

INVESTIGACIÓN HIDROGEOLÓGICA EN SECTORES DE GRAN PRESIÓN DE LA PROVINCIA DE JAÉN. PAUTAS PARA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS ABASTECIMIENTOS URBANOS.



RELACIÓN ENTRE LA RECARGA NATURAL Y LA PIEZOMETRÍA EN EL ACUÍFERO DE LAS CALCARENITAS DE ALCALÁ LA REAL-SANTA ANA

Noviembre de 2015

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	3
2	TRABAJOS REALIZADOS	3
3	EL ABASTECIMIENTO A ALCALÁ LA REAL DESDE LOS LLANOS.....	4
3.1	Sondeo Llanos I (184040075)	4
3.2	Sondeo Llanos II (184040077)	5
3.3	Sondeo Llanos III (184040133)	5
3.4	Fuente Somera (184040014)	5
3.5	Fuente Corredera (184040074)	6
4	ÁREA DE ESTUDIO	7
4.1	Localización geográfica.....	7
4.2	Contexto hidrogeológico	7
5	CÁLCULO DE LA RECARGA NATURAL.....	10
5.1	Precipitación.....	10
5.2	Cálculo de la recarga mediante el balance de agua en el suelo (BAS)	12
5.2.1	Balance de agua en el suelo.....	12
5.2.2	Infiltración y recarga.....	13
6	EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA E HIDROMÉTRICA.....	15
7	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	20
8	REFERENCIAS	21

RELACIÓN ENTRE LA RECARGA NATURAL Y LA PIEZOMETRÍA EN EL ACUÍFERO DE LAS CALCARENITAS DE ALCALÁ LA REAL-SANTA ANA

1 INTRODUCCIÓN

El presente informe forma parte de las actividades previstas en el Convenio Específico entre la Excelentísima Diputación Provincial de Jaén y el Instituto Geológico y Minero de España (en adelante IGME) en materia de aguas subterráneas (2012-2015) y cuyo objetivo es la mejora del conocimiento de los acuíferos en algunos núcleos urbanos o sectores de la provincia de Jaén. Se encuadra dentro de la Actividad 1 del mencionado convenio.

La Excm. Diputación Provincial de Jaén y el IGME, cuya actividad realizando investigaciones hidrogeológicas de detalle en la provincia de Jaén se viene llevando a cabo desde el año 1966 (Proyecto del Guadalquivir. FAO-IGME), suscribieron, con fecha 27 de octubre de 1981, un Convenio Marco que regula de forma general la colaboración entre ambas entidades y que prevé en su cláusula segunda la realización de una serie de actuaciones mediante la figura de un convenio de colaboración. Actualmente, y dentro del Convenio Específico (Excm. Diputación Provincial de Jaén- IGME) en materia de aguas subterráneas (años 2012-2015), se pretende ampliar el conocimiento de diferentes sectores de masas de agua subterránea (MASb) donde la presión humana por bombeos o la presencia de focos potenciales de contaminación puede poner en peligro el suministro de agua potable a las municipios afectados, así como recomendar pautas para la sostenibilidad de sus recursos.

Una definición de sostenibilidad puede ser la de atender a las necesidades actuales sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las suyas, garantizando el equilibrio entre crecimiento económico, cuidado del medio ambiente y bienestar social. En este sentido, la explotación sostenible de las aguas subterráneas deberá ir encaminada a un conocimiento de los recursos y reservas existentes en los acuíferos junto con la dinámica y funcionamiento de los mismos.

El acuífero estudiado en trabajo, denominado Calcarenitas de Alcalá la Real-Santa Ana, es uno de los pilares básicos en el sistema de abastecimiento a Alcalá la Real.

2 TRABAJOS REALIZADOS

Los trabajos llevados a cabo en este acuífero han consistido en el control de una red piezométrica y de aforos de los principales manantiales con periodicidad mensual. Asimismo se han instalado dos piezómetros y un manantial con data logger para su registro continuo.

En la instalación de estos sensores así como en todos los trabajos realizados en el acuífero se ha contado con el apoyo de la empresa municipal de aguas de Alcalá la Real ADALSA.

Además se ha recabado información meteorológica y piezométrica tomada en la zona de trabajo por el personal de la mencionada empresa. Dicha información se ha tratado para los cálculos de la recarga mediante el programa mediante el programa TRASERO 2.0, de la Diputación Provincial de Alicante (Padilla y Delgado, 2012).

3 EL ABASTECIMIENTO A ALCALÁ LA REAL DESDE LOS LLANOS

El municipio de Alcalá la Real tiene una población residente estable de 22.324 habitantes en enero de 2014 de los que 17.178 corresponden al núcleo de Alcalá la Real y los restantes 5.146, a las entidades singulares de Caserías de San Isidro, Pilas de la Fuente del Soto, Mures, Casillas de Mures, La Pedriza, Ribera Alta, Ribera Baja, Santa Ana, Fuente del Rey, Venta de Agramaderos, Peñas de Majalcorón, Villalobos, Fuente Álamo, Las Grageras, Puertollano, La Rábida, San José, Ermita Nueva, Cequia, Las Pilillas, Charilla y Hoya de Charilla. El incremento estacional se estima en aproximadamente 1.500 habitantes. La demanda base, calculada en función de una dotación teórica media de 280 l/hab/día, es de 6.251 m³/día. En los meses de verano, julio, agosto y septiembre, sube a una demanda aproximada de 6.671 m³/día. Esto representa una demanda aproximada de 2.320.000 m³/año. El consumo real, según la información del Plan de Control de abastecimientos urbanos de la provincia de Jaén (IGME-DPJ, 2007) es una cifra muy próxima algo inferior a la demanda.

El abastecimiento a Alcalá la Real se realiza desde un total de 10 sondeos y 5 manantiales, localizados dentro del propio término municipal a excepción de uno de ellos que se encuentra situado en el municipio vecino de Frailes. Los sondeos denominados Llanos I (184040075), Llanos II (184040077), Llanos III (184040133), El Chaparral 1 y 2 (194010024), Hortichuela (184030024), La Rábida (183960025), Abastecimiento a Mures (194010027), Charilla (184040058) y los manantiales de Fuente Somera (184040014), Fuente Corredera (184040074), El Robledo (183980008) y La Maleza-La Lastra (183980005) drenan materiales pertenecientes a diferentes Masas de Agua Subterránea (MASb).

De estas captaciones de abastecimientos, las denominadas Llanos I (184040075), Llanos II (184040077), Llanos III, Fuente Somera (184040014), Fuente Corredera captan o drenan el acuífero de las Calcarenitas de Alcalá la Real-Santa Ana y a su vez suponen, junto a los sondeos del Chaparral 1 y 2 del acuífero Frailes-Boleta, la parte fundamental del abastecimiento.

3.1 Sondeo Llanos I (184040075)

Tiene una profundidad de 90 m y se desconoce el diámetro de perforación así como las características de la entubación. Se sitúa a cota 950 m s.n.m.. Su caudal de explotación es de aproximadamente 16 l/s. El nivel estático se situaba a 31,22 m de profundidad el día 20 de agosto de 2015, a cota aproximada de 916 m s.n.m.. Está instalado con una electrobomba sumergible de 50 C.V.. La tubería de impulsión es metálica.



El sondeo dispone de tubo piezométrico para el control de los niveles estático y dinámico, pero no de caudalímetro para la medida del caudal bombeado ni de espita tomamuestras. No dispone de contador de energía eléctrica solamente para el equipo de bombeo.

Los datos de la Encuesta de Cuantificación de

Volúmenes de Bombeo para el año 2006 indican un volumen anual extraído de 182.500 m³.

3.2 Sondeo Llanos II (184040077)

Tiene una profundidad de 93 m y se desconoce el diámetro de perforación así como las características de la entubación. Se sitúa a cota 930 m s.n.m.. Su caudal de explotación es de aproximadamente 20 l/s. El nivel estático se situaba a 28,18 m de profundidad el día 16 de febrero de 2010, a cota aproximada de 902 m s.n.m.. Está instalado con una electrobomba sumergible de 30 C.V.. La tubería de impulsión es metálica.



El sondeo dispone de tubo piezométrico para el control de los niveles estático y dinámico, pero no de caudalímetro para la medida del caudal bombeado y ni de espita tomamuestras. No dispone de contador de energía eléctrica solamente para el equipo de bombeo.

