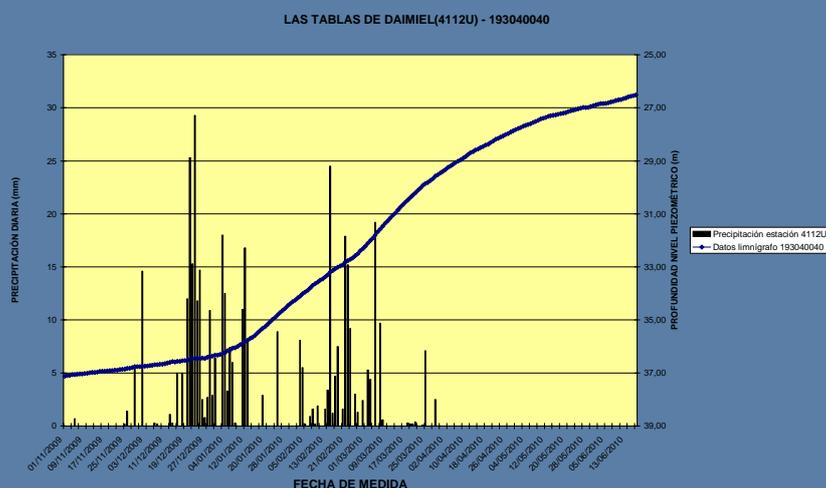


# ENCOMIENDA DE GESTIÓN PARA LA REALIZACIÓN DE TRABAJOS CIENTÍFICO-TÉCNICOS DE APOYO A LA SOSTENIBILIDAD Y PROTECCIÓN DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

## Actividad 3: Seguimiento y asistencia técnica en el proceso de planificación hidrológica



Estudio hidrometeorológico y análisis del efecto del período húmedo 2009/10 en los acuíferos de la cuenca alta del río Guadiana

Septiembre 2010



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE CIENCIA  
E INNOVACIÓN

MINISTERIO  
DE MEDIO AMBIENTE  
Y MEDIO RURAL Y MARINO



Instituto Geológico  
y Minero de España

DIRECCIÓN GENERAL  
DEL AGUA

# **ESTUDIO HIDROMETEOROLÓGICO Y ANÁLISIS DEL EFECTO DEL PERIODO HÚMEDO 2009/10 EN LOS ACUÍFEROS DE LA CUENCA ALTA DEL RÍO GUADIANA**

## **Autores del Informe:**

Miguel Mejías Moreno. Instituto Geológico y Minero de España (IGME)  
Luis Martínez Cortina. Instituto Geológico y Minero de España (IGME)  
María Elena Galindo Rodríguez. Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

## **Colaboración:**

José Luis Armayor Cachero. Investigación y Desarrollo de Recursos Naturales, S. A. (IDRENA)  
Álvaro García Camacho. Investigación y Desarrollo de Recursos Naturales, S. A. (IDRENA)

## **Coordinación de los trabajos:**

Luis Martínez Cortina. Instituto Geológico y Minero de España (IGME)  
Loreto Fernández Ruiz. Instituto Geológico y Minero de España (IGME)

Septiembre de 2010

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	4
2.	DATOS DE PARTIDA .....	4
3.	TRATAMIENTO DE LOS DATOS .....	8
3.1.	PRECIPITACIÓN .....	8
3.2.	TEMPERATURA .....	11
3.3.	CÁLCULO DE LA LLUVIA ÚTIL .....	13
4.	RESULTADOS DEL ESTUDIO HIDROMETEOROLÓGICO.....	13
5.	ESTIMACIÓN DE LA INFILTRACIÓN POR MASb.....	21
5.1.	DATOS DE PARTIDA.....	21
5.2.	CÁLCULO DE LA INFILTRACIÓN.....	21
5.2.1.	METODOLOGÍA .....	21
5.2.2.	PARÁMETROS DE CÁLCULO .....	24
5.2.3.	FACTOR DE SUPERFICIE PERMEABLE .....	25
5.2.4.	RESULTADOS .....	25
6.	ANÁLISIS ZONAL DE LA EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA.....	27
7.	CONCLUSIONES .....	47

## **1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS**

El presente informe se emite a solicitud de la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Guadiana. Forma parte de los trabajos previstos en el “Acuerdo para la Encomienda de Gestión por el Ministerio de Medio Ambiente (Dirección General del Agua), al Instituto Geológico y Minero de España (IGME), del Ministerio de Educación y Ciencia, para la realización de trabajos científico-técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas”, firmado por ambos organismos el 26 de septiembre de 2007.

La elaboración del informe se encuadra en el Acuerdo de Modificación de Actuaciones aprobado, con fecha 7 de julio de 2009, por la comisión de seguimiento de la Encomienda mencionada en el párrafo anterior.

El estudio recoge un análisis preliminar del efecto que ha tenido el periodo húmedo acaecido en la primera mitad del año hidrológico 2009/10 en los acuíferos de la cuenca alta del Guadiana. Partiendo de los datos de los que se ha podido disponer a corto plazo (pluviometría, temperatura y niveles piezométricos) se ha elaborado en primer lugar un estudio hidrometeorológico, con el objetivo de obtener las isoyetas y la lluvia útil por masas de agua subterránea (MASb) para cada tipo de año climatológico. Posteriormente se ha realizado un cálculo estimativo de la infiltración para algunas MASb y un análisis zonal de la evolución piezométrica.

Se pretende que este análisis sienta las bases de un estudio futuro más amplio y con mayor proyección temporal, en el que se estudie con detalle las peculiaridades de la recarga en las masas de agua subterránea de la cuenca alta del Guadiana en secuencias húmedas, en la situación actual de régimen alterado.

En el estudio hidrometeorológico se han incluido todas las MASb que componen el Subsistema Alto Guadiana, así como la MASb 040.008 Bullaque.

## **2. DATOS DE PARTIDA**

Los datos de partida corresponden a 88 estaciones meteorológicas pertenecientes a la zona mencionada, situadas en las provincias de Albacete, Ciudad Real, Cuenca y Toledo. Dichas estaciones se reparten entre las masas de agua subterránea, figura 1.

Los datos corresponden a dos variables: precipitación y temperatura, y provienen de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). La primera variable contiene a su vez dos series: una de carácter mensual para el período 1960-2010, que incluye a las 88 estaciones, y otra de carácter diario en el período comprendido entre noviembre de 2009 y abril de 2010 que contiene datos de 10 estaciones. Las medidas de temperatura poseen carácter mensual y comprenden el período 1960-2010.

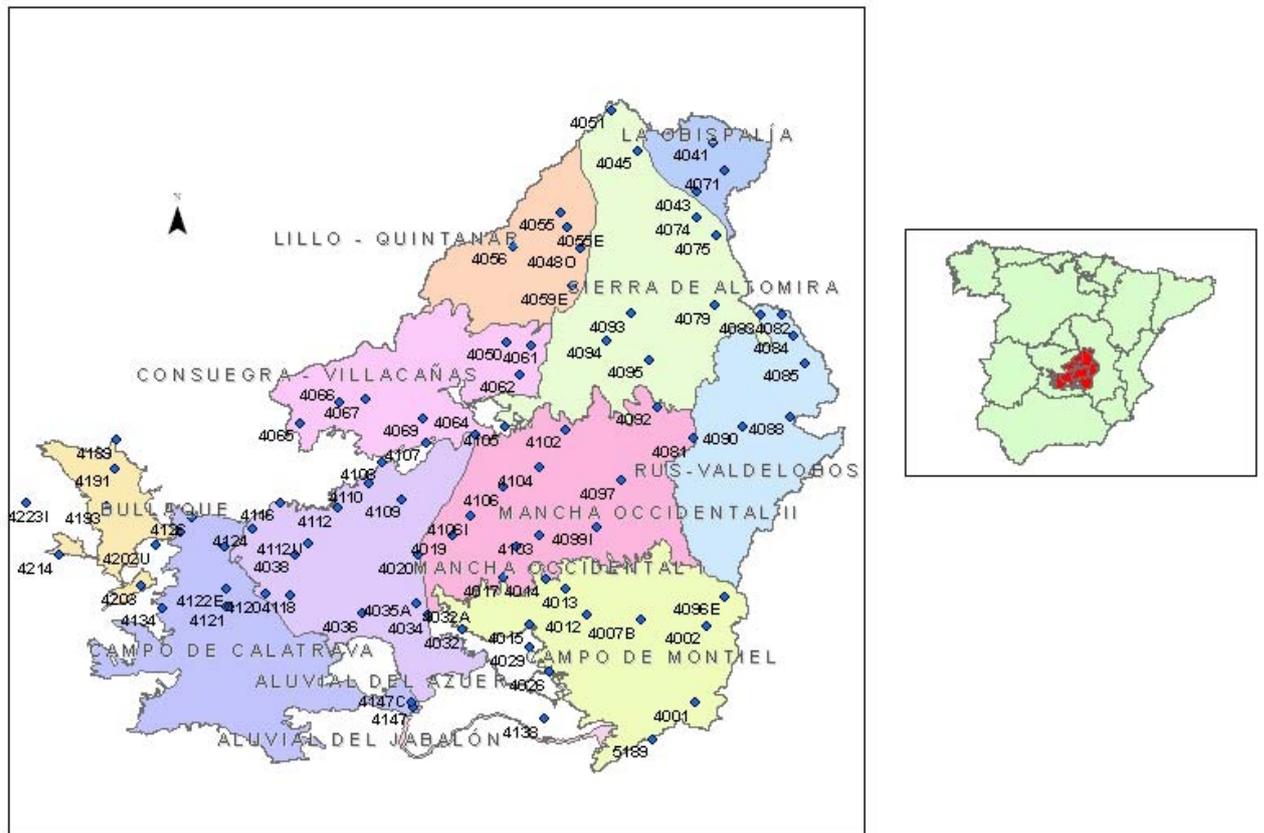


Figura 1.- Estaciones termopluviométricas y masas de agua subterránea

Una parte importante de las series, tanto de precipitación como de temperatura, están incompletas. La **Tabla 1** y la **Tabla 2** muestran los porcentajes de datos de cada estación en precipitación y temperatura respectivamente, resultantes de dividir el número de datos real de cada serie por el número  $612 = 51 \text{ años} \times 12 \text{ meses}$ , que es el número de datos que una serie completa debería contener. El completado de datos se ha llevado a cabo mediante correlación lineal.

Nombre	Porcentaje	Nombre	Porcentaje
OSSA DE MONTIEL 2	52%	FUENTE EL FRESNO	41%
MUNERA - SAN BARTOLOME- EL BONILLO	70%	VILLARTA DE SAN JUAN	92%
VIVEROS	45%	ALAMEDA DE CERVERA	98%
MEMBRILLA	36%	LAS LABORES	71%
RUIDERA	98%	SOCUELLAMOS	96%
MANZANARES - DOCTOR- ALCOLEA DE CALATRAVA	96%	PUEBLO NUEVO DEL BULLAQUE	46%
CIUDAD REAL - INSTITUTO-	76%	ARENALES DE SAN GREGORIO	83%
	98%	PUERTO LAPICE	97%
	21%	PANTANO DE TORRE DE ABRAHAM	83%
CIUDAD REAL - ESCUELA DE MAGISTERIO-	77%	HERENCIA	38%
MANZANARES - GRUPO	63%	ALCAZAR DE SAN JUAN	90%
ESCOLAR-			
TORRALBA DE CALATRAVA	94%	PEDRO MUÑOZ	38%
CARRION DE CALATRAVA	96%	CAMPO DE CRIPTANA	72%
CIUDAD REAL - AZUCARERA-	61%	PALOMARES CAMPO - LOS LLANOS-	37%
		HUERTA DE LA OBISPALIA	83%
ARGAMASILLA DE ALBA - EL SOTILLO-	45%		
PIEDRABUENA	72%	CARRASCOSA DEL CAMPO	75%
PANTANO DE PEÑARROYA	96%	NAHARROS	90%
ARGAMASILLA ALBA -	84%	VELLISCA	93%
PACHECAS-			
PIEDRABUENA - EL ROSARIO-	88%	TORRUBIA DEL CASTILLO	63%
LLANOS DEL CAUDILLO	79%	CASTILLO DE GARCIMUÑOZ	97%
DAIMIEL - LA ESPERANZA-	36%	OSA DE LA VEGA	64%
PIEDRABUENA - HORCAJUELOS-	64%	VILLALGORDO DEL	93%
		MARQUESADO	
PANTANO GASSET	98%	VILLAMAYOR DE SANTIAGO	82%
ARGAMASILLA DE ALBA	97%	POZORRUBIO SANTIAGO - TORRELEN-	55%
		VILLARES DEL SAZ	97%
LAS TABLAS DE DAIMIEL	50%	TORRUBIA DEL CAMPO - EL MONTE-	56%
ALCAZAR DE SAN JUAN -	58%	ZAFRA DE ZANCARA	41%
MACHOS-		TORRUBIA DEL CAMPO	76%
TOMELLOSO	85%	EL PROVENCIO	58%
LAS PERALOSAS	98%	SAN CLEMENTE	97%
MALAGON	95%	VARA DEL REY	49%
SOCUELLAMOS - LAS REJAS-	74%	LAS PEDROÑERAS	65%
CRISTO DEL ESPIRITU SANTO	97%		
ALCAZAR SAN JUAN -	42%	CAÑADAJUNCOSA	54%
PERDIGUERAS-		BELMONTE	68%
EL ROBLEDO	92%	LOS HINOJOSOS	21%
VILLARRUBIA DE LOS OJOS	72%	HONRUBIA	98%
FONTANAREJO	73%	CABEZAMESADA	91%
ALHAMBRA	43%	URDA	94%
LA SOLANA	90%	VILLAFRANCA DE LOS	95%
LA SOLANA - INSTITUTO-	49%	CABALLEROS	
ALHAMBRA - LA CALERA-	76%	CONSUEGRA	96%
VILLANUEVA DE LA FUENTE C.H.G.	55%	MADRIDEJOS	88%
VILLANUEVA DE LOS INFANTES	52%	MIGUEL ESTEBAN	75%
VALDEPEÑAS	55%	QUINTANAR DE LA ORDEN	94%
VALDEPEÑAS - LOS CHARCOS-	80%	PUEBLA DE ALMORADIEL	98%
CARRIZOSA	82%		

Tabla 1.- Porcentaje de datos de precipitación mensual en cada estación

Nombre	Porcentaje	Nombre	Porcentaje
OSSA DE MONTIEL 2	58%	FUENTE EL FRESNO	0%
MUNERA - SAN BARTOLOME- EL BONILLO	66%	VILLARTA DE SAN JUAN	0%
VIVEROS	0%	ALAMEDA DE CERVERA	0%
MEMBRILLA	0%	LAS LABORES	60%
RUIDERA	0%	SOCUELLAMOS	92%
MANZANARES - DOCTOR- ALCOLEA DE CALATRAVA	73%	PUEBLO NUEVO DEL BULLAQUE	0%
CIUDAD REAL - INSTITUTO-	22%	ARENALES DE SAN GREGORIO	0%
CIUDAD REAL - ESCUELA DE MAGISTERIO-	80%	PUERTO LAPICE	0%
MANZANARES - GRUPO ESCOLAR-	45%	PANTANO DE TORRE DE ABRAHAM	84%
TORRALBA DE CALATRAVA	0%	HERENCIA	0%
CARRION DE CALATRAVA	0%	ALCAZAR DE SAN JUAN	93%
CIUDAD REAL - AZUCARERA-	57%	PEDRO MUÑOZ	0%
ARGAMASILLA DE ALBA - EL SOTILLO-	42%	CAMPO DE CRIPTANA	55%
PIEDRABUENA	0%	PALOMARES CAMPO - LOS LLANOS-	38%
PANTANO DE PEÑARROYA	79%	HUERTA DE LA OBISPALIA	0%
ARGAMASILLA ALBA - PACHECAS-	80%	CARRASCOSA DEL CAMPO	0%
PIEDRABUENA - EL ROSARIO-	0%	NAHARROS	0%
LLANOS DEL CAUDILLO	73%	VELLISCA	29%
DAIMIEL - LA ESPERANZA-	35%	TORRUBIA DEL CASTILLO	0%
PIEDRABUENA - HORCAJUELOS-	0%	CASTILLO DE GARCIMUÑOZ	0%
PANTANO GASSET	57%	OSA DE LA VEGA	53%
ARGAMASILLA DE ALBA	98%	VILLALGORDO DEL	0%
LAS TABLAS DE DAIMIEL	51%	MARQUESADO	0%
ALCAZAR DE SAN JUAN - MACHOS-	0%	VILLAMAYOR DE SANTIAGO	0%
TOMELLOSO	85%	POZORRUBIO SANTIAGO - TORRELEN-	0%
LAS PERALOSAS	0%	VILLARES DEL SAZ	86%
MALAGON	61%	TORRUBIA DEL CAMPO - EL MONTE-	0%
SOCUELLAMOS - LAS REJAS-	0%	ZAFRA DE ZANCARA	0%
CRISTO DEL ESPIRITU SANTO	0%	TORRUBIA DEL CAMPO	0%
ALCAZAR SAN JUAN - PERDIGUERAS-	42%	EL PROVENCIO	0%
EL ROBLEDO	32%	SAN CLEMENTE	0%
VILLARRUBIA DE LOS OJOS	34%	VARA DEL REY	0%
FONTANAREJO	0%	LAS PEDROÑERAS	64%
ALHAMBRA	30%	CAÑADAJUNCOSA	0%
LA SOLANA	0%	BELMONTE	50%
LA SOLANA - INSTITUTO-	48%	LOS HINOJOSOS	18%
ALHAMBRA - LA CALERA-	0%	HONRUBIA	80%
VILLANUEVA DE LA FUENTE C.H.G.	0%	CABEZAMESADA	90%
VILLANUEVA DE LOS INFANTES	49%	URDA	0%
VALDEPEÑAS	0%	VILLAFRANCA DE LOS CABALLEROS	5%
VALDEPEÑAS - LOS CHARCOS-	75%	CONSUEGRA	0%
CARRIZOSA	0%	MADRIDEJOS	78%
		MIGUEL ESTEBAN	0%
		QUINTANAR DE LA ORDEN	67%
		PUEBLA DE ALMORADIEL	86%

Tabla 2.- Porcentaje de datos de temperatura mensual en cada estación

Los datos diarios de precipitación corresponden a las siguientes estaciones: Arenales de San Gregorio, Argamasilla de Alba (Pachecas), Argamasilla de Alba, Carrizosa, Las Tablas de Daimiel, Ossa de Montiel 2, San Clemente, Socuéllamos (Las Rejas), Tomelloso y Villarta de San Juan. Abarcan el período comprendido entre noviembre de 2009 y abril de 2010, con el objeto de recoger las intensas precipitaciones que tuvieron lugar en la primera mitad del año hidrológico 2009/2010, si bien en algunas de ellas no estaban todavía disponibles los datos completos del periodo mencionado, como se muestra en la **tabla 3**.

