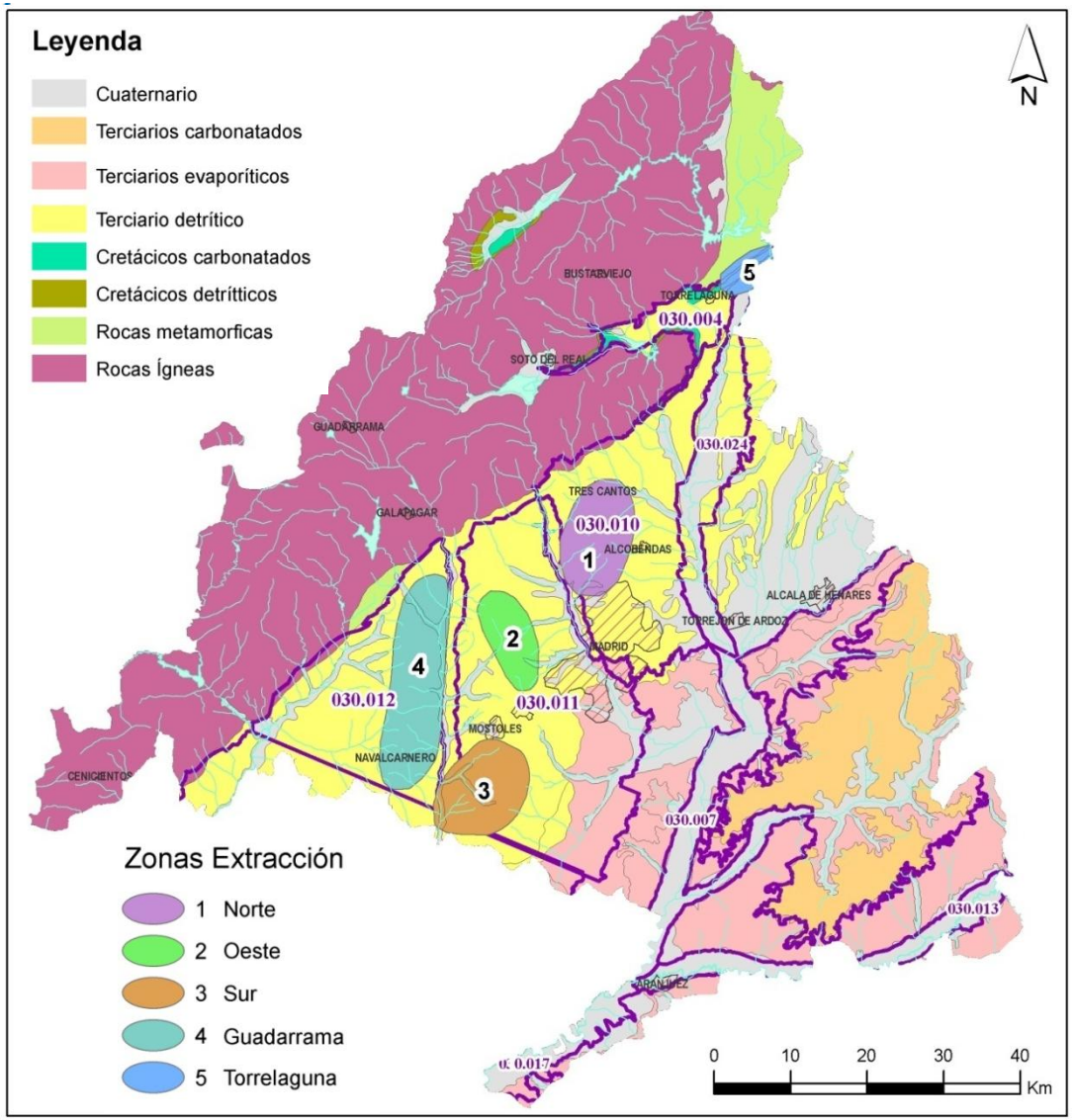
Aplicación de la recarga artificial al acuífero terciario detrítico de Madrid por medio de pozos profundos: experiencias de Canal de Isabel II

Jornada "Recarga Artificial de Acuíferos en España"

José Antonio Iglesias Martín
Dirección de G. Hídrica y Abastecimiento

Fecha: 14 de abril de 2011

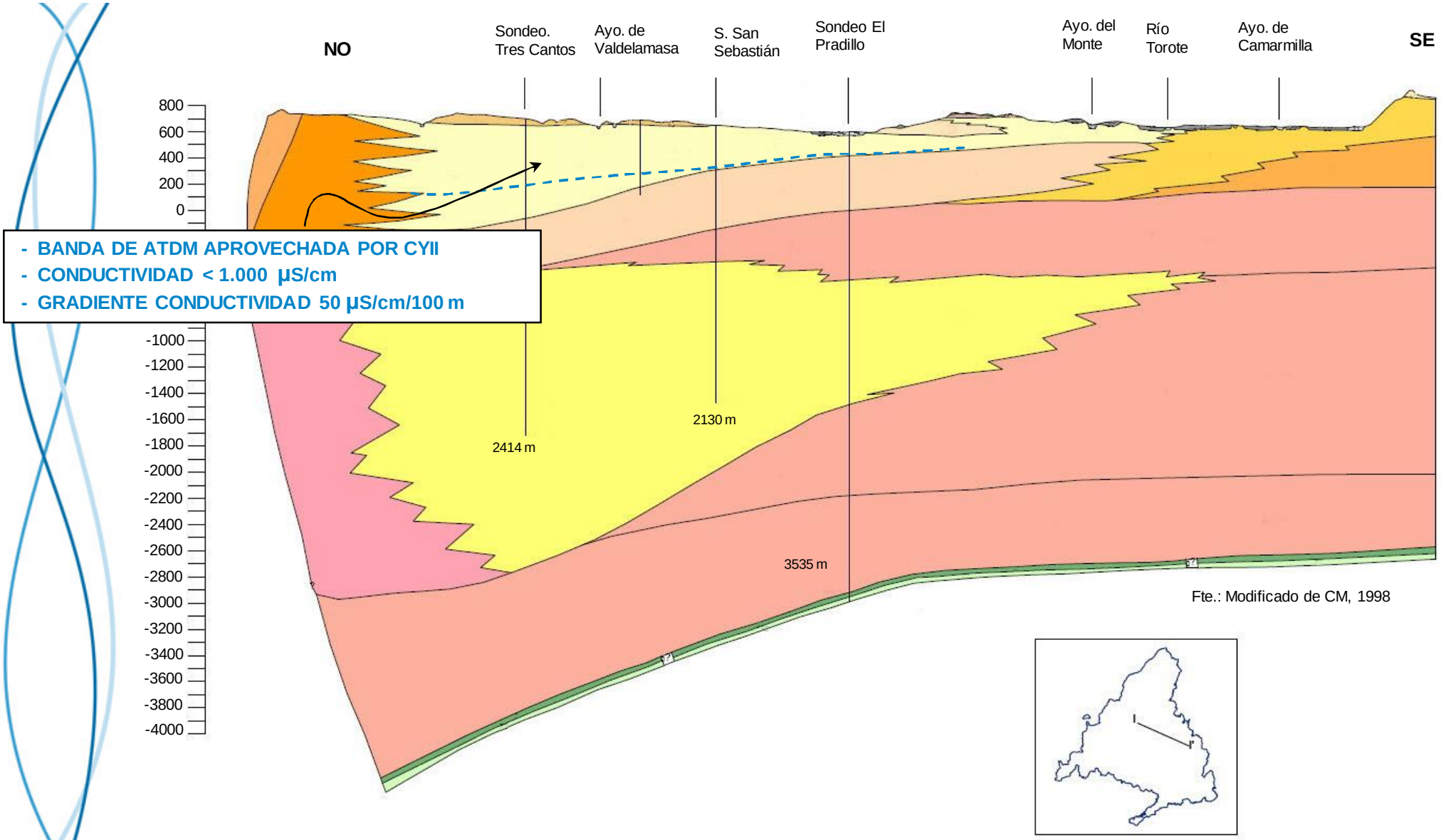
CAPACIDAD DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS DE CANAL DE ISABEL II



INFRAESTRUCTURAS DE CAPTACIÓN DE AGUA SUBTERRÁNEA		
MASA DE AGUA SUBTERRÁNEA	Nº DE UNIDADES	CAPACIDAD DE EXTRACCIÓN (Hm^3/año)
MANZANARES-JARAMA	28	33-36
GUADARRAMA-MANZANARES	32	27-31
ALDEA DEL FRESNO-GUADARRAMA	17	9-11
TOTAL	77	69-78
TORRELAGUNA	4	7-9
OTRAS	3	0,5
TOTAL	84	76-87

