

PROPUESTA DE PERÍMETRO DE PROTECCIÓN DE LA
CAPTACIÓN “LOS CALDERONES” DE ABASTECIMIENTO
DE AGUA POTABLE A

QUINTANAR DEL REY,

CUENCA

Diciembre 2020

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	4
2. UBICACIÓN.....	5
3. SITUACIÓN ACTUAL DEL ABASTECIMIENTO.....	6
4. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS.....	10
4.1. Estratigrafía	10
4.2. Estructura.....	12
5. HIDROGEOLOGÍA	12
5.1. Hidrogeología Regional	12
5.2. Hidrogeología Local.....	15
6. PROPUESTA DE PERÍMETRO DE PROTECCIÓN.....	20
6.1. Riesgo de contaminación	21
6.1.1. Focos potenciales de contaminación.....	21
6.1.2. Estimación de la vulnerabilidad del acuífero	23
6.2. Perímetro de protección de la captación	26
6.2.1. Zona de protección inmediata o de restricciones absolutas	27
6.2.2. Zona de protección próxima o de restricciones máximas	28
6.2.3. Zona de protección alejada o de restricciones moderadas	32
6.2.4. Perímetro de protección de la cantidad	32
6.3. Conclusiones y recomendaciones	33
7. BIBLIOGRAFÍA.....	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de situación del municipio de Quintanar del Rey	5
Figura 2.	Sondeo Calderones.....	6
Figura 3.	Sondeo abandonado al lado del sondeo Calderones.....	7
Figura 4.	Depósito del sondeo Calderones	7
Figura 5.	Elementos del sistema de abastecimiento de Quintanar del Rey sobre MTN E:1/50.000	8
Figura 6.	Mapa geológico de los alrededores de Quintanar del Rey (Tomado de MAGNA 717 Quintanar del Rey y 718 Iniesta).....	11
Figura 7.	Corte geológico de los alrededores de Quintanar del Rey (Tomado de MAGNA 717 Quintanar del Rey)	11
Figura 8.	Masas de Agua Subterránea de la Provincia de Cuenca y ubicación del municipio.....	14
Figura 9.	Columna del sondeo Calderones realizada a partir de los datos de la testificación geofísica de octubre 2020.....	17
Figura 10.	Puntos de agua de los alrededores de la zona de estudio sobre mapa MAGNA 717 E: 1:50.000	19
Figura 11.	Mapa piezométrico de la MASb 080.129. (Obtenido a partir de IGME-DGA, 2009a).....	20
Figura 12.	Focos potenciales de contaminación en los alrededores del sondeo Calderones sobre Ortofoto.....	22
Figura 13.	Focos potenciales de contaminación en los alrededores del sondeo Calderones sobre MTN 1/50.000	22
Figura 14.	Esquema de la valoración del índice COP	24

Figura 15.	Cartografía de vulnerabilidad de la zona de estudio según el método COP (obtenido a partir del mapa de vulnerabilidad IGME-DGA, 2009a).....	25
Figura 16.	Propuesta de perímetro de protección de restricciones absolutas del sondeo Calderones	28
Figura 17.	Parámetros del método Rehse para el cálculo del poder autodepurador del suelo (tomado de IGME, 2003).....	29
Figura 18.	Propuesta de perímetro de protección para la zona próxima del Sondeo Calderones.....	30
Figura 19.	Propuesta de perímetro de protección para la zona alejada o de restricciones moderadas	31
Figura 20.	Propuesta de perímetro de protección de la cantidad del Sondeo Calderones	33
Figura 21.	Perímetros de protección propuestos para el sondeo Calderones	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Elementos del sistema de abastecimiento de Quintanar del Rey	7
Tabla 2.	Puntos de agua de captación del Cretácico en los alrededores de Quintanar del Rey	15
Tabla 3.	Puntos de agua de captación del acuífero terciario en la zona de estudio.....	18
Tabla 4.	Focos potenciales de contaminación en los alrededores del sondeo Calderones	21
Tabla 5.	Propuesta de perímetros de protección del sondeo Calderones	35

1. INTRODUCCIÓN

La Diputación Provincial de Cuenca y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) suscribieron en 1980 un Convenio - Marco de Asistencia Técnica para “*la investigación y evaluación de las aguas subterráneas, conservación y aprovechamiento adecuado de los acuíferos*”. Durante los últimos cuarenta años, en aplicación del Convenio - Marco suscrito, el IGME ha venido colaborando, mediante sucesivos convenios específicos de colaboración con la Diputación Provincial de Cuenca, en la ampliación del conocimiento e investigación del medio hídrico subterráneo y en la utilización racional de dicho recurso.

Como continuación de esta colaboración, ambos organismos han establecido un nuevo Convenio Específico para el conocimiento hidrogeológico, el aprovechamiento y protección del abastecimiento de agua a poblaciones y la investigación del patrimonio geológico-hidrogeológico, para los años 2019-2021, en cuyo marco se emite el presente informe.

Su finalidad es realizar una propuesta de perímetro de protección de la captación denominada Los Calderones, de abastecimiento a la población de Quintanar del Rey, Cuenca.

2. UBICACIÓN

El municipio de Quintanar del Rey se localiza a 80 km al sur de la ciudad de Cuenca, limitando con la provincia de Albacete, en la comarca de La Manchuela, a una altitud de 751 m s.n.m. La superficie que ocupa su término municipal es de 76,2 km y su situación geográfica se muestra en la figura 1.

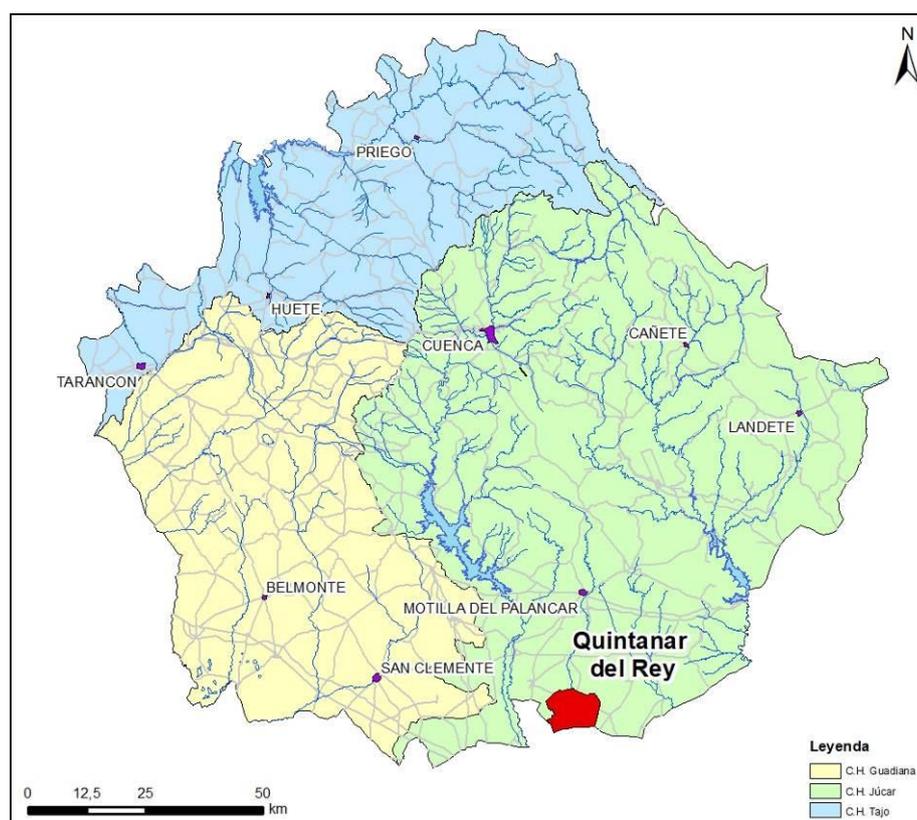


Figura 1. Mapa de situación del municipio de Quintanar del Rey

Hidrográficamente, la zona de estudio se localiza en la Cuenca Hidrográfica del río Júcar (figura 1). El curso de agua más importante de la zona es el río Valdemembra, tributario principal del Júcar, que fluye en sentido N-S por el límite occidental del núcleo urbano de Quintanar del Rey.

El municipio se localiza en las hojas geológicas MAGNA a escala 1:50.000 nº 717 Quintanar del Rey, nº 718 Iniesta y nº 742 La Roda.

3. SITUACIÓN ACTUAL DEL ABASTECIMIENTO

Quintanar del Rey tiene una población actual de 7.586 habitantes (INE, 2019), que se incrementa hasta los 9.000 habitantes de forma estacional (EIEL, 2018).

El municipio se abastece a partir de 2 captaciones de agua subterránea. Una de ellas se sitúa en el núcleo urbano, al oeste del mismo, en la zona denominada Santa Lucía (sondeo Santa Lucía). Presenta una profundidad de 280 m, y aporta un caudal de 80 m³/h (22 L/s) según la información proporcionada por el jefe de servicio de la empresa Aqualia, que gestiona el sistema de abastecimiento de aguas de Quintanar del Rey.

La segunda captación (sondeo Calderones), es el sondeo objeto de este estudio. Se ubica a 4 Km al noreste de la población, en el paraje denominado El Calderón, y tiene una profundidad de 242 m. Según la información proveniente del personal de la empresa Aqualia, se explota con un caudal del 157 m³/h (43,6 L/s), no habiéndose notado variaciones en el nivel piezométrico dinámico en el tiempo.



Figura 2. Sondeo Calderones

A unos 7 m del sondeo Calderones y dentro de su perímetro vallado existe otro sondeo. Se encuentra en desuso y, de acuerdo con la información proporcionada por el alcalde de Quintanar del Rey, va a ser sellado próximamente. Ambos sondeos fueron perforados por el IRYDA presuntamente en la década de los años 70 del siglo pasado y, posteriormente, cedidos al ayuntamiento para su aprovechamiento.



Figura 3. Sondeo abandonado al lado del sondeo Calderones

El sondeo de Santa Lucía recoge sus aguas y las almacena en dos depósitos comunicados, con capacidades de 1000 m³ y 800 m³, ubicados al norte de la población desde los que se potabiliza y distribuye a la población.

Por su parte, El sondeo Calderones tiene su propio depósito, con una capacidad de 1.500 m³, a partir del cual se distribuye directamente el agua a la población de Quintanar tras su potabilización. La ubicación de los sondeos y depósitos queda reflejada en la tabla 1 y la figura 5.