<b>Estación</b>	<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>
OSSA DE MONTIEL 2	01/11/2009	31/03/2010
ARGAMASILLA DE ALBA	01/11/2009	31/03/2010
ARGAMASILLA ALBA (PACHECAS)	01/11/2009	30/04/2010
SOCUELLAMOS (LAS REJAS)	01/11/2009	28/02/2010
TOMELLOSO	01/11/2009	31/03/2010
LAS TABLAS DE DAIMIEL	01/11/2009	31/03/2010
CARRIZOSA	01/11/2009	01/05/2010
SAN CLEMENTE	01/11/2009	01/05/2010
ARENALES DE SAN GREGORIO	01/11/2009	01/05/2010
VILLARTA DE SAN JUAN	01/11/2009	01/05/2010

*Tabla 3.-Datos diarios de precipitación*

### **3. TRATAMIENTO DE LOS DATOS**

#### **3.1. PRECIPITACIÓN**

Con el objetivo de completar las series mensuales se ha realizado un estudio de las correlaciones entre los datos de cada estación. A partir de la cercanía geográfica y teniendo en cuenta la topografía, se ha comprobado cuál es la estación completa o más completa que mejor se correlaciona con cada estación incompleta, elaborando para cada punto una serie de gráficos como el que se muestra en la figura 2.

Así, los coeficientes de correlación hallados permiten ir rellenando los huecos de cada serie incompleta, a partir de los datos de la serie completa que mejor se correlaciona con ella.

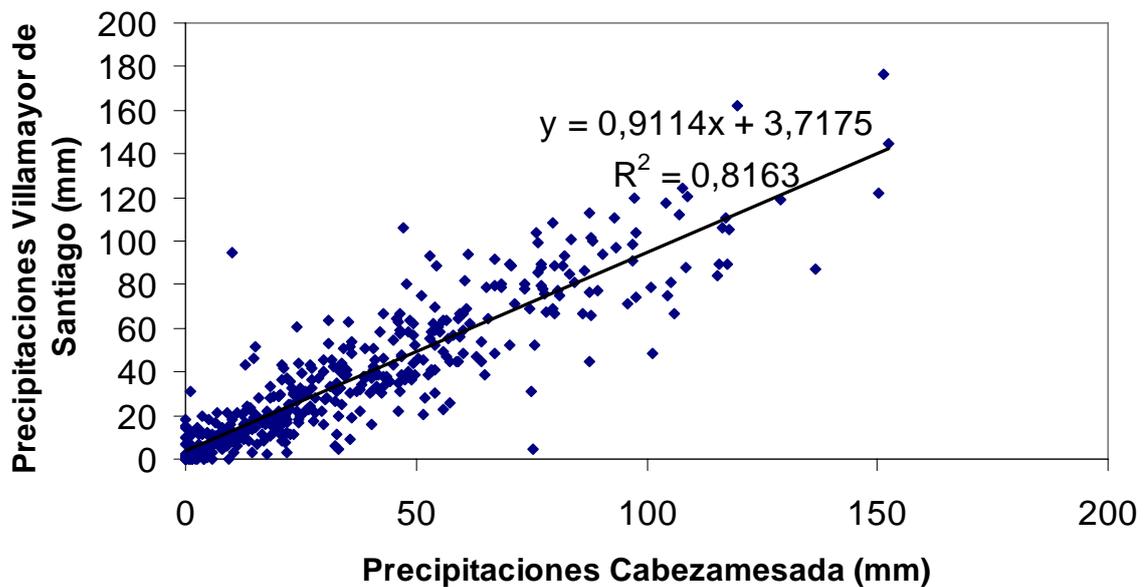


Figura 2.- Ejemplo de correlación entre datos de precipitaciones: estaciones de Villamayor de Santiago (4059E) y Cabezamesada (4056)

Una vez rellenados los meses sin datos, se procedió a elaborar los mapas de isoyetas de la zona de estudio para año climatológicamente: seco, medio y húmedo. La herramienta utilizada fue el programa ArcGIS. Para realizar las interpolaciones se utilizó el método Spline 3, incorporado en el propio ArcGIS, consistente en calcular, para cada grupo de cuatro datos, el polinomio de grado 3 de menor curvatura que pasa por los datos conocidos, y utilizar la ecuación que describe dicho polinomio para obtener la precipitación en todos los puntos intermedios. El criterio para distinguir los tipos climatológicos de cada año es el utilizado habitualmente y reflejado en la tabla 4.

Precipitación anual, p	Tipo de año
$p < 0,85 \times \lambda$	Seco
$0,85 \times \lambda < p < 1,15 \times \lambda$	Medio
$1,15 \times \lambda < p$	Húmedo

Tabla 4.- Criterio para distinguir años seco, medio y húmedo. El símbolo  $\lambda$  denota el promedio de toda la serie

Además, la precipitación mensual ha sido recopilada por años hidrológicos en tablas como la tabla 5, que han generado gráficas como la que se muestra en la figura 3.

ESTACIÓN MEMBRILLA			
AÑO HIDROLÓGICO	PRECIPITACIÓN (mm)	DESVIACIÓN	AÑO TIPO
1960-1961	469,9	43,7	HÚMEDO
1961-1962	618,8	270,8	HÚMEDO
1962-1963	542,3	421,5	HÚMEDO
1963-1964	493,8	523,7	HÚMEDO
1964-1965	382,6	514,7	MEDIO
1965-1966	597,5	720,5	HÚMEDO
1966-1967	279,5	608,4	SECO
1967-1968	372,9	589,7	MEDIO
1968-1969	527,3	725,4	HÚMEDO
1969-1970	340,4	674,1	MEDIO
1970-1971	427,2	709,7	MEDIO
1971-1972	343,7	661,8	MEDIO
1972-1973	289,0	559,2	SECO
1973-1974	517,6	685,1	HÚMEDO
1974-1975	346,1	639,6	MEDIO
1975-1976	371,0	619,0	MEDIO
1976-1977	394,1	621,5	MEDIO
1977-1978	488,8	718,7	HÚMEDO
1978-1979	520,6	847,6	HÚMEDO
1979-1980	323,6	779,6	SECO
1980-1981	320,6	708,6	SECO
1981-1982	359,6	676,6	MEDIO
1982-1983	327,4	612,3	SECO
1983-1984	325,3	546,0	SECO
1984-1985	311,6	466,0	SECO
1985-1986	422,8	497,2	MEDIO
1986-1987	358,3	463,8	MEDIO
1987-1988	411,0	483,2	MEDIO
1988-1989	407,0	498,6	MEDIO
1989-1990	358,5	465,5	MEDIO
1990-1991	235,9	309,7	SECO
1991-1992	399,8	317,9	MEDIO
1992-1993	298,4	224,7	SECO
1993-1994	192,8	25,9	SECO
1994-1995	202,9	-162,8	SECO
1995-1996	533,8	-20,7	HÚMEDO
1996-1997	456,6	44,3	HÚMEDO
1997-1998	489,5	142,2	HÚMEDO
1998-1999	191,5	-57,9	SECO
1999-2000	375,8	-73,8	MEDIO
2000-2001	350,4	-115,0	MEDIO
2001-2002	398,1	-108,5	MEDIO
2002-2003	339,0	-161,1	MEDIO
2003-2004	495,1	-57,7	HÚMEDO
2004-2005	246,8	-202,5	SECO
2005-2006	372,5	-221,6	MEDIO
2006-2007	469,0	-144,2	HÚMEDO
2007-2008	394,8	-141,1	MEDIO
2008-2009	369,9	-162,8	MEDIO
Promedio	391,6		

Tabla 5.- Precipitación, desviación acumulada y año tipo para cada año hidrológico de la serie y media de precipitación de la serie para la estación de Membrilla (4034)

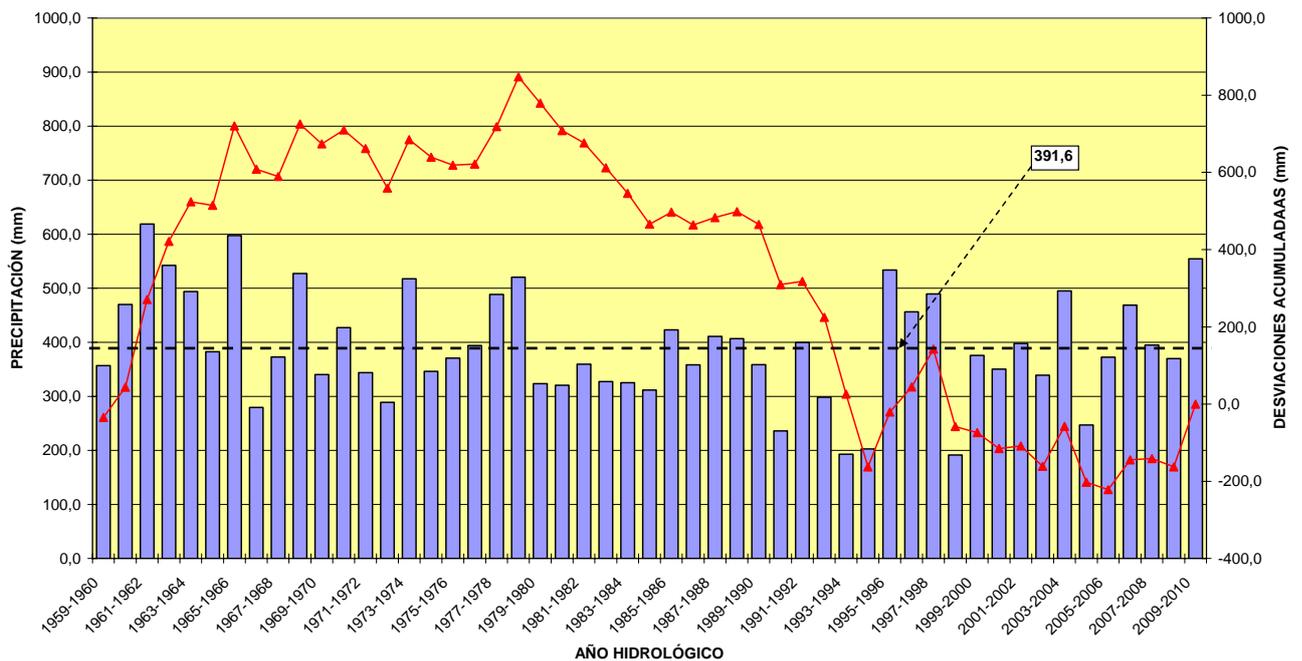


Figura 3.- Gráfica resumen de años hidrológicos en la estación de Membrilla (4034)

Respecto a los datos diarios de precipitación se han elaborado gráficas como la de la figura 4, con el objeto de superponer la evolución piezométrica diaria a los valores de precipitación diaria de la estación pluviométrica más próxima al piezómetro.

### 3.2. TEMPERATURA

El completado de los datos de temperatura se ha llevado a cabo de forma similar al de los datos de precipitación mensual, generando y comparando correlaciones como la que aparece en la figura 5. La comparación entre la figura 2 y la figura 5 pone de manifiesto la diferencia entre las correlaciones de datos de precipitaciones y de temperatura. En los primeros, el coeficiente de correlación ( $r$ ) suele alcanzar valores entre 0,85 y 0,94, disminuyendo en alguna ocasión hasta 0,7; mientras que en los datos de temperatura nunca resulta menor de 0,98. El completado de esta variable, lógicamente, se ha llevado a cabo para las estaciones termopluviométricas, aquellas de la tabla 2 que presentan un porcentaje elevado de datos de temperatura.

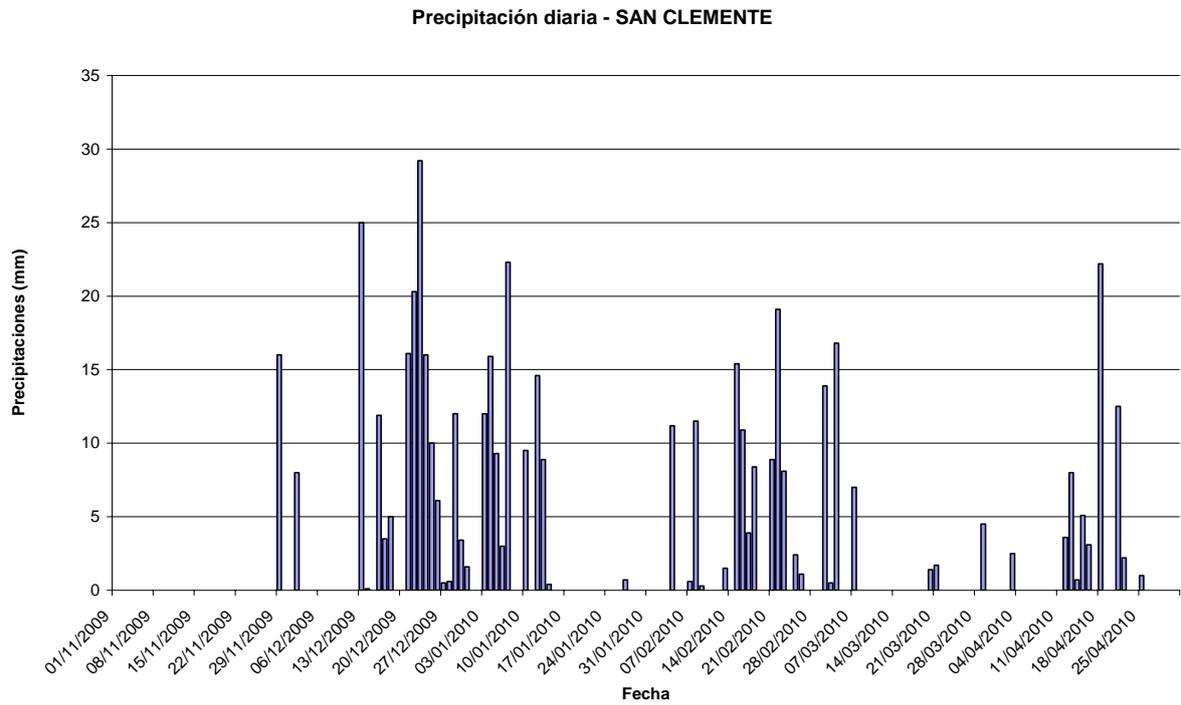


Figura 4.- Datos diarios de precipitación en la estación de San Clemente (4090)

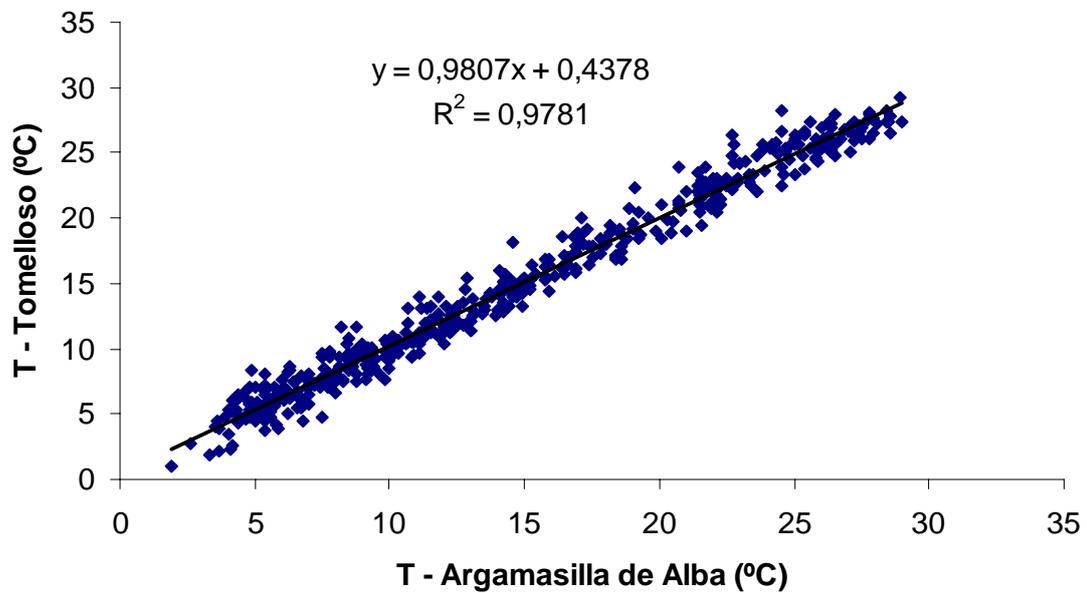


Figura 5.- Ejemplo de correlación entre datos de temperatura: Tomelloso (4103) y Argamasilla de Alba (4013)

### 3.3. CÁLCULO DE LA LLUVIA ÚTIL

Con los datos de precipitación y temperatura completados se ha calculado la precipitación por MASb para cada año tipo y la lluvia útil, primer objetivo de este trabajo. En primer lugar se ha calculado la evapotranspiración potencial (ETP), mediante el método de Thornthwaite, a partir de la cual se derivan los valores de evapotranspiración real (ETR) y lluvia útil en cada estación y para cada año hidrológico. Un ejemplo de este cálculo se muestra en la tabla 6. La capacidad de campo utilizada ha sido de 75 mm, valor obtenido a partir de las referencias bibliográficas consultadas<sup>5</sup>.

Año	Mes	T (°C)	ETP (mm)	P (mm)	P-ETP (mm)	H (mm)	Δ	ETR (mm)	Ll. út. (mm)
1960	10	10,3	34,7	100,1	65,4	65,4	65,4	34,7	0,0
1960	11	8,1	21,2	22,4	1,2	66,7	1,2	21,2	0,0
1960	12	2,3	3,7	41,3	37,6	75,0	8,3	3,7	29,3
1961	1	2,6	4,5	20,6	16,1	75,0	0,0	4,5	16,1
1961	2	6,2	14,6	0	-14,6	60,4	-14,6	14,6	0,0
1961	3	9,9	35,2	22,7	-12,5	47,9	-12,5	35,2	0,0
1961	4	13,7	59,4	32	-27,4	20,4	-27,4	59,4	0,0
1961	5	17,8	96,2	25,8	-70,4	0,0	-20,4	46,2	0,0
1961	6	20,4	117,1	1,4	-115,7	0,0	0,0	1,4	0,0
1961	7	23,9	148,1	22,5	-125,6	0,0	0,0	22,5	0,0
1961	9	22,3	110,2	22,9	-87,3	0,0	0,0	22,9	0,0

Tabla 6.- Ejemplo de cálculo de ETR y lluvia útil: estación de Alameda de Cervera (4106) para el año hidrológico 1960-1961. ETP: evapotranspiración potencial; P: precipitación; H: humedad en el suelo; Δ: incremento; ETR: evapotranspiración real; Ll. út.: lluvia útil

## 4. RESULTADOS DEL ESTUDIO HIDROMETEOROLÓGICO

Los mapas de isoyetas y lluvia útil, para años climatológicamente seco, medio y húmedo, se muestran en las figuras 6 a 11. La tabla 7 resume la información de dichos mapas, conteniendo, para cada MASb, los valores de precipitación y lluvia útil para cada tipo de año. Esta tabla se ha confeccionado multiplicando el resultado de la herramienta Zonal Statistics de ArcGIS por el área de píxel de la capa raster generada por la interpolación Spline mencionada en el apartado 3.1.

<sup>5</sup> Mejora del conocimiento de la Cuenca Alta del Guadiana hasta UU.HH. 04.02 y 04.04, Ministerio de Medio Ambiente y Confederación Hidrográfica del Guadiana, proyecto dirigido por José Ramón Aragón Cavaller, Madrid 2001, pag. 244.