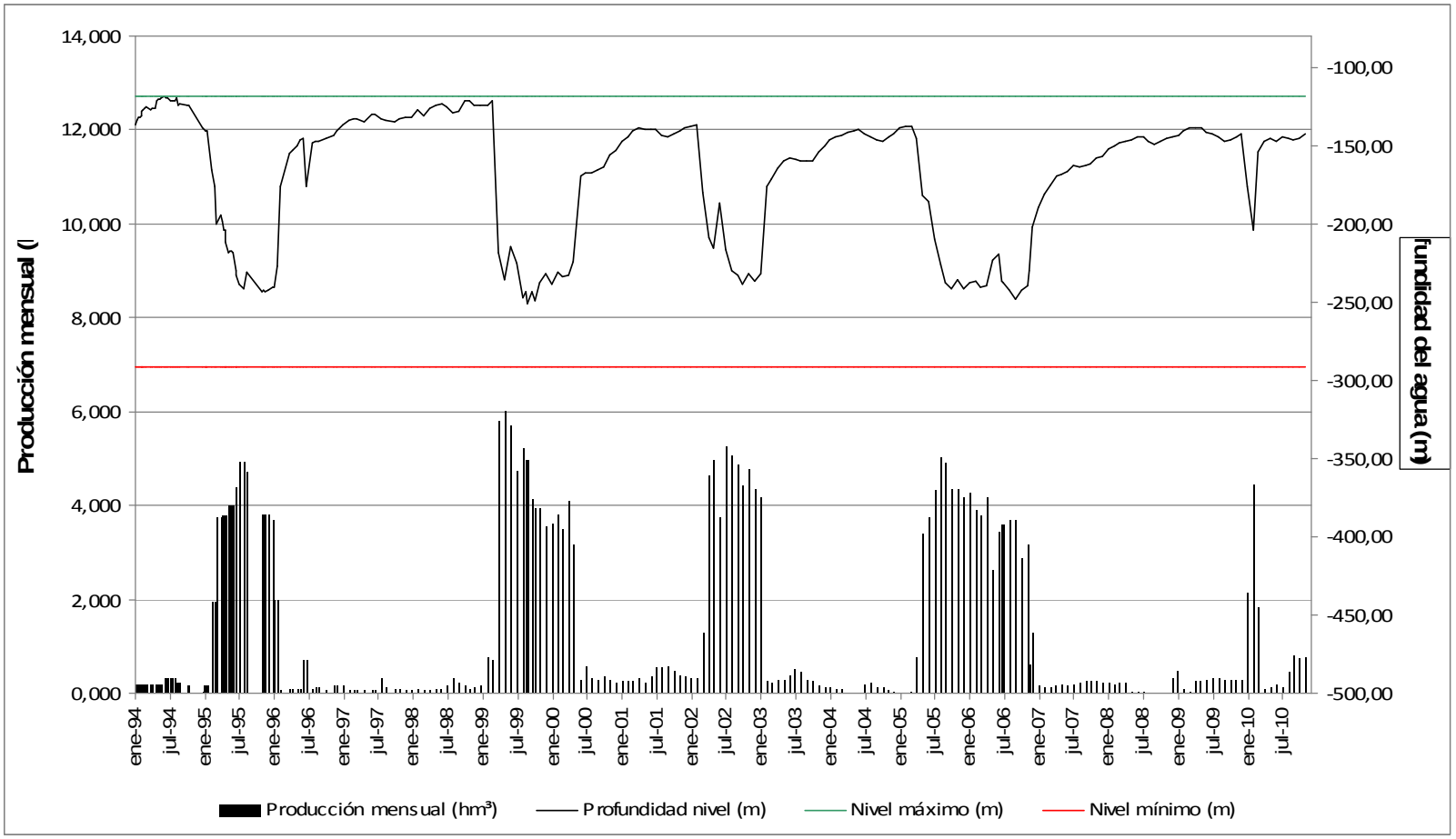
CARACTERÍSTICAS DEL ACUÍFERO TERCIARIO DETRÍTICO DE MADRID

Corte I-I'



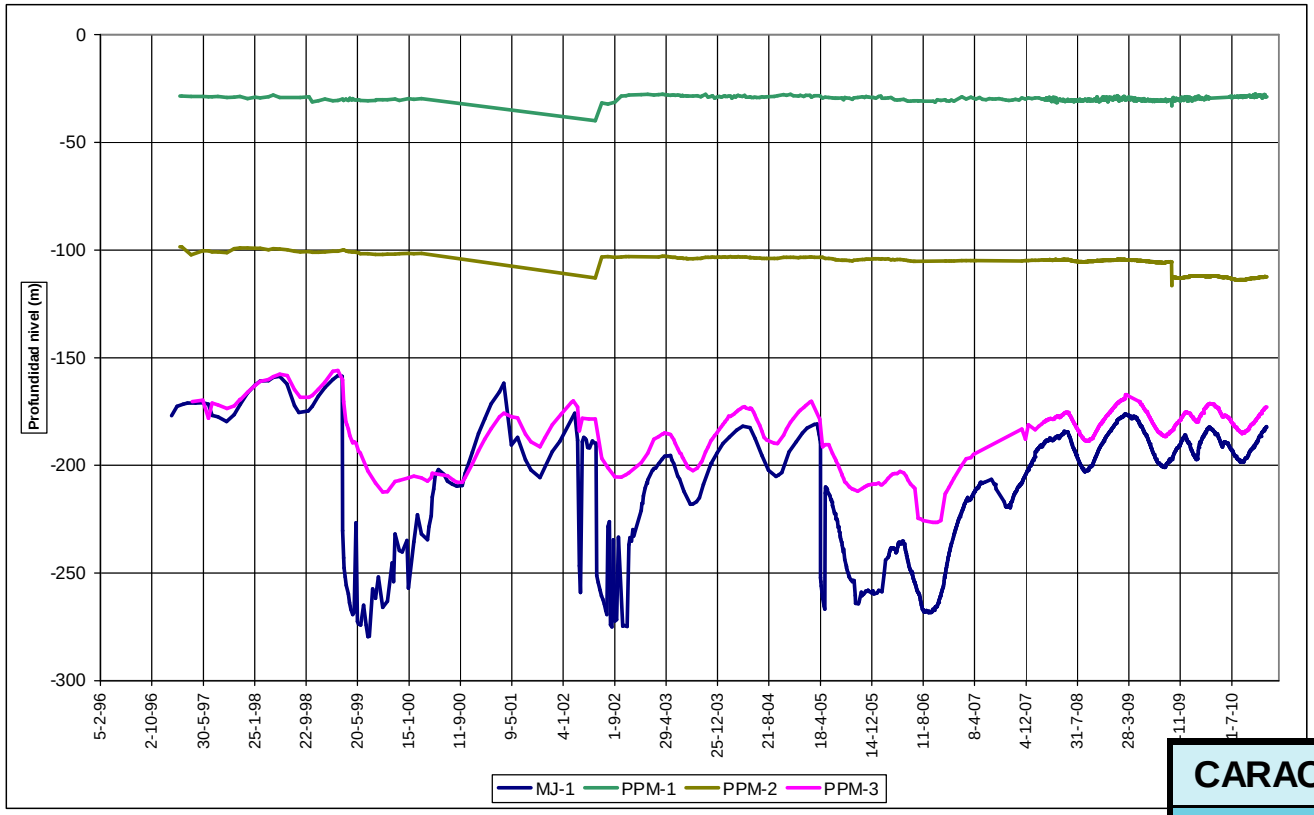
Fte.: Modificado de CM, 1998

EVOLUCIÓN PROFUNDIDAD NIVEL DEL AGUA EN RED POZOS DE CANAL DE ISABEL II EN EL ACUÍFERO TERCIARIO DETRÍTICO DE MADRID



✓ **LAS AGUAS DEL ATDM CONSTITUYEN UN RECURSO ESTRATÉGICO PARA SITUACIONES DE SEQUÍA EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO A LA COMUNIDAD DE MADRID EXPLOTADO POR CANAL DE ISABEL II, ALTERNANDO CICLOS DE BOMBEO CON CICLOS DE RECUPERACIÓN**