Figura 4. Depósito del sondeo Calderones

Elementos del sistema de abastecimiento	Coordenadas UTM H30 ETRS89	
	X	Y
Sondeo Calderones	595727	4358274
Sondeo Santa Lucía	591951	4355050
Depósito Calderones	595563	4358127
Depósitos Santa Lucía	592350	4356703

Tabla 1. Elementos del sistema de abastecimiento de Quintanar del Rey

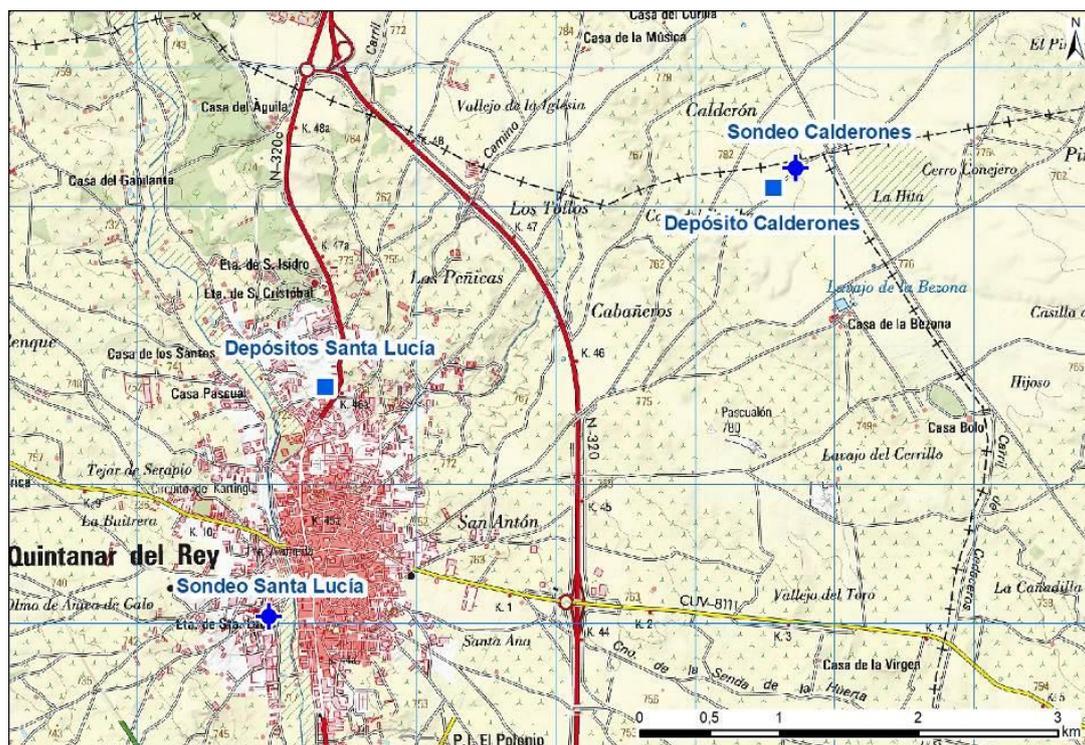


Figura 5. Elementos del sistema de abastecimiento de Quintanar del Rey sobre MTN E:1/50.000

Debido a que se desconocía el estado y las características constructivas del sondeo Calderones objeto de este estudio, el ayuntamiento de Quintanar del Rey contrató la realización de un reconocimiento videográfico y testificación geofísica del mismo el 20 de octubre de 2020 (Anexo 1). Los principales resultados obtenidos han sido los siguientes:

- El sondeo tiene 242 m de profundidad. Consta de una tubería ciega de 600 mm desde la superficie hasta 164,78 m de profundidad. Desde ahí hasta final del sondeo la perforación carece de revestimiento metálico.
- La tubería de acondicionamiento se encuentra en moderado estado de conservación con síntomas de oxidaciones y corrosiones. Los primeros metros están deteriorados, apareciendo costras en la entubación que está a punto de separarse. También presenta incrustaciones que aumentan progresivamente hacia el final de la entubación.

- Los terrenos perforados se corresponden con materiales detríticos con presencia arcillosa y/o materiales margosos carbonatados desde la superficie hasta el metro 147. Desde esta profundidad hasta final de sondeo (242 m), se corresponden con materiales calcáreos con escasa matriz arcillosa en los que se observa la presencia de varias zonas de fisuras y cavernas intercaladas con zonas calcáreas masiva.
- Se observan tres entradas de agua descolgada por las orejetas y poros en la entubación. Se localizan a 56,97 m, 59,92 m y 98,93 m de profundidad. Estas entradas de agua se pueden relacionar con pequeños niveles detríticos calcáreos y/o carbonatados intercalados en los materiales margosos.
- A 149,85 m se localiza el nivel estático del agua. El agua está limpia.
- La testificación indica la existencia de un potencial acuífero calcáreo desde 170 m hasta 220 m de profundidad.

4. CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS

4.1. Estratigrafía

La zona se enmarca en las estribaciones meridionales de la Cordillera Ibérica, en la gran llanura de Albacete-Cuenca. El conjunto de materiales aflorantes se corresponde con depósitos sedimentarios del Terciario y Cuaternario, quedando el Mesozoico enterrado bajo ellos. Se corresponden con los descritos en la hoja geológica MAGNA, a escala 1/50.000, nº 717 Quintanar del Rey (figura 6), que presentan las siguientes características.

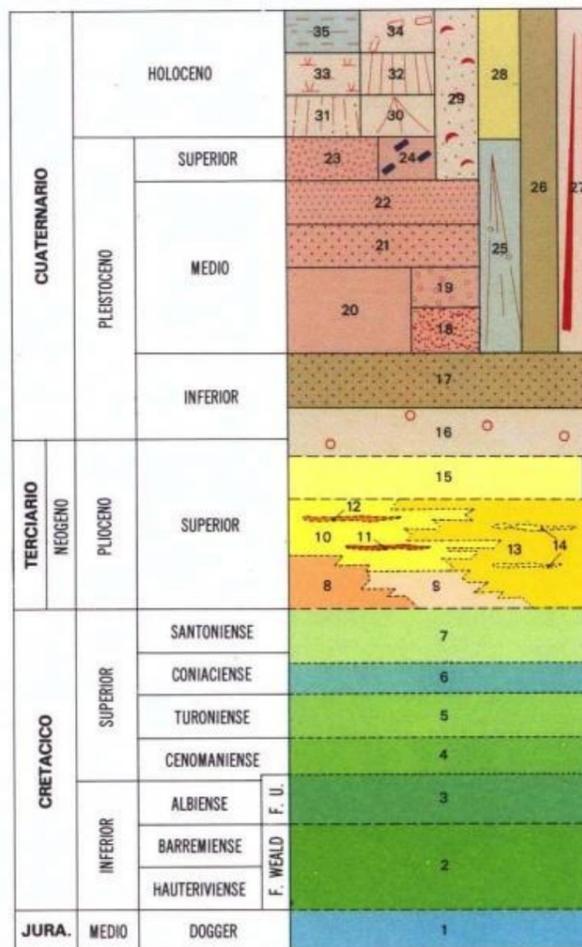
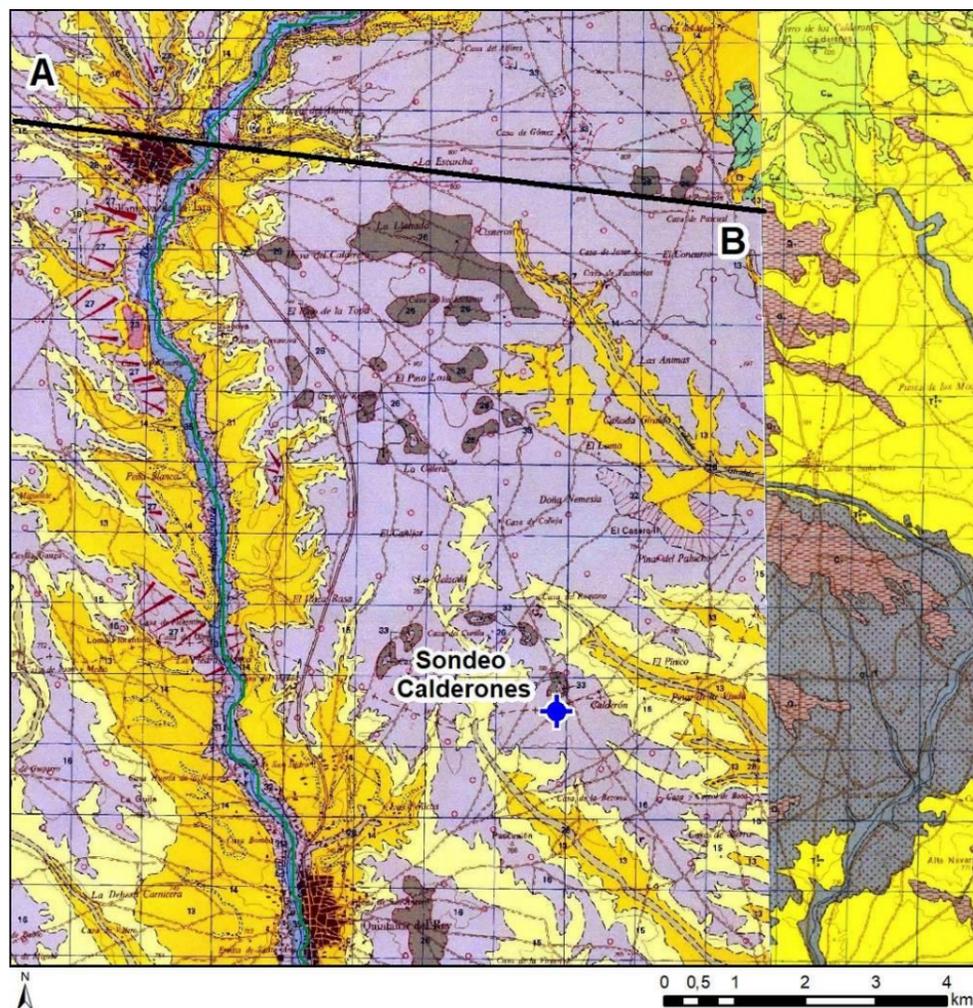
El Cretácico superior está formado por calizas dolomíticas, dolomías y pasadas de dolomías arcillosas que descansan sobre la Formación “Arenas de Utrillas” en su tránsito con el Cretácico inferior.

Dentro del Terciario se observa la presencia de las siguientes formaciones pertenecientes al Plioceno superior:

- Lutitas, arcillas edafizadas, suelos calcimorfos, areniscas y conglomerados (nº 13 de la cartografía MAGNA) en la que se ha distinguido la presencia de niveles de calizas limolítico-arenosas que presentan una gran continuidad lateral (nº 14). Afloran a lo largo del río Valdemembra.
- Gravas y arenas con encostramiento laminar carbonatado a techo (nº 15). Ocasionalmente aparecen limos y arcillas. Constituyen los términos detríticos superiores de la anterior formación.

Por encima se dispone una formación de transición entre el Terciario y el Cuaternario constituida por gravas generalmente silíceas con arcillas rojas y cantos cuarcíticos y calcáreos (nº 16) denominada Aluviones de Casas Ibáñez. La potencia estimada para el conjunto de materiales terciarios en los alrededores de la población de Quintanar del Rey es del orden de los 250 m.

Por último, aparece un conjunto de formaciones del Cuaternario constituido por una serie de formaciones que van desde el Pleistoceno al Holoceno, y que se corresponden con depósitos de glaciares, fondos de dolina, terrazas aluviales, fondos de valle, etc., entre los que cabe destacar el aluvial del río Valdemembra.