Código	MASb	AÑO SECO		AÑO MEDIO		AÑO HÚMEDO	
		Precipitación (hm <sup>3</sup> )	Lluvia útil (hm <sup>3</sup> )	Precipitación (hm <sup>3</sup> )	Lluvia útil (hm <sup>3</sup> )	Precipitación (hm <sup>3</sup> )	Lluvia útil (hm <sup>3</sup> )
040.001	Sierra de Altomira	702,9	64,8	1068,8	230,1	1469,2	475,5
040.002	La Obispalía	169,9	28,7	272,1	86,6	377,2	173,3
040.003	Lillo - Quintanar	238,0	25,1	446,7	87,3	609,6	188,9
040.004	Consuegra - Villacañas	394,1	23,7	569,9	81,4	795,5	208,2
040.005	Rus - Valdelobos	526,7	45,9	739,9	181,3	986,6	319,7
040.006	Mancha Occidental II	651,5	28,7	939,5	158,1	1282,0	397,2
040.007	Mancha Occidental I	512,6	22,1	793,7	132,2	1102,0	369,9
040.008	Bullaque	180,2	19,9	283,2	74,9	406,5	184,3
040.009	Campo de Calatrava	575,3	42,4	840,5	171,7	1181,4	460,8
040.010	Campo de Montiel	681,1	62,2	1015,3	226,7	1363,1	507,6
040.011	Aluvial del Jabalón	13,3	1,2	20,1	4,5	26,4	9,3
040.012	Aluvial del Azuer	2,9	0,2	4,7	0,9	6,2	2,2

Tabla 7.- Datos de precipitación y lluvia útil, en hm<sup>3</sup>, por masas de agua subterránea

La tabla 8 recoge los valores medios de precipitación anual en mm por MASb en función de la clasificación en año tipo climatológico.

Código	MASb	Superficie (km <sup>2</sup> )	P año seco (mm)	P año medio (mm)	P año húmedo (mm)
040.001	Sierra de Altomira	2567,1	274	416	572
040.002	La Obispalía	497,4	341	547	758
040.003	Lillo - Quintanar	1.109,4	215	403	550
040.004	Consuegra - Villacañas	1.570,1	251	363	507
040.005	Rus - Valdelobos	1.565,7	336	473	630
040.006	Mancha Occidental II	2.393,5	272	393	536
040.007	Mancha Occidental I	2.004,0	256	396	550
040.008	Bullaque	565,1	319	501	719
040.009	Campo de Calatrava	1.961,7	293	428	602
040.010	Campo de Montiel	2.179,6	312	466	625
040.011	Aluvial del Jabalón	45,6	291	440	578
040.012	Aluvial del Azuer	10,6	278	444	586

Tabla 8.- Datos de precipitación media, en mm, por masas de agua subterránea y año tipo



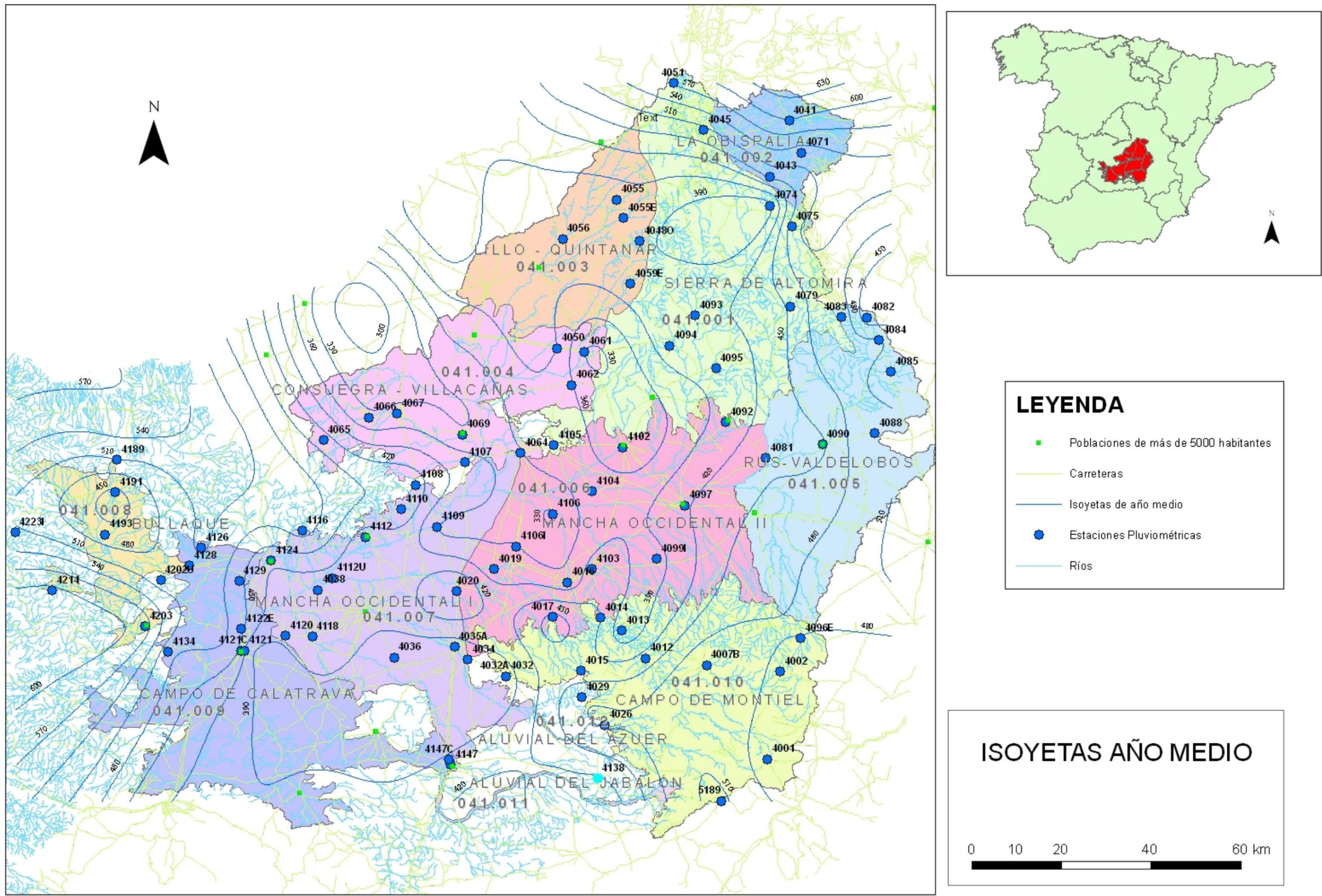


Figura 7.- Isoyetas para año medio

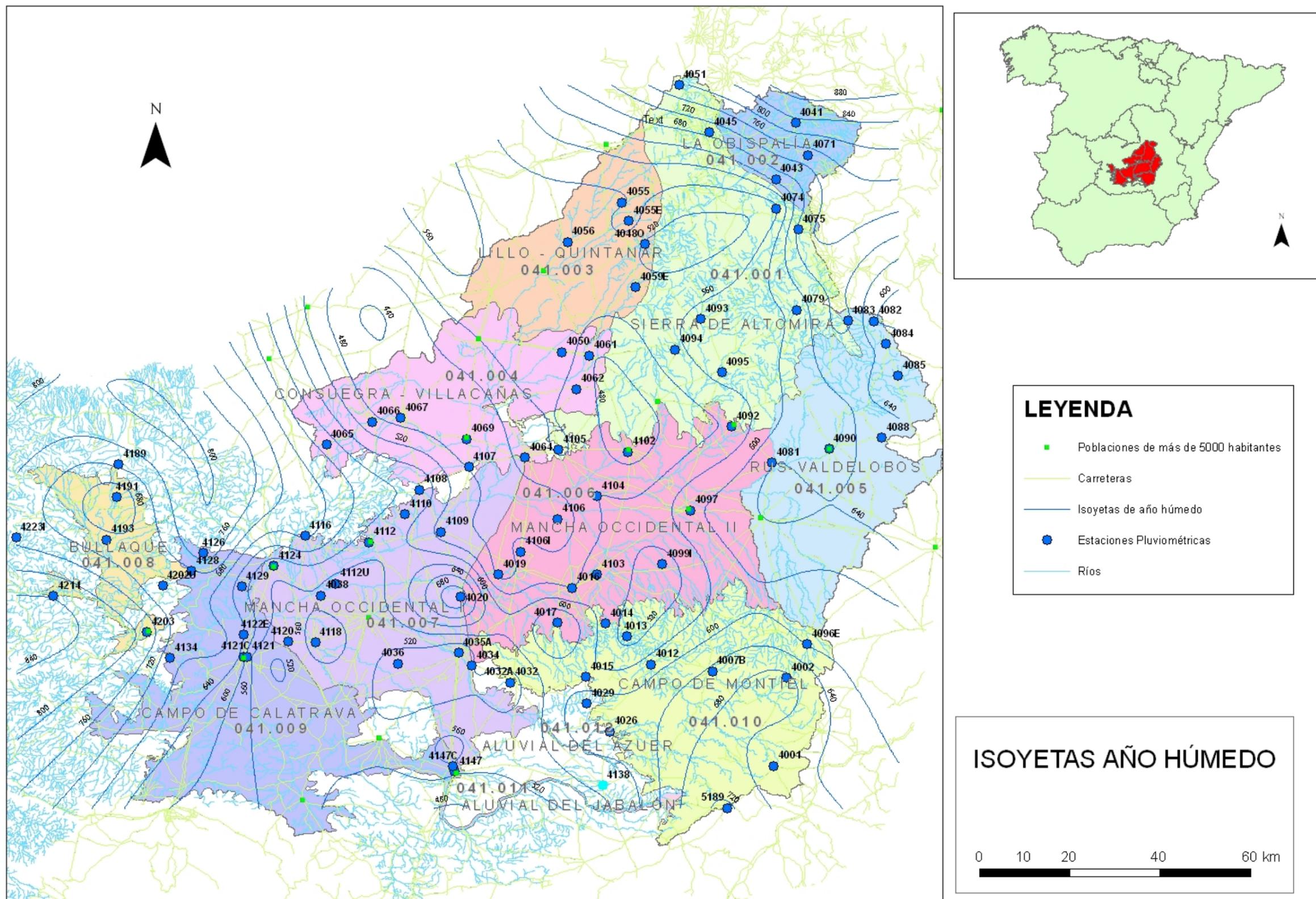


Figura 8.- Isoyetas para año húmedo

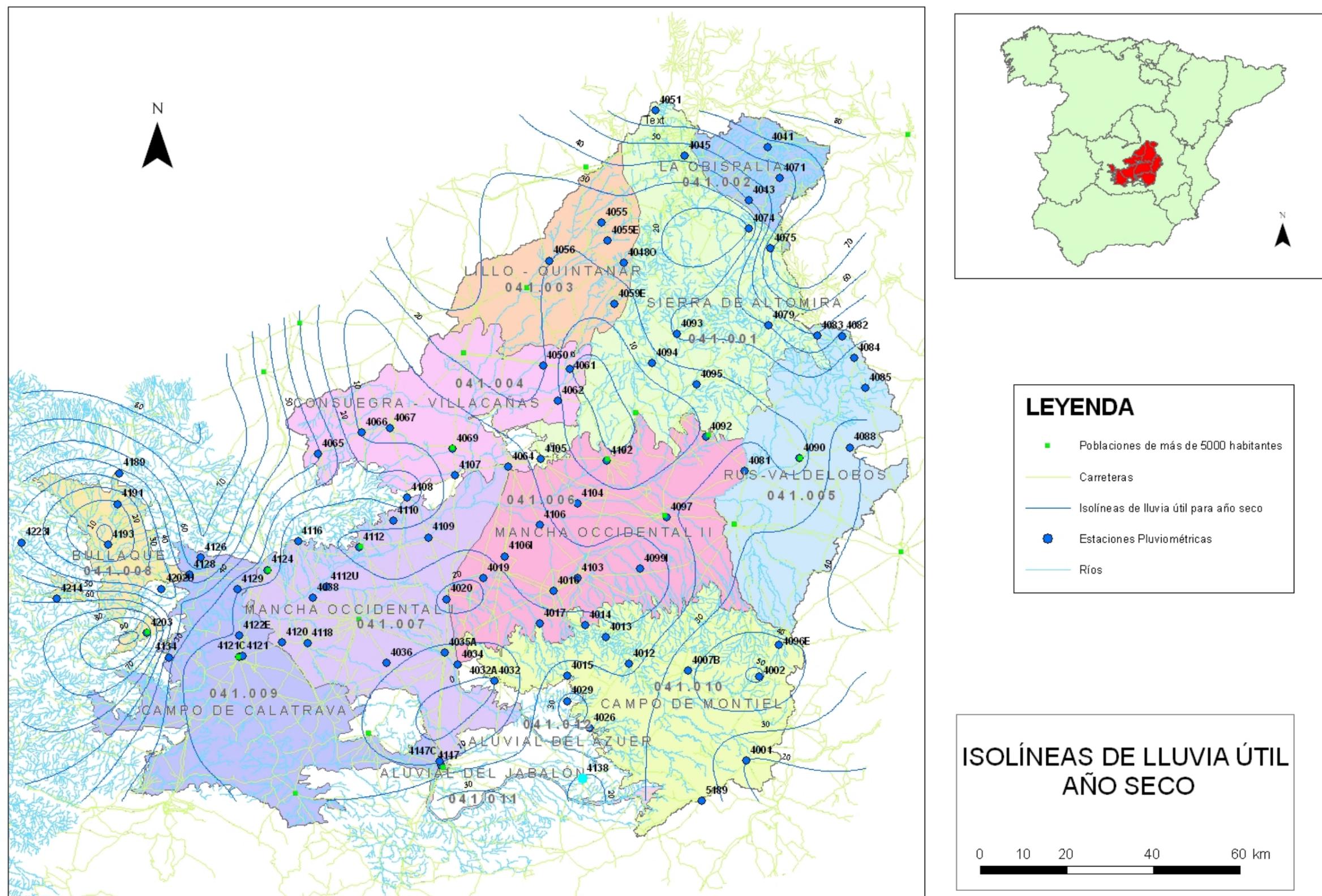


Figura 9.- Isolíneas de lluvia útil para año seco

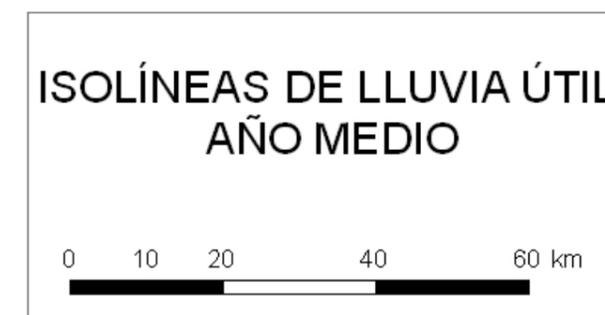
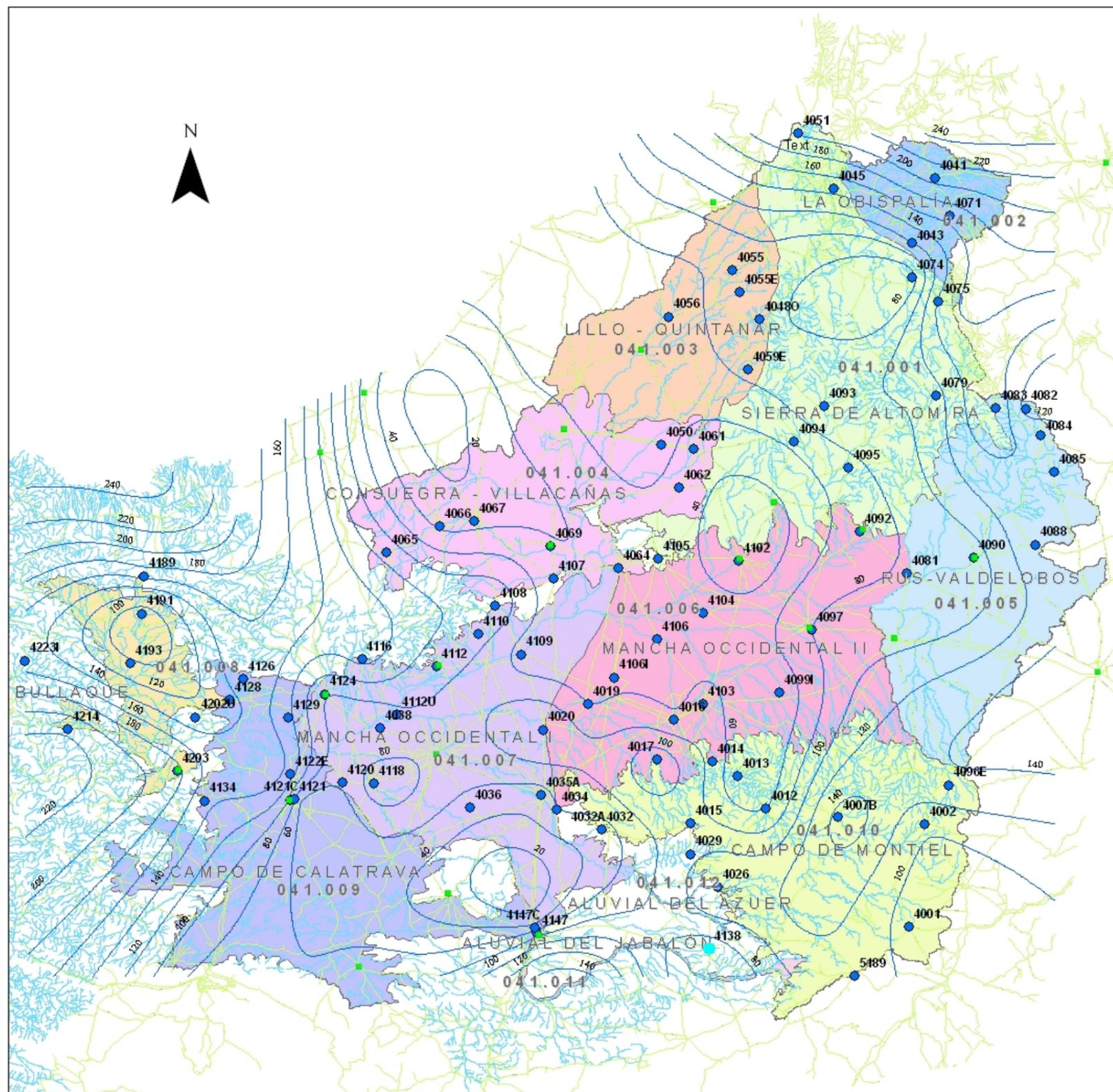


Figura 10.- Isolíneas de lluvia útil para año medio

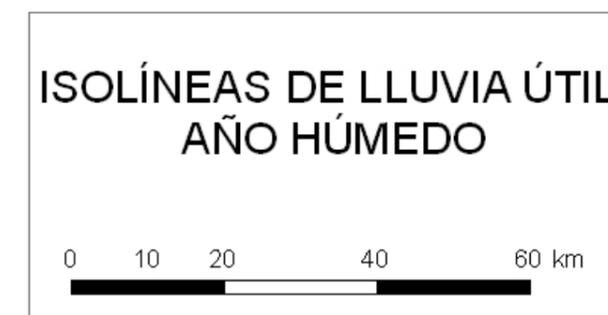


Figura 11.- Isolíneas de lluvia útil para año húmedo

## 5. ESTIMACIÓN DE LA INFILTRACIÓN POR MASAS

### 5.1. DATOS DE PARTIDA

Los datos de partida abarcan el período 1960-2010, tienen carácter diario y corresponden a 14 estaciones meteorológicas, pertenecientes a la cuenca alta del Guadiana y encuadradas dentro de las distintas masas de agua subterránea como se indica en la tabla 9.