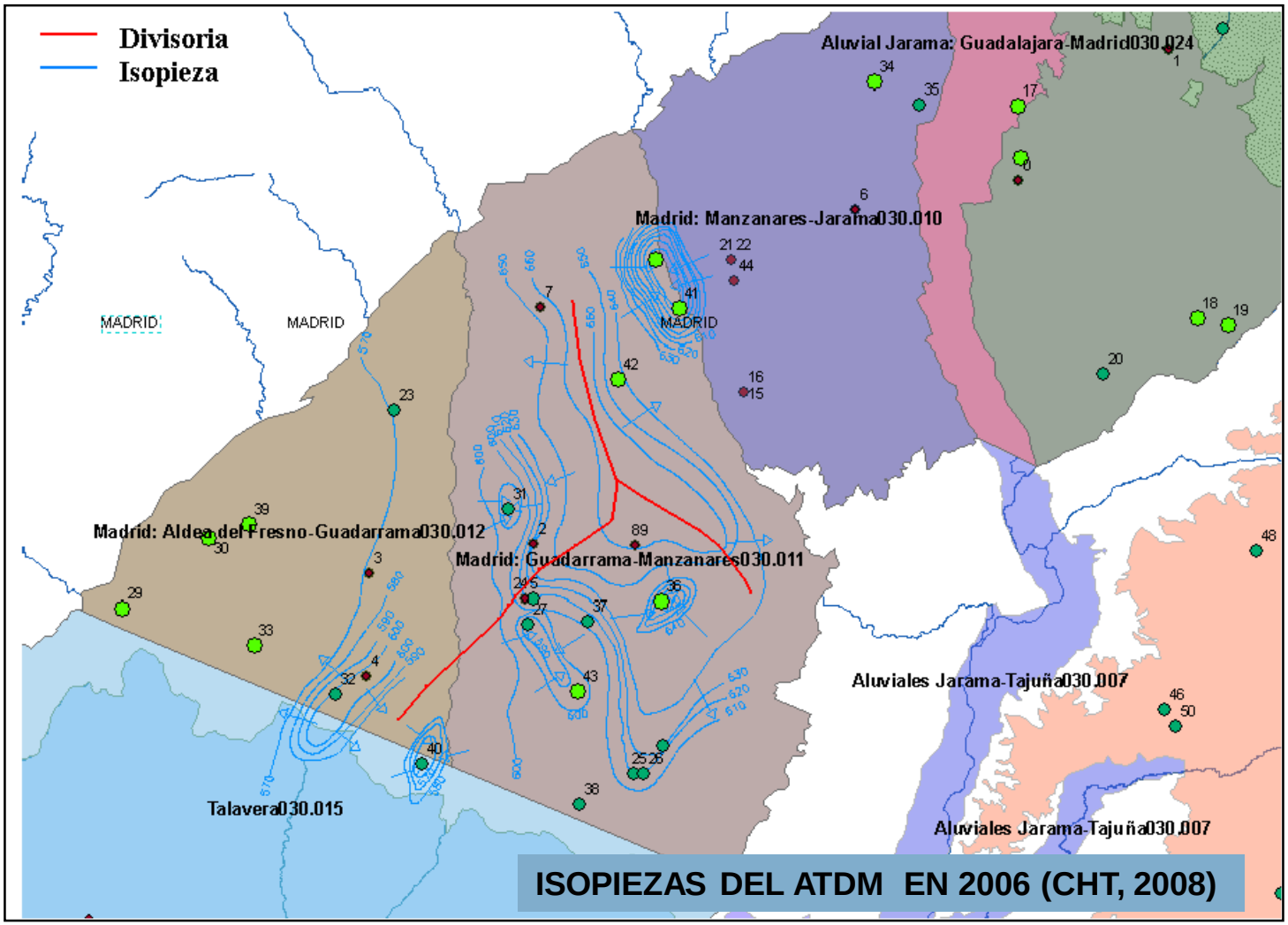
EVOLUCIÓN PROFUNDIDAD NIVEL PIEZOMÉTRICO DEL ACUÍFERO TERCIARIO DETRÍTICO DE MADRID A DISTINTAS PROFUNDIDADES (red pozos CYII)



✓ **LOS EFECTOS DE LA EXPLOTACIÓN DEL ACUÍFERO TERCIARIO DETRÍTICO DE MADRID REALIZADA POR CANAL DE ISABEL II SE CENTRAN EN PROFUNDIDADES SUPERIORES A 150 m**

CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS

POZO	PROFUNDIDAD (m) POZO	1er FILTRO	
MJ-1			
PIEZÓMETRO	**PROFUNDIDAD (m)**	**ZONA FILTRANTE (m)**	**DISTANCIA AL POZO (m)**
PPM-1	50	25 - 35	200
PPM-2	150	120 – 140	200
PPM-3	300	270 – 294	200



ISOPIEZAS DEL ATDM EN 2006 (CHT, 2008)

✓ **LOS PRINCIPALES USUARIOS DEL ATDM SE SITUAN EN LOS INTERFLUVIOS GUADARRAMA-MANZANARES Y MANZANARES-JARAMA**

➢ MEDIDA PARA HACER UNA GESTIÓN MÁS SOSTENIBLE DEL ACUÍFERO TERCIARIO DETRÍTICO DE MADRID:

RECARGA ARTIFICIAL

LA RECARGA ARTIFICIAL COMO MEDIDA PARA CONSEGUIR EL BUEN ESTADO CUANTITATIVO DEL ATDM

➢ **1.- PROPUESTAS DEL PROGRAMA DE RECARGA ARTIFICIAL DE ACUÍFEROS EN CUENCAS INTERCOMUNITARIAS (MIMAM – ITGE, 2000)**

UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	PROBLEMÁTICA	PROCEDENCIA DEL AGUA	VOLUMEN POTENCIALMENTE RECARGABLE	OBJETIVO
03.05.1	**REDUCIR DESCENSOS TEMPORALES EN LOS NIVELES PIEZOMÉTRICOS**	**EXCEDENTES RÍOS JARAMA, GUADARRAMA Y ALBERCHE**	**10 – 15 Hm^3/año** **(CAUDAL TOTAL 1m^3/s, EN 10 POZOS, 100 l/s POR POZO)**	**INCREMENTO GARANTÍA SUMINISTRO ABASTECIMIENTO CANAL DE ISABEL II**

LA RECARGA ARTIFICIAL COMO MEDIDA PARA CONSEGUIR EL BUEN ESTADO CUANTITATIVO DEL ATDM

➢ **2.- ESQUEMA PROVISIONAL DE TEMAS IMPORTANTES DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO (2008)**

FICHA 2.03. PROTECCIÓN ACUÍFERO TERCIARIO DETRÍTICO DE MADRID COMO RESERVA ESTRATÉGICA DE RECURSOS HÍDRICOS

"*Para mejorar y proteger el* ***estado cuantitativo*** *de las masas de agua subterránea del ATDM, evitando con ello que los efectos de una mayor explotación puedan afectar a los objetivos medioambientales de la misma, estarían entre otras:*

- ✓ ***Recarga artificial de los acuíferos mediante inyección profunda. Teniendo en cuenta, que esto podría suponer una regulación adicional de los recursos superficiales, ya que la inyección profunda requeriría de la construcción de balsas que permitieran disponer de agua en cantidad y calidad para inyectar.***"