Los datos de la Encuesta de Cuantificación de Volúmenes de Bombeo para el año 2006 indican un volumen anual extraído de 365.000 m³.

3.3 Sondeo Llanos III (184040133)

Se sitúa a cota 947 m s.n.m.. Su caudal de explotación es de aproximadamente 10 l/s. El nivel estático se situaba a 35,05 m de profundidad el día 22 de Julio de 2004, a cota aproximada de 912 m s.n.m..



Está instalado con una electrobomba sumergible y la tubería de impulsión es metálica.

El sondeo dispone de tubo piezométrico para el control de los niveles estático y dinámico, de caudalímetro para la medida del caudal bombeado y dispone de espita tomamuestras. No dispone de contador de energía eléctrica solamente para el equipo de bombeo. En el Plan de Control de Abastecimientos Urbanos de la provincia de Jaén (IGME-DPJ,

2007) se le asignan unas extracciones de 7.300 m³ para el año 2006.

3.4 Fuente Somera (184040014)

Situada en paraje del mismo nombre, junto a la Urbanización Fuente del Rey al este del casco urbano de Alcalá la Real y a cota 935 m s.n.m. constituye uno de los principales puntos de drenaje natural del acuífero de las Calcarenitas de Alcalá la Real-Santa Ana.



Fuente del Rey en dirección norte durante unos 500 m..

3.5 Fuente Corredera (184040074)

Se localiza a unos 0,4 km, en paraje del mismo nombre, al norte del casco urbano de Alcalá la Real y a cota 960 m s.n.m.



La captación consiste en una galería (con pozos a la superficie) de unos 50 ó 60 m que cruza el barranco y conduce el agua hasta un depósito en el que toda el agua captada es bombeada para abastecimiento.

Se localiza a unos 2,5 km al este de Alcalá la Real, en las proximidades de la Urbanización Fuente del Rey de la aldea de Santa Ana. El acceso se realiza por la carretera de Santa Ana y tomando el camino que parte desde la

La captación consiste en una galería desde la que conduce el agua hasta un depósito en el que toda el agua captada es bombeada para abastecimiento.

El acceso se realiza por el camino que va a los Tajos de San Marcos.

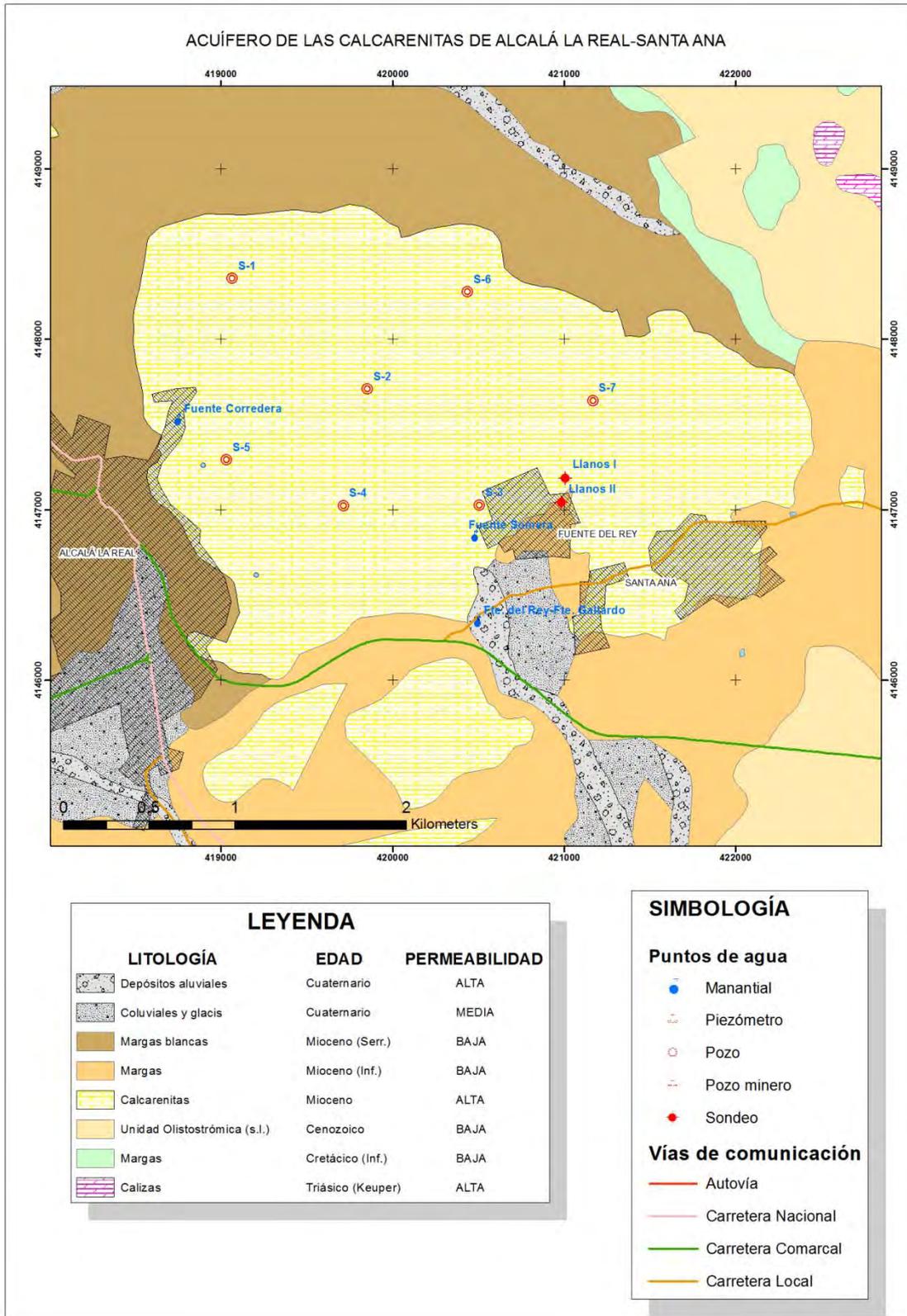


Figura 4.2: Mapa hidrogeológico del acuífero de las Calcarenitas de Alcalá la Real-Santa Ana (modificado de IGME-DPJ, 2012).

El principal drenaje se localiza en el paraje de Fuente del Rey, donde se sitúan las surgencias más representativas: Fuente Somera, Fuente del Rey y Fuente Gallardo, que surgen a cotas comprendidas entre 900-925 msnm. La Fuente del Rey

pertenecía a las redes hidrométrica y de calidad, controladas por el IGME hasta 2001. Otra surgencia significativa es Fuente Corredera, situada en el extremo occidental del acuífero a 960 msnm. Estos manantiales presentaban, hace 10-15 años, caudales de 20-40 l/s; sufriendo importantes descensos en los años siguientes, tras la puesta en funcionamiento sucesivamente de los sondeos de los Llanos, denominados Llanos Viejo, I, II y III, para abastecimiento a Alcalá La Real. Existen además numerosas perforaciones de titularidad particular, concentradas en Santa Ana y Fuente del Rey, algunas de las cuales se comportaron inicialmente como surgentes.

El flujo subterráneo se dirige principalmente hacia el SE aunque una pequeña parte lo hace hacia el SO; el nivel piezométrico se sitúa entre 980 msnm, en las zonas septentrionales y 900 msnm, en las áreas de descarga.