- 35 Fangos, arenas y gravas (Llanura aluvial)
- 34 y 24 Gravas y cantos poligénicos, arenas y fangos (Meandros y cauces abandonados)
- 33 Fangos, arcillas con cantos y suelos vérticos (Zonas endorreicas)
- 32 Gravas, arenas y arcillas (Coluviones)
- 31 y 30 Gravas, arenas con cantos y fangos (Conos aluviales y conos coalescentes)
- 29 Arenas (Depósitos eólicos)
- 28 Gravas poligénicas, arenas y arcillas (Fondos de valle)
- 27 Gravas y cantos poligénicos, arenas y lutitas (Glacis)
- 26 Fondos de dolina
- 25 Gravas calcáreas y cuarcíticas, arenas y limos (Abanicos aluviales)
- 20 Gravas y arenas. Sistema aluvial del Río Júcar
- 17, 18, 19, 21, 22, 23 Gravas poligénicas y arenas en ocasiones con encostramientos calcáreos (Terrazas +100-120, +80-100, +50-60, +40-50, +25, +7-10 m.)
- 16 Gravas y arcillas rojas con cantos cuarcíticos y calcáreos (Aluviones de Casas Ibáñez)
- 15 Gravas y arenas con encostramientos carbonatados a techx
- 14 Calizas limolíticas arenosas (Suelos calcimorfos)
- 13 Lutitas, arcillas edafizadas, suelos calcimorfos, areniscas y conglomerados
- 12 Areniscas y/o conglomerados
- 11 Calizas margosas y margas
- 10 Areniscas, conglomerados, suelos calcimorfos y arcillas pardo rojizas
- 9 Brechas lutitas y suelos calcimorfos
- 8 Brechas calco-dolomíticas rojizas
- 7 Calizas, dolomías y brechas calcáreas
- 6 Margas beige, calizas y dolomías
- 5 Dolomías masivas, calizas y calizas dolomíticas con sílex
- 4 Dolomías y arcillas dolomíticas verdes
- 3 Areniscas y arenas cuarzo-feldespáticas caoliníferas lutitas versicolores
- 2 Areniscas, lutitas, margas, calizas pisolíticas, calizas y conglomerados
- 1 Dolomías masivas. Calizas

Figura 6. Mapa geológico de los alrededores de Quintanar del Rey (Tomado de MAGNA 717 Quintanar del Rey y 718 Iniesta). E: 1/50.000

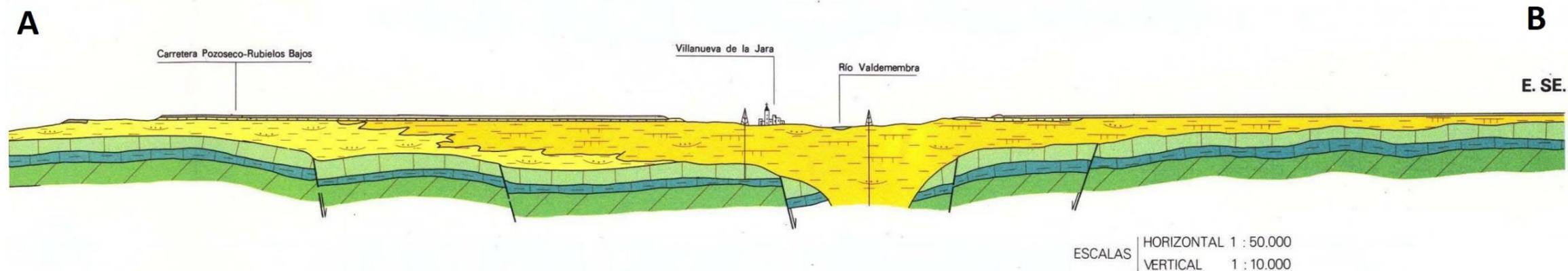


Figura 7. Corte geológico de los alrededores de Quintanar del Rey (Tomado de MAGNA 717 Quintanar del Rey)

4.2. Estructura

Estructuralmente la zona se caracteriza por presentar materiales mesozoicos afectados por la tectónica Alpina, que forman una fosa tectónica en dirección aproximada NE-SO (figura 7) que provoca la existencia de una fracturación del mesozoico en bloques.

Los depósitos Terciarios y Cuaternarios posttectónicos se disponen subhorizontalmente rellenando la fosa mesozoica.

5. HIDROGEOLOGÍA

5.1. Hidrogeología Regional

La provincia de Cuenca participa de tres cuencas hidrográficas distintas: Guadiana, Júcar y Tajo, que a su vez quedan divididas en distintas unidades de gestión denominadas masas de agua subterránea (MASb). El municipio de Quintanar del Rey está situado en la Demarcación Hidrográfica del Júcar, y más concretamente en la masa de agua subterránea definida en el Plan Hidrológico del Júcar 080.129 Mancha Oriental, tal y como se muestra en la figura 8.

Geológicamente la MASb está formada por arcillas abigarradas y evaporitas (100 a 200 m) y dolomías y calizas del Jurásico inferior (40 a 100 m), arcillas, dolomías, calizas y anhidrita (150 a 350 m) y dolomías y calizas del Jurásico medio (100 a 400 m), dolomías, dolomías arcillosas y margas del Cretácico superior (50 a 150 m), dolomías, calizas y calizas margosas del Cretácico superior (30 a 170 m), calizas y margas lacustres Pontienses (30 a 150 m), areniscas, arcillas, conglomerados, yesos y brechas calcáreas del Plioceno (20 a 120 m) y gravas, arcillas, limos, arenas, costras calcáreas y cantos poligénicos del Cuaternario (2 a 20 m).

Respecto a su hidrogeología, la MASb está formada por la superposición de tres acuíferos:

- Un acuífero profundo (nivel Jurásico, Formaciones Chorro-Colleras), formado por dolomías y calizas del Lías-Dogger. Es el más importante y extenso de la masa y prácticamente el único de interés en la zona meridional. Se encuentra confinado por las facies impermeables suprayacentes.

- Un acuífero intermedio (nivel Cretácico, Formación Bnejama), constituido por un tramo dolomítico (Turonense) y calizo (Senoniense) en su mayor parte confinado.
- Un acuífero superior (nivel Mioceno, Pontiense). Es el más importante por su situación en zonas de mayor demanda.

La recarga de la MASb se produce a través de la infiltración directa de la precipitación, la infiltración de los ríos Lezuza y Balazote, entradas laterales, retornos de riego y, en menor medida, de retornos urbanos. La descarga se realiza a través del drenaje hacia los ríos Júcar y Cabriel y a través de manantiales

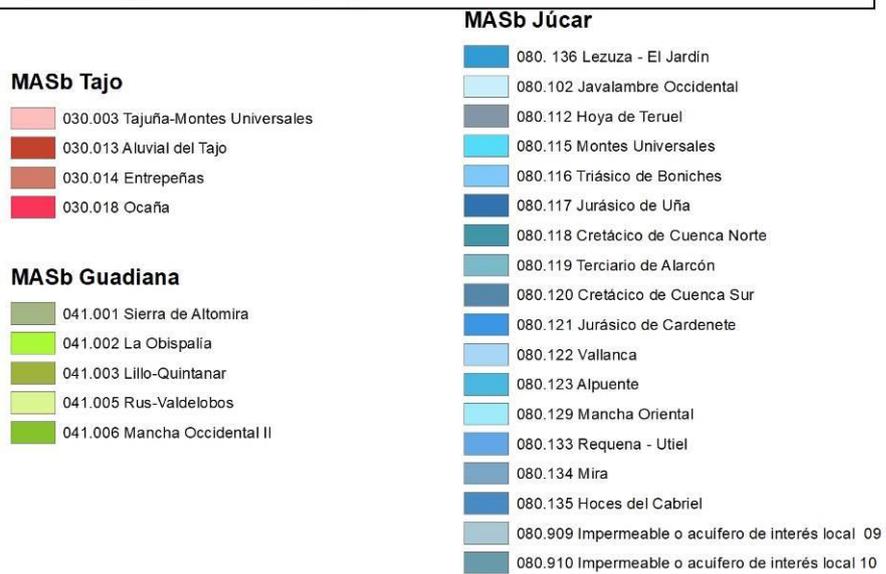
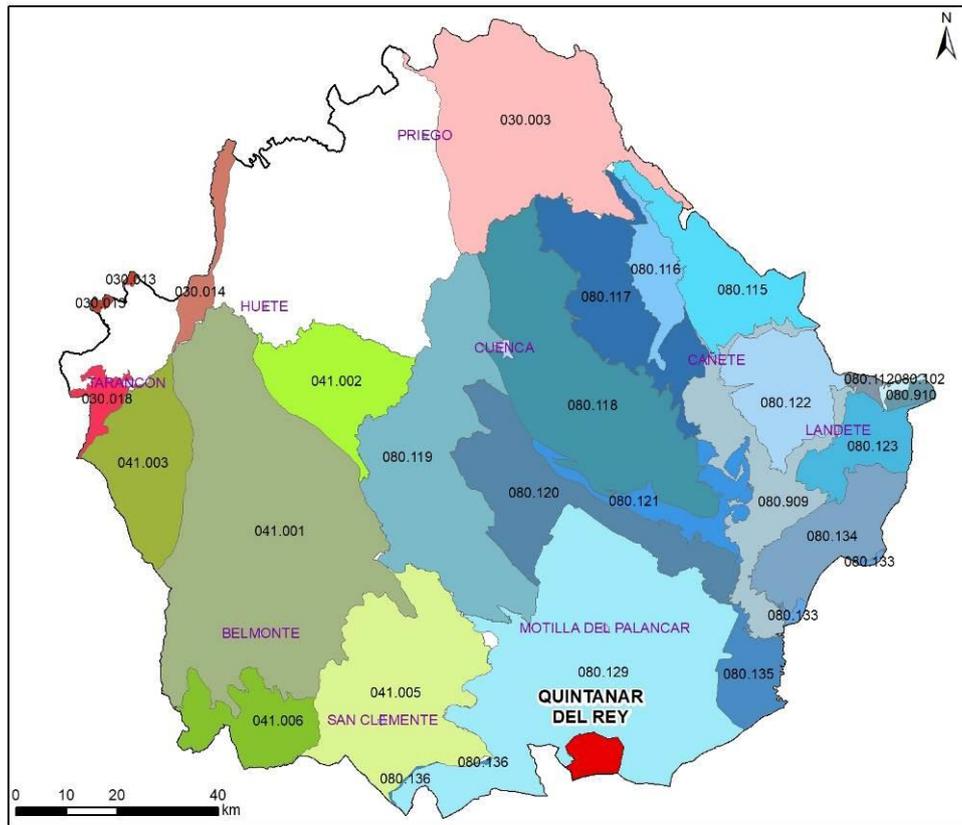


Figura 8. Masas de Agua Subterránea de la Provincia de Cuenca y ubicación del municipio

5.2. Hidrogeología Local

Los acuíferos presentes en los alrededores de Quintanar del Rey están formados por los materiales detríticos del Terciario, y carbonatados y detríticos del Mesozoico.

Acuíferos mesozoicos

Los principales acuíferos de la región corresponden con los depósitos calcáreos del Cretácico Superior de la **Formación Benejama** (niveles calcáreos del Senoniense y dolomías del Turoniense). También se deben considerar acuíferos de importancia regional a los formados por materiales detríticos “**arenas de Utrillas**”, del tránsito entre Cretácico inferior y superior, y los jurásicos de las **formaciones Chorro-Colleras** (dolomías del Dogger), aunque estos últimos quedan a mucha profundidad en la zona de estudio.

En la tabla 2 y la figura 10 se muestran los puntos de agua de captación del Cretácico en los alrededores de Quintanar del Rey:

nº	Sondeo	Coordenadas ETRS89 Huso 30		Cota* m s.n.m.	Profundidad del sondeo m	Profundidad del agua m	Nivel piezométrico m s.n.m.
	Código IGME - IRYDA	UTM X	UTM Y				
1	288880011. Sondeo Santa Lucía	591951	4355050	728	280	77	651
2	242880009 - 717/80	591965	4355132	723	324	65	658
3	242880010	592015	4355157	723	266	70	653
4	Sondeo Abastec. Calderones	595727	4358274	781	242	150	631
5	242880008 - 717/75 **	594269	4362675	792	525	105	687

(*)La cota de sondeos m s.n.m. se ha obtenido del PNOA_MDT05 ETRS89_H30_LIDAR del Instituto Geográfico Nacional (IGN)

(**) Se ha supuesto que el sondeo con código IGME 242880008 es el sondeo Calera (717/75) del Iryda dadas sus semejanzas

Tabla 2. Puntos de agua de captación del Cretácico en los alrededores de Quintanar del Rey

La mayoría de perforaciones en la zona, como los sondeos de abastecimiento a Quintanar del Rey (Sondeos Calderones y Santa Lucía), o el sondeo de abastecimiento de la vecina localidad de Villanueva de la Jara, captan los niveles carbonatados de la Fm. Benejama del Cretácico Superior, que se presentan muy karstificados y fisurados aportando elevados caudales de explotación. Este acuífero presenta un comportamiento hidrodinámico confinado bajo los materiales detríticos terciarios arcillosos suprayacentes. Su espesor ronda, generalmente, los 40 m, encontrándose su techo en el sondeo de Santa Lucía a 240 m de profundidad (488 m s.n.m.), y a 237 m de profundidad (486 m.s.n.m.) en la antigua captación de abastecimiento de Quintanar, también en Santa Lucía (sondeo 242880009-717/80).