Nombre estación	Código estación	Nombre Masa	Código Masa
RUIDERA	4012	CAMPO DE MONTIEL	040.010
PANTANO DE PEÑARROYA	4014	CAMPO DE MONTIEL	040.010
NAHARROS	4041	LA OBISPALÍA	040.002
PUEBLA DE ALMORADIEL	4050	CONSUEGRA - VILLACAÑAS	040.004
CABEZAMESADA	4056	LILLO - QUINTANAR	040.003
VILLAFRANCA DE LOS CABALLEROS	4069	CONSUEGRA - VILLACAÑAS	040.004
VILLARES DEL SAZ	4075	SIERRA DE ALTOMIRA	040.001
VILLALGORDO DEL MARQUESADO	4079	SIERRA DE ALTOMIRA	040.001
SAN CLEMENTE	4090	RUS-VALDELOBOS	040.005
SOCUELLAMOS	4097	MANCHA OCCIDENTAL II	040.006
ALAMEDA DE CERVERA	4106	MANCHA OCCIDENTAL II	040.006
VILLARTA DE SAN JUAN	4109	MANCHA OCCIDENTAL I	040.007
CARRION DE CALATRAVA	4120	MANCHA OCCIDENTAL I	040.007
ALCOLEA DE CALATRAVA	4134	CAMPO DE CALATRAVA	040.009

Tabla 9.- Estaciones meteorológicas estudiadas y masas de agua a que pertenecen

Los datos de precipitación proporcionados por AEMET resultaron bastante completos. Sin embargo, los de temperatura presentaban bastantes lagunas, por lo que se optó por unir todas las series incompletas para poder obtener una sola serie completa. Esta decisión se apoya en las excelentes correlaciones entre series de temperatura, casi todas con  $R^2 \approx 1$ , halladas en los datos y utilizadas en el apartado anterior. Por tanto, se ha utilizado la misma temperatura para todas las estaciones, de modo que la evapotranspiración potencial (ETP) es idéntica en todas ellas.

### 5.2. CÁLCULO DE LA INFILTRACIÓN

#### 5.2.1. Metodología

Para el estimar el valor de la infiltración en las masas de agua consideradas se ha aplicado una variante del método de Thornthwaite a las series termoplumiométricas disponibles, mediante el programa THORDOS<sup>6</sup>, que permite calcular los valores diarios de evaporación y lluvia útil, y la descomposición de ésta entre infiltración y escorrentía. Los principios en que se basa son los siguientes:

<sup>6</sup> IDRENA, 1989.

- Se calculan los valores diarios de la evaporación potencial, de forma similar a como se suelen determinar los valores mensuales de la misma, en las aplicaciones tradicionales del método de Thornthwaite.
- Se realizan balances diarios en los que se hacen intervenir las siguientes magnitudes: reserva almacenada en el suelo al final del día anterior, precipitación registrada en el día y evapotranspiración potencial diaria.

A diferencia de lo que sucede en los cálculos tradicionales, en los que, fijado un determinado valor para la reserva útil del suelo, RU, se considera que no se produce lluvia útil hasta que la mencionada reserva se encuentre al completo, el programa THORDOS adopta un planteamiento físico y edafológicamente más realista<sup>7</sup> del balance de agua en el suelo, que, en síntesis, implica:

- Utilizar dos parámetros extremos –RMIN y RMAX– para caracterizar la reserva útil de agua almacenable en el suelo.
- Aceptar que, si al finalizar el día anterior, (i-1), la reserva contenida en el suelo presentaba un valor comprendido entre RMIN y RMAX, en el día considerado, (i), se producirá una cierta descomposición de la lluvia que, en su caso, se registrase en él, entre una parte destinada a aumentar dicha reserva, y otra parte, el resto, que se convierte en la lluvia útil del día, LU (i), según una ley de reparto definida por la línea AC del gráfico 1.
- Suponer que, sólo cuando la reserva de agua contenida en el suelo sea inferior a RMIN, se destinará a ella la totalidad de la precipitación (hasta que se alcance dicho valor mínimo); por el contrario, toda la precipitación se convertirá en lluvia útil cuando la reserva de agua en el suelo se encuentre en su valor máximo, RMAX.
- Admitir que la evapotranspiración real, ETR (i), tiene lugar, hasta un máximo representado por el valor de ETP (i), a expensas de la reserva de agua almacenada en el suelo, después de que la misma se haya visto aumentada, en su caso, con una parte o con toda la precipitación registrada en el día, P (i).

De forma esquemática, el sistema de reparto del agua acumulada en la reserva útil del suelo en días sucesivos se puede resumir con el apoyo del gráfico 1, en el que:

- . El rectángulo inferior rayado representa el agua inmovilizada en el suelo (RMIN), que sólo puede escapar por evapotranspiración.
- . El rectángulo ABCD representa la cantidad máxima de agua almacenable en el suelo (RMAX).
- . El área triangular rellena de puntos (ABC) representa el agua almacenada que será utilizada posteriormente.
- . El triángulo sin relleno (ACD) representa el agua disponible inmediatamente.

<sup>7</sup>

Propuesto por G. Girard (ORSTOM, Francia) a principios de la década de 1970.

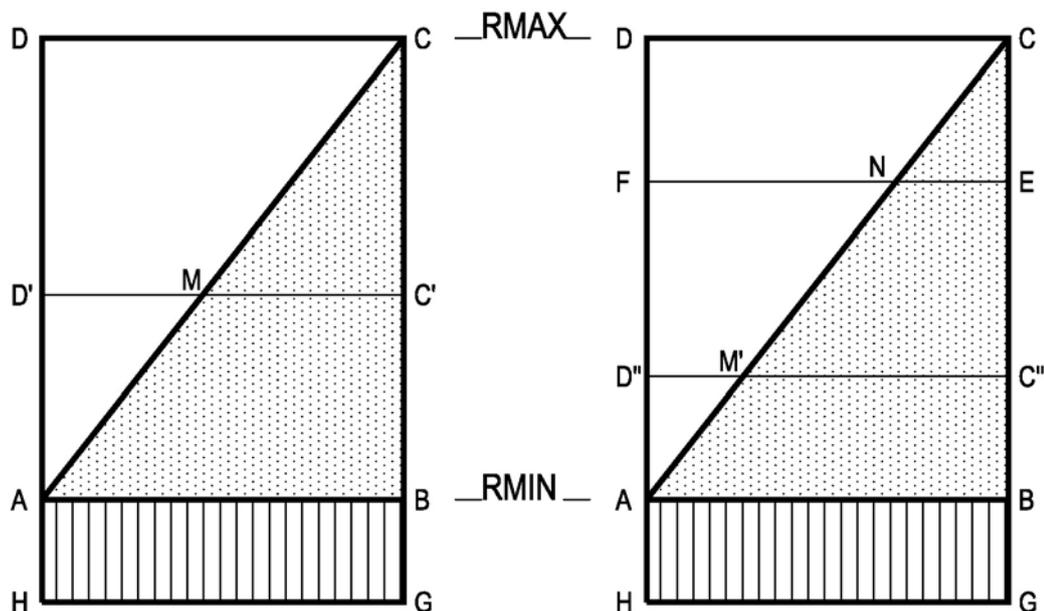


Gráfico 1.- Esquema explicativo del método utilizado por el programa THORDOS.

Suponiendo que el cálculo se inicia con la reserva útil vacía, las primeras lluvias sirven para rellenar la reserva no movilizable (RMIN) (rectángulo ABGH). La lluvia del día siguiente a que esté completada la RMIN, va llenando la reserva movilizable (cuyo valor máximo, RMAX, está representado por el rectángulo ABCD) hasta, por ejemplo la línea C'D'. Esta reserva movilizable se reparte en dos fracciones: una cantidad de agua igual al triángulo AMD' constituye la lluvia útil del día y el resto, una cantidad equivalente al área del trapecio ABC'M, permanece en la reserva, de modo que la reserva total al final del primer día, una vez descontada la ETP, es equivalente al área de un rectángulo ABC''D''.

Si al día siguiente llueve una cantidad P, la reserva disponible se incrementará hasta un nivel EF (se supone que la lluvia equivale al rectángulo D''C''EF). La lluvia útil del día será equivalente al área del trapecio D''M'NF y otra cantidad igual al área del trapecio M'C''EN se añadirá a la reserva. Descontando la ETR del día a la reserva total, se obtendrá la reserva residual para el día siguiente, y así sucesivamente.

- La descomposición diaria de la lluvia útil, LU (i), entre infiltración, INF (i), y escorrentía superficial, ESC (i), se efectúa de forma regresiva para INF (i) (hasta un tope de 35 mm/d) y progresiva para ESC (i):

$$\begin{aligned} \text{INF (i)} &= \alpha \cdot \text{LU (i)} \quad \text{siendo } \alpha \text{ un coeficiente variable que decrece a medida que aumenta LU} \\ \text{ESC (i)} &= \text{LU (i)} - \text{INF (i)} \\ \text{INF (i)} &\leq 35 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Además de los correspondientes registros diarios de precipitación y temperatura media, los datos que se deben suministrar al programa son:

- . Índices F de iluminación mensual, expresados en unidades de 12 horas, dependientes de la latitud de la zona.
- . Valores supuestos para RMIN y RMAX, fijados en función de la naturaleza litológica del terreno y del grado de desarrollo del suelo vegetal.
- . Valor estimado para la reserva inicial (RINI) del suelo fijado, teniendo en cuenta la pluviosidad de los días inmediatamente anteriores al de comienzo del periodo de cálculo. Para un periodo de cálculo suficientemente largo se toma 0 como valor inicial.

### 5.2.2. Parámetros de cálculo

Los índices F de iluminación mensual representan el efecto causado por las diferentes horas de luz de cada día a lo largo del año. En nuestro caso corresponden a la latitud 43°, se han tomado de la literatura<sup>8</sup> y se muestran en la tabla 10.

Mes	F (12 h)	Mes	F (12 h)
octubre	28,5	abril	33,6
noviembre	24,3	mayo	37,8
diciembre	23,1	junio	38,4
enero	24,3	julio	38,7
febrero	24,6	agosto	36,0
marzo	30,6	septiembre	31,2

Tabla 10.-Índices F de iluminación mensual

Respecto a la división de la lluvia útil entre escorrentía e infiltración, se han utilizado los parámetros  $\alpha$  que se muestran en la tabla 11, que producen la relación entre lluvia útil e infiltración. Estos valores se han obtenido de forma experimental y se han aplicado con resultados satisfactorios en diferentes entornos hidrogeológicos, en anteriores trabajos realizados por la empresa IDRENA.

Por último, para los parámetros de reserva útil máxima y mínima, RMAX y RMIN, se han utilizado los valores 110 y 90 mm respectivamente, que representan promedios bastante aproximados a la realidad según estudios elaborados anteriormente.

<sup>8</sup> EVAPORACIONES POTENCIALES Y BALANCES DE AGUA EN ESPAÑA, Mapa agronómico nacional, Madrid 1965; Ministerio de Agricultura, Dirección General de Agricultura, pag 60.

LU (mm)	$\alpha$	INF (mm)
5	0,85	4,25
15	0,71	10,65
25	0,623	15,575
35	0,56	19,6
45	0,508	22,86
55	0,465	25,575
65	0,426	27,69
75	0,394	29,55
85	0,363	30,855
95	0,336	31,92

Tabla 11.- Parámetros  $\alpha$  para el cálculo de la infiltración

### 5.2.3. Factor de superficie permeable

El cálculo de la fracción de superficie sensible a infiltración de cada masa de agua subterránea se ha realizado tomando la siguiente referencia:

*Protección y mejora de la calidad de las aguas subterráneas en las unidades hidrogeológicas de la Cuenca Alta del Guadiana. Confederación Hidrográfica del Guadiana, EPTISA, INIMA. 2003.*

En este trabajo se sintetiza la información cartográfica de la cuenca alta del Guadiana, a escala 1:50.000, relativa a geología e hidrogeología, lo que ha permitido ir calculando la extensión de las superficies permeables. Así, se han obtenido los factores que se muestran en la tabla 12. Se ha considerado que los materiales clasificados como de permeabilidad media son permeables a efectos del cálculo.

Código	Nombre	Factor
040.001	Altomira	0,58
040.002	Obispalía	0,28
040.003	Lillo-Quintanar	0,62
040.004	Consuegra-Villacañas	0,53
040.005	Rus-Valdelobos	0,79
040.006	Mancha Occidental II	0,75
040.007	Mancha Occidental I	0,77
040.009	Calatrava	0,64
040.010	Montiel	0,76

Tabla 12.- Factores de permeabilidad

### 5.2.4. Resultados

La aplicación de la metodología descrita ha proporcionado para cada estación los valores de infiltración que se muestran en la tabla 13. Esta infiltración, una vez multiplicada por la superficie total y por el factor de superficie permeable hallado según la referencia mencionada, produce una recarga total para cada masa de agua (tabla 14).

Nombre	Código	P(mm)	T(°C)	ETP(mm)	ETR(mm)	LU(mm)	INF(mm)	ESC(mm)
Villares del Saz	4075	519,9	14,25	802,36	370,25	149,58	122,99	26,59
Villalgordo del Marquesado	4079	467,9	14,25	802,36	331,58	136,28	106,89	29,39
Naharros	4041	634,5	14,25	802,36	390,09	244,43	195,05	49,38
Cabezamesada	4056	422,2	14,25	802,36	333,64	88,51	75,28	13,23
Puebla de Almoradiel	4050	412,7	14,25	802,36	330,54	82,14	69,56	12,58
Villafranca de los Caballeros	4069	344	14,25	802,36	306,44	37,52	31,45	6,07
San Clemente	4090	455,3	14,25	802,36	350,39	104,76	87,81	16,95
Socuéllamos	4097	437,7	14,25	802,36	340,9	96,81	80,89	15,92
Alameda de Cervera	4106	346,4	14,25	802,36	297,28	49,12	42,41	6,71
Villarta de San Juan	4109	394,1	14,25	802,36	313,79	80,35	69,81	10,54
Carrión de Calatrava	4120	409,9	14,25	802,36	315,95	93,77	78	15,77
Alcolea de Calatrava	4134	493,1	14,25	802,36	324,8	168,26	134,62	33,64
Ruidera	4012	441,2	14,25	802,36	340,86	100,39	84,86	15,53
Pantano de Peñarroya	4014	428,1	14,25	802,36	342,87	85,23	72,67	12,57

Tabla 13.- Resultados del cálculo de infiltración anual por estaciones pluviométricas. P: precipitación; T: temperatura; ETP: evapotranspiración potencial; ETR: evapotranspiración real; LU: lluvia útil; INF: infiltración; ESC: escorrentía

Código	Nombre	Infiltración (hm <sup>3</sup> /año)
040.001	Sierra de Altomira	143,7
040.002	La Obispalía	27,5
040.003	Lillo-Quintanar	49,3
040.004	Consuegra-Villacañas	35,4
040.005	Rus-Valdelobos	110,0
040.006	Mancha Occidental II	110,5
040.007	Mancha Occidental I	117,4
040.010	Campo de Montiel	133,0

Tabla 14.- Resultado del cálculo de recarga por masas de agua

Los resultados de infiltración, obtenidos mediante la aplicación de este método, para cada MASb y para año climatológicamente de tipo medio resultan coherentes con otros valores estimados por el IGME en los casos de las MASb: La Obispalía, Consuegra-Villacañas, Mancha Occidental II y Campo de Montiel; resultan algo más elevados en los casos de las MASb: Sierra de Altomira, Lillo-Quintanar y Mancha Occidental I y no resulta coherente con estimaciones anteriores, triplicando prácticamente la infiltración calculada por otros métodos, el valor obtenido en el caso de la MASb Rus-Valdelobos.

Estas variaciones pueden tener su explicación en el cálculo de los parámetros  $R_{max}$  y  $R_{min}$ , que se han tomado como 110 y 90 mm. Estos parámetros dependen de las características de cada tipo de suelo, y se necesitaría un estudio pormenorizado para determinarlos con precisión, ajustar mejor los parámetros y particularizarlos para el tipo de suelo en cada estación y MASb.

## 6. ANÁLISIS ZONAL DE LA EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA

Como se ha mencionado en la introducción, durante el año hidrológico 2009/2010, se ha producido un episodio de precipitaciones notablemente superiores a los valores medios, hasta el momento de elaborar este informe, durante los 6 primeros meses del año hidrológico (de octubre 2009 a marzo de 2010). La precipitación media en este periodo supera en la mayoría de las estaciones analizadas los 400 mm, con valores superiores a 500 mm en muchos casos. Es decir, durante la primera mitad del año hidrológico 2009/10 ya se ha producido una precipitación equivalente e incluso superior al valor medio anual de la serie histórica. Esta lluvia ha tenido lugar con especial intensidad en los meses de diciembre de 2009 y enero y febrero de 2010.

La distribución e intensidad de las precipitaciones en este corto periodo de tiempo da lugar a una situación climatológica que se produce con poca frecuencia y que, desde luego, influye de manera muy específica en la recarga de los acuíferos de la cuenca alta del Guadiana.

Así, entre marzo de 2009 y marzo de 2010 (periodos de aguas altas) se ha producido una recuperación media en las MASb centrales de la CAG de casi 4 m. Si se compara el periodo marzo de 2009 a junio de 2010, la recuperación piezométrica media para las mismas MASb supone casi 6 m. Y si se comparan los dos últimos periodos de aguas bajas, 2009-2010, el incremento medio de nivel es de 10,34 m.

Con el objetivo de analizar con cierto detalle cómo se produce esta recarga, se ha realizado un análisis comparativo de la evolución piezométrica diaria en 10 piezómetros situados en las MASb: Mancha Occidental I, dos piezómetros (193020048 y 193040040); Mancha Occidental II, cinco puntos (213010123, 213010122, 222950028, 222880012 y 212880017); Rus-Valdelobos, 1 punto (232870015) y Sierra de Altomira, 2 puntos (222830001 y 222830032), con la precipitación diaria en 1, 2 ó 3 estaciones pluviométricas, según los casos, más próximas al punto de control en cuestión. La tabla 15 resume los piezómetros y las estaciones pluviométricas utilizadas para su comparación, con la precipitación diaria en el periodo comprendido entre el 1 de noviembre de 2009 y finales de febrero, marzo o abril de 2010, ver tabla 3, en función de los datos diarios de precipitación disponibles.

<b>ESTACIÓN PLUVIOMÉTRICA</b>		<b>PIEZÓMETRO</b>	<b>MASb</b>
Argamasilla de Alba	4016	213010123	MOII
		213010122	MOII
Argamasilla Alba (Pachecas)	4017	213010123	
		213010122	
Socuéllamos (Las Rejas)	4019 I	222950028	MOII
Tomelloso	4103	213010123	
		213010122	
		222950028	
Las Tablas de Daimiel	4112 U	193020048	MOI
		193040040	MOI
San Clemente	4090	232870015	RV
		222880012	MOII
		222830001	SA
		222830032	SA
Arenales de San Gregorio	4104	212880017	MOII
Villarta de San Juan	4109	193040040	

Tabla 15.- *Piezómetros y estaciones pluviométricas utilizadas para el análisis diario de la evolución piezométrica*

En las figuras 12 a 27 se puede observar el mencionado análisis comparativo. Así, del punto 213010123, situado en el sector sudoccidental de la MASb Mancha Occidental II, se compara su evolución piezométrica diaria con la precipitación diaria registrada en las estaciones meteorológicas: 4016 Argamasilla de Alba, 4017 Argamasilla de Alba Pachecas y 4103 Tomelloso. El piezómetro controla el acuífero inferior cretácico-jurásico. Entre el 29 de noviembre y el 2 de diciembre de 2009 se inician las fuertes precipitaciones, con valores superiores a 10 mm/día. Las precipitaciones más importantes se producen entre el 23 de diciembre de 2009 y el 3 de enero de 2010. A primeros de noviembre de 2009 el nivel piezométrico se encontraba a una profundidad de 58,74 m y se inicia una recta de recuperación que no presenta picos marcados de ascenso en los días más lluviosos, sino una tendencia continuada. A finales de mayo de 2010 el nivel se encontraba a 55,61 m, es decir una recuperación de 3,13 m, figuras 12, 13 y 14.