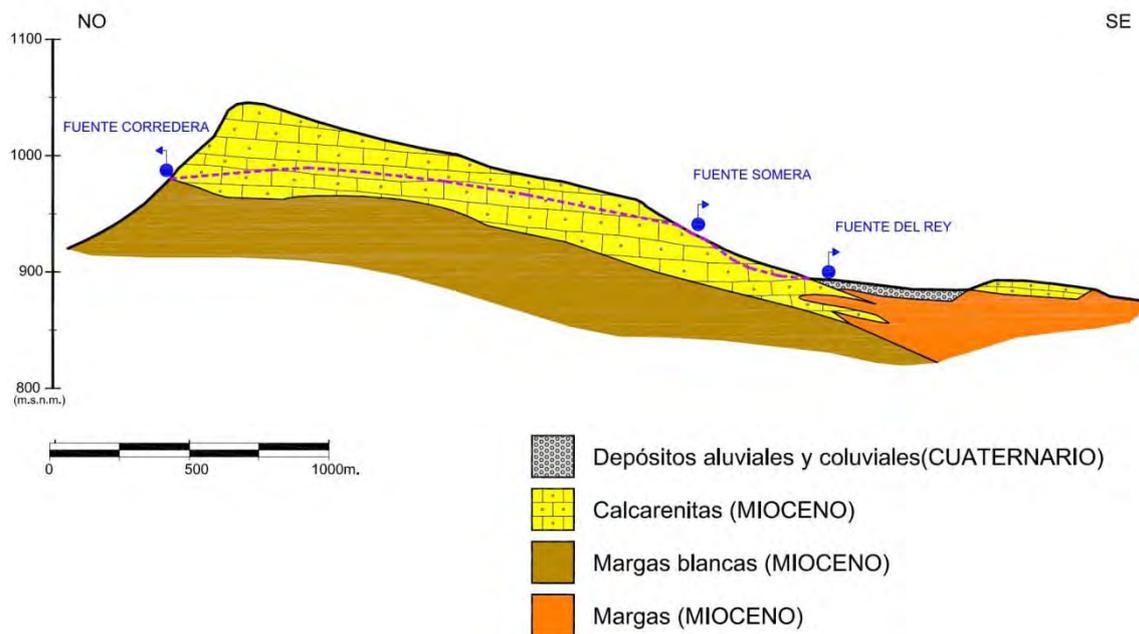


Figura 4.3: Corte hidrogeológico esquemático (tomado de IGME-DPJ, 2012)

Los parámetros hidráulicos del acuífero, según los ensayos de bombeo realizados en los sondeos Llanos I y II, son de 2200-2400 m²/d para la transmisividad y de 2x10⁻³ para el coeficiente de almacenamiento.

La alimentación se produce exclusivamente por infiltración del agua de lluvia. Las salidas corresponden: por un lado, a los bombeos efectuados para abastecimiento de Alcalá La Real (0,55 hm³/año en 2006), y por otro, a las emergencias naturales a través de manantiales, y otros bombeos de menor importancia, cuantificadas en 0,75 hm³/año.

El balance hídrico medio del acuífero, para el período de 24 años hidrológicos 1975-76 a 1998-1999, permite evaluar unos recursos renovables medios del acuífero de 1,3 hm³/año. De los recursos renovables estimados, se aprovechan 0,6 hm³/año para abastecimiento a Alcalá La Real, desconociéndose el volumen anual destinado a regadío.

5 CÁLCULO DE LA RECARGA NATURAL

Tomando como base los datos de precipitación tomados por la empresa pública ADALSA (Aguas de Alcalá la Real, S.A.) de la estación pluviométrica de la E.D.A.R. de Alcalá la Real y de temperatura de la Estación Agroclimática de la Junta de Andalucía de Alcaudete se ha calculado la recarga natural del acuífero para los años hidrológicos de observación del presente proyecto (2012-2015). En la tabla 1 se presentan las coordenadas de situación de ambas estaciones meteorológicas.

Estación	X (UTM)	Y (UTM)	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
EDAR Alcalá la Real	418969	4143939	37° 26' 20" N	03° 54' 58" W	853
Alcaudete	404780	4159460	37° 34' 38" N	04° 04' 42" W	645

Tabla 1: Localización geográfica de las estaciones meteorológicas utilizadas.

5.1 Precipitación

En la zona de estudio se dispone de un registro pluviométrico llevado a cabo por ADALSA desde la Estación "EDAR Alcalá la Real". Los valores anuales (ver figura 5.1) indican una precipitación media de 620,36 mm/año para el periodo 2004-2015. En ese periodo se observa que existen años hidrológicos extremadamente secos como 2004-2005 con 248 mm/año y otros muy lluviosos como el caso de 2012-2013 en el que cayeron 1.182 mm.

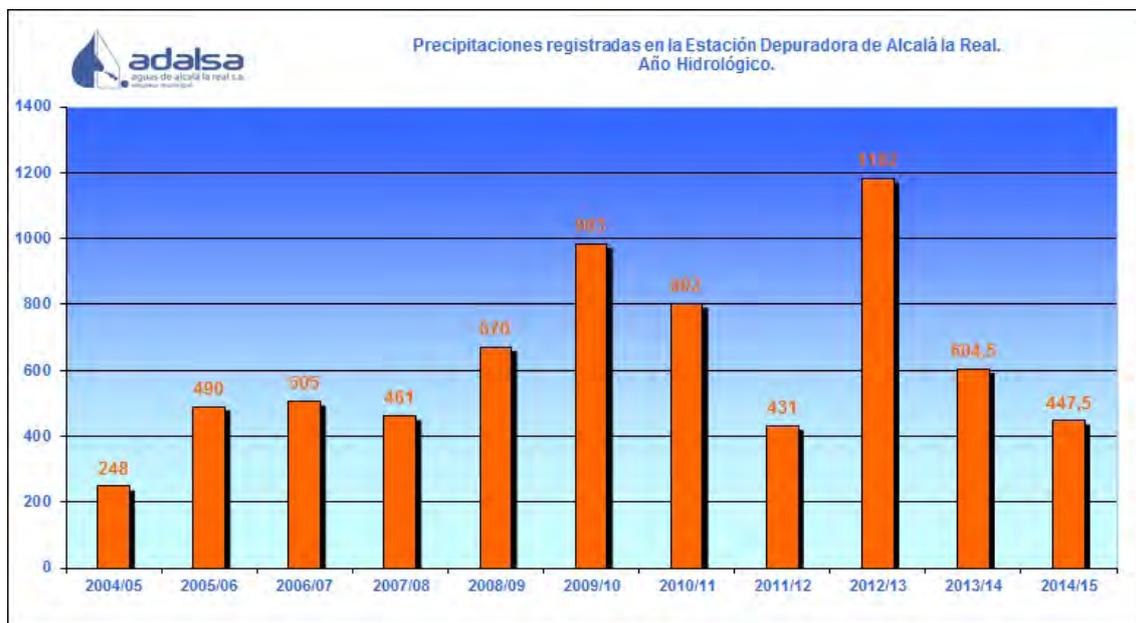


Figura 5.1: Precipitaciones anuales registradas en la Estación "EDAR Alcalá la Real".

Las series de datos pluviométricas utilizadas han sido las correspondientes a los años hidrológicos 2012-13, 2013-14 y 2014-5 que han sido los de duración del proyecto y por lo tanto del periodo de observación. No han tenido que ser completadas ya que existe un registro continuo para el periodo estudiado. Los datos se han tratado mediante la aplicación TRASERO 2.1.0 (Padilla y Delgado, 2011). En la tabla 2 se presentan los estadísticos fundamentales para la pluviometría y en la tabla 3 los correspondientes a la serie de temperaturas.

media diaria	2.04
media anual	744.19
mínimo	0.00
máximo	69.00
rango	69.00
varianza	42.34
desviación típica	6.51
coeficiente de variación	3.19
coeficiente de asimetría	5.11
curtosis	33.28

Tabla 2: Estadísticos fundamentales de la serie pluviométrica.

media	16.34
mínimo	0.00
máximo	32.80
rango	32.80
varianza	58.85
desviación típica	7.67
coeficiente de variación	0.47
coeficiente de asimetría	0.16
curtosis	-1.10

Tabla 3: Estadísticos fundamentales de la serie termométrica.

Como se puede observar, la precipitación media en el periodo estudiado es de 744 mm, por encima de la media del periodo 2004-2015, y la temperatura de 16,34°C. En las figuras 5.2 y 5.3 se han representado la precipitación diaria y la temperatura en función del tiempo.