LA RECARGA ARTIFICIAL COMO MEDIDA PARA CONSEGUIR EL BUEN ESTADO CUANTITATIVO DEL ATDM

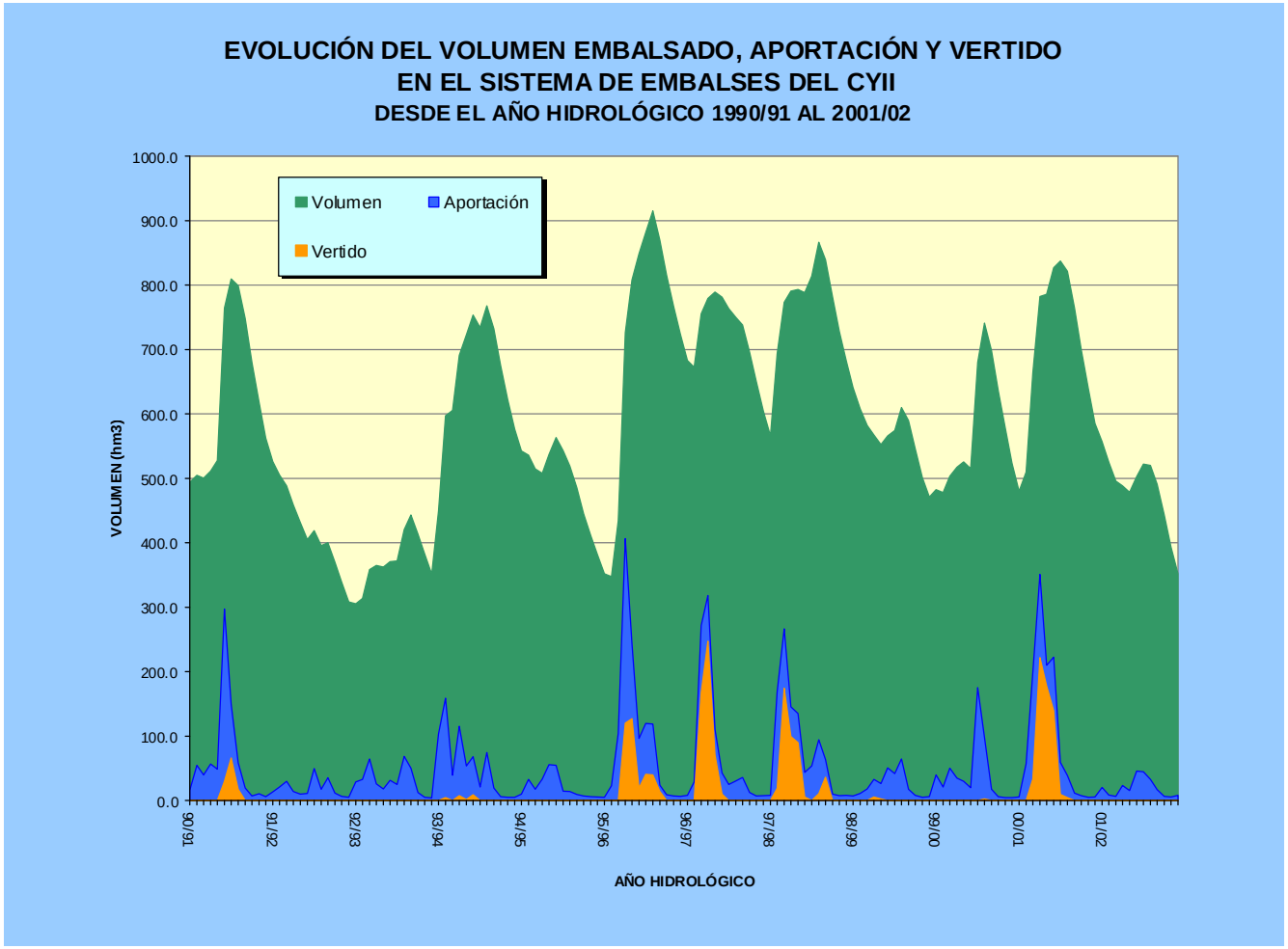
2.- ESQUEMA PROVISIONAL DE TEMAS IMPORTANTES DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO (2008)

FICHA 4.05. MEJORA DE LA PROTECCIÓN DE LAS MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA

"*Para mejorar y proteger el estado cuantitativo de las masas de agua subterránea, evitando con ello que los efectos de una mayor explotación puedan afectar a los objetivos medioambientales de la misma, serían, entre otras:*

- ✓ ***Aumentar la recarga natural que se produce en los acuíferos, a partir de la recarga artificial de los acuíferos. Esta recarga puede incrementarse, simplemente, con el hecho de circular durante un mayor tiempo el agua superficial por el cauce de los ríos, y aumentando, a su vez, su retención en el cauce, o bien, mediante la inyección de agua a través de sondeos que alcancen la profundidad del acuífero. Este último sistema se está poniendo en marcha por parte del Canal YII en los campos de explotación que tiene establecidos en la Comunidad de Madrid*."**

▪ ¿EXISTE AGUA, EN VOLUMEN Y CALIDAD REQUERIDOS, PARA HACER LA RECARGA ARTIFICIAL?



✓ **CUANDO SE PREVEAN DESEMBALSES POR SEGURIDAD HIDROLÓGICA, SE DISPONDRÍA DE RECURSOS PARA APLICAR EN LA RECARGA ARTIFICIAL**

RECARGA ARTIFICIAL PROFUNDA EN EL ACUÍFERO TERCIARIO DETRÍTICO DE MADRID: PROGRAMA DE TRABAJO

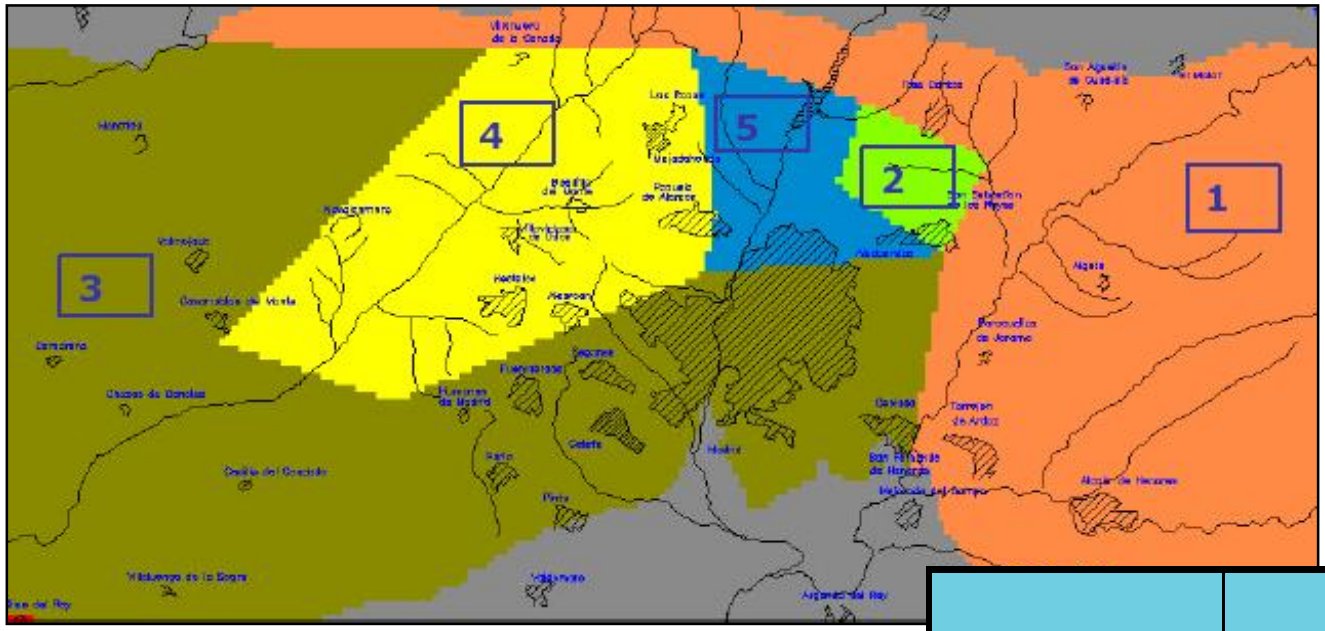
- **FASE 1. ESTUDIO DE VIABILIDAD Y DISEÑO DE INFRAESTRUCTURAS**
- **FASE 2. PRUEBAS EXPERIMENTALES**
- **FASE 3. IMPLEMENTACIÓN POZOS ASR EN RED DE POZOS DEL CYII**

➢ FASE 1.- ESTUDIO DE VIABILIDAD Y DISEÑO DE INFRAESTRUCTURAS

- ✓ 1.- MODELO DE FLUJO
- ✓ 2.- COMPATIBILIDAD GEOQUÍMICA AGUA RECARGA – AGUA FORMACIÓN
- ✓ 3.- DISEÑO DE INFRAESTRUCTURAS