El punto 213010122 se sitúa muy próximo al anterior, pero controla el acuífero superior de edad neógeno. Su evolución se compara con la precipitación diaria en las mismas estaciones que el punto anterior. Evidentemente, con los mismos valores de precipitación la tendencia de evolución es muy similar en ambos. El nivel se encontraba a una profundidad de 60,80 m a primeros de noviembre, e inicia una recta de recuperación hasta alcanzar una subida de 3,35 m, también del mismo orden que el 213010123, figuras 15, 16 y 17.

El piezómetro 222950028 se sitúa en la zona centro meridional de la misma MASb. Controla el acuífero inferior, de edad jurásico. Se analiza su evolución con respecto a las estaciones: 4019I Socuéllamos Las Rejas y 4103 Tomelloso. En estas estaciones las precipitaciones superiores a 10 mm/día se inician entre el 30 de noviembre y el 2 de diciembre de 2009, con un máximo superior a 30 mm el 23 de diciembre de 2009. La recuperación viene representada por una recta continua ascendente, el nivel pasa de una profundidad de 78,15 m, antes de

iniciarse las precipitaciones, a 66,34 m el 17 de junio de 2010; es decir, un ascenso de 11,81 m, figuras 18 y 19.

El punto 222880012 se sitúa en la zona nororiental de la MASb Mancha Occidental II, muy cerca del límite con la MASb Rus-Valdelobos. Controla el acuífero inferior, en este caso incluye niveles de edad cretácico y jurásico. La evolución se analiza con respecto a la estación meteorológica 4090 San Clemente. Las precipitaciones importantes se inician también el 29 de noviembre de 2009 con un máximo también el 23 de diciembre de 2009. La profundidad del nivel piezométrico se sitúa antes del inicio de las lluvias a 30,19 m. La recuperación tiene una ligera tendencia ascendente hasta principios de enero de 2010. Al finalizar el periodo de precipitaciones más intensas, del 23 de diciembre de 2009 al 12 de enero de 2010, la recta de recuperación sufre un brusco cambio de pendiente, para posteriormente ir suavizándose una vez finalizadas las lluvias intensas. La recuperación durante el periodo analizado es de 7,78 m, figura 20.

El último punto analizado en la MASb Mancha Occidental II es el 212880017, se sitúa en la zona central, tercio superior de dicha masa. No se dispone de datos precisos en relación con el nivel acuífero controlado, el sondeo atraviesa ambos acuíferos y, probablemente, se encuentre ranurado en ambos. La evolución se analiza con respecto a la estación 4104 Arenales de San Gregorio. El primer valor de precipitación superior a 10 mm/día se produce el 2 de diciembre de 2009 y los máximos entre el 21 y el 23 de diciembre. La recuperación viene representada por una curva ligeramente cóncava, iniciándose el ascenso más pronunciado a principios de febrero de 2010. El nivel se situaba a 20,27 m de profundidad el 12 de noviembre y a 15,86 m el 14 de marzo de 2010, es decir una recuperación de 4,41 m, figura 21.

En la MASb Mancha Occidental I se ha analizado la evolución de dos puntos de control. El piezómetro 193020048 se sitúa en el Parque Nacional de Las Tablas de Daimiel, muy próximo a la superficie encharcada. Controla el acuífero carbonatado neógeno. Su evolución se analiza con respecto a la estación 4112U Las Tablas de Daimiel. Los valores altos de precipitación se inician el 2 de diciembre de 2009, los máximos del 21 al 23 de diciembre y durante la segunda quincena de febrero de 2010. El ascenso de nivel se inicia pocos días después de las máximas precipitaciones y se produce de manera muy rápida. Se pasa de una profundidad de nivel de 8,17 m el 1 de noviembre de 2009 a 1,14 m a primeros de marzo de 2010. En esta fecha el nivel alcanza su posición más alta, determinada por la lámina de agua superficial impuesta por Las Tablas, manteniéndose desde entonces en ese valor, figura 22.

El punto 193040040, situado en la misma MASb, muy próximo a los Ojos del Guadiana, se compara con los valores de precipitación diaria de las estaciones: 4112U Las Tablas de Daimiel y 4109 Villarta de San Juan. Controla también el acuífero carbonatado neógeno. Los valores altos de lluvia se producen en la primera estación a partir del 2 de diciembre y en la segunda a partir del 13 de diciembre de 2009. La curva de recuperación tiene una pendiente más pronunciada a partir del 11 de enero de 2010, transcurrido un mes desde el inicio de las precipitaciones importantes, hasta finales de marzo de 2010 en que se atenúa y se inicia un ascenso de nivel más lento. El nivel pasa de una profundidad de 37,12 m el 1 de noviembre de 2009 a 26,54 m de profundidad a mediados de junio de 2010, es decir una recuperación de 10,58 m, figuras 23 y 24.

En la MASb Rus-Valdelobos sólo se cuenta con un piezómetro con datos diarios, el 232870015. Se sitúa en la franja central de la masa, próximo a su límite oriental con la

cuenca del río Júcar. Su nivel corresponde al acuífero inferior, en su tramo del Lías (Jurásico Inferior). Se compara con los datos de precipitación de la estación 4090 San Clemente. Las precipitaciones importantes se inician el 29 de noviembre de 2009, con un máximo el 23 de diciembre de 2009, y continúa con precipitaciones notables hasta primeros de enero de 2010. Posteriormente, se producen unos días de escasas o nulas lluvias y otro grupo de fuertes precipitaciones desde primeros de febrero a primeros de marzo de 2010. A continuación, hay otro periodo de escasas lluvias hasta el 12 de abril, y vuelve a llover con cierta intensidad hasta el 21 de abril de 2010. La evolución piezométrica diaria refleja estos tres periodos de mayor precipitación y sus lapsos intermedios de escasa lluvia. La curva de ascenso tiene un aspecto sinusoidal con mayores ascensos en la parte final de los periodos de lluvia intensa. El nivel se situaba el 1 de noviembre de 2009 a 133,97 m de profundidad y asciende hasta 131,26 el 8 de mayo de 2010, tras finalizar el último periodo de precipitaciones importantes. A partir de esa fecha continúa un ascenso muy moderado, figura 25.

Por último, en la MASb Sierra de Altomira se analiza la evolución de los puntos de control 222830001 y 222830032 en relación con la estación 4090 San Clemente. Ambos puntos están muy próximos uno de otro y se sitúan en el límite sureste de la MASb, junto a la divisoria con la MASB Mancha Occidental II. Controlan el acuífero mesozoico. El primer tramo ascendente se inicia al finalizar el primer periodo de lluvias intensas, del 29 de noviembre de 2009 al 13 de enero de 2010. A partir de los primeros días de enero de 2010 se inicia un rápido ascenso de nivel que continúa hasta los datos tomados en junio de 2010. En el caso del punto 222830001 la profundidad del nivel correspondiente al 15 de noviembre de 2009 era de 45,57 m y el 12 de junio de 2010 se situaba a 37,70 m, siendo el ascenso total de 7,87 m. El punto 222830032 tenía para las mismas fechas la profundidad de 47,17 m y 39,59 m respectivamente, un ascenso por tanto de 7,58 m. En ambos puntos el ascenso parece continuar después de la última fecha mencionada, figuras 26 y 27.