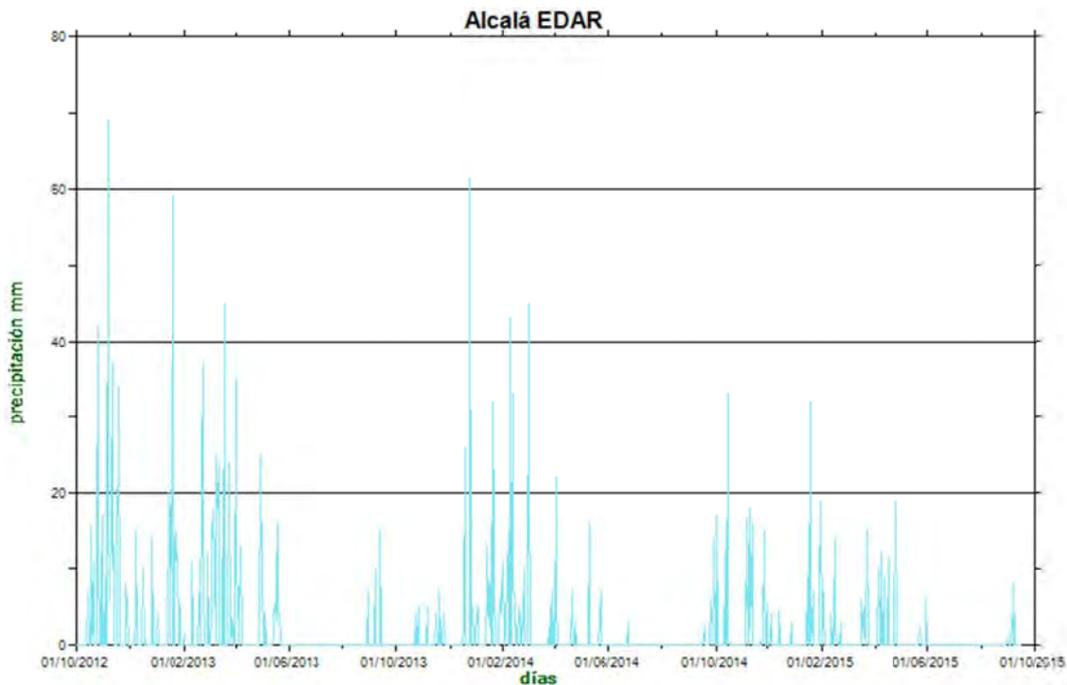


Figura 5.2: Evolución temporal de la precipitación.

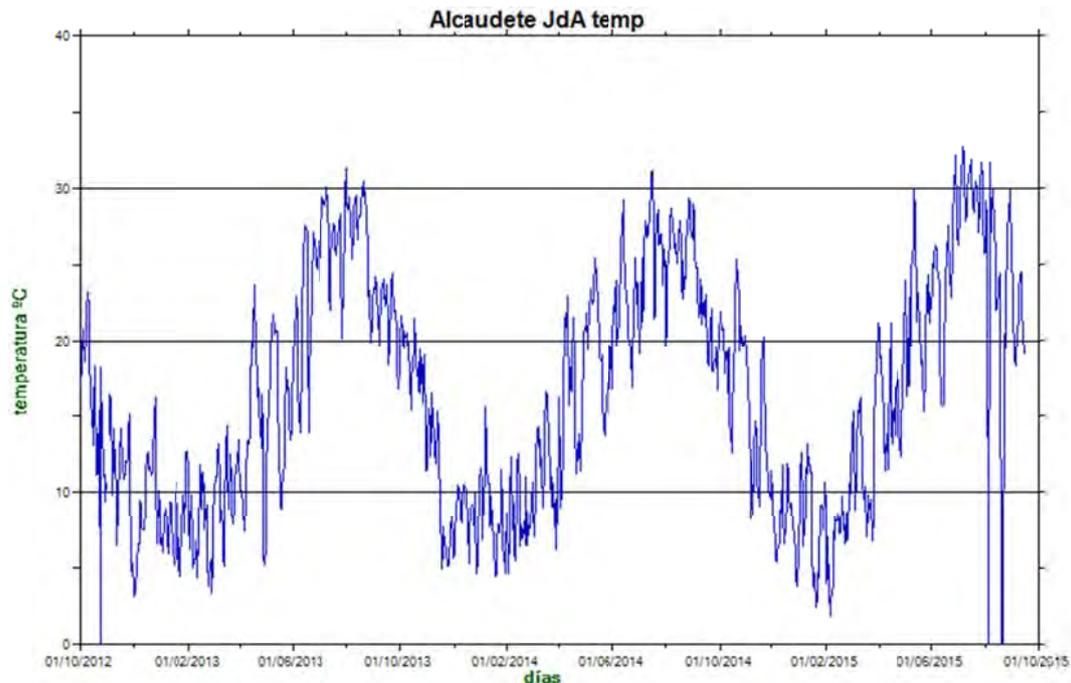


Figura 5.3: Evolución temporal de la temperatura media diaria.

5.2 Cálculo de la recarga mediante el balance de agua en el suelo (BAS)

5.2.1 Balance de agua en el suelo

El balance de agua en el suelo (BAS) consiste en la aplicación del principio de conservación de masa a una cierta región de volumen conocido y definida por unas determinadas condiciones de contorno, siendo la diferencia entre el total de entradas y de salidas igual al cambio de agua almacena durante el periodo de tiempo en el que se realiza el balance (Samper, 1998).

Por tanto, los métodos para la cuantificación de la recarga mediante balance de agua evalúan los volúmenes infiltrados al acuífero de forma directa, mediante la medida y el cálculo de los componentes del balance. A efectos prácticos, solo algunos de los componentes del balance pueden ser medidos (precipitación, salidas por manantiales o extracciones por bombeo), mientras que el resto de componentes han de evaluarse a partir de la utilización de fórmulas semiempíricas, que se emplean básicamente para el cálculo de la evapotranspiración de referencia o potencial (ETP), de la evapotranspiración real (ETR) y de la lluvia útil (LLU).

El balance hídrico se ha realizado a partir de series de datos diarios de precipitación. Su cálculo se ha realizado con un periodo de 3 años, comprendido entre los años 2012 y 2015.

Los valores de LLU en ambas estaciones se han calculado a partir de balances diarios de agua en el suelo utilizando dos valores de reserva útil de 25 mm que se ha considerado el más adecuado para las condiciones del área de estudio en función del tipo de suelos existentes sobre la superficie de recarga de este acuífero (Matos-Rosillo et al., 2013).

Para descomponer la LLU en escorrentía (ESC) y en infiltración (INF) se ha seguido el método del Soil Conservation Service de los EE.UU (Témez, 1978). Este método parte de un umbral de escorrentía (P_0) a partir del cual se empieza a producir

escorrentía superficial. El valor de este parámetro depende de la litología, de la pendiente y de la vegetación.

Por tanto, el cálculo de la recarga se ha realizado mediante la clásica metodología de Thornthwaite y Mather (1955) con datos diarios y con la ayuda del programa informático TRASERO 2.1.0 (Padilla y Delgado, 2011).

5.2.2 Infiltración y recarga

El tratamiento de los datos de precipitación y temperatura han permitido obtener, a partir de la Lluvia Útil, la infiltración que se produce sobre los materiales permeables. Este valor, multiplicado por la superficie de afloramiento nos da la recarga natural.

En la tabla 4 se presentan los valores de la Lluvia Útil, Infiltración y Recarga para una superficie total de afloramiento del acuífero de 6,6 km². Asimismo, en las figuras 5.4 y 5.5 se ha representado la Lluvia útil y la escorrentía en la primera de ellas y la recarga mensual en la segunda.

Mes	LLU 25 (mm)	INF 25 (mm)	RECARGA (m³)
oct-12	53,05	47,43	313038
nov-12	173,35	146,65	967890
dic-12	33,38	32,91	217206
ene-13	157,66	142,08	937728
feb-13	74,29	65,99	435534
mar-13	201,11	182,12	1201992
abr-13	44,70	43,00	283800
may-13	4,63	4,63	30558
jun-13	0,00	0,00	0
jul-13	0,00	0,00	0
ago-13	0,00	0,00	0
sep-13	0,00	0,00	0
oct-13	0,00	0,00	0
nov-13	0,00	0,00	0
dic-13	41,23	40,05	264330
ene-14	52,07	51,88	342408
feb-14	118,39	113,81	751146
mar-14	52,68	45,09	297594
abr-14	8,66	8,66	57156
may-14	0,00	0,00	0
jun-14	0,00	0,00	0
jul-14	0,00	0,00	0
ago-14	0,00	0,00	0
sep-14	0,00	0,00	0
oct-14	54,86	47,45	313170
nov-14	130,73	113,38	748308
dic-14	19,60	19,60	129360
ene-15	42,37	41,95	276870
feb-15	21,20	21,20	139920

Mes	LLU 25 (mm)	INF 25 (mm)	RECARGA (m ³)
mar-15	35,38	35,31	233046
abr-15	37,06	36,59	241494
may-15	13,65	13,41	88506
jun-15	5,18	5,18	34188
jul-15	0,00	0,00	0
ago-15	0,00	0,00	0
sep-15	0,00	0,00	0

Tabla 4: Valores de la Lluvia Útil, Infiltración y Recarga obtenidos.