1.- MODELO DE FLUJO

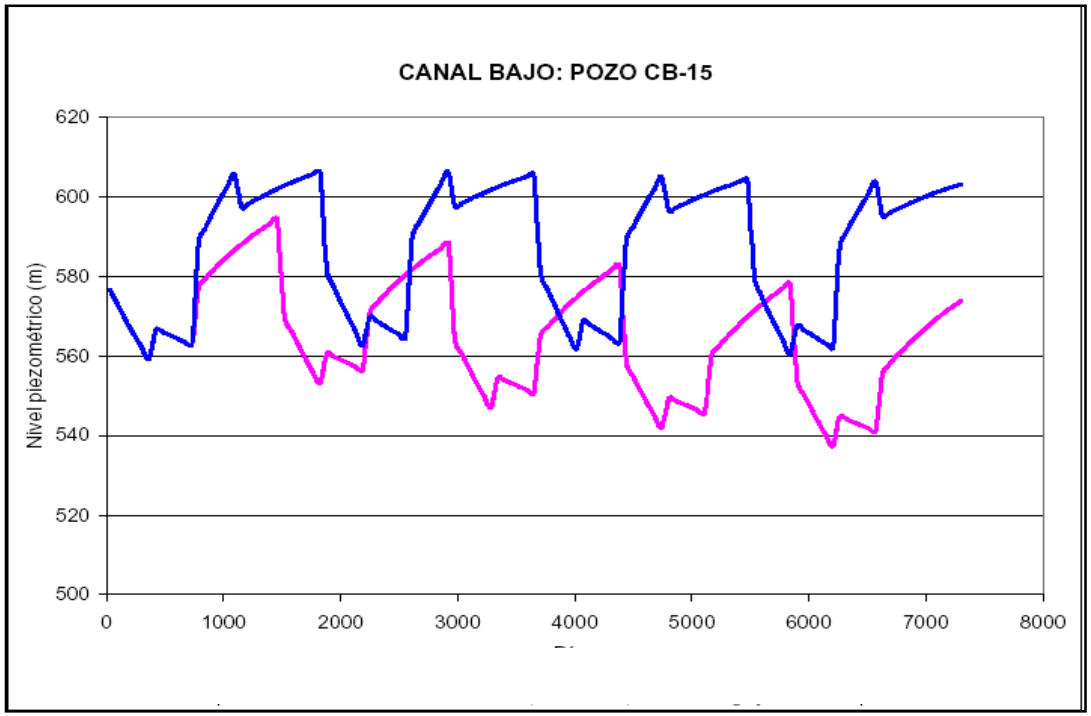
✓ **PARÁMETROS HIDRÁULICOS DEL ACUÍFERO, A PARTIR DE LA RECALIBRACIÓN DEL FLUJO EN LA ZONA DE APROVECHAMIENTO DE CANAL DE ISABEL II**



ZONIFICACIÓN	PARÁMETRO		
	S (%) capa superior	K_v (m/d)	K_h (m/d)
ZONA 1	0,60	0,03	0,06
ZONA 1	0,90	0,05	0,09
ZONA 3	1,50	0,08	0,15
ZONA 4	2,00	0,10	0,20
ZONA 5	3,00	0,15	0,30

1.- MODELO DE FLUJO

RESULTADOS HIPÓTESIS CON RECARGA ARTIFICIAL



1 AÑO DE BOMBEO AL 100 %, 1 AÑO AL 60 % Y 2 AÑOS RECUPER.

1 AÑO DE BOMBEO AL 100 % , 1 AÑO AL 60 %, 1 AÑO RECARGA, 3 AÑOS RECUPERERACIÓN

1.- MODELO DE FLUJO

❑ **CONCLUSIONES DE LA MODELIZACIÓN:**
(en relacíón con la recarga artificial)

➢ **LA RECARGA ARTIFICIAL ACTÚA COMO UNA MODIFICACIÓN DE LA EXTRACCIÓN NETA, VARIANDO EL TIEMPO NECESARIO PARA LA RECUPERACIÓN.**

2.- COMPATIBILIDAD GEOQUÍMICA AGUA RECARGA – AGUA FORMACIÓN

CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS EN LA RECARGA ARTIFICIAL

PARÁMETRO	AGUA DE RECARGA	C. VALVERDE	FE-1R	LA CABAÑA
CONDUCTIVIDAD (µs/cm)	90.10	291.00	260.00	268.00
pH	7.49	7.79		8.20
Nitratos (mg/l)	1.82	2.82	4.81	9.26
Cloruros (mg/l)	13.90	12.70	11.60	12.90
Sílice (mg/l)	<3,0	37.10	40.00	24.40
Sulfatos (mg/l)	<7,5	< 7,5	<7,5	9.20
Calcio (mg/l)	8.17	42.30	41.35	8.80
Magnesio (mg/l)	1.61	4.58	3.06	1.39
Sodio (mg/l)	4.91	35.52	24.42	49.30
Potasio (mg/l)	<1	1.31	1.19	< 1
Alcalinidad (mg/l)		148.30		114.50
Dureza (ºF)	2.70	10.00	11.60	2.70
Arsénico (µg/)	<2,5	7.54	7.20	12.40
Fosfatos (mg/l)	-		<0,027	
Hierro (µg/l)	<50		60.30	
Manganeso (µg/l)	<25		<25	
THM's (µg/l)	21.20	0.00	0.00	0.00
Plaguicidas	0.00			
Nitritos (mg/l)	<0,06	< 0,06	<0,06	< 0,06
Amonio (mg/l)	0.39	< 0,2	<0,20	< 0,2
Aluminio (mg/l)	<50		<50	
COT (mg/l)	1.30	< 0,4	<1	< 0,4
Tritio (µg/l)	2.60		<2,7	
Total HAP (µg)	0.00		0.00	

2.- COMPATIBILIDAD GEOQUÍMICA AGUA RECARGA – AGUA FORMACIÓN

- **ESTUDIO DE LA GENERACIÓN DE PRECIPITADOS POR LA MEZCLA DE AGUA DE RECARGA – AGUA ACUÍFERO – MATRIZ ACUÍFERO. REDUCCIÓN DE LA POROSIDAD Y PERMEABILIDAD DEL ACUÍFERO**

- **SIMULACIÓN MEDIANTE CÓDIGO PHREEQC DE LOS EFECTOS DE LA MEZCLA DE AGUAS E INTERACCIÓN CON MATRIZ ACUÍFERO. CÁLCULO DE ÍNDICES DE SATURACIÓN**

2.- COMPATIBILIDAD GEOQUÍMICA AGUA RECARGA – AGUA FORMACIÓN

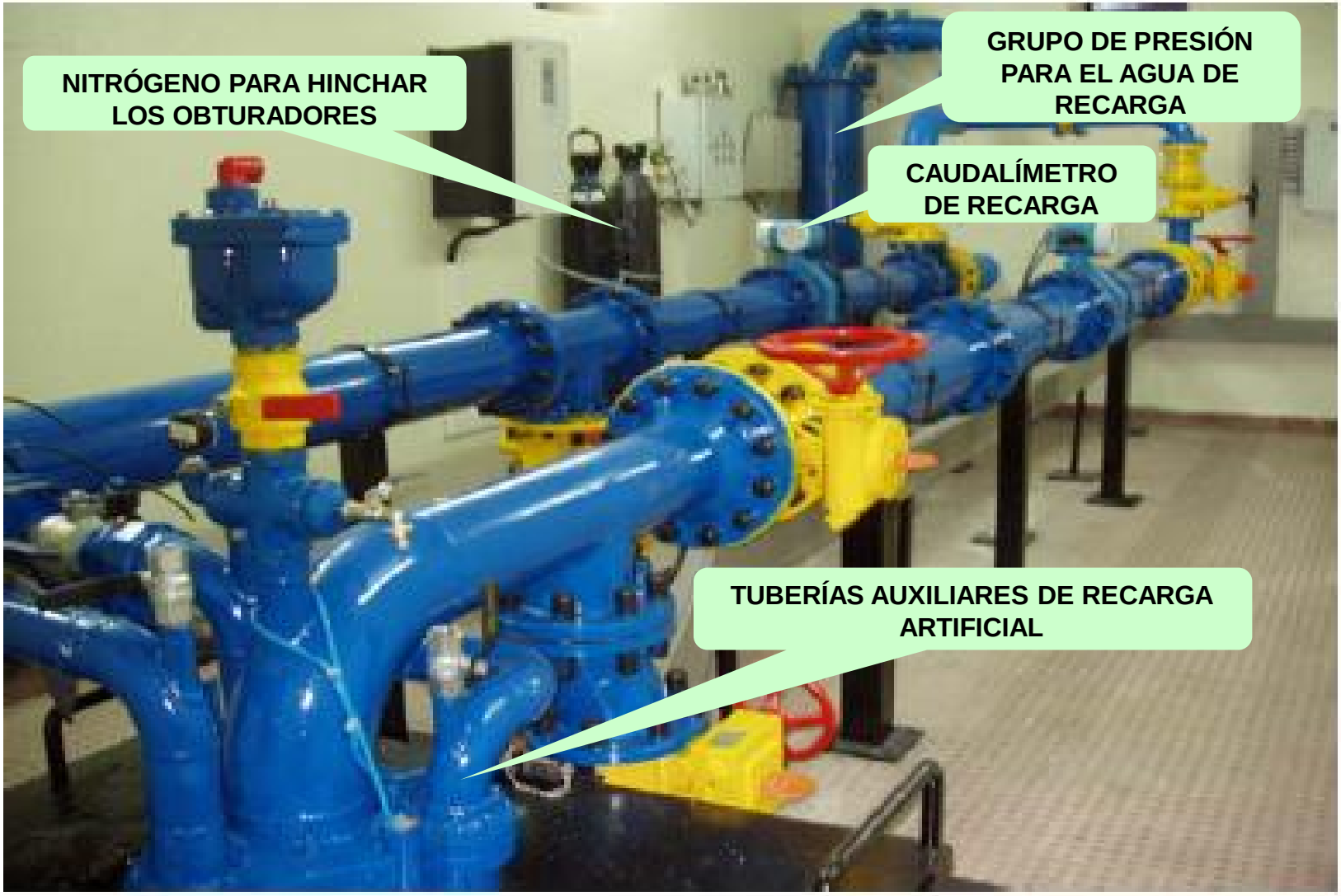
FASE MINERAL	INDICE DE SATURACÍÓN	
	AGUA DE RECARGA	AGUA ACUÍFERO
ANHIDRITA	-3,42	-4,20
ARAGONITO	-1,59	-0,59
CALCITA	-1,43	-0,44
DOLOMITA	-3,50	-1,25
Fe(OH) (a)	**1,73**	**1,58**
GOETHITA	**7,02**	**7,29**
YESO	-3,16	-3,96
HALITA	-8,75	-812

