos: 26.1 hm³/año (48 %)

Calizas confinadas: Déficit \approx -33.8 hm³/año \rightarrow Descenso medio anual \approx 3.5 m

CAMPAÑA DE AFOROS: contexto geológico



CAMPAÑA DE AFOROS: contexto general



1. SAPU es un sistema complejo (compartimentado e interconectado tectónicamente), su modelo de flujo da apoyo a la Gestión Hídrica al posibilitar definir una explotación sectorizada y sostenible
2. Mediante modelación estocástica, en una metodología original que emula el proceso geológico, se restituyó la geometría del SAPU
3. El modelo del SAPU al integrar información geológica, geofísica, hidrogeológica e hidrodinámica es una herramienta robusta de contraste y apoyo en estudios hidroquímicos e isotópicos:
 - a. CEDEX (2006), estudios de caracterización hidroquímicos (Cl^-) e isotópicos (^{14}C), permitió identificar recargas desde el Acuífero Detrítico Mioceno de Úbeda (modelo conceptual)
 - b. REDESAC (2011), investigación sobre el uso del ^{222}Rn como marcador litogenético de las aguas subterráneas y estudios hidroquímicos, indicó que los carbonatos jurásicos, en su sector confinado y en parte del libre incorporan, en diferente grado, aguas procedentes de, en general, las formaciones triásicas suprayacentes y, en el sector SO, una percolación desde el Acuífero Detrítico Mioceno de Úbeda (modelo conceptual)
 - c. REDESAC (2013), investigación sobre el uso del ^{222}Rn como marcador en la relación SAPU-río Guadalimar, en desarrollo (modelo conceptual)



Instituto Geológico
y Minero de España