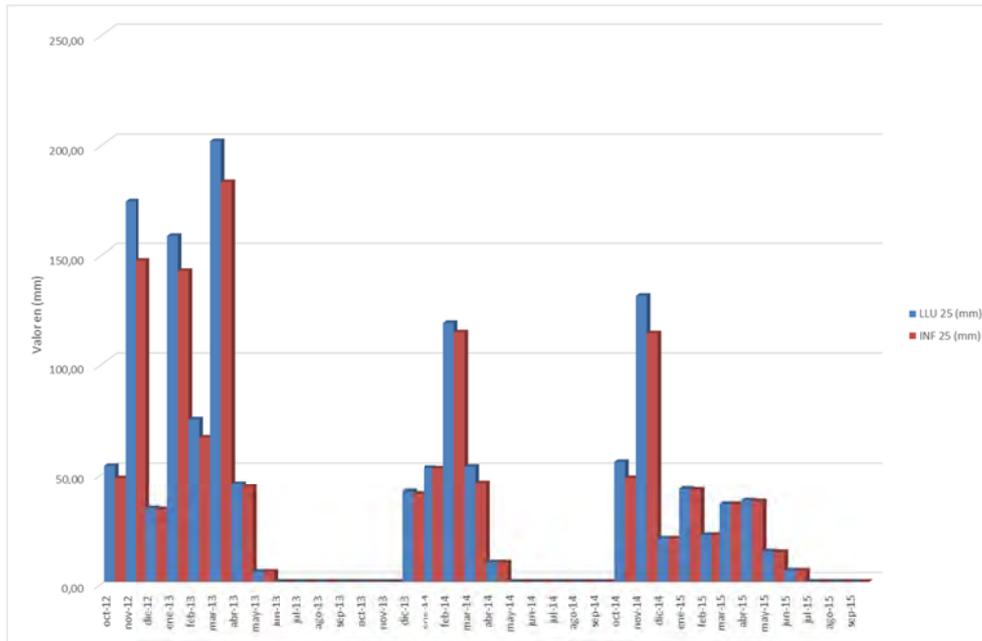


Figura 5.4: Lluvia Útil e Infiltración mensuales en el acuífero.

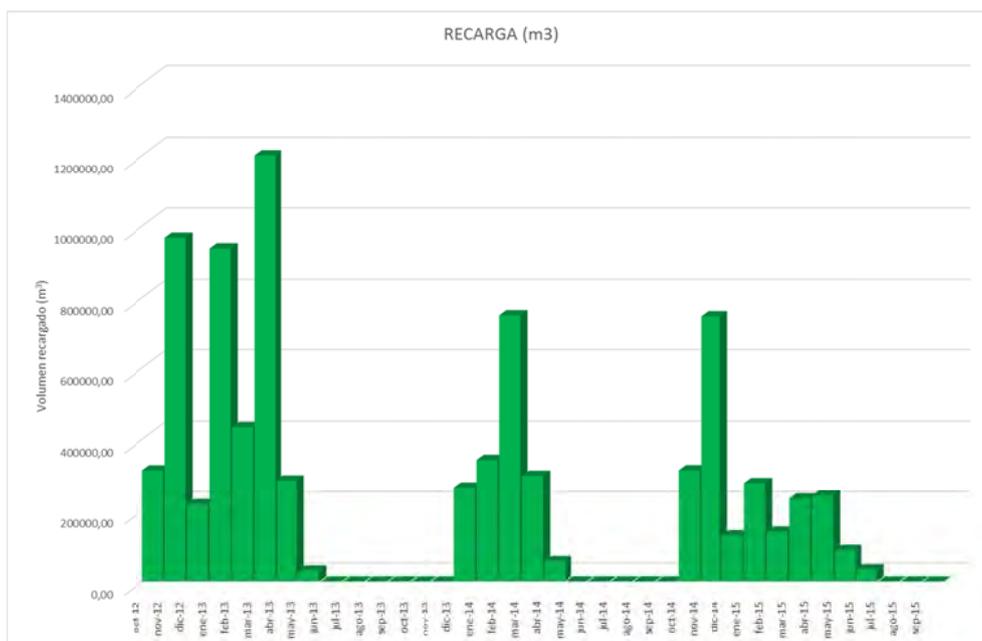


Figura 5.5: Recarga en m³/mes en el acuífero de las calcarenitas de Alcalá-Santa Ana.

Como se puede observar, la recarga durante el año hidrológico 2012-13 fue mucho mayor que en los dos siguientes, sobre todo que en el 2013-14. Así, los valores

anuales calculados son los que se incluyen en la tabla 5, en la que se presentan con diferentes unidades para su mejor comprensión. Un aspecto destacable es que en el año hidrológico 2014-2015, la recarga obtenida es superior a la del año anterior si bien la precipitación en el 2013-2014 fue mayor. Este fenómeno puede deberse a la diferente distribución de la precipitación a lo largo del tiempo, como se observa en la figura 5.2.

Año	2012-2013	2013-2014	2014-2015
PRECIPITACIÓN (mm)	1.182	604,5	447
RECARGA (m ³ /año)	4387745	1712633	2204861
RECARGA (hm ³ /año)	4,39	1,71	2,20
RECARGA (l/s)	139	54	70

Tabla 5: Recarga anual calculada

Con estos valores se considera una recarga media para el acuífero de 2,7 hm³/año.

6 EVOLUCIÓN PIEZOMÉTRICA E HIDROMÉTRICA

La piezometría se lleva controlando en el acuífero de las Calcarenitas de Alcalá la Real-Santa Ana, con diferente periodicidad, desde 1994 por ADALSA en los sondeos Llanos I y II y desde 2003 por el IGME en los piezómetros construidos por el SGOP. En la figura 6.1 se presenta un gráfico de la evolución piezométrica de este acuífero.

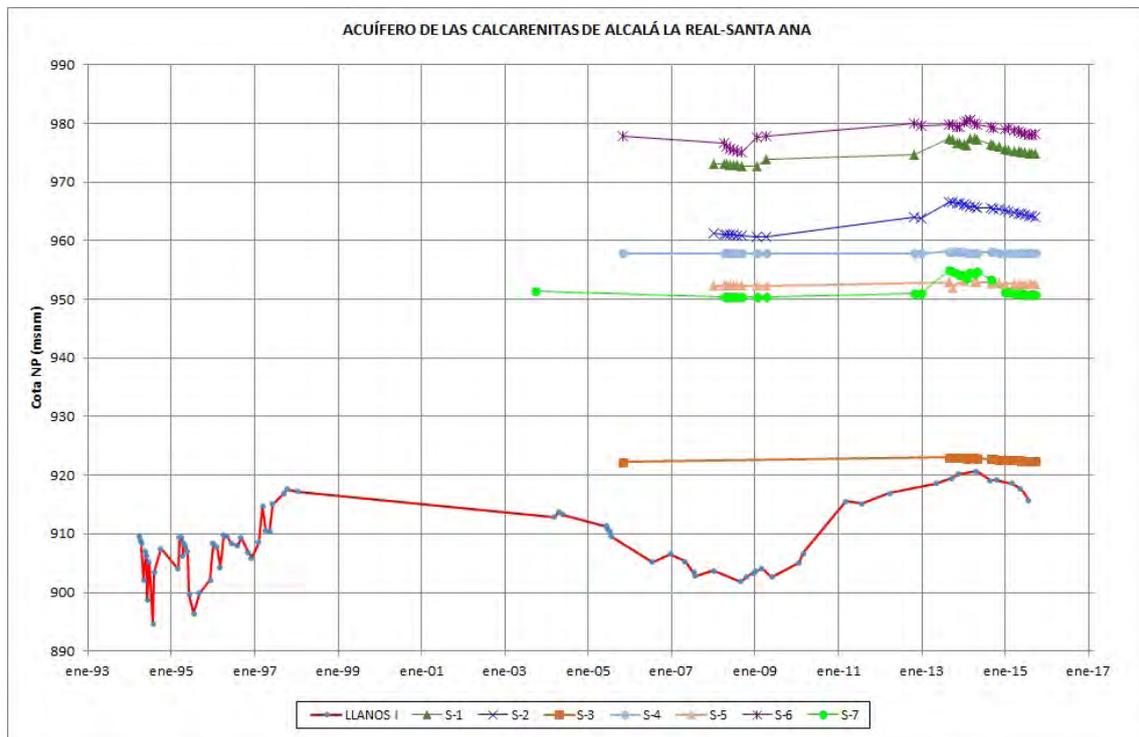


Figura 6.1: Evolución de la piezometría en el acuífero de las Calcarenitas de Alcalá la Real-Santa Ana.