FASE MINERAL	INDICE SATURACIÓN MEZCLA A. REGARGA -A. ACUÍFERO (50 %)
ANHIDRITA	-3,96
ARAGONITO	-0,99
CALCITA	-0,84
DOLOMITA	-2,12
Fe(OH) (a)	**0,00**
GOETHITA	**5,50**
YESO	-3,71
HALITA	-8,21

3.- DISEÑO DE INFRAESTRUCTURAS

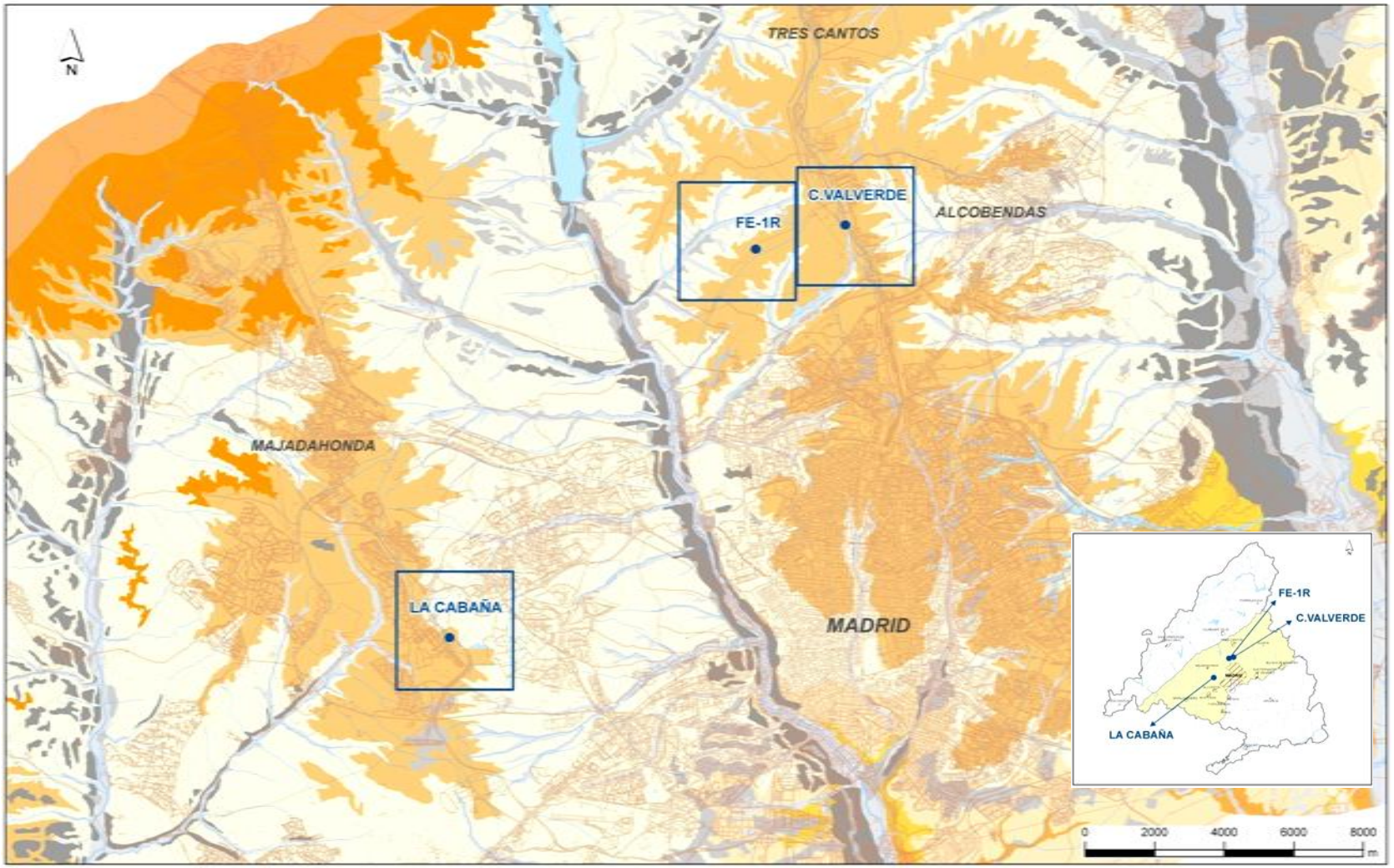
- **PRINCIPALES ELEMENTOS A CONSIDERAR EN EL DISEÑO:**
  - **PROFUNDIDAD NIVEL ESTÁTICO: 160 – 180 m**
  - **CONTROL CAÍDA AGUA DE RECARGA EN EL INTERIOR DEL POZO**
  - **SISTEMA DE DESARROLLO DEL POZO DESPUÉS DE LA RECARGA ARTIFICIAL**

3.- DISEÑO DE INFRAESTRUCTURAS



FASE 2. PRUEBAS EXPERIMENTALES

ESTACIONES EXPERIMENTALES DE RECARGA ARTIFICIAL



ESTACIÓN DE RECARGA ARTIFICIAL FE-1 R

RED DE CONTROL PIEZOMÉTRICO Y DE CALIDAD

ESTACIÓN DE RECARGA ARTIFICIAL FE-1 R

- **CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA DE RECARGA.**

(PREVIO A LA ENTRADA EN LA ESTACIÓN DE RECARGA: A LA SALIDA AGUA DE E.T.A.P.)

PARAMETRO	FRECUENCIA (*)
COLOR	(*)
TURBIDEZ	(*)
Ph	(*)
pHs	1 A LA SEMANA
CONDUCTIVIDAD	(*)
OXIDA. AL PERMANG. (D.Q.O. o TOC)	1 A LA SEMANA
NITRITOS	(*)
AMONIACO	(*)
ALUMINIO	(*)
MANGANESO	1 A LA SEMANA
HIERRO	1 A LA SEMANA
SABOR	(*)
COLOR	(*)
CLORO LIBRE RESIDUAL	(*)
CLORO COMBINADO RESIDUAL	(*)
COLIFORMES TOTALES	(*)
E.COLI	(*)
DIOXIDO DE CLORO	(*)
CLORITO	(*)
CLOSTRIDIUM SULFITO REDUCTOR/ CLOSTRIDIUM PERFRINGENS (incluidos esporas)	(*)
RECUENTO COLONIAS A 22 º C	(*)

(*) La frecuencia en el análisis de estos parámetros será la regulada, como mínimo para el Autocontrol en el R.D. 140/2003, en función del volumen

CONTROL ANALÍTICO DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL ACUÍFERO CON LAS OPERACIONES DE RECARGA ARTIFICIAL ESTABLECIDO EN EL CONDICIONADO DE LA AUTORIZACIÓN EMITIDO POR LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO

GRUPO I	GRUPO II	GRUPO III	OTROS
pH	HIERRO DISUELTO	FLUORUROS	ACRILAMIDA
COLOR	MANGANESO	BORO	ALUMINIO
SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN	COBRE	ARSÉNICO	ANTIMONIO
CONDUCTIVIDAD	ZINC	CADMIO	BENCENO
TEMPERATURA	SULFATOS	CROMO TOTAL	BROMATO
NITRATOS	AGENTES TENSOACTIVOS	PLOMO	CIANOTOXINAS (Microcistina en particular)
CLORUROS	FENOLES	SELENIO	CLORO COMBINADO RESIDUAL
FOSFATOS	N. KJELDAHL	MERCURIO	CLORURO DE VINILO
DQO	COLIFORMES TOTALES	BARIO	COBRE
DBO_5	COLIFORMES FECALES	CIANUROS	1,2 – DICLOROETANO
AMONIO		HIDROCARBUROS DISUELTOS O EN EMULSION	EPICLORHIDRINA
		PAH's	MANGANESO

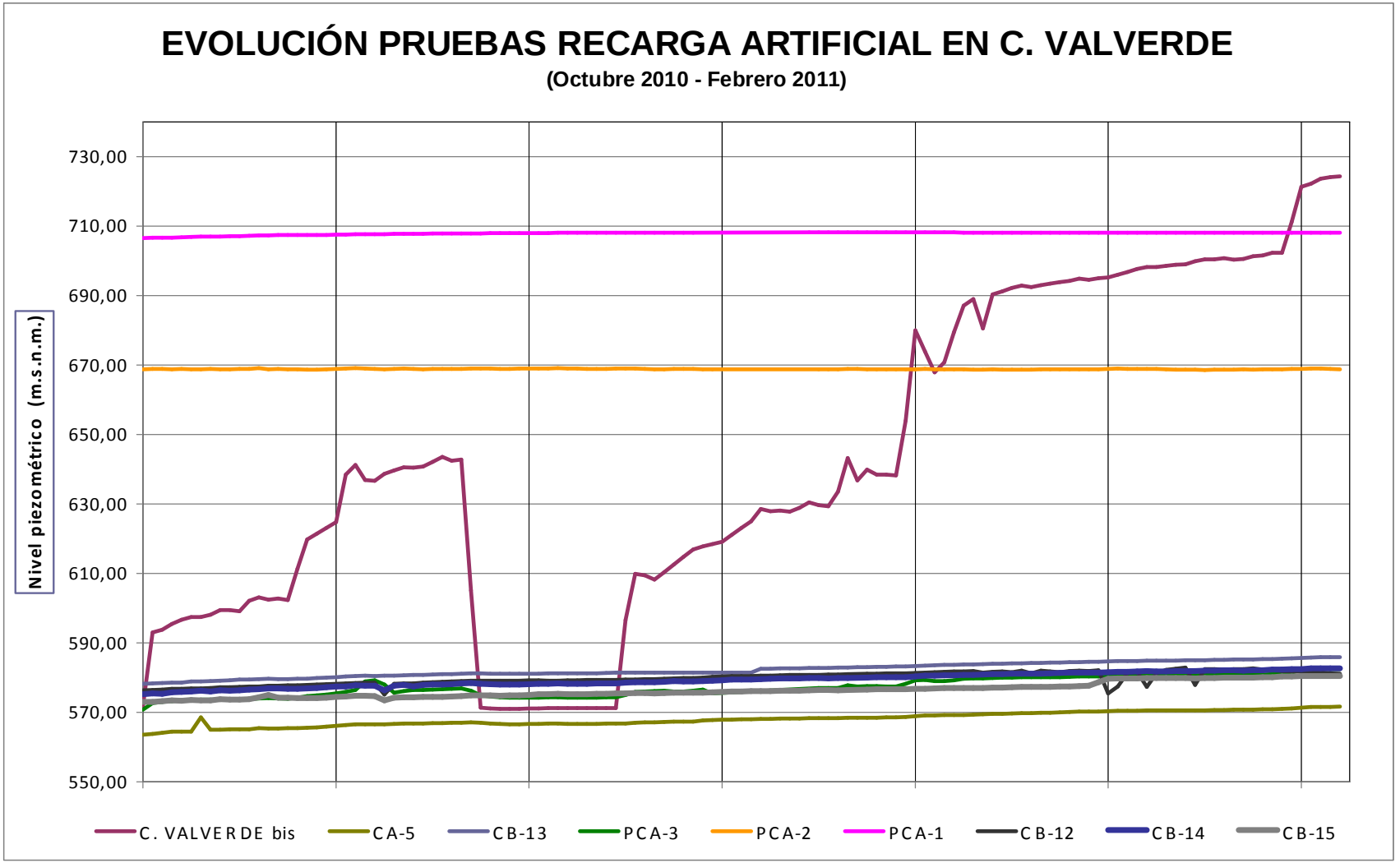
GRUPO III	OTROS
PLAGUICIDAS	NIQUEL
SUSTANCIAS EXTRAIBLES AL CLOROFORMO	NITRITOS
ESTREPTOCOCOS FECALES	THM's
SALMONELLAS	TOC
	TRICLOROETANO+TETRACLOROETENO
	TURBIDEZ
	E. COLI
	ENTEROCOCO
	CLOSTRIDIUM PERFRINGENS
	BACTERIAS COLIFORMES
	RECUENTO DE COLONIAS A 22º C

➢ FASE 2. PRUEBAS EXPERIMENTALES

PROGRAMA DE TRABAJO DE LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES DE RECARGA ARTIFICIAL

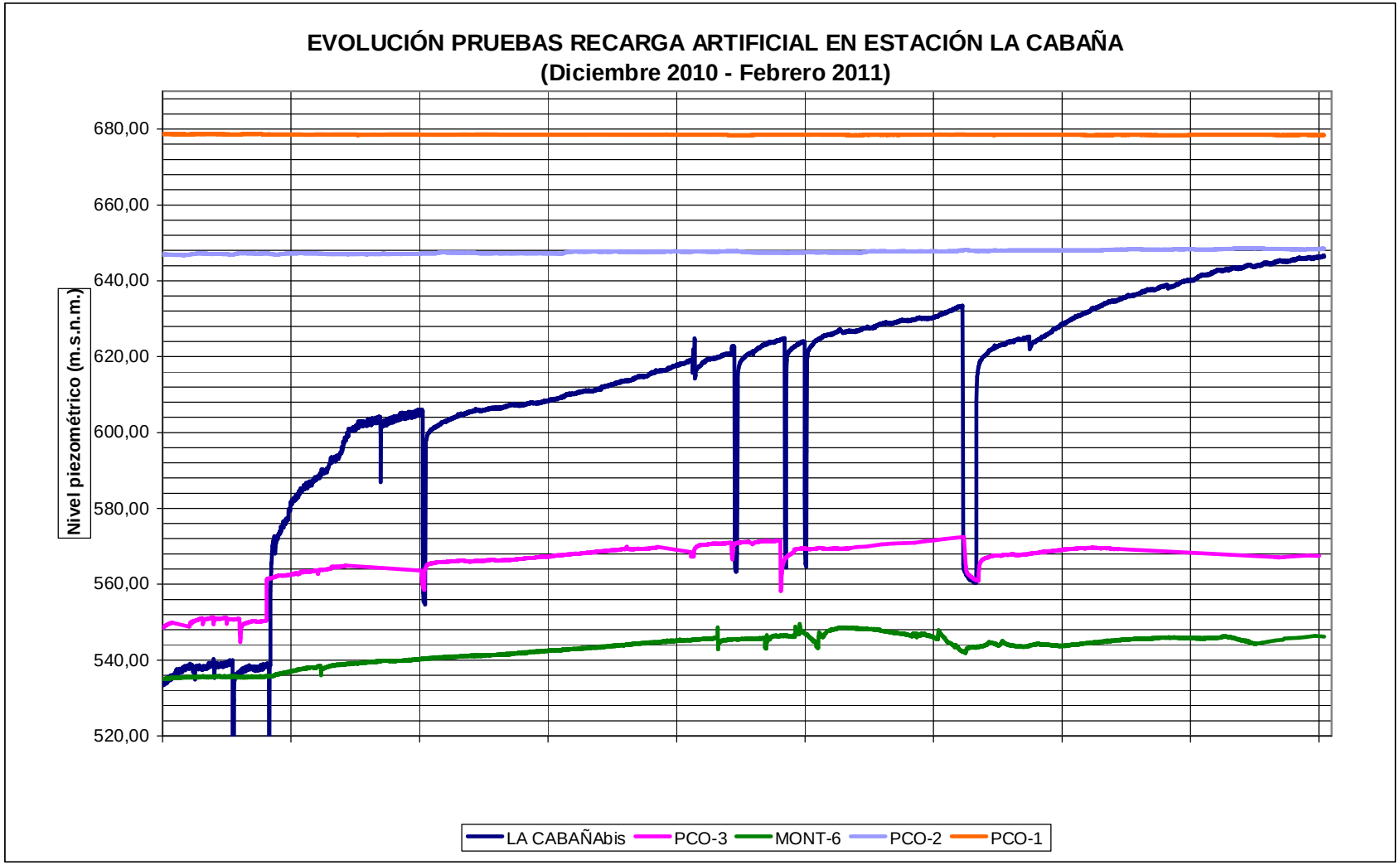
ACTIVIDAD	2010				2011											
	SEPT	OCTU	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCTU	NOV	DIC
BOMBEO DE LIMPIEZA POZO RECARGA. CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA																
ESTABILIZACIÓN DE NIVELES PIEZOMÉTRICOS EN POZO DE RECARGA																
CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL																

ACTIVIDAD	2012							
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO
BOMBEO DE LIMPIEZA POZO RECARGA. CONTROL DE CALIDAD DEL AGUA								
ESTABILIZACIÓN DE NIVELES PIEZOMÉTRICOS EN POZO DE RECARGA								
CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL								



1er CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL:

- ✓ **VOLUMEN RECARGADO: 188.000 m³**
- ✓ **CAUDAL: 25 L/s**



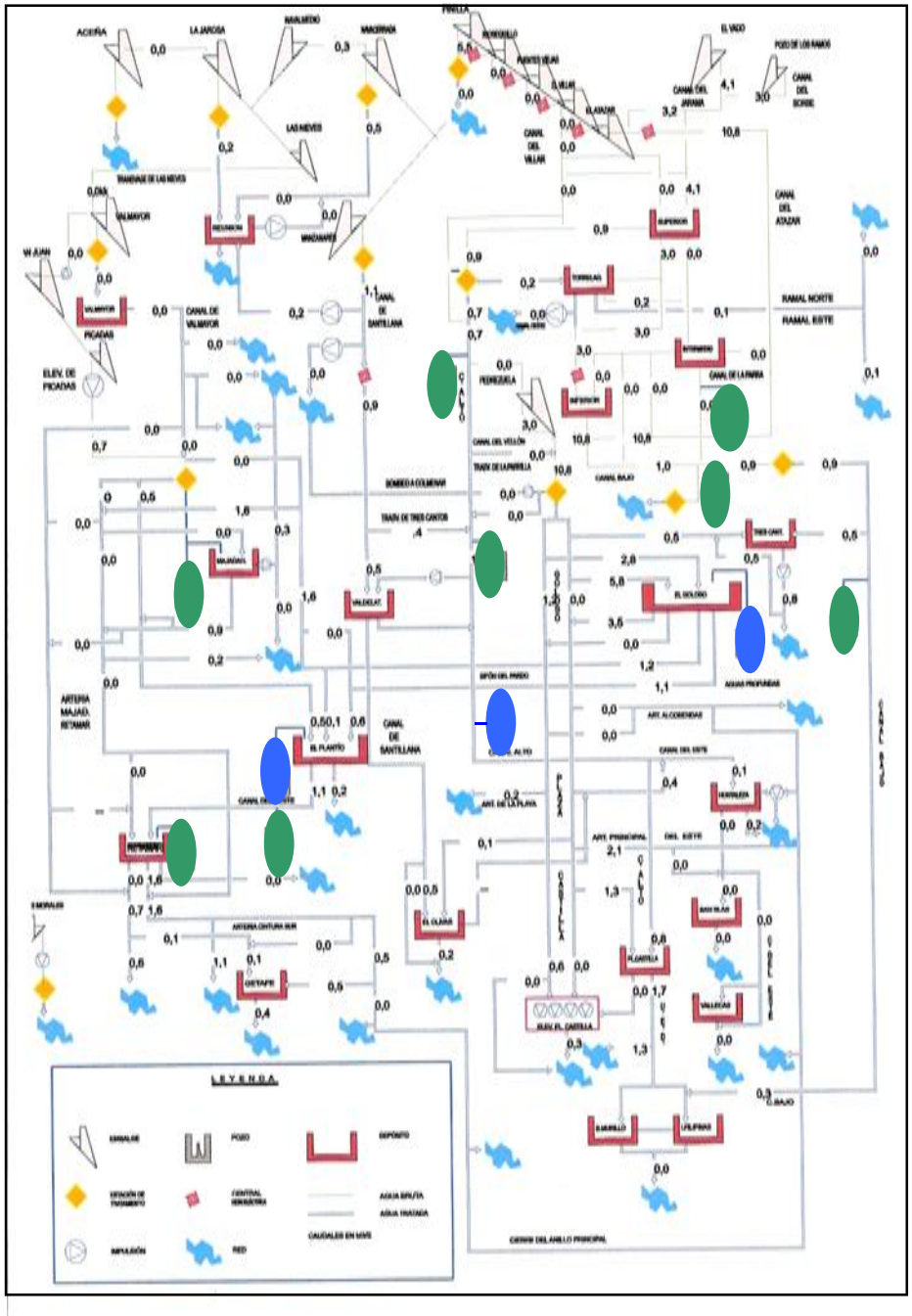
1er CICLO DE RECARGA ARTIFICIAL:

- ✓ **VOLUMEN RECARGADO: 97.507 m³**
- ✓ **CAUDAL: 15 L/s**

CONTROL ANALÍTICO CALIDAD AGUA ACUÍFERO ANTES DEL INICIO DE LAS PRUEBAS Y DEL AGUA DE RECARGA

PARÁMETRO	AGUA DE RECARGA	C. VALVERDE	FE-1R	LA CABAÑA	PF-6	PCO-3
CONDUCTIVIDAD (µs/cm)	90.10	291.00	260.00	268.00	268.00	236.00
pH	7.49	7.79		8.20		8.89
Nitratos (mg/l)	1.82	2.82	4.81	9.26	6.87	5.79
Cloruros (mg/l)	13.90	12.70	11.60	12.90	17.80	-
Sílice (mg/l)	<3,0	37.10	40.00	24.40	41.20	12.10
Sulfatos (mg/l)	<7,5	< 7,5	<7,5	9.20	<7,5	13.50
Calcio (mg/l)	8.17	42.30	41.35	8.80	43.10	4.93
Magnesio (mg/l)	1.61	4.58	3.06	1.39	4.96	2.93
Sodio (mg/l)	4.91	35.52	24.42	49.30	0.60	9.48
Potasio (mg/l)	<1	1.31	1.19	< 1	1.14	
Alcalinidad (mg/l)		148.30		114.50		
Dureza (ºF)	2.70	10.00	11.60	2.70	12.80	1.40
Arsénico (µg/)	<2,5	7.54	7.20	12.40	<2,5	<25
Fosfatos (mg/l)	-		<0,027		<0,027	<0,027
Hierro (µg/l)	<50		60.30		<50	<50
Manganeso (µg/l)	<25		<25		91.20	<25
THM's (µg/l)	21.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Plaguicidas	0.00				0.00	-
Nitritos (mg/l)	<0,06	< 0,06	<0,06	< 0,06	<0,036	0.09
Amonio (mg/l)	0.39	< 0,2	<0,20	< 0,2	<0,21	<0,2
Aluminio (mg/l)	<50		<50			<50
COT (mg/l)	1.30	< 0,4	<1	< 0,4		2.20
Tritio (µg/l)	2.60		<2,7		<2,6	<2,8
Total HAP (µg)	0.00		0.00		0.00	0.00

➢FASE 3. IMPLEMENTACIÓN POZOS ASR EN RED DE POZOS DEL CYII



CAMPO DE POZOS

CAMPO DE POZOS CON ESTACIÓN DE RECARGA ARTIFICIAL

✓ APLICACIÓN AL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE CANAL DE ISABEL II

➢ ESTUDIO DE VIABILIDAD: ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS

✓ **EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO DE INVERSIÓN**

✓ **PRESERVACIÓN DERECHOS CYII**

PLAN DE RECARGA ARTIFICIAL DEL ACUÍFERO TERCIARIO DETRÍTICO DE MADRID A TRAVÉS DE POZOS PROFUNDOS

OBJETIVOS:

- **CONTRIBUIR A LA SOSTENIBILIDAD DEL ACUÍFERO**
- **APROVECHAR CAUDALES NO REGULADOS EN LOS EMBALSES SUPERFICIALES ALMACENÁNDOLOS EN EL ACUÍFERO**
- **CONSEGUIR UN APROVECHAMIENTO ADICIONAL DE 20-30 Hm^3 EN AÑOS DE SEQUÍA**

Canal de Isabel II

www.cyii.es