### ARGAMASILLA DE ALBA(4016) - 213010123

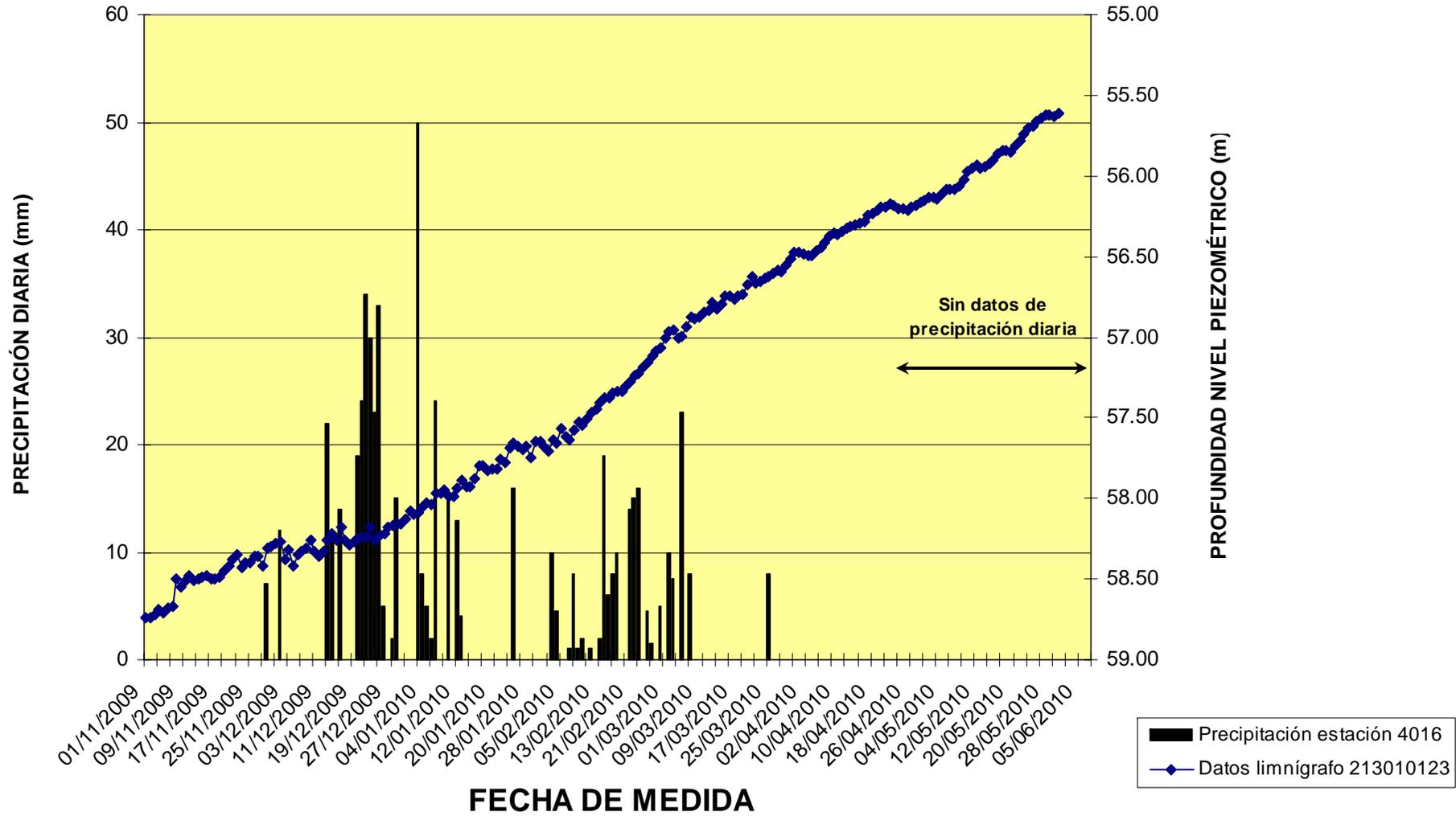


Figura 12.- Evolución piezométrica diaria del punto 213010123

## ARGAMASILLA ALBA (PACHECAS)(4017) - 213010123

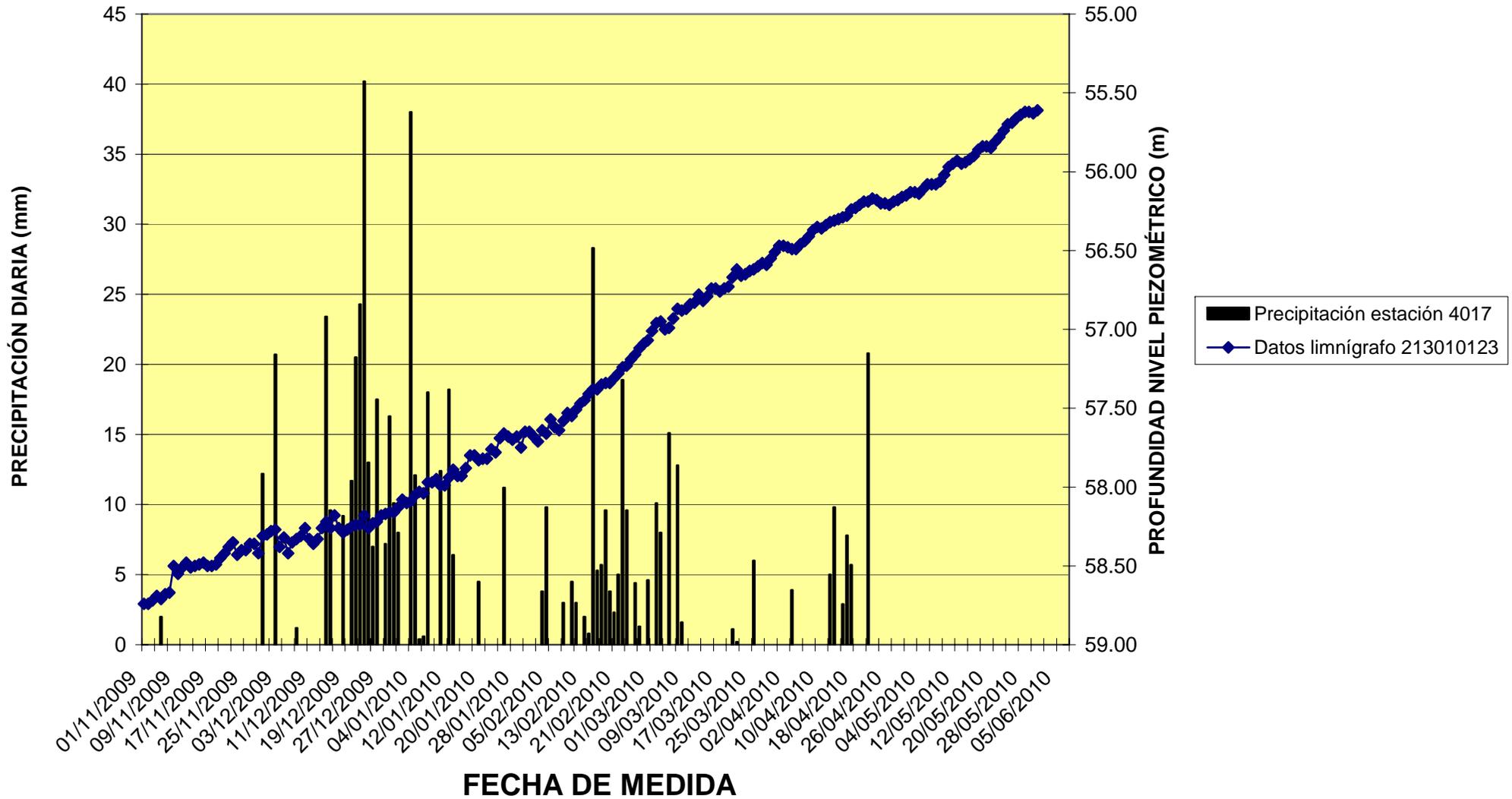


Figura 13.- Evolución piezométrica diaria del punto 213010123

### TOMELLOSO(4103) - 213010123

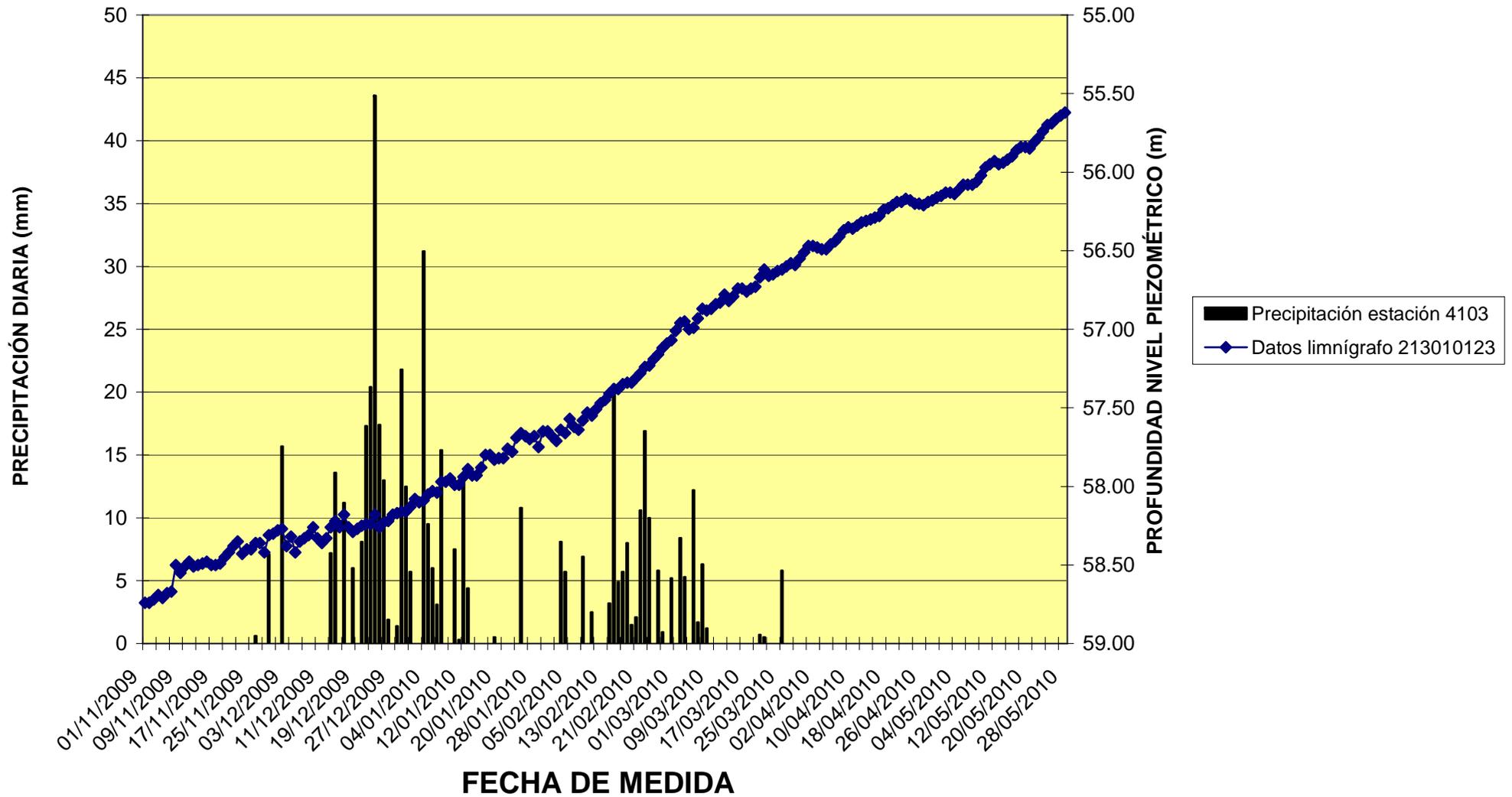


Figura 14.- Evolución piezométrica diaria del punto 213010123

# ARGAMASILLA DE ALBA(4016) - 213010122

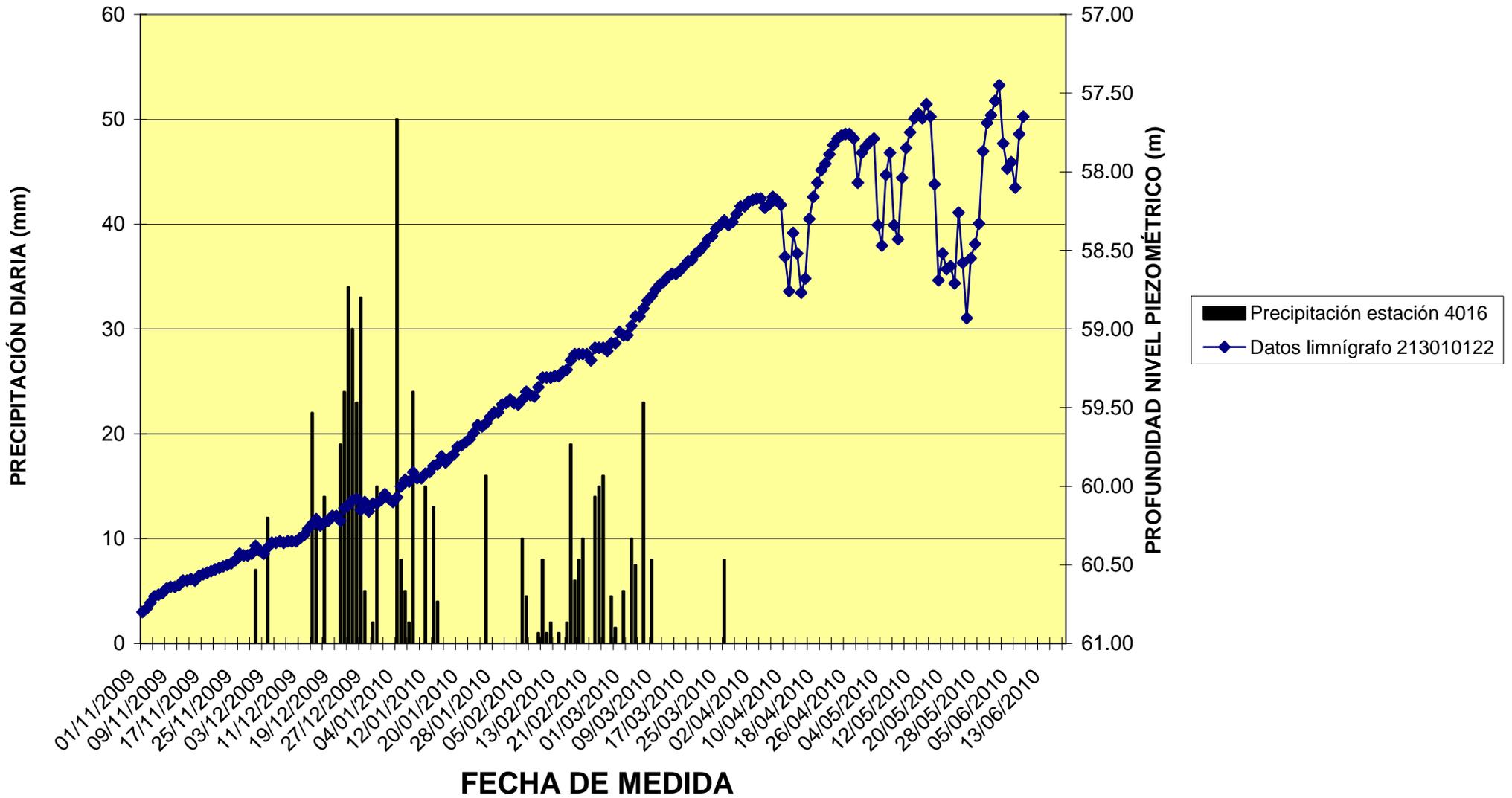


Figura 15.- Evolución piezométrica diaria del punto 213010122

### ARGAMASILLA ALBA (PACHECAS)(4017) - 213010122

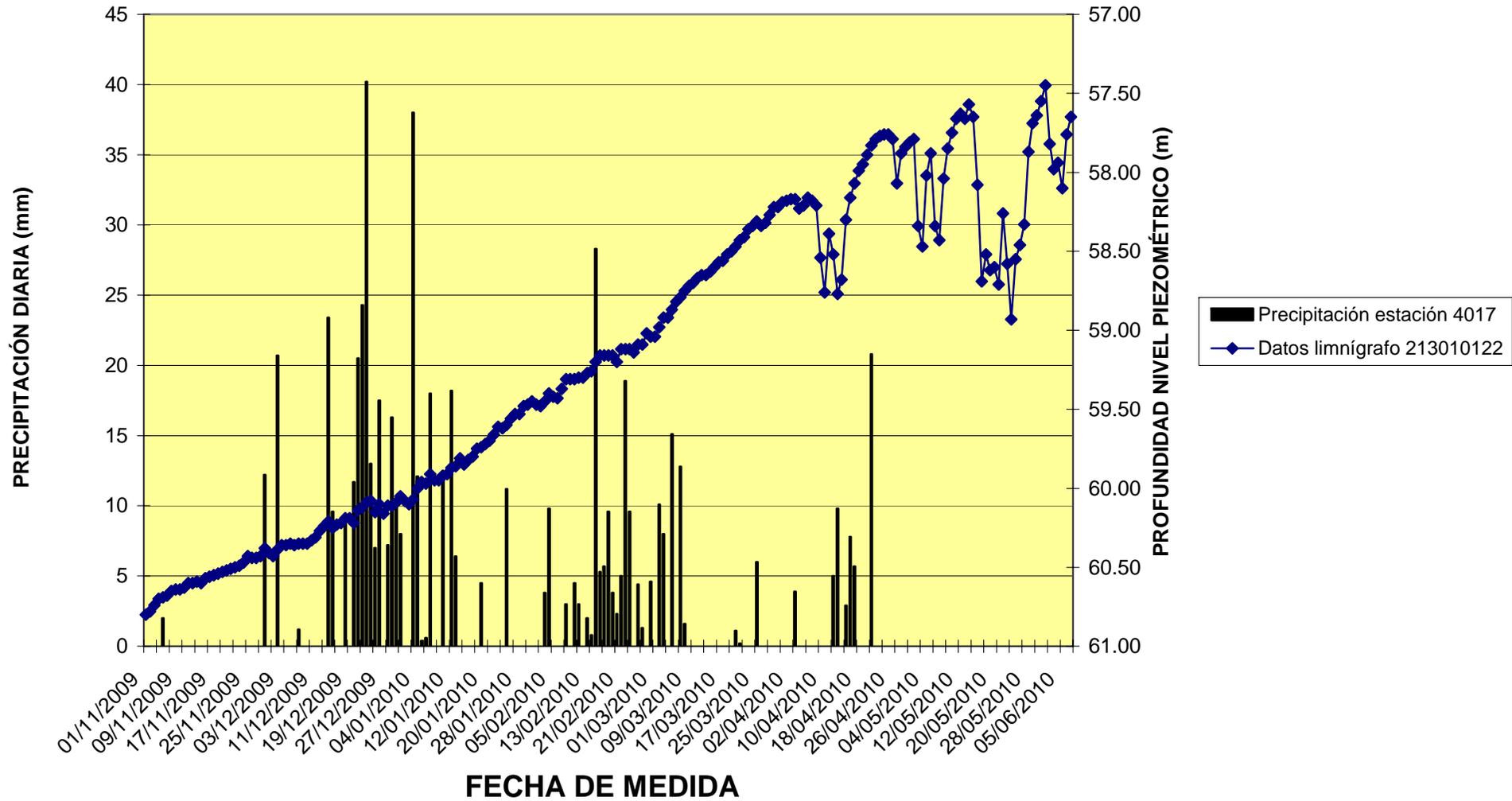


Figura 16.- Evolución piezométrica diaria del punto 213010122

### TOMELLOSO(4103) - 213010122

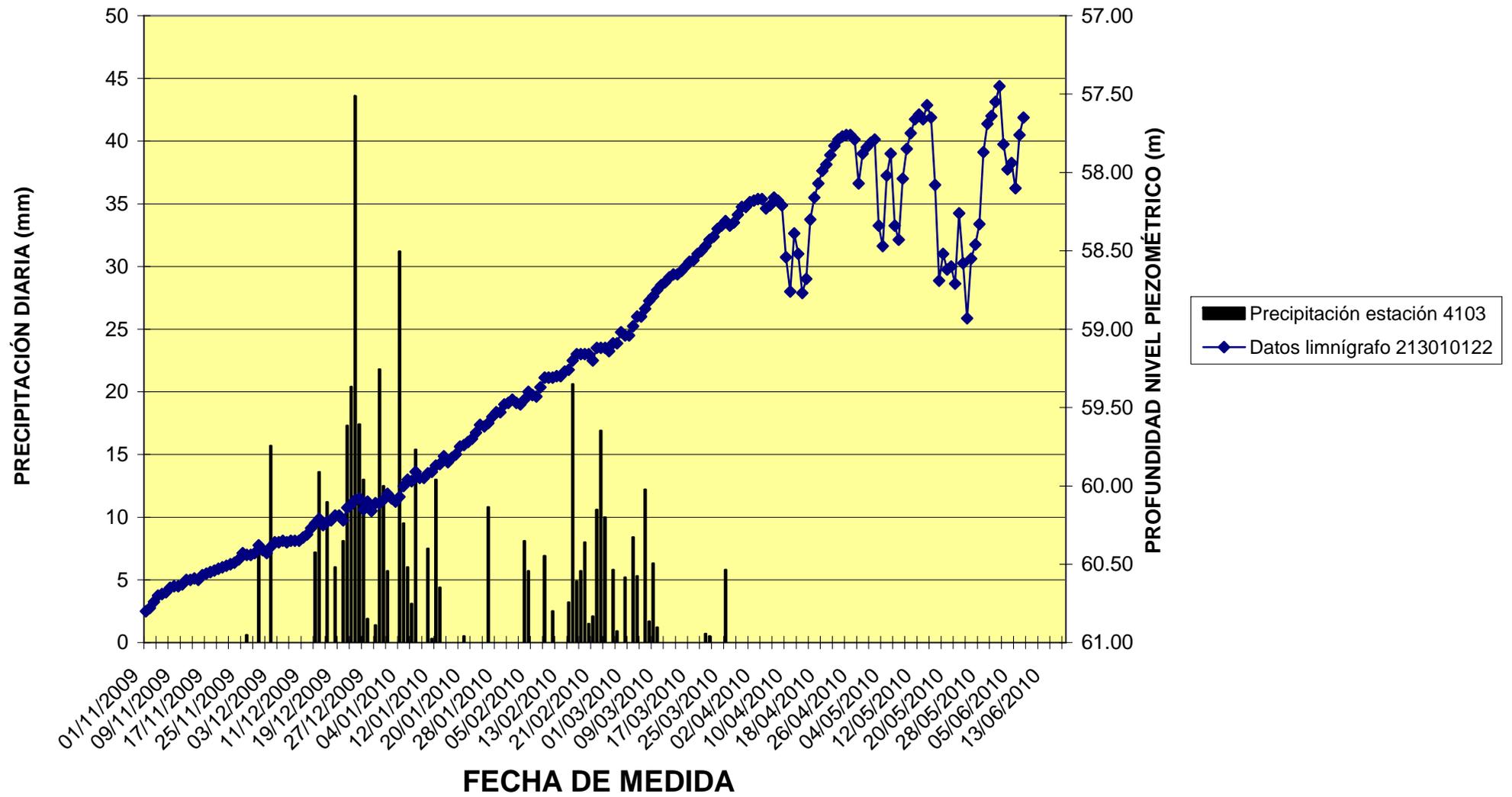


Figura 17.- Evolución piezométrica diaria del punto 213010122

### SOCUELLAMOS (LAS REJAS)(4099I) - 222950028

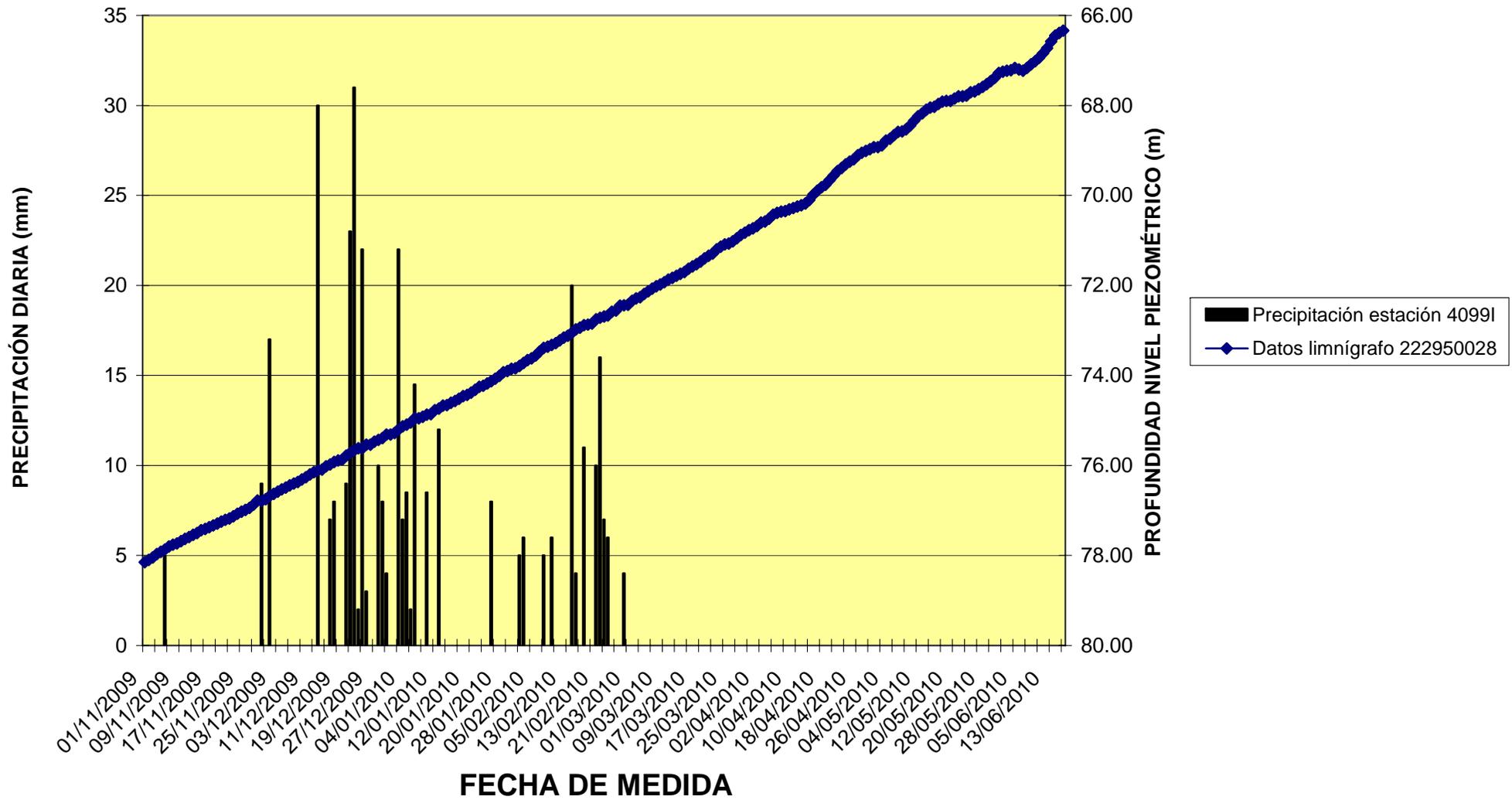


Figura 18.- Evolución piezométrica diaria del punto 222950028

### TOMELLOSO(4103) - 222950028

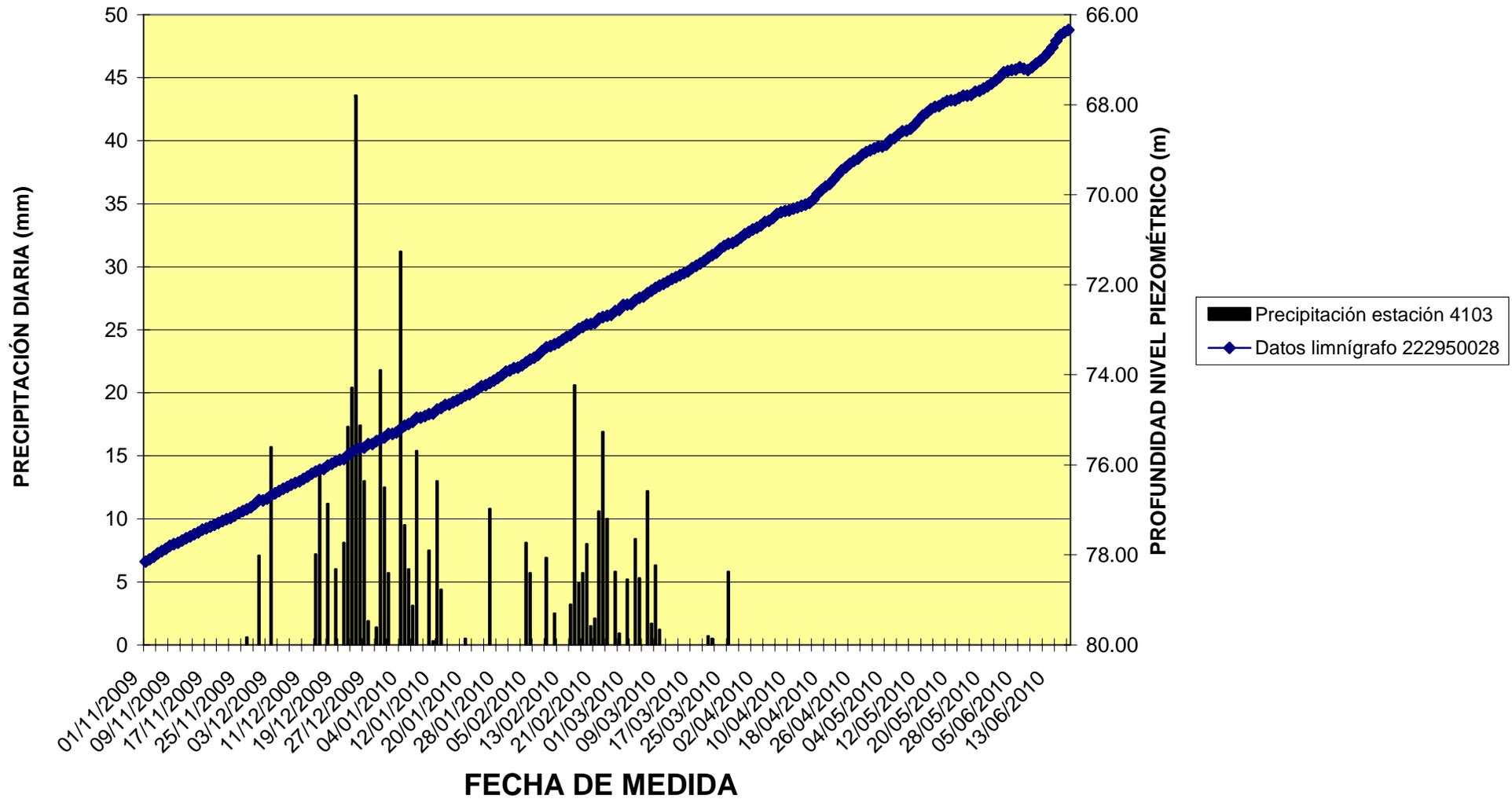


Figura 19.- Evolución piezométrica diaria del punto 222950028

### SAN CLEMENTE(4090) - 222880012

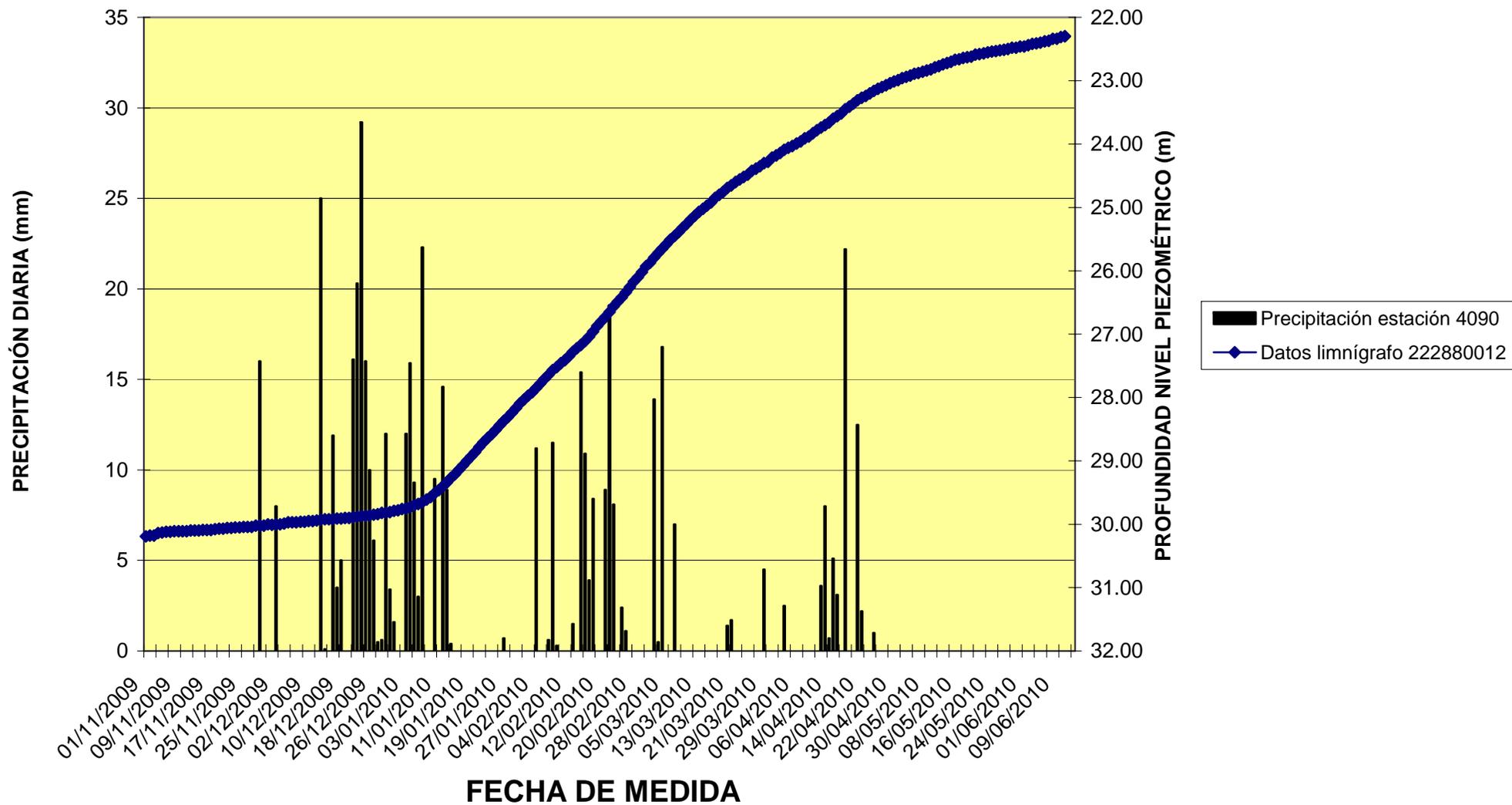


Figura 20.- Evolución piezométrica diaria del punto 222880012

## ARENALES DE SAN GREGORIO(4104) - 212880017

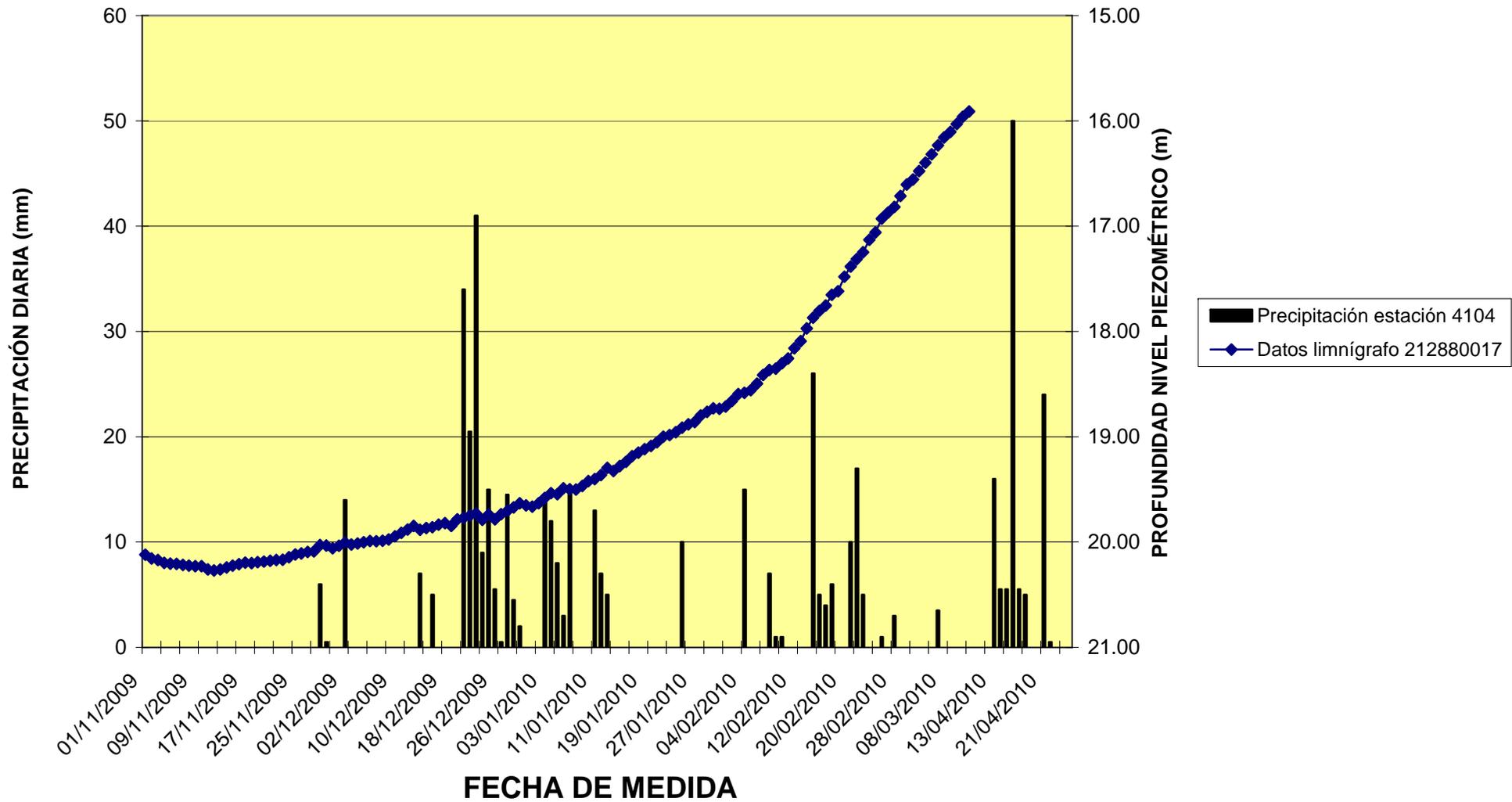


Figura 21.- Evolución piezométrica diaria del punto 212880017

### LAS TABLAS DE DAIMIEL(4112U) - 193020048

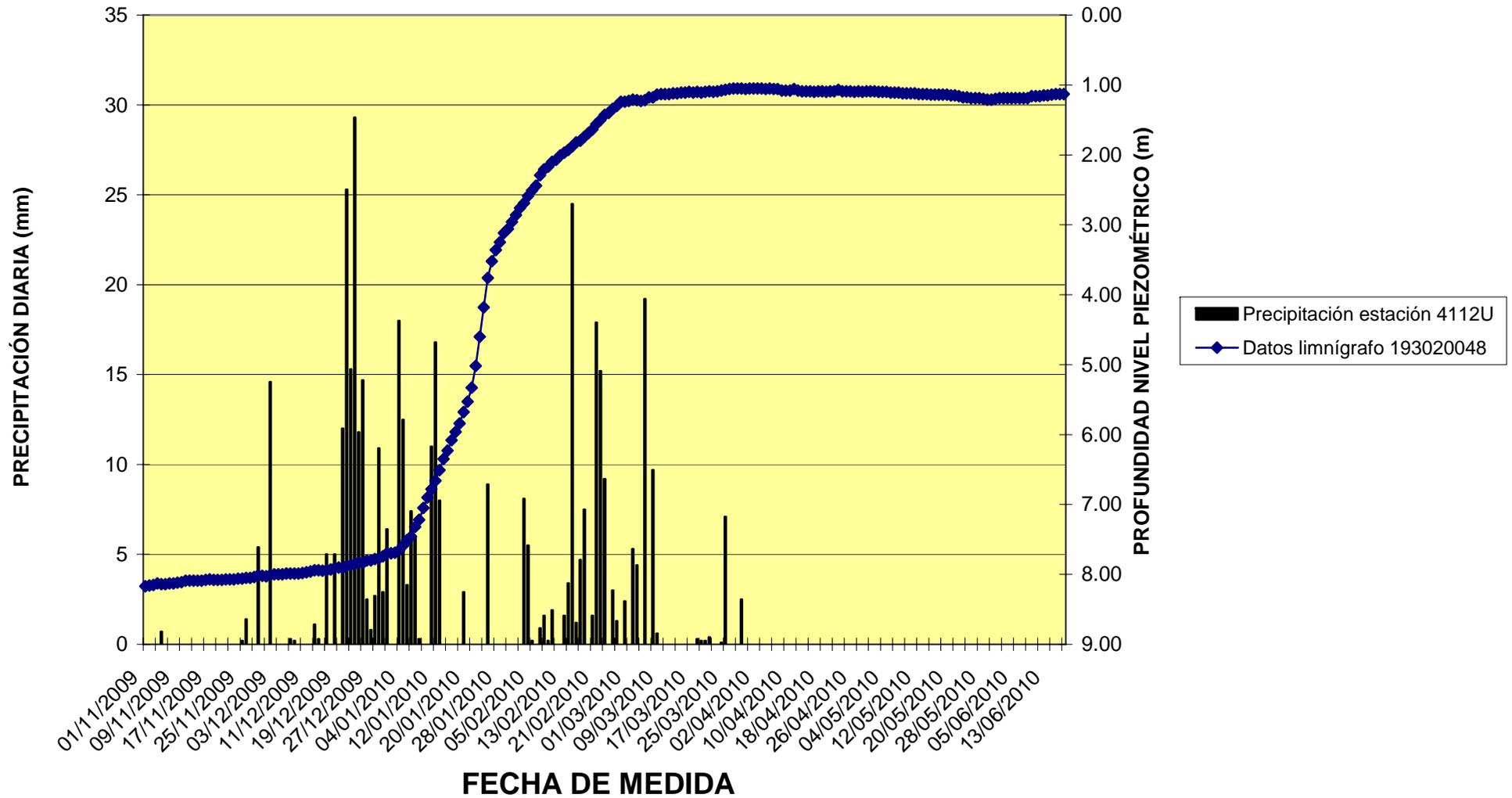


Figura 22.- Evolución piezométrica diaria del punto 193020048

### LAS TABLAS DE DAIMIEL(4112U) - 193040040

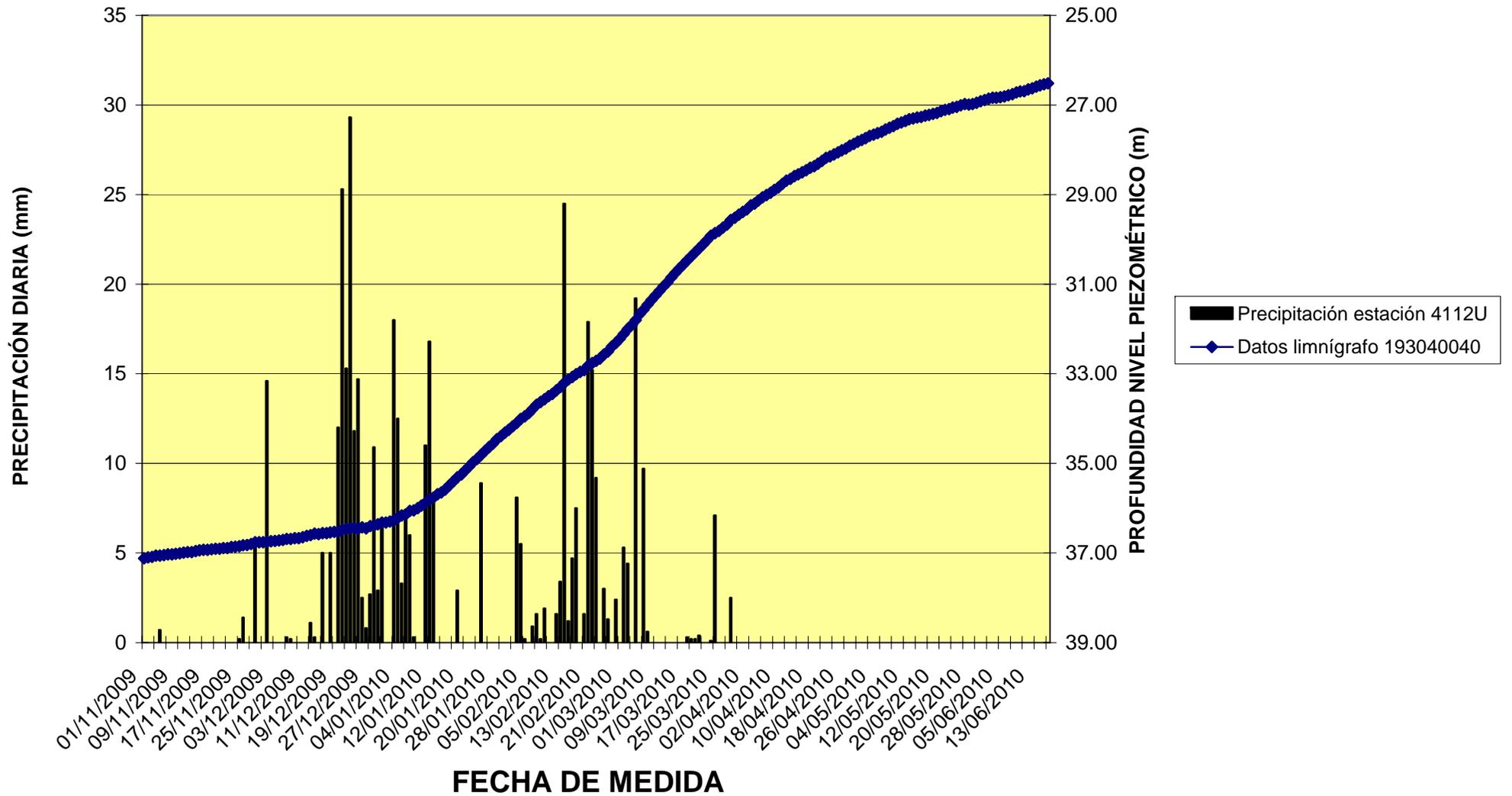


Figura 23.- Evolución piezométrica diaria del punto 193040040

### VILLARTA DE SAN JUAN(4109) - 193040040

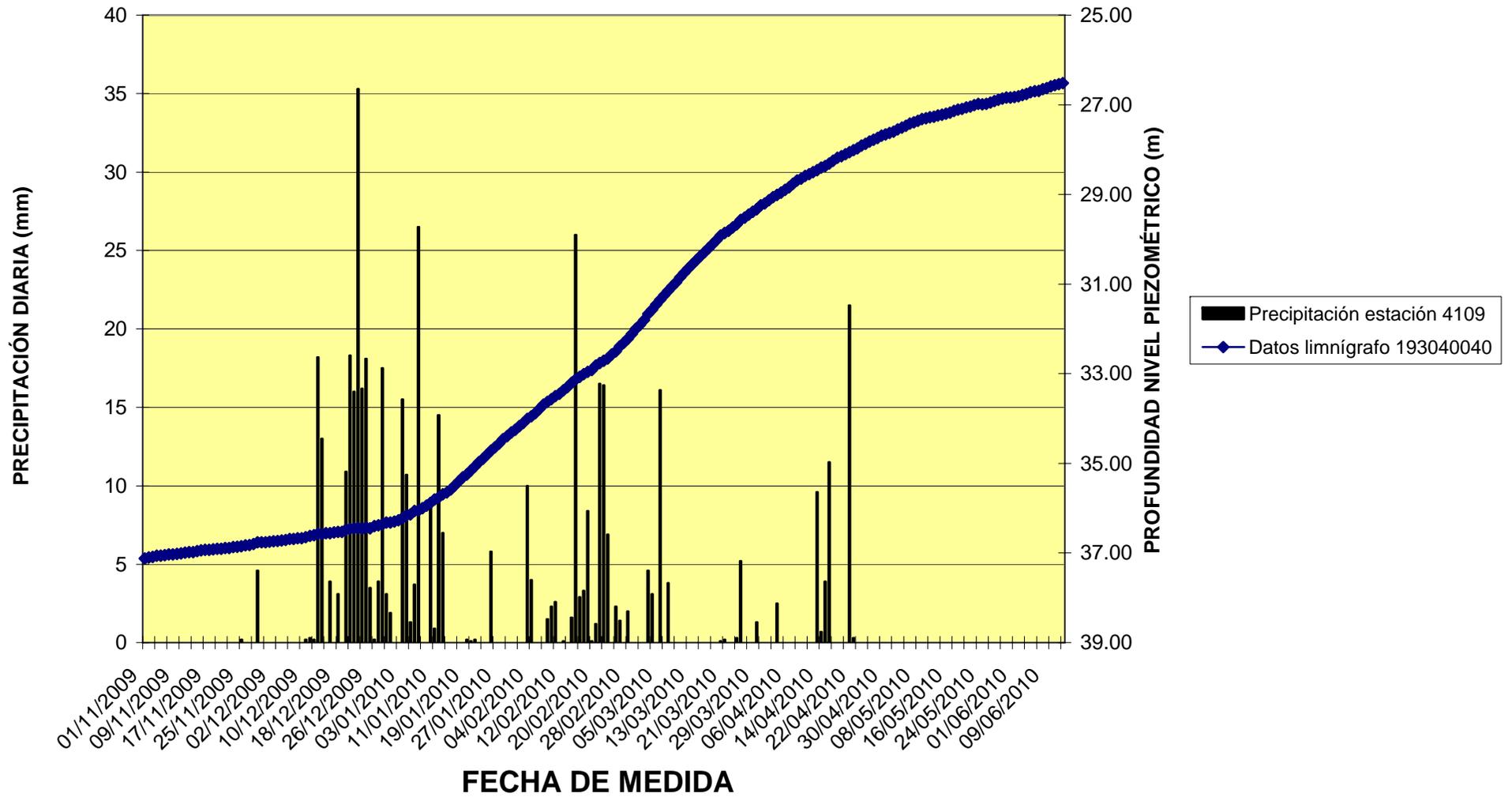


Figura 24.- Evolución piezométrica diaria del punto 193040040

### SAN CLEMENTE(4090) - 232870015

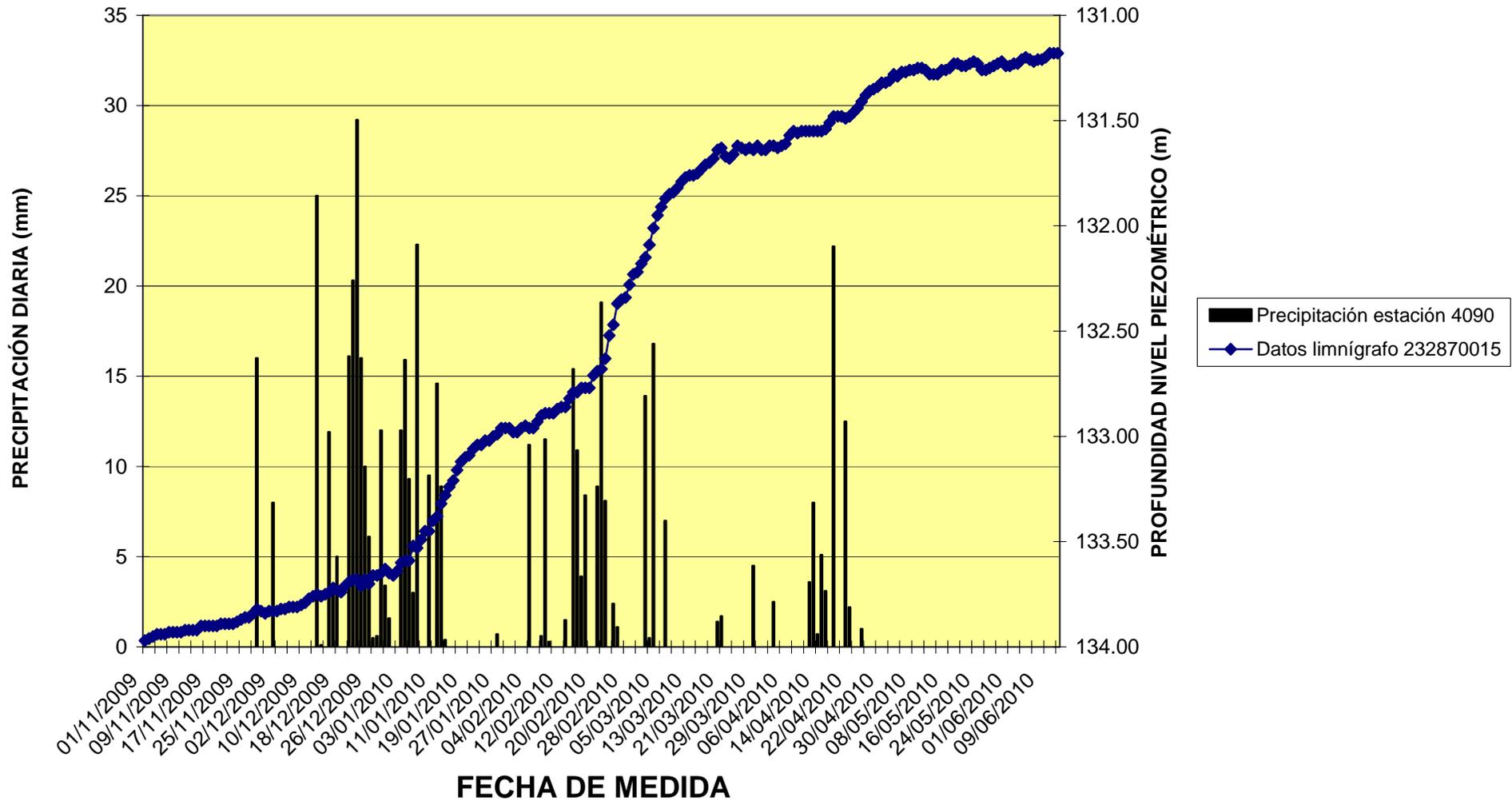


Figura 25.- Evolución piezométrica diaria del punto 232870015

### SAN CLEMENTE(4090) - 222830001

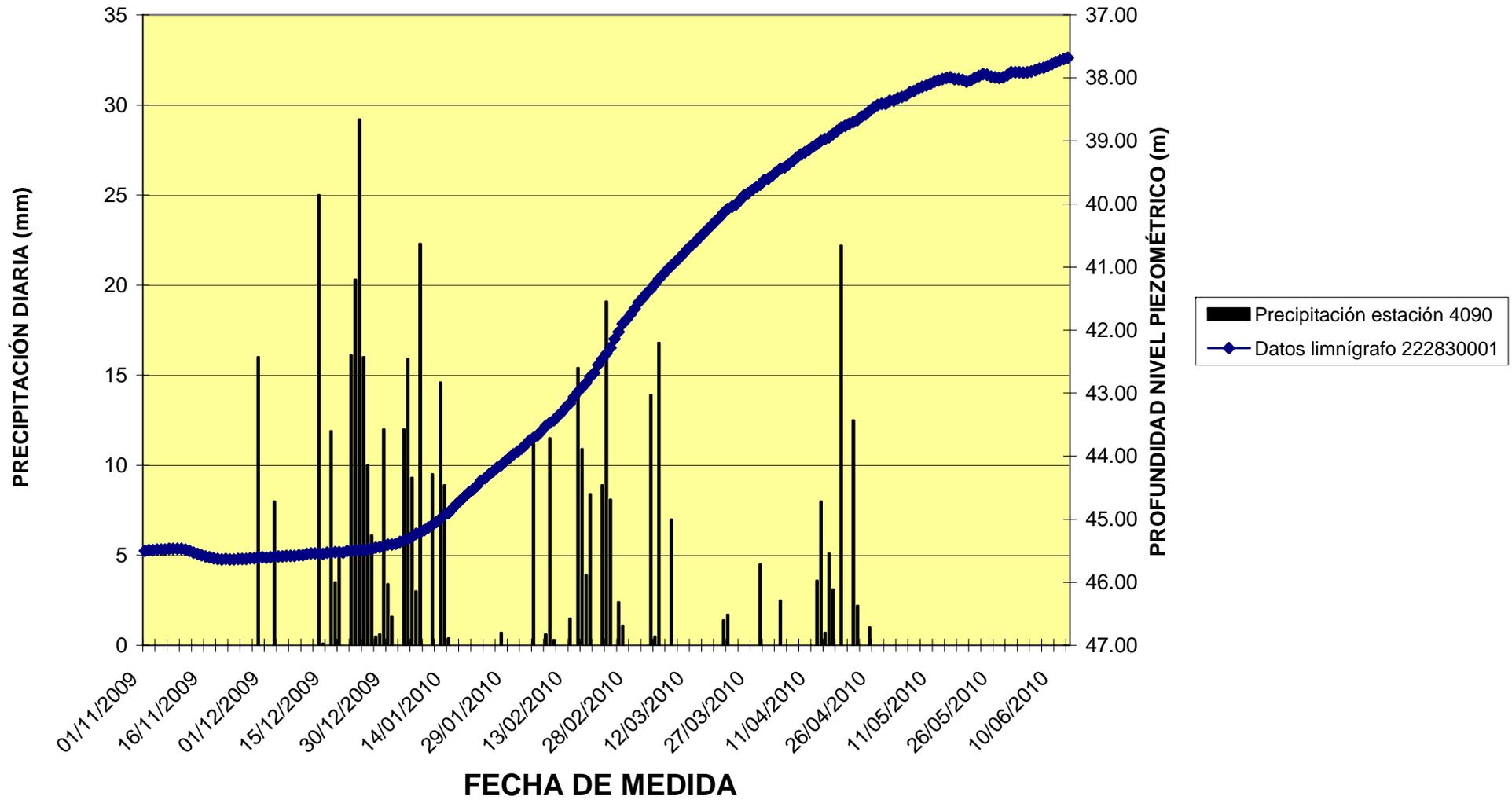


Figura 26.- Evolución piezométrica diaria del punto 222830001

### SAN CLEMENTE(4090) - 222830032

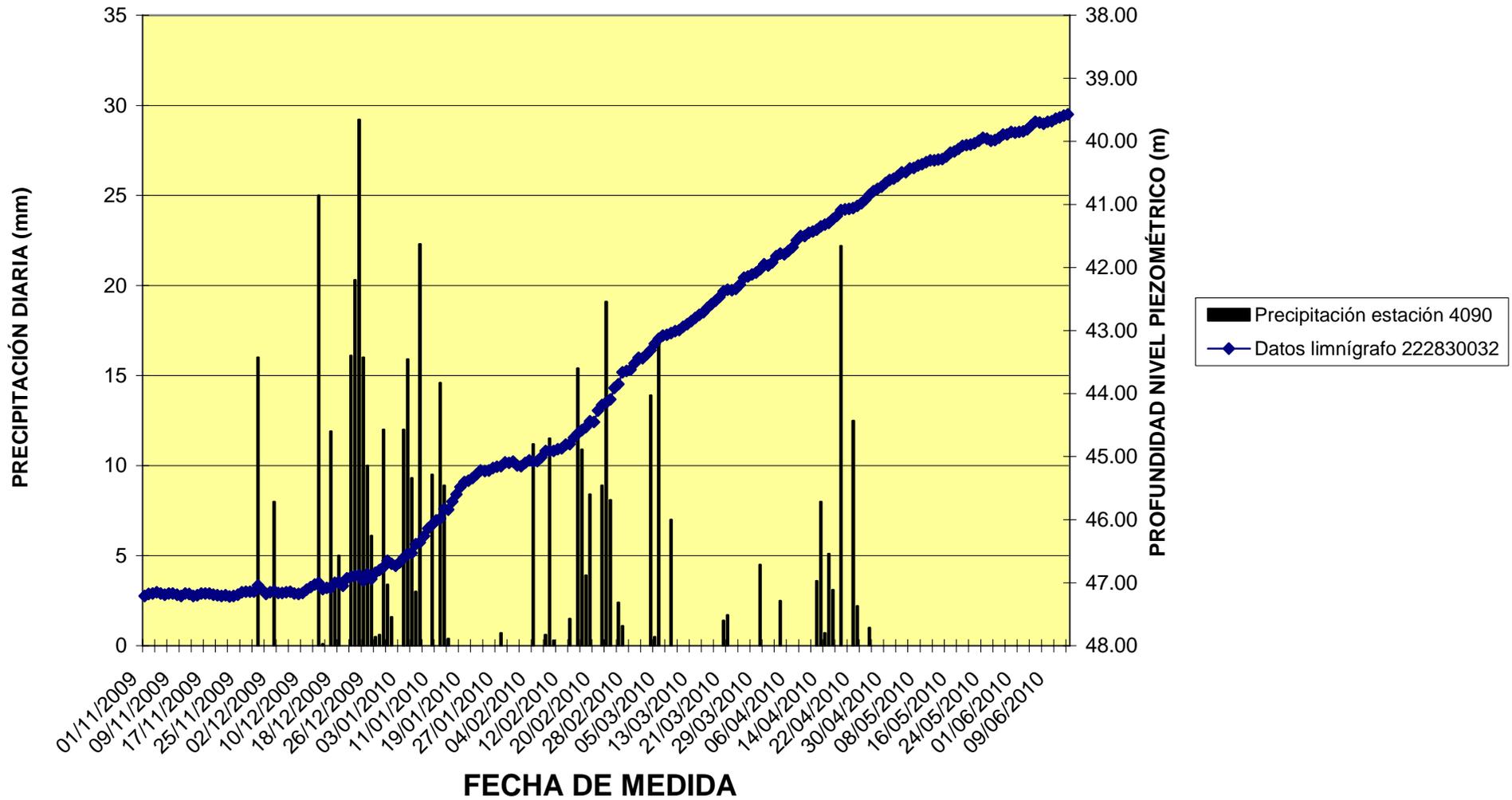


Figura 27.- Evolución piezométrica diaria del punto 222830032

## 7.- CONCLUSIONES

1.- A partir de los datos de precipitación y temperatura de 88 estaciones meteorológicas, distribuidas en las MASb que componen el subsistema Alto Guadiana e incluyendo además la MASb 040-008 Bullaque, se ha realizado el completado de las mencionadas variables mediante correlación lineal.

Con estos datos se ha calculado la lluvia útil y la precipitación media por año tipo climatológico: seco, medio o húmedo para cada MASb de las incluidas en el estudio. Con los valores obtenidos se han dibujado los mapas de isoyetas y lluvia útil para cada año tipo.

Existen importantes diferencias en la precipitación media por MASb para cada tipo de año. Entre año tipo seco y húmedo, la diferencia de precipitación media viene a ser aproximadamente un factor de 2, y entre año medio y húmedo el factor es para todas las MASb entre 1,3 y 1,4.

Las MASb donde se producen más precipitación, para cualquier tipo de año, son por este orden: La Obispalía, Bullaque y Rus-Valdelobos; las que menos: Mancha Occidental I, Mancha Occidental II y Consuegra-Villacañas. El recorrido, o diferencia de precipitación en mm, entre la MASb con mayor precipitación y la de menor precipitación es, respectivamente, para año seco, medio y húmedo: 126 mm, 184 mm y 231 mm.

2.- A partir de los datos diarios de precipitación de las estaciones que se han considerado más representativas de cada MASb, en función de su porcentaje de datos y su situación, se ha calculado la infiltración procedente del agua de lluvia para cada MASb aplicando el programa THORDOS, desarrollado por la empresa IDRENA, que permite calcular los valores diarios de evaporación y lluvia útil, y la descomposición de ésta entre infiltración y escorrentía superficial.

Los valores medios de infiltración obtenidos, en  $\text{hm}^3/\text{año}$ , para cada MASb se han comparado con los valores obtenidos en otros estudios desarrollados por el IGME y la CHG, y en especial con el informe IGME, 2010<sup>5</sup>.

Según este análisis comparativo los valores de infiltración obtenidos para las MASb: La Obispalía ( $27,5 \text{ hm}^3/\text{año}$ ), Consuegra-Villacañas ( $35,4 \text{ hm}^3/\text{año}$ ), Mancha Occidental II ( $110,5 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) y Campo de Montiel ( $133 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) son coherentes con los estimados en otros estudios y se ajustan bien a su balance hídrico. En el caso de las MASb: Sierra de Altomira ( $143,7 \text{ hm}^3/\text{año}$ ), Lillo-Quintanar ( $49,3 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) y Mancha Occidental I ( $117,4 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) presentan estimaciones elevadas en relación con otros estudios y más difíciles de ajustar en el balance. Por último, el valor de infiltración obtenido en la MASb Rus-Valdelobos ( $110 \text{ hm}^3/\text{año}$ ) resulta mucho más alto de lo calculado hasta ahora, y no parece coherente con el balance hídrico de dicha masa.

Estas imprecisiones referidas en algunas masas pueden tener su explicación en los valores asignados a algunos de los parámetros necesarios para el cálculo establecido en el programa y que, por las limitaciones de tiempo, se han fijado de forma general a todas las

---

<sup>5</sup> IGME, 2010. Estimación de los recursos disponibles para cada MASb de la cuenca alta del Guadiana, basada en el análisis de los informes y referencias bibliográficas precedentes y en los datos de infraestructura hidrogeológica y conocimiento experto del IGME.

masas. Quizás también alguna incertidumbre pueda provenir del cálculo de la superficie permeable para cada MASb, pese a haberse realizado con información a escala 1:50.000.

3.- Por último, se ha llevado a cabo un estudio comparativo de la evolución piezométrica, en aquellos puntos que disponen de registro continuo de nivel, con la precipitación diaria de la estación o estaciones meteorológicas más próximas. Este análisis se ha realizado para puntos de control situados en las MASb: Mancha Occidental I, Mancha Occidental II, Rus-Valdelobos y Sierra de Altomira.

La comparación se ha hecho en el intervalo temporal correspondiente a los 6 primeros meses del año hidrológico 2009/10, de octubre 2009 a marzo 2010, sin poder extenderla a un lapso temporal mayor debido a la fecha de finalización del presente informe.

En términos generales, se puede concluir que los puntos de control piezométrico situados en la MASb Mancha Occidental II inician su recuperación coincidiendo con los valores altos de precipitación diaria, dibujando un hidrograma ascendente, que se mantiene hasta los últimos datos de nivel registrados en junio de 2010. El punto situado en la zona nororiental, 222880012, en las proximidades de las MASb Rus-Valdelobos y Sierra de Altomira, experimenta una recuperación más lenta al principio del periodo de lluvias intensas que se va posteriormente incrementando.

Se dispone de escasos datos y un lapso de tiempo muy corto para extraer conclusiones definitivas, pero parece existir una clara influencia en la mitad sur de la MASb Mancha Occidental II de la recarga procedente de la MASb situada al sur, Campo de Montiel, que favorece una recuperación más rápida que la que se produce en la mitad norte.

En la MASb Mancha Occidental I, el punto situado en el Parque Nacional de las Tablas de Daimiel, 193020048, muy próximo al límite de la superficie encharcada, experimenta una recuperación muy rápida y coincidente con las precipitaciones y la evolución de la lámina de agua superficial, hasta adquirir un nivel determinado por ésta.

El punto situado en las proximidades de los Ojos del Guadiana, 193040040, inicia su recuperación algunos días después del inicio del periodo de lluvias intensas y al finalizar éste el ascenso se va moderando, aunque continúa la tendencia ascendente con posterioridad al periodo de precipitaciones importantes.

En la MASb Rus-Valdelobos se analiza la evolución de un punto situado en las proximidades del límite con la cuenca del Júcar. Su evolución refleja los periodos de lluvia intensa y los lapsos con menor o nula precipitación, respondiendo con relativa rapidez a estas variaciones.

Por último, con respecto a la MASb de Sierra de Altomira, los puntos de control estudiados se sitúan muy próximos al límite norte de la MASb Mancha Occidental II y, por tanto, claramente influenciados por la situación hidrogeológica de ésta. Su hidrograma tiene un cierto aspecto sinusoidal y tiende a disminuir su recuperación una vez finalizado el periodo de lluvias. Podría inducirse que la recarga que se produce desde el Norte hacia la MASb Mancha Occidental II resulta de mucha menor entidad que la que recibe desde el Sur, como se ha comentado anteriormente.

Este análisis resulta muy preliminar y, por la experiencia obtenida durante la evolución de anteriores periodos húmedos cortos, resulta necesario continuar el registro de datos y seguimiento de la evolución con posterioridad a la finalización del periodo húmedo, encuadrándolo en un espacio temporal más largo en el que se pueda analizar la influencia de la inercia hídrica de las diferentes MASb y los factores relacionados con la transferencia lateral entre las mismas.

No obstante, los datos obtenidos, la comparación con escenarios anteriores y el conocimiento hidrogeológico de la CAG permiten concluir que, en climas semiáridos, como el existente en la zona, la recarga se produce principalmente durante los cortos y esporádicos periodos húmedos, dando lugar entre éstos a una tendencia al descenso de los niveles que vuelven a recuperar, relativamente en función de las extracciones, en el siguiente periodo de precipitaciones intensas. Este proceso se ha podido constatar en los periodos húmedos 1995/98, 2003/04 y en el actual, 2009/10, aunque en el momento de elaborar este informe todavía no puede darse por finalizado.