En el presente estudio, la evolución del nivel piezométrico y del caudal drenado por los manantiales se ha controlado con periodicidad mensual en la red establecida en el acuífero para tal fin. En la tabla 6 se presenta dicha red de control y en el mapa hidrogeológico de la figura 4.2 su localización en el acuífero. Los datos medidos en los sondeos Llanos I y II han sido facilitados por ADALSA.

Nº IGME	X	Y	Toponimia	Nat	Red
184040014	420481	4146848	Fuente Somera	Man	Foronómica
184040013	420496	4146347	Fte. del Rey-Fte. Gallardo	Man	Foronómica
184040076	418748	4147531	Fuente Corredera	Man	Foronómica
184040078	419065	4148357	S-1	Piez	Piezométrica
184040079	419855	4147708	S-2	Piez	Piezométrica
184040080	420508	4147027	S-3	Piez	Piezométrica
184040081	419714	4147023	S-4	Piez	Piezométrica
184040082	419033	4147292	S-5	Piez	Piezométrica
184040083	420438	4148279	S-6	Piez	Piezométrica
184040084	421168	4147640	S-7	Piez	Piezométrica
184040075	421008	4147185	Llanos I	Sond	Piezométrica
184040077	420986	4147042	Llanos II	Sond	Piezométrica

Tabla 6: Red de control establecida en el acuífero.

Los datos de evolución piezométrica de los puntos más significativos se han representado en las figuras 6.2 y 6.3 junto con la recarga calculada en el epígrafe anterior.

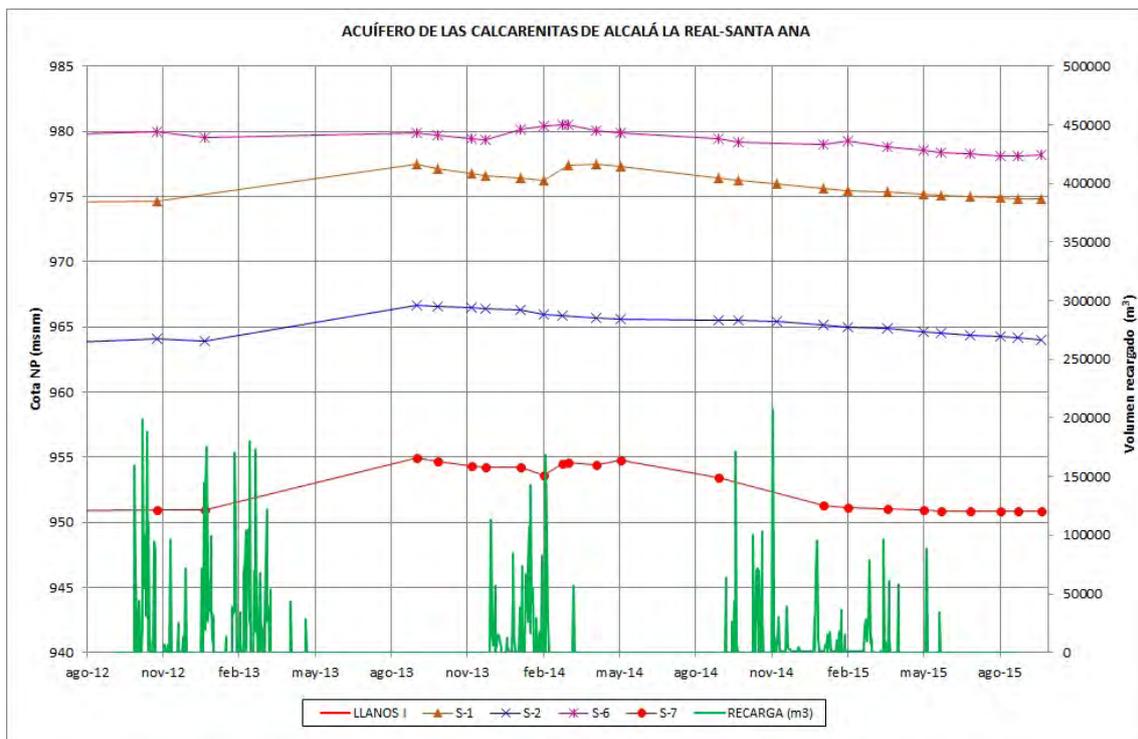


Figura 6.2: Evolución piezométrica del acuífero de las Calcarenitas de Alcalá la Real-Santa Ana. Piezómetros más significativos.

Como se puede observar, existe un reflejo desigual de la recarga en la evolución de los piezómetros de la figura 6.1 de tal manera que los piezómetros S-1 y S-7 registran un ascenso del nivel piezométrico al final del verano posterior al año 2012-2013, de intensas precipitaciones e importante recarga y un posterior descenso que vuelve a convertirse en ascenso inmediatamente después del periodo de recarga de 2013-2014. En medidas posteriores no se aprecia ascenso como respuesta a la recarga del año 2014-2015. En el piezómetro S-6 se da un comportamiento parecido si bien la respuesta a la recarga de 2012-2013 no se

pone de manifiesto en las mismas fechas que en los dos puntos anteriormente descritos y se produce en diciembre de 2013, coincidiendo con el periodo húmedo de 2013-2014. El piezómetro S-2 solamente registra un ascenso a finales del verano de 2013 y desde entonces el nivel de agua desciende paulatinamente con una ligera estabilización tras la recarga de 2013-2014.

En la figura 6.2 se ha representado la evolución del nivel piezométrico en el sondeo Llanos I. Puesto que se trata de un sondeo de explotación, los datos no deben interpretarse como los de puntos únicamente de observación. No obstante, la evolución del nivel refleja un significativo ascenso tras el año 2012-2013, de importante recarga, que continúa en 2013-2014, de poca recarga relativa, y un posterior descenso continuado con un ligero cambio de pendiente probablemente debido a la recarga de 2014-2015.

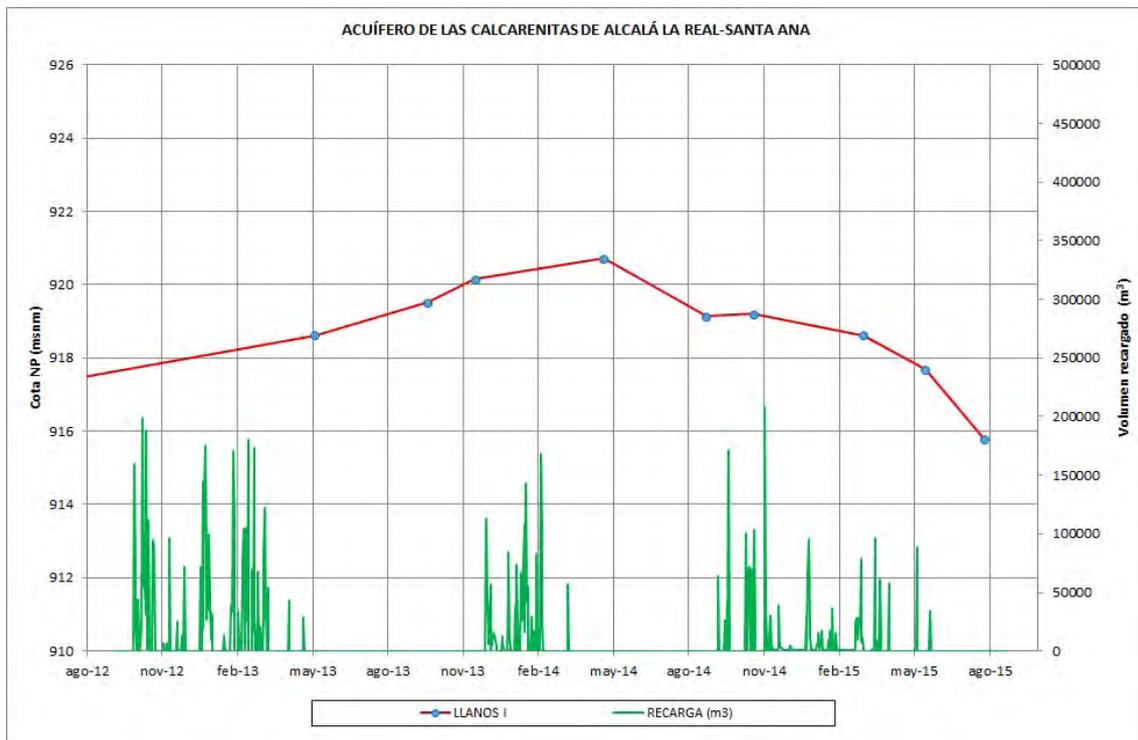


Figura 6.3: Evolución piezométrica del acuífero de las Calcarenitias de Alcalá la Real-Santa Ana. Sondeo Llanos I.