Unos 11 km al norte de Quintanar del Rey, el sondeo de abastecimiento de Villanueva de la Jara atravesó la formación Benejama a 186 m de profundidad (598 m s.n.m.). Según el informe IGME, 1981b, la transmisividad del acuífero es muy elevada y fue calculada en el ensayo de bombeo, obteniéndose un valor de 288 m²/h (6.900 m²/d), advirtiendo que los datos de la recuperación no son representativos para valorar con fiabilidad el dato.

El caudal de explotación actual de la Fm. Benejama en el sondeo de Santa Lucía se sitúa en torno a los 22 L/s, aunque en el informe IGME, 1982, se cifró en 30 L/s el régimen de explotación continua de este sondeo.

En el sondeo Calderones, los carbonatos aparecen a 147 m de profundidad (634 m.s.n.m) (figura 9), si bien, se indica que el acuífero (presuntamente la Fm. Benejama) se ubica entre 170 y 220 m de profundidad (611 y 561 m s.n.m. respectivamente) según la testificación geofísica del 20 de octubre de 2020. Su caudal de explotación es de 43,6 L/s y su nivel piezométrico estático se sitúa a 149,85 m (631,15 m s.n.m.). El nivel piezométrico dinámico medido con compresor el día 11 de noviembre de 2020 en una visita técnica realizada al municipio por la autora de este informe, fue de 160 m de profundidad (621 m s.n.m.).

Las variaciones observadas en las profundidades a las que aparece la Formación Benejama en los distintos puntos, dan testimonio de la fisuración y compartimentación del Mesozoico en bloques en esta zona.

Debido a la elevada transmisividad obtenida en el informe IGME, 1981b y su escasa fiabilidad, se ha calculado este parámetro asumiendo una permeabilidad (obtenida de datos bibliográficos) de 50 m/d y un espesor saturado de 50 m (obtenido de la testificación geofísica) con lo que resulta una transmisividad de 2.500 m²/d.

La facies hidroquímica de los acuíferos mesozoicos es, generalmente, bicarbonatada cálcica.

El nivel piezométrico del acuífero del Cretácico superior (Fm Benejama) en la zona de estudio se sitúa entre 620 y 690 m s.n.m.

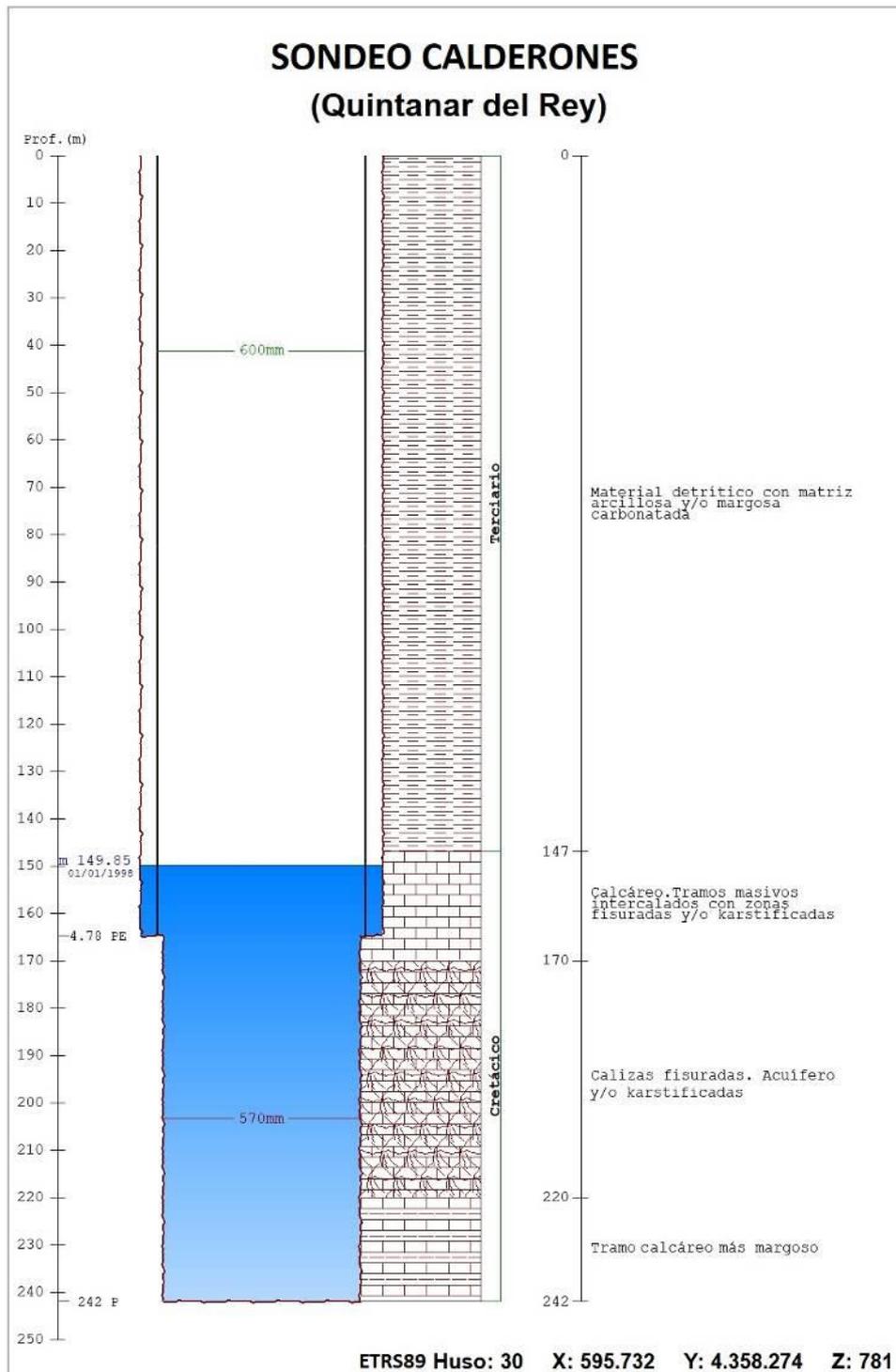


Figura 9. Columna del sondeo Calderones realizada a partir de los datos de la testificación geofísica de octubre 2020

Terciario

La cobertura pliocena presenta algunos niveles de gravas, sobre todo hacia la zona superficial, con un nivel piezométrico próximo a la superficie que en ocasiones es captado para usos particulares. Sin embargo, estos materiales forman acuíferos de interés local que se consideran de escaso interés hidrogeológico debido a sus bajos caudales de explotación y a los problemas de arrastres que suele presentar. Lo mismo ocurre con los acuíferos cuaternarios, generalmente asociados al sistema aluvial del Júcar, aunque pueden cubrir pequeñas demandas de uso local.

En la tabla 3 y la figura 10 quedan reflejados los puntos de agua de captación del Terciario en los alrededores de la zona de estudio:

Sondeo		Coordenadas ETRS89 Huso 30		Cota* m s.n.m.	Profundidad del sondeo m	Profundidad del agua m	Nivel piezométrico m s.n.m.
nº	Código IGME	UTMX	UTM Y				
6	242880002	595985	4357213	776	75	42	734
7	242880007	594689	4357871	763	45	32	731
8	242880003	595404	4359644	785	62	38	747
9	242880004	595404	4359644	785	50	39	746
10	242880005	594838	4360873	788	50	38	750
11	242880006	592899	4362484	795	45	34	761

(*) La cota de sondeos m s.n.m. se ha obtenido del PNOA_MDT05 ETRS89_H30_LIDAR del Instituto Geográfico Nacional (IGN)

Tabla 3. Puntos de agua de captación del acuífero terciario en la zona de estudio

En la zona de estudio los niveles piezométricos del acuífero Terciario se sitúan entre 730 m s.n.m. y 760 m s.n.m.

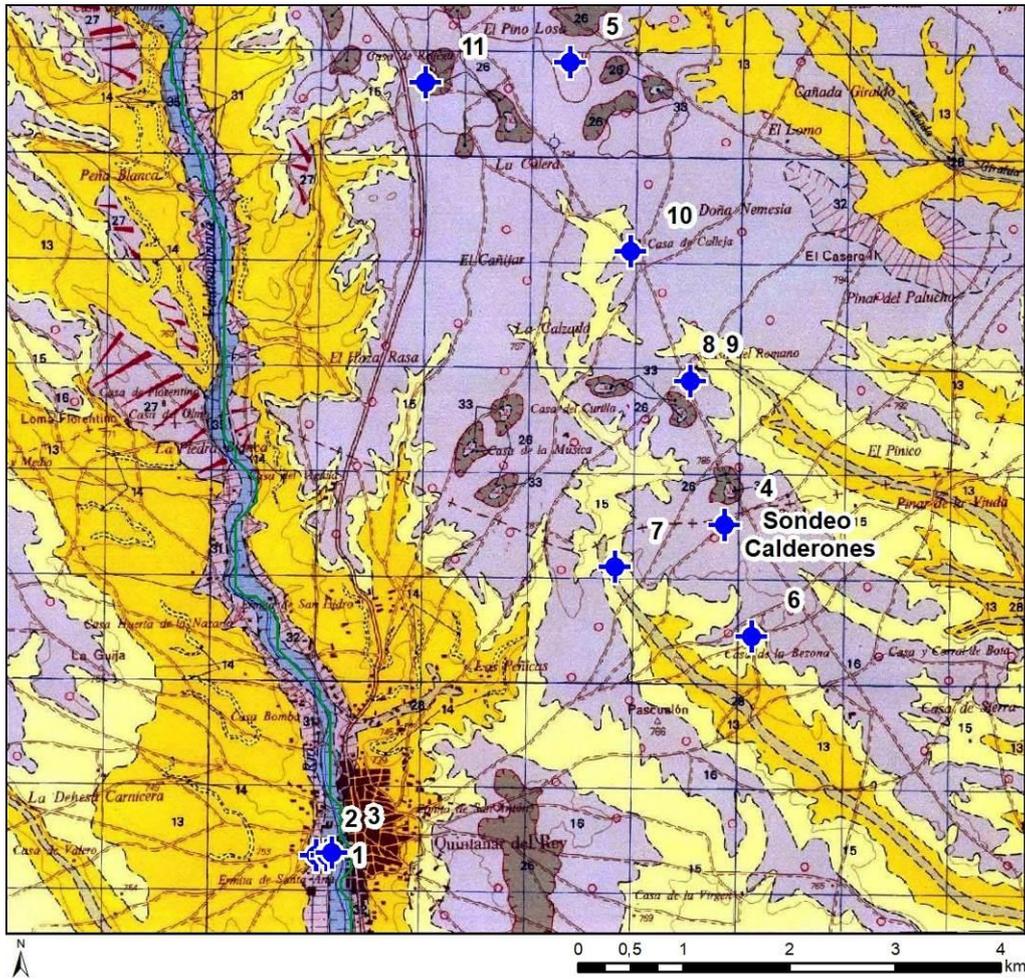


Figura 10. Puntos de agua de los alrededores de la zona de estudio sobre mapa MAGNA 717 E: 1:50.000

6. PROPUESTA DE PERÍMETRO DE PROTECCIÓN

La delimitación de zonas de protección de las captaciones para abastecimiento urbano se viene revelando como práctica fundamental para asegurar tanto la calidad del agua suministrada a la población, como la gestión sostenible del recurso agua.

Tal y como se ha indicado anteriormente, el sondeo Calderones capta el acuífero de la Fm. Benejama, del Cretácico superior, constituido por materiales carbonatados con una elevada fisuración y karstificación, y muy elevada transmisividad, que presenta un comportamiento hidrodinámico confinado bajo un paquete de 147 m de materiales detríticos de baja o muy baja permeabilidad en su conjunto.

El nivel piezométrico del sondeo se sitúa en torno a 630 m s.n.m., y soporta un caudal de explotación de 43,6 L/s.

La piezometría obtenida de la zona no permite trazar un mapa de isopiezas del acuífero, si bien se ha contrastado la información de campo con el mapa piezométrico de España (IGME-DGA, 2009a), observándose que la piezometría en la zona sigue una tendencia a llevar una dirección general de flujo aproximada NNE-SSO (figura 11) en dicha zona.

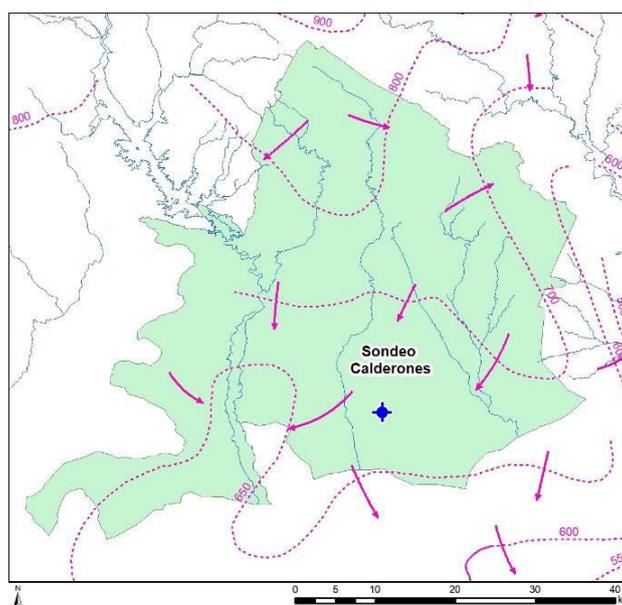


Figura 11. Mapa piezométrico de la MASb 080.129. (Obtenido a partir de IGME-DGA, 2009a)

6.1. Riesgo de contaminación

El riesgo de contaminación de la captación de abastecimiento requiere analizar los focos puntuales de contaminación y la vulnerabilidad del acuífero

6.1.1. Focos potenciales de contaminación

Durante la visita técnica realizada el 11 de noviembre de 2020 para la elaboración de este informe, se observaron los siguientes focos potenciales de contaminación en los alrededores del sondeo Calderones (tabla 4 y figuras 12 y 13)

FPC	Coordenadas ETRS89 Huso 30		Distancia al sondeo (m)
	UTM X	UTM Y	
Futura explotación ganadera	595870	4358652	360
Sondeo futura explotación ganadera*	595880	4358794	540
Zona de compost	595406	4359779	1540
Tierras de cultivo	Areal		

*La ubicación del sondeo proviene del documento "Segundo modificado del proyecto de explotación ganadera para multiplicación de cerdas selectas"

Tabla 4. Focos potenciales de contaminación en los alrededores del sondeo Calderones

Los principales focos potenciales de contaminación del sondeo Calderones son la futura explotación ganadera y su sondeo de abastecimiento, ubicados a escasa distancia del sondeo (360 y 540 m respectivamente), así como las tierras de cultivo, situadas en los alrededores del sondeo.

La zona de compost se ubica a más de 1500 m de distancia. Se trata de una zona solada y canalizada donde algunos agricultores crean compost a partir de residuos orgánicos.

Además, 4 km al oeste del sondeo se encuentra la localidad de Quintanar del Rey, que podría constituir un foco potencial de contaminación en sí misma. No obstante, el núcleo de población se encuentra ubicado aguas abajo del sondeo y a una distancia que se considera suficiente para descartarlo como punto de afección potencial al sondeo. En esta zona existen multitud de granjas, dos fábricas de compost y otras muchas actividades potencialmente contaminantes. La granja más cercana se sitúa a 2,3 km de distancia al oeste del sondeo Calderones (figura 13).

6.1.2. Estimación de la vulnerabilidad del acuífero

Como herramienta preventiva frente a la contaminación, tradicionalmente se ha venido trabajado en el desarrollo de metodologías tendentes a evaluar la posible vulnerabilidad de los acuíferos frente a las presiones externas.

En la zona de estudio existe una cartografía de vulnerabilidad de acuíferos previa, obtenida mediante el empleo del método COP (Vías *et al.*, 2006). Este trabajo forma parte de las actividades realizadas 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 (IGME-DGA, 2009b).

El método COP fue diseñado para evaluar la vulnerabilidad de los acuíferos carbonatados a partir de tres factores:

- concentración de flujo (**C**)
- protección del agua subterránea (**O**)
- precipitación (**P**)

El método COP representa una interpretación integral de la propuesta europea contemplada en la Acción COST 620.

El **factor C** es específico de acuíferos carbonatados y considera dos escenarios posibles, por un lado, diferencia las zonas de infiltración preferencial del acuífero donde la existencia de conductos y velocidades elevadas de flujo provocan un aumento de la vulnerabilidad, y por otro las áreas donde se produce una infiltración difusa sin una concentración significativa de los flujos del agua de recarga.

El **factor O** tiene en cuenta la capacidad de atenuación del contaminante ejercida por la zona no saturada en función de la textura y espesor de suelo, la litología, el espesor de la zona no saturada y el grado de confinamiento del acuífero.

Para evaluar el **factor P** hay que tener en cuenta tanto la cantidad como la intensidad de las precipitaciones.

El índice COP se calcula mediante el producto de los tres factores. Sus valores varían entre 0 y 15 y se agrupan en cinco clases de vulnerabilidad (Muy Alta, Alta, Moderada, Baja, Muy Baja), de manera que los índices más bajos indican máxima vulnerabilidad (figura 14).

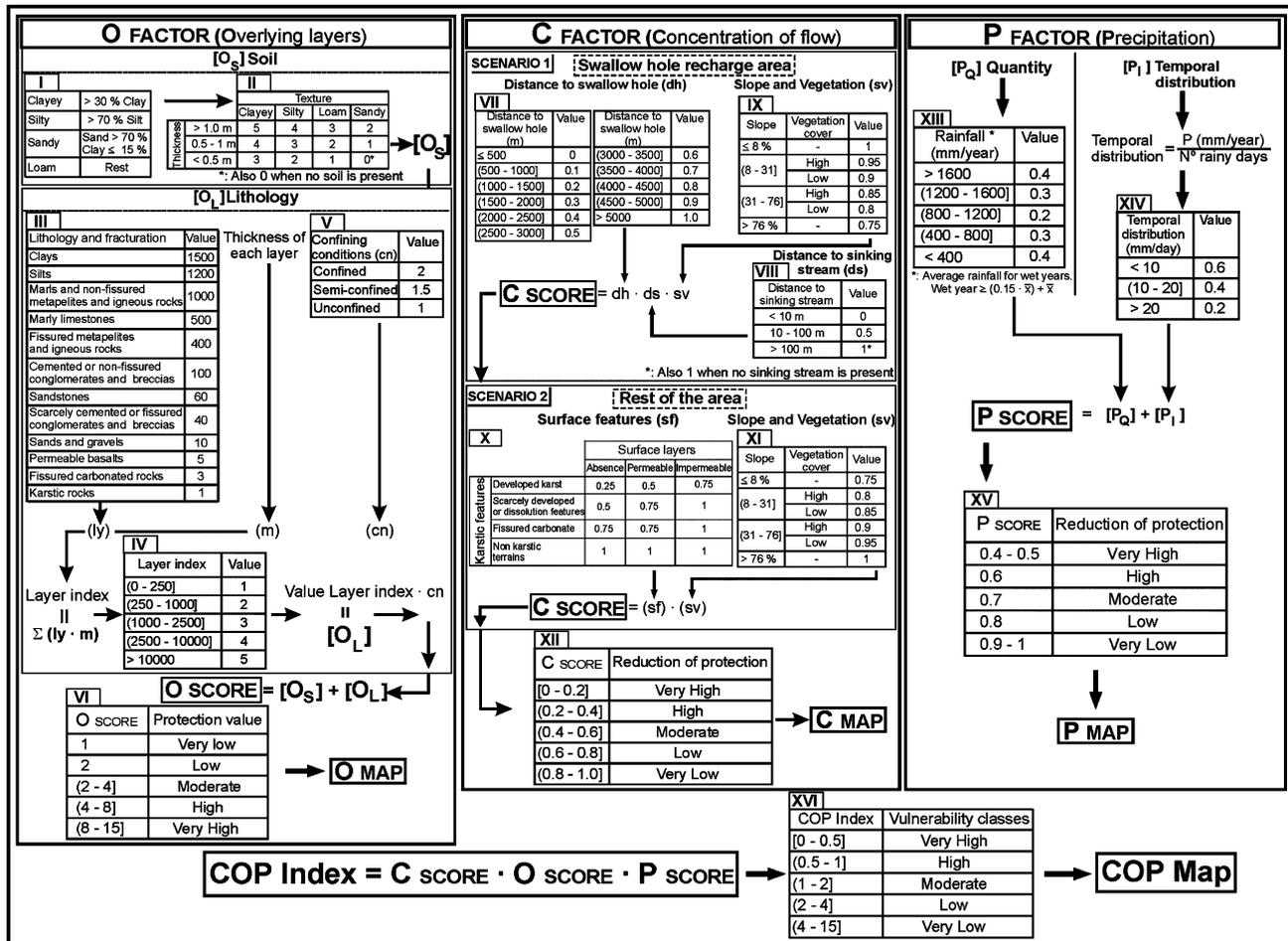


Figura 14. Esquema de la valoración del índice COP

En el presente estudio se ha tomado como válido el citado mapa de vulnerabilidad elaborado en IGME-DGA, 2009a mediante el método COP, incluido en la figura 15.

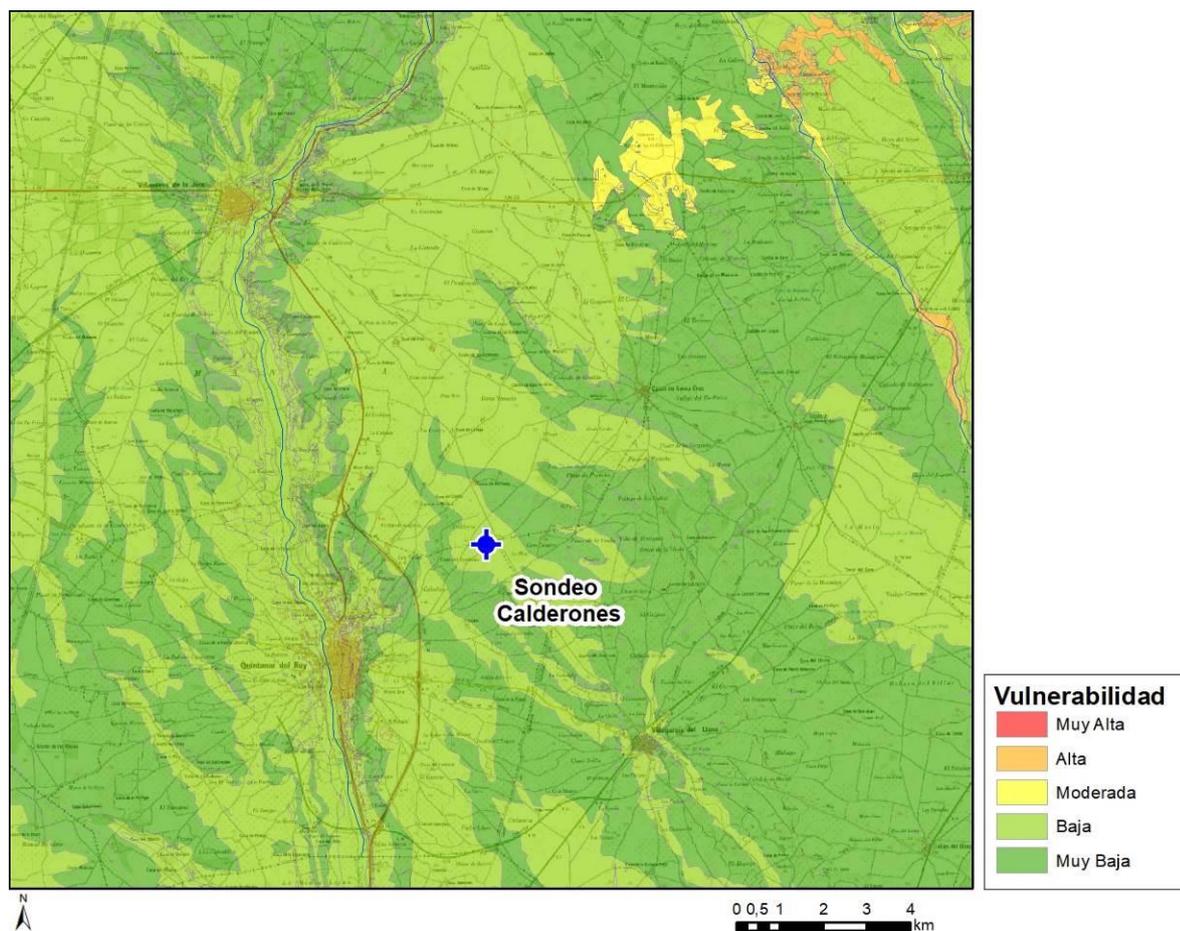


Figura 15. Cartografía de vulnerabilidad de la zona de estudio según el método COP (obtenido a partir del mapa de vulnerabilidad IGME-DGA, 2009a)

Los resultados del método COP muestran que los alrededores del sondeo Calderones, de abastecimiento a Quintanar del Rey, se sitúan en una zona de vulnerabilidad baja rodeada de zonas de vulnerabilidad muy baja. No obstante, se observa una zona de vulnerabilidad moderada a unos 8 km al noreste de la captación, que pasa a ser alta 5 km más al noreste. En esta zona afloran calizas cretácicas y forman parte del área de alimentación del acuífero captado por el sondeo Calderones.

6.2. Perímetro de protección de la captación

Para lograr ambos objetivos es recomendable el diseño de un perímetro dividido en tres zonas de protección en función de distintos criterios, que habrá que establecer para cada caso.

Habitualmente es recomendable para el diseño de un perímetro de protección de captaciones para abastecimiento urbano la definición de tres zonas de protección:

- Zona inmediata o de restricciones absolutas: el criterio de delimitación suele ser un tiempo de tránsito 1 día o un área fija de entre 100 y 400 m². Suele estar vallada impidiendo el acceso de personal no autorizado a la captación.
- Zona próxima o de restricciones máximas: se dimensiona generalmente en función de un tiempo de tránsito de 50 días. Protege de la contaminación microbiológica. Puede delimitarse con criterios hidrogeológicos combinado con el análisis de la vulnerabilidad y, según el caso, se puede usar el descenso del nivel piezométrico o el poder autodepurador del terreno.
- Zona alejada o de restricciones moderadas: el criterio más utilizado para su dimensionado es un tiempo de tránsito de varios años en función de los focos contaminantes, criterios hidrogeológicos o ambos. Protege la captación frente a contaminantes de larga persistencia.

El hecho de tratarse de un acuífero confinado, con un nivel piezométrico situado a 149,85 m de profundidad y techo de la formación acuífera a 170 m, implica que la protección del acuífero estará favorecida por la zona no saturada (ZNS), es decir, por los materiales arcillosos terciarios suprayacentes.

Las características hidrogeológicas del acuífero captado y los valores de sus parámetros hidráulicos representativos hacen poco apropiado en este caso el método de Wyssling por lo que las diferentes zonas se definirán en base al análisis hidrogeológico combinado con la evaluación de la vulnerabilidad a la contaminación y el poder autodepurador de los materiales.

6.2.1. Zona de protección inmediata o de restricciones absolutas

La zona de restricciones absolutas tiene como objeto impedir el acceso de personal no autorizado a la captación, así como la realización de cualquier actividad en este recinto, ya que repercutiría directamente en la propia captación.

La superficie en la que se ubica el vallado existente en la actualidad alrededor de la captación, mayor de 10x10 m, se considera apropiada para ser utilizada como zona de restricciones absolutas (figura 16). Las coordenadas de cada vértice del perímetro propuesto quedan indicadas en la tabla 5.

Se recomienda la construcción de una arqueta tapada con una chapa metálica y candado que proteja la captación, así como un dado de hormigón alrededor del sondeo para evitar la entrada de contaminantes directamente desde el suelo al sondeo.

Además, **se considera fundamental mejorar las condiciones de entubación y aislamiento de los acuíferos colgados del Terciario en el propio sondeo Calderones**, ya que suponen una potencial entrada directa de contaminación al sondeo. La tubería del sondeo se encuentra en un mediocre estado de conservación, según se desprende de la información videográfica del sondeo, y permite la entrada de agua de acuíferos colgados a través poros y orejetas de la tubería ciega. Estos acuíferos pueden contener algún contaminante no conservativo (como son los nitratos) que pudiese afectar negativamente a la calidad del agua captada. Se propone, por tanto, la instalación de una nueva tubería ciega interior a la ya existente y el cementado del espacio entre ambas, añadiendo una capa de bentonita al fondo entre tuberías. Además, se recomienda dejar esta nueva tubería unos centímetros por encima del nivel del suelo, para evitar la entrada de contaminantes al sondeo.

Asimismo, **se considera fundamental el sellado del sondeo abandonado** ubicado a 7 m de la captación, ya que supone otra posible entrada directa de contaminantes al acuífero.

En esta zona se evitarán todas las actividades, excepto las relacionadas con el mantenimiento y explotación de la captación.



Figura 16. Propuesta de perímetro de protección de restricciones absolutas del sondeo Calderones

6.2.2. [Zona de protección próxima o de restricciones máximas](#)

Para determinar esta zona se ha de considerar que, apoyándonos en la testificación geofísica de octubre de 2020, el acuífero es confinado y que sobre el techo del acuífero existe una capa confinante constituida fundamentalmente por materiales arcillosos de 147 m, que actúa como protección natural del acuífero, con dos horizontes de unos 3 m de espesor cada uno de materiales más permeables, situados en los metros 55-58 y 97-100, coincidentes con las entradas de agua descolgada al sondeo.

El método de Rehse para el cálculo del poder depurador de los materiales respecto a la contaminación microbiológica, contempla que el poder depurador de un suelo viene dado por:

$$M_x = M_{zns} + M_{zs}$$

Donde M_x es el poder depurador sobre la totalidad del transporte, M_{zns} es el poder depurador en el trayecto vertical (zona no saturada) y M_{zs} es el poder depurador en el trayecto horizontal (zona saturada).

- M_{zns} = Suma de los diferentes espesores de materiales en la ZNS multiplicado por el Índice de depuración de cada uno de estos materiales según Rehse.

- M_{zs} = Suma de los diferentes espesores de materiales en la ZS multiplicado por el Índice de depuración de cada uno de estos materiales según Rehse.

Poder depurador del suelo en el recubrimiento (Suelo y zona no saturada).

M	Descripción del material	H (m)	$I_p = 1/H$
1	Humus, 5-10 % humus, 5-10% arcilla	1,2	0,8
2	Arcilla sin grietas de desecación, limo-arcilloso. Arena muy arcillosa	2	0,5
3	Limo arcilloso a limo	2,5	0,4
4	Limo, arena poco limosa, arena limosa	3-4,5	0,33-0,22
5	Arena fina a media	6	0,17
6	Arena media a gruesa	10	0,1
7	Arena gruesa	15	0,07
8	Grava con abundante matriz arenosa y limo arcillosa	8	0,13
9	Grava con abundante matriz arenosa y escasamente limosa	12	0,08
10	Grava fina a media, rica en arena	25	0,04
11	Grava media a gruesa con poca arena	35	0,03
12	Gravas, guijarros	50	0,02

M = Número de clasificación granulométrica

H = Espesor de la capa necesario para la depuración

I_p = Índice de depuración en la zona no saturada

Arena: Diámetro de grano 2 – 0,063 mm

Limo: Diámetro de grano 0,063 – 0,005 mm

Arcilla: Diámetro de grano < 0,005 mm

Modificado de Rehse, 1977.

Poder depurador del suelo en la zona saturada.

M	Descripción del material	L (m)	$I_L = 1/L$
9	Grava con abundante matriz arenosa y escasamente limosa	a) 100	0,01
		b) 150	0,007
		c) 170	0,006
		d) 200	0,005
10	Grava fina a media, rica en arena	a) 150	0,007
		b) 200	0,005
		c) 220	0,0045
		d) 250	0,004
11	Grava media a gruesa con poca arena	a) 200	0,005
		b) 250	0,004
		c) 270	0,0037
		d) 300	0,0033
12	Gravas, guijarros	a) 300	0,0033
		b) 340	0,0029
		c) 360	0,0027
		d) 400	0,0025

L = Distancia horizontal necesaria para la depuración (m)

a) Velocidad eficaz < 3 m/día

b) Velocidad eficaz comprendida entre 3 y 20 m/día

c) Velocidad eficaz comprendida entre 20 y 50 m/día

d) Velocidad eficaz > 50 m/día

I_A = Índice de depuración en el acuífero

Modificado de Rehse, 1977.

Figura 17. Parámetros del método Rehse para el cálculo del poder autodepurador del suelo (tomado de IGME, 2003)

Si M_x es mayor o igual a 1 la depuración en la ZNS es completa y, según Rehse, no es necesario determinar ningún perímetro de protección de la calidad ya que se considera que los materiales de la ZNS suponen una barrera depuradora natural que garantiza la protección del acuífero.

Para el caso del sondeo Calderones, de abastecimiento a Quintanar del Rey, la información de la que se dispone habla de una serie fundamentalmente arcillosa de 147 m de espesor, con dos tramos más permeables entre los metros 55-58 y 97-100.

Incluso tomado únicamente los primeros 55 metros de arcillas terciarias y multiplicándolo por el índice de depuración de Rehse entre arcillas ($I = 0,5$) y limos arcillosos ($I=0,4$) se obtendría un valor del poder depurador respecto a la contaminación microbiológica de la zona no saturada mucho mayor de 1 (del orden de 20-30), por lo que según Rehse no sería necesario determinar ningún perímetro de protección de la calidad.

No obstante, cualquier sondeo que capte el acuífero de la Fm. Benejama (Cretácico superior) en el radio de influencia del sondeo Calderones podría suponer una potencial entrada directa de contaminantes al acuífero, poniendo en riesgo la calidad del agua del mismo. Por este motivo, se propone un perímetro de protección de 2 km aguas arriba del sondeo en la dirección de flujo subterráneo (figura 18) y 500 m alrededor del mismo, en el cual se maximicen las precauciones respecto a las características constructivas de futuros sondeos de captación del Cretácico, que deberán asegurar el adecuado aislamiento de los niveles acuíferos en toda la columna del sondeo, o cualquier otra obra u actuación que implique una llegada directa de agua al acuífero. Las coordenadas de cada vértice del perímetro propuesto quedan indicadas en la tabla 5.

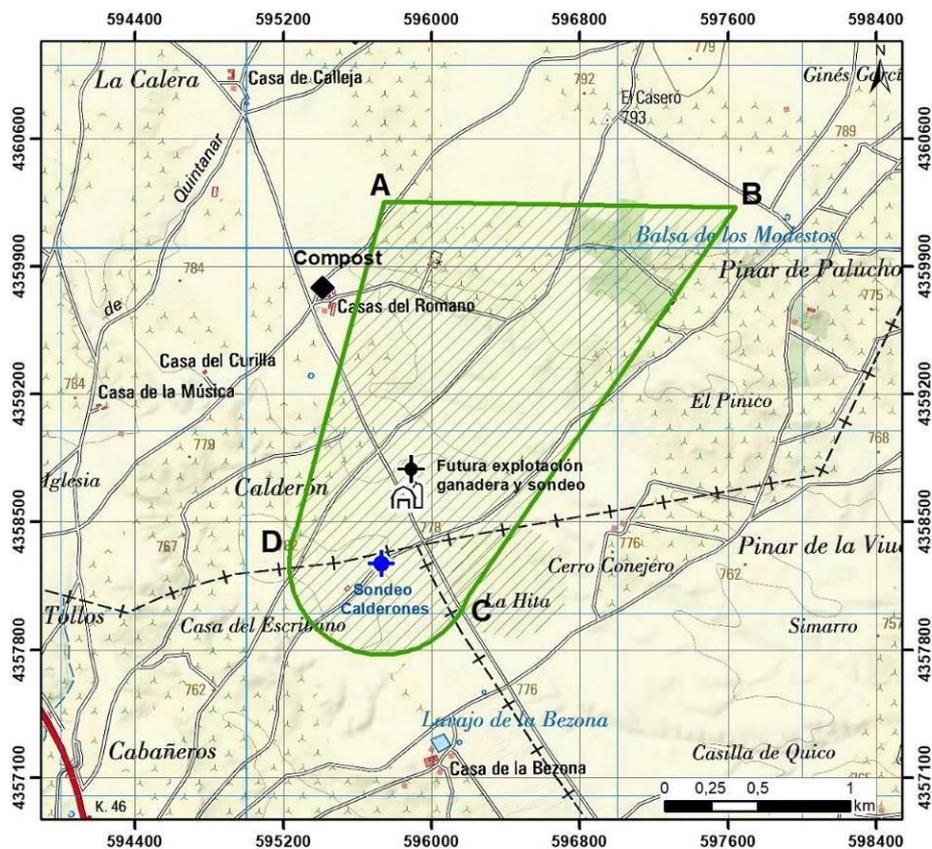


Figura 18. Propuesta de perímetro de protección para la zona próxima del Sondeo Calderones

6.2.3. Zona de protección alejada o de restricciones moderadas

Como zona de protección alejada se propone proteger zona más próxima de alimentación del acuífero, es decir, la zona de afloramiento de las calizas cretácicas aguas arriba del sondeo en la dirección del flujo subterráneo. Esta zona se sitúa en la zona de vulnerabilidad moderada ubicada al NNE del sondeo, que, si bien se sitúa a más de 8 km del mismo, se trata de una entrada directa de contaminación al acuífero. Por este motivo, se propone que en la zona se eviten actividades que pudieran convertirse en focos potenciales de contaminación, principalmente aquellas que contengan contaminantes de larga persistencia.

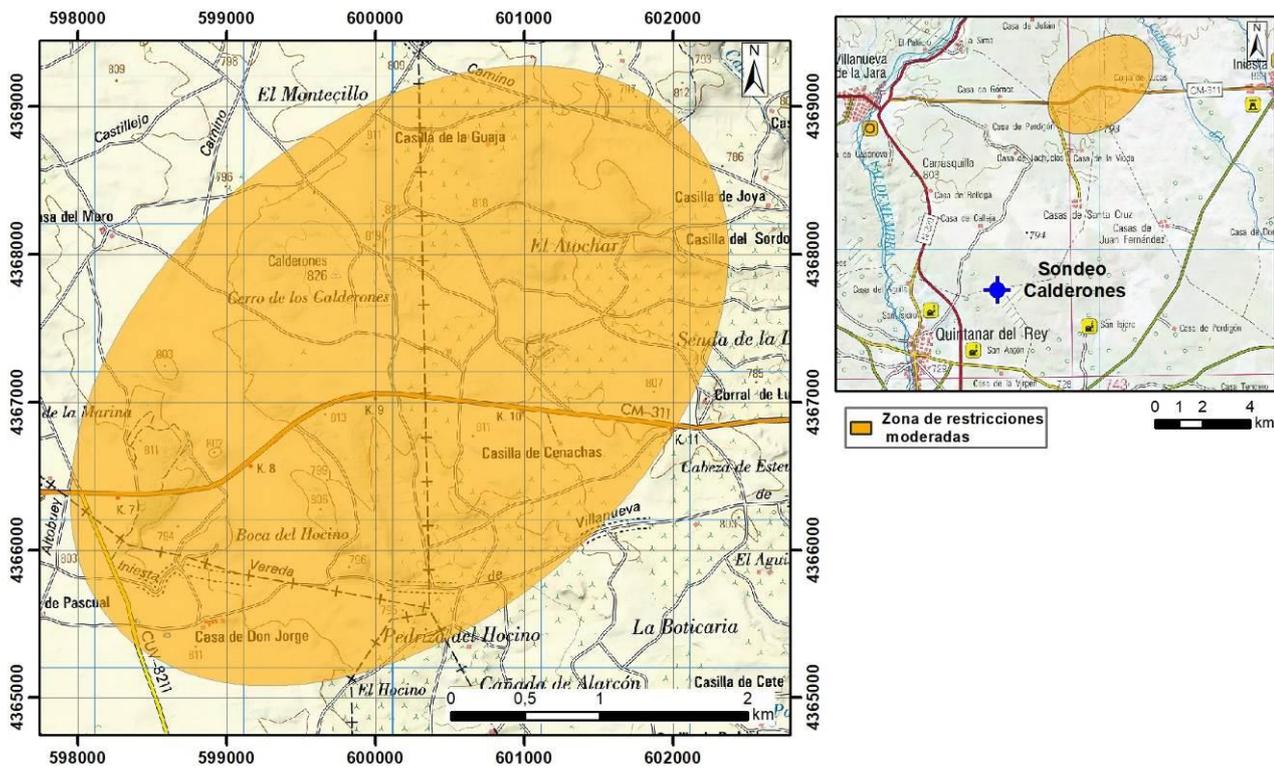


Figura 19. Propuesta de perímetro de protección para la zona alejada o de restricciones moderadas

6.2.4. Perímetro de protección de la cantidad

La zona donde se ubica el sondeo Calderones está dedicada al cultivo de cereal y vid fundamentalmente, y a la ganadería. No se reportan problemas de cantidad del recurso en Quintanar del Rey, pero previendo la perforación de nuevas captaciones de uso particular y con el objetivo de que no se vean afectados negativamente los sondeos de abastecimiento de las poblaciones, se va a proponer un perímetro de protección de la cantidad, con el apoyo de criterios hidrogeológicos, en función del grado de afección que podrían producir determinadas captaciones en los alrededores.

Para la protección de la captación del sondeo se calcula el descenso en el nivel piezométrico que podrían provocar sondeos situados a determinadas distancias.

Para los cálculos de descensos se utiliza la fórmula de Jacob:

$$D = \frac{0.183}{T} Q \log \frac{2.25Tt}{r^2 S}$$

D = Descenso del nivel piezométrico

T = Transmisividad = 2.500 m²/día (para una K= 50 m/d bibliográfica y un espesor saturado de 50 m)

Q = Caudal (caudal máximo de la captación a proteger: 43,6 l/s) = 3.767 m³/día

t = Tiempo de bombeo= 120 días

r = Distancia al sondeo de captación (500 m)

S = Coeficiente de almacenamiento = 0,0001 (valor bibliográfico)

Con los datos indicados se obtiene que el descenso del nivel piezométrico que provocaría un sondeo que explote 43,6 l/s durante 120 días continuados, situado a 500 m de distancia de la captación sería de 1,22 m. En base a los datos calculados, se delimita una zona de protección de la captación con un radio de 500 metros al considerarse el descenso producido asumible (tan solo un 2,4% del espesor saturado del acuífero, mucho menor al 10% recomendado). Su representación cartográfica se puede observar en la figura 20.



Figura 20. Propuesta de perímetro de protección de la cantidad del Sondeo Calderones

6.3. Conclusiones y recomendaciones

Tal y como se ha indicado anteriormente y queda reflejado en el registro videográfico de octubre de 2020, el sondeo Calderones de abastecimiento a Quintanar del Rey tiene una profundidad de 242 m. El sondeo está acondicionado con tubería ciega hasta 164,78 m de profundidad y desde ahí hasta el final del sondeo carece de tuberías. La tubería, se encuentra en moderado estado de conservación, habiéndose detectado tres entradas de agua al sondeo a través de la misma.

Las litologías perforadas de 0 m a 147 m son detríticas terciarias, fundamentalmente arcillosas, con dos zonas de unos tres metros de potencia con materiales más permeables, situadas entre 55 y 58 m y 97 y 100 m de profundidad, coincidiendo con las zonas de entrada de agua descolgada. Estos materiales junto con su potencia hacen que la zona presente una vulnerabilidad a la contaminación baja o muy baja.

A partir de 147 m de profundidad aparecen materiales calcáreos hasta el final del sondeo. El acuífero captado está formado por carbonatos karstificados y fisurados del Cretácico superior (Fm. Benejama) entre 170 y 220 m de profundidad. El nivel piezométrico estático se sitúa a 149,85 m de profundidad, quedando de manifiesto el comportamiento confinado del acuífero.

La transmisividad del acuífero es muy elevada, habiéndose calculado en 6.900 m²/d, si bien los datos no permiten una aproximación muy fiable de este dato. Se ha calculado una transmisividad del acuífero con datos bibliográficos de permeabilidad, obteniéndose un valor de 2.500 m²/d.

Las propuestas de perímetro de protección son las siguientes (figura 21 y tabla 5):

Zona de protección inmediata o restricciones absolutas: se limita a la zona vallada existente alrededor del sondeo. Se propone la construcción de una arqueta que proteja la boca del sondeo, así como un dado de hormigón alrededor del mismo.

En esta zona se evitarán todas las actividades, excepto las relacionadas con el mantenimiento y explotación de la captación.

Se considera fundamental mejorar las condiciones de entubación y aislamiento de los acuíferos colgados del Terciario en el propio sondeo Calderones, ya que suponen una entrada directa de contaminación al sondeo. La tubería del sondeo se encuentra en un mediocre estado de conservación, y permite la entrada de agua de acuíferos colgados a través poros y orejetas de la tubería ciega. Se propone, por tanto, la instalación de una nueva tubería ciega interior a la ya existente y el cementado del espacio entre ambas, añadiendo una capa de bentonita al fondo entre tuberías.

Asimismo, **se considera fundamental proceder al sellado del sondeo abandonado** situado a 7 m del sondeo Calderones dentro del perímetro vallado.

Zona de protección próxima. Se observa un elevado poder autodepurador del terreno y una baja o muy baja vulnerabilidad del suelo. No obstante, se propone la delimitación de un perímetro de protección de unos 2 km aguas arriba del sondeo en la dirección del flujo subterráneo (NNE-SSO) y 500 m alrededor del sondeo, en el que se maximicen precauciones respecto a sondeos de captación del Cretácico, u otra obra que alcance al acuífero en profundidad, para evitar la entrada de contaminación directa al acuífero.

Zona de protección alejada o de restricciones moderadas. Se propone la protección del área más próxima de alimentación del acuífero frente a contaminantes de larga persistencia.

Perímetro de cantidad. Se considera suficiente un perímetro de una circunferencia de 500 m alrededor del sondeo Calderones para proteger la cantidad de agua en el mismo.

		Coordenadas UTM H30 ETRS89	
		X	Y
Zona inmediata. Restricciones absolutas	A	595718	4358280
	B	595729	4358288
	C	595736	4358278
	D	595725	4358270
Zonas próxima*	E	595745	4360251
	F	597638	4360217
	G	596203	4358109
	H	595273	4358474
Entre G y H		Cierra por el sur con una circunferencia de 500 m alrededor del sondeo	
Zona alejada. Restricciones moderadas		Presenta la forma de la zona vulnerable situada a 8 km al NNE del sondeo. Consultar figuras 19 y 21	
Cantidad		Circunferencia de 500 m de radio alrededor del sondeo	

Tabla 5. Propuesta de perímetros de protección del sondeo Calderones

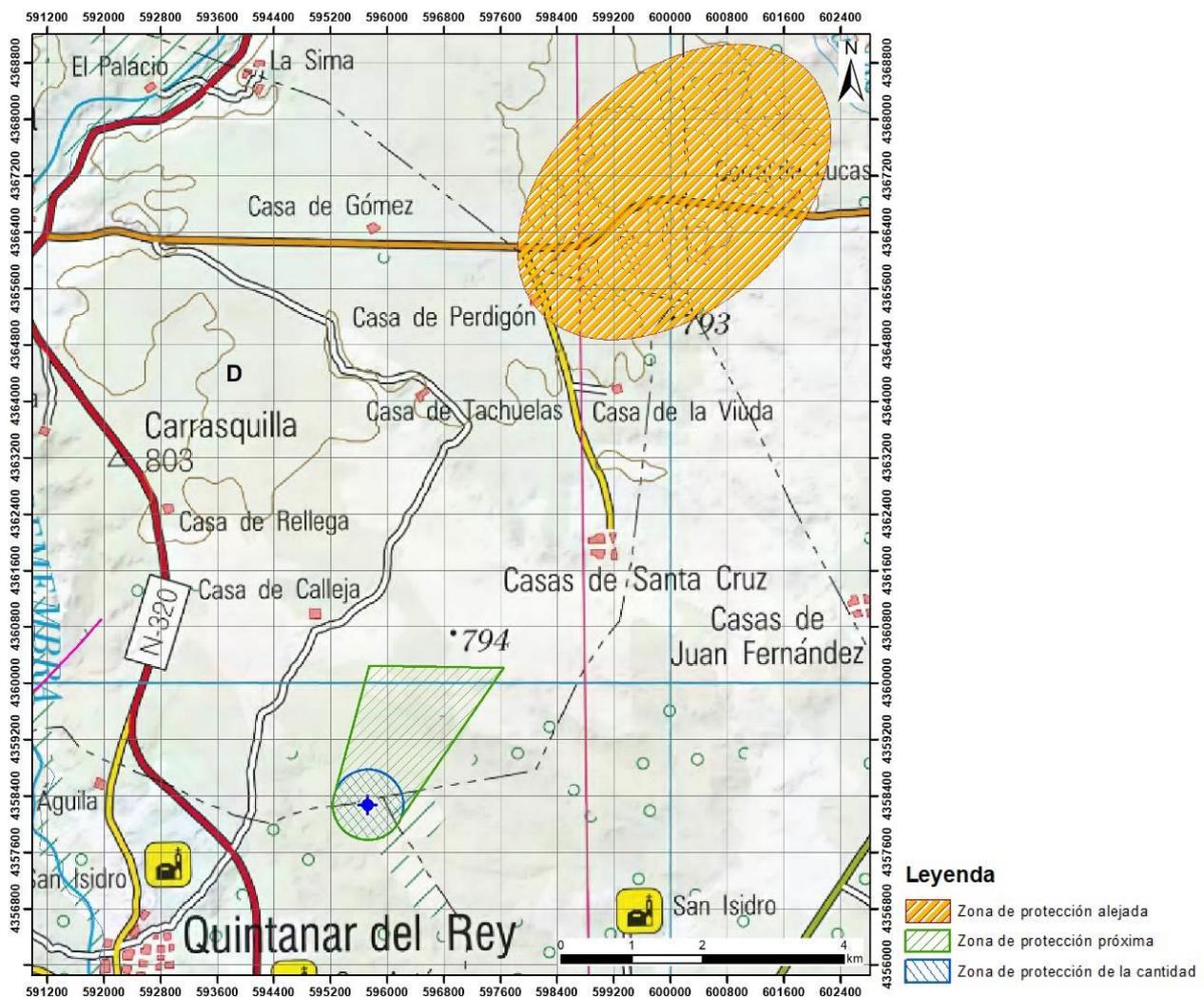


Figura 21. Perímetros de protección propuestos para el sondeo Calderones

7. BIBLIOGRAFÍA

INC, 1972. Informe parcial del sondeo 717-2971

IGME-IRYDA. Columna del sondeo 717/80 “Quintanar del Rey”.

IGME-IRYDA. Columna del sondeo 717/75 “La Calera”.

IGME, 1988. Mapa geológico E 1:50.000 n° 717 (24-28) "Quintanar del Rey".

IGME, 1980. Nota técnica sobre las posibilidades de captación de aguas subterráneas para el abastecimiento urbano de “Quintanar del Rey” (Cuenca).

IGME, 1981a. Informe final del sondeo “Quintanar del Rey” (Cuenca).

IGME, 1981b. Informe sobre el bombeo de ensayo realizado en Villanueva de la Jara. Cuenca.

IGME, 1982. Informe sobre el bombeo realizado en Quintanar de Rey. Cuenca.

IGME, 2001. Situación actual de los sistemas de abastecimiento en la provincia de Cuenca. Quintanar del Rey.

IGME, 2003. Martínez Navarrete, C. y García García, A. Perímetros de protección para captaciones de agua subterránea destinada al consumo humano. Metodología y aplicación al territorio.

IGME, 2009. Propuesta de perímetro de protección para la captación de abastecimiento de agua potable a la localidad de Villanueva de la Jara (Cuenca).

IGME-DGA. 2009a. Actividad 5. Elaboración del mapa piezométrico de España. Demarcación Hidrográfica del Júcar. 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.

IGME-DGA. 2009b. Actividad 9. Protección de las aguas subterráneas empleadas para consumo humano según los requerimientos de la Directiva Marco del Agua. Evaluación de la vulnerabilidad intrínseca de las masas de agua subterránea intercomunitarias. Masas carbonatadas. Demarcación Hidrográfica del Júcar. 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

IGME-DGA 2009c. Caracterización básica de las masas de agua subterránea de la CHJ. Actividad nº3 de la Encomienda de Gestión de la Dirección General del Agua al IGME, relativa a la realización de trabajos científico técnicos de apoyo a la sostenibilidad y protección de las aguas subterráneas. MASb: 080.129. Mancha Oriental.

Electroriegos Mahora, S.L-Sondeos Martínez, 2020. Reconocimiento con cámara de vídeo y testificación geofísica del sondeo Calderones, situado en el término municipal de Quintanar del Rey, Cuenca.

En Madrid, diciembre de 2020

Vº Bº: Jefa del Proyecto

La autora del informe

Raquel Morales García

Ana Castro Quiles

Área de Hidrogeología General

Área de Hidrogeología

y Calidad del Agua del IGME

Aplicada del IGME

ANEXO 1

**RECONOCIMIENTO CON CÁMARA DE VÍDEO Y
TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA DEL SONDEO
CALDERONES, SITUADO EN EL TÉRMINO
MUNICIPAL DE QUINTANAR DEL REY, CUENCA.**

SONDEO CALDERONES, QUINTANAR DEL REY, CUENCA,
ELECTRORIEGOS MAHORA SL



Kaizen
ADOPCIÓN Y CERTIFICACIÓN



ISO 9001
nº certificado 19.0062C

Kaizen
ADOPCIÓN Y CERTIFICACIÓN



ISO 14001
nº certificado 19.0063M

Reconocimiento con Cámara de Video y
testificación geofísica del sondeo CALDERONES,
situado en el término municipal de QUINTANAR
DEL REY, CUENCA. Realizado para
ELECTRORIEGOS MAHORA SL.

20/10/2020

ÍNDICE GENERAL

<u>SONDEO CALDERONES, QUINTANAR DEL REY, CUENCA, ELECTRORIEGOS MAHORA SL</u>	1
1 <u>INTRODUCCIÓN</u>	4
1.1 ANTECEDENTES	4
1.2 SITUACIÓN GEOGRÁFICA	6
2 <u>OBJETIVOS</u>	8
3 <u>EQUIPO Y METODOLOGÍA DE LA INSPECCIÓN</u>	9
3.1 EQUIPO DE TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA	9
3.2 CÁMARA DE TV	10
3.3 PARÁMETROS REGISTRADOS Y PROGRAMA DE TRABAJO	11
4 <u>RESULTADOS DEL RECONOCIMIENTO</u>	15
4.1 REGISTRO VIDEOGRÁFICO	15
4.2 REGISTRO DE TEMPERATURA Y CONDUCTIVIDAD	17
4.3 REGISTRO DE RADIACIÓN GAMMA NATURAL	18
4.4 REGISTRO DE VERTICALIDAD	20
4.5 REGISTRO DE DIÁMETROS	21
4.6 REGISTRO FLOWMETER	22
5 <u>CONCLUSIONES</u>	23
6 <u>ANEJOS</u>	27
Anejo I: Formato digital con una copia del reconocimiento videográfico	28
Anejo II: Fotografías del reconocimiento	29
Anejo III. Diagrafías del reconocimiento	46
Anejo IV: Perfil del sondeo	47
Anejo V: Justificación matemática del análisis de flujos verticales naturales	48
Anejo VI: Resumen de los registros realizados	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Equipo de testificación geofísica utilizado junto al sondeo.	5
Fig. 2. Situación del sondeo. Cartografía del SIGPAC.	6
Fig. 3. Localización del sondeo. Cartografía del SIGPAC.	7
Fig. 4. Ortofoto de la situación del sondeo. Cartografía del SIGPAC.	7
Fig. 5. Fotografía del brocal del sondeo.	8
Fig. 6. Tabla resumen de las características de las sondas del equipo de testificación.	10
Fig. 7. Tabla del programa de trabajo.	13
Fig. 8. Tabla resumen de procedimiento de la norma ISO 9001/ISO 14001.	14
Fig. 9. Diagrama de temperatura y conductividad.	17
Fig. 10. Diagrama de radiación gamma natural.	18
Fig. 11. Diagrama de verticalidad	20
Fig. 12. Diagrama de diámetros	21
Fig. 13. Diagrama de flujos	22
Fig. 14. Fotografías del sondeo.	45

1 INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

A petición de ELECTRORIEGOS MAHORA SL, se realizó, el 20/10/2020, el reconocimiento videográfico y testificación geofísica del sondeo CALDERONES, situado en el término municipal de QUINTANAR DEL REY, CUENCA, con el fin de comprobar el estado y las características del sondeo.

Según la propiedad:

El sondeo fue construido en el año 1998.

Se desconocen las características constructivas del sondeo.

El equipo de impulsión se encontraba instalado a 170 m de profundidad.

La tubería de impulsión tiene un diámetro interior de 210 mm y un diámetro máximo de 320 mm en las bridas.

El sondeo extrae habitualmente un caudal de 47 l/s.

El brocal del sondeo presenta algunas deficiencias que podrían comprometer la instalación del equipo de bombeo o acortar la vida útil del sondeo. La inexistencia de un dado de hormigón permite la entrada de aguas pluviales, deteriorando los primeros metros de la explotación.

El objetivo del presente reconocimiento es confirmar las características constructivas del sondeo y determinar su estado de conservación. Además, se realizarán una serie de registros para conocer el comportamiento hidráulico del sondeo en régimen estático y determinar, a grandes rasgos, las litologías atravesadas.