Además del control mensual de la red establecida, en este proyecto se han instalado dos sensores automáticos de registro de nivel y temperatura con almacenamiento de datos (data logger). La fecha de instalación fue marzo de 2014 y en la actualidad siguen operativos. En las figuras 6.4 y 6.5 se presentan los valores registrados en ambos puntos (S-6 y S-7).

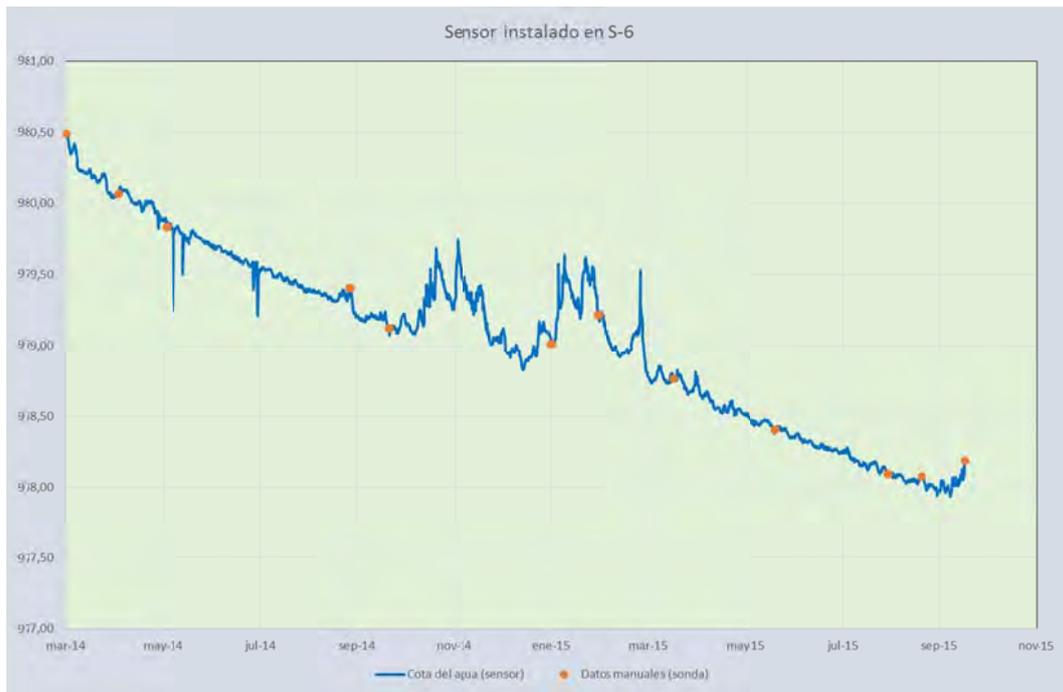


Figura 6.4: Evolución piezométrica en S-6 (data logger).



Figura 6.5: Evolución piezométrica en S-7 (data logger).

En las figuras se observa que los sensores registran prácticamente el mismo periodo de recarga del acuífero, entre septiembre de 2014 y marzo de 2015 pero con ligeras diferencias. El sensor instalado en S-7 registra un ascenso en abril-mayo de 2014 que no se detecta en S-6 y, el nivel en este piezómetro, continúa descendiendo a partir de marzo de 2015, fecha a partir de la cual el nivel en S-7 parece tender a una estabilización.

El conjunto de apreciaciones de la evolución piezométrica indican una sectorización en el acuífero que deberá ser tomada en cuenta en futuros trabajos pero que escapa a los objetivos de este estudio.

En cuanto a los caudales drenados por los manantiales, estos siguen una evolución similar a la de los piezómetros con una respuesta a la precipitación relativamente rápida que se observa con claridad en el hidrograma de la Fuente del Rey-Fuente Gallardo (Figura 6.6). Asimismo, los siguientes años la curva del caudal registrado presenta una tendencia decreciente con algunos incrementos de caudal.

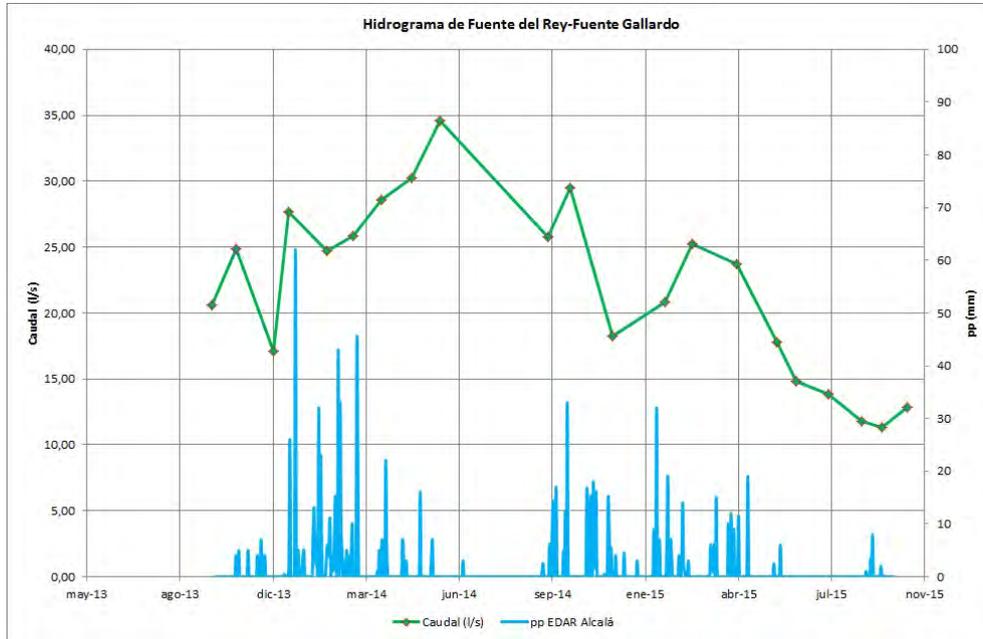


Figura 6.6: Hidrograma de Fuente del Rey-Fuente Gallardo

En Fuente Somera se instaló también un sensor de registro de la lámina de agua que ha permitido, mediante el ajuste necesario con los aforos puntuales debido a la geometría de la sección de salida del agua, obtener el hidrograma de la figura 6.7. En este se observa que el caudal mantiene una tendencia descendente desde el pico posterior las precipitaciones del año 2012-2013.

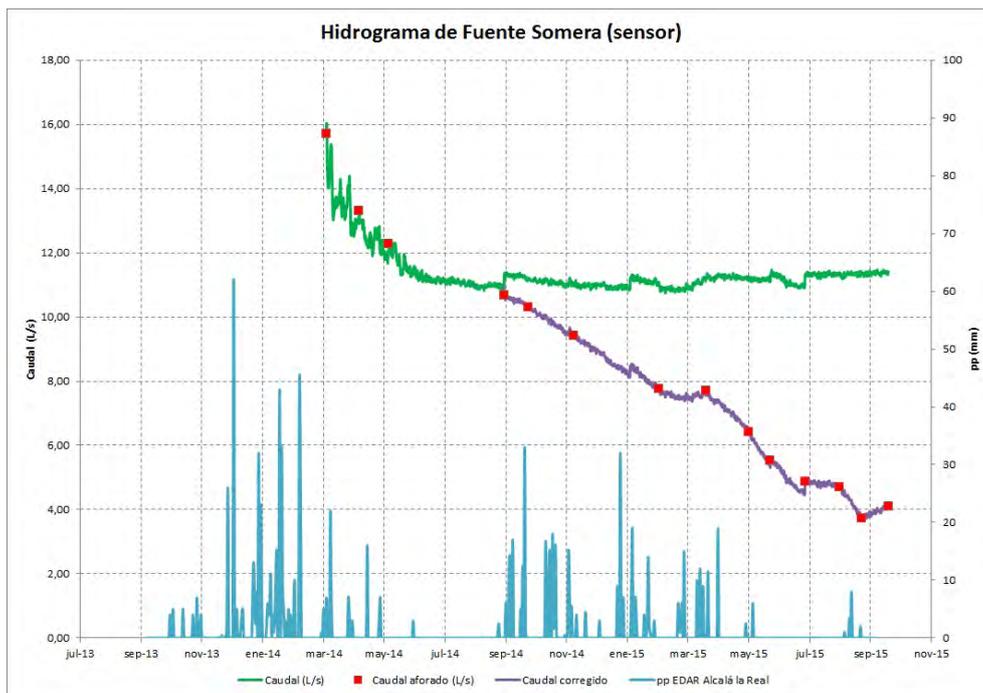


Figura 6.7: Hidrograma de Fuente Somera (data logger y aforos puntuales)

7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El acuífero de las Calcarenitas de Alcalá la Real, con sus 6,6 km² de afloramiento y una precipitación media de 620 mm/año, representa uno de los pilares básicos en el abastecimiento de agua a los más de 22.000 habitantes del municipio de Alcalá la Real.

La recarga media calculada en este estudio, que no ha podido ser contrastada con los datos de extracciones por cuestiones operativas, es de 2,7 hm³/año y supone un 55% de la precipitación caída sobre los afloramientos permeables del acuífero.

El volumen de agua captado de este acuífero para abastecimiento debe estar en torno a 0,6-0,8 hm³/año por lo que, en años de precipitaciones medias, la evolución piezométrica indica que la recarga es suficiente para este grado de explotación.

Las pequeñas dimensiones de este acuífero en relación con su importancia para abastecimiento hacen que se deban extremar las medidas de control para prever con suficiente antelación los posibles problemas de falta de caudales. Es por ello que se recomienda continuar con la red de control piezométrico e hidrométrico lo que permitirá, además, recalcular periódicamente los recursos hídricos disponibles para abastecimiento.

8 REFERENCIAS

INE, 2015: Nomenclátor. Población del Padrón continuo por Unidad Poblacional. Instituto Nacional de Estadística. Página web: <http://www.ine.es/nomen2/index.do>.

IGME-Diputación Provincial de Jaén (2007): "Plan de Control de Abastecimientos Urbanos mediante Aguas Subterráneas". Dentro del Proyecto: Aplicación de técnicas hidrogeológicas para la incorporación a la ordenación del territorio de medidas preventivas de la contaminación y/o de la explotación inadecuada de los acuíferos en 17 términos municipales de la tercera fase del plan de control.

IGME-Diputación Provincial de Jaén, 2012: "Atlas Hidrogeológico de la provincia de Jaén".

Martos-Rosillo S., Rodríguez-Rodríguez M., Pedrera A., Cruz-Sanjulián J., Rubio J., 2013: Groundwater recharge in semi-arid carbonate aquifers under intensive use: the Estepa Range aquifers (Seville, southern Spain). *Environmental Earth Sciences*: 1-16.

Padilla A, y Delgado J., 2011: Tratamiento y gestión de series temporales hidrológicas. Diputación Provincial de Alicante, Alicante.

Témez Peláez, J.R., 1978: Cálculo hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. MOPU.

Thornthwaite, G. W., 1948: An approach toward a rational classification of climate. *Geographycal*. 38: 59-64.

Samper, J., 1998: Evaluación de la recarga por lluvia mediante balances de agua: utilización, calibración e incertidumbres. *Boletín Geológico y Minero* 109:31-54.

ANEXOS

ANEXO 1: Datos pluviométricos de la Estación "EDAR Alcalá la Real" tomados por ADALSA

Pluviometria año 2.012/13

	OCT	NOV.	DIC.	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP	
DIA	L/M ²												
1	0,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	35,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
2	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
5	0,0	69,0	0,0	0,0	0,0	16,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
6	0,0	12,0	4,0	0,0	0,0	14,0	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
7	0,0	11,5	15,0	0,0	0,0	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	
8	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
9	0,0	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
10	0,0	37,0	0,0	0,0	11,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
11	0,0	10,0	0,0	0,0	2,0	18,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
12	0,0	13,0	0,0	0,0	0,0	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
13	0,0	0,0	0,0	20,0	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	15,0	
14	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
15	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,5	0,0	0,0	0,0	0,0	
16	0,0	8,0	0,0	37,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
17	0,0	34,0	1,5	10,0	1,5	23,0	0,0	8,5	0,0	0,0	0,0	0,0	
18	15,5	0,0	0,0	23,0	3,5	0,0	0,0	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
19	1,5	0,0	0,0	59,0	10,0	45,0	0,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
20	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
21	0,0	0,0	0,0	0,0	23,0	0,0	0,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
22	0,0	0,0	0,0	13,0	37,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
23	0,0	0,0	0,0	15,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
24	11,0	0,0	0,0	7,0	0,0	24,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
25	42,0	0,0	14,0	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
26	12,0	8,0	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
27	0,0	5,0	0,0	5,0	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
28	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	13,0	
29	7,0	0,0	0,0	0,0		0,0	25,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	
30	17,0	0,0	0,0	0,0		6,0	7,0	0,0	0,0	0,0	7,0	5,0	
31	0,0		4,0	0,0		0,0		0,0		0,0	0,0		
	124,0	240,5	48,5	201,0	109,5	235,5	98,5	62,5	0,0	0,0	7,0	55,0	1.182,0

Pluviometria año 2.013/14

	OCT	NOV.	DIC.	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP	
DIA	L/M ²												
1	0,0	0,0	0,0	0,0	11,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
2	0,0	0,0	0,0	1,5	0,0	45,0	22,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
3	0,0	0,0	0,0	4,0	4,0	24,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
4	0,0	0,0	0,0	5,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
5	0,0	5,0	0,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
6	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
7	0,0	0,0	0,0	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	16,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
10	0,0	0,0	0,0	0,0	43,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
12	0,0	0,0	0,0	0,0	33,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
13	0,0	0,0	0,0	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
14	0,0	0,0	0,5	8,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
15	0,0	4,0	0,0	13,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
16	0,0	0,0	0,0	4,5	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
17	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	
18	0,0	0,0	0,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,5	
19	0,0	7,0	2,5	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
20	0,0	0,0	26,0	32,0	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
21	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	4,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	
22	0,0	0,0	0,0	23,0	1,5	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
23	4,0	4,0	0,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
24	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	1,0	3,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	
25	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,0	
26	5,0	0,0	62,0	0,0	0,0	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	
27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
28	0,0	0,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	
29	0,0	0,0	5,0	6,0		7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	14,0	
30	0,0	0,0	0,0	4,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
31	0,0		0,0	6,0		0,0		0,0		0,0	0,0		
	9,0	20,0	96,0	128,0	160,5	82,0	42,0	26,5	3,0	0,0	0,0	37,5	604,5

Pluviometria año 2.014/15

	OCT	NOV.	DIC.	ENE	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP	
DIA	L/M ²												
1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
2	17,0	0,0	0,0	0,0	7,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
3	0,0	0,0	0,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
4	0,0	16,5	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
5	0,0	9,5	4,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,5	
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8,0	
8	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
9	0,0	12,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
10	5,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
11	0,0	18,0	0,0	0,0	4,0	0,0	9,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
12	12,5	2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
13	0,0	8,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
14	33,0	16,0	4,5	0,0	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
15	1,0	0,0	0,5	9,0	14,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
16	0,0	0,0	0,0	1,0	2,0	0,0	11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	
17	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
18	0,0	0,0	0,0	32,0	0,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
20	0,0	0,0	0,0	3,0	0,0	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
21	0,0	0,0	0,0	7,0	3,0	6,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
23	0,0	0,5	0,0	0,0	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,0	0,0	2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
26	0,0	1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	19,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
27	0,0	15,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
28	0,0	9,0	3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
29	0,0	0,0	0,0	7,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
30	0,0	5,5	0,0	19,0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
31	0,0		0,0	0,0		0,0		6,0		0,0	1,0		
	68,5	128,0	13,0	78,0	38,5	36,0	62,5	8,5	0,0	0,0	1,0	13,5	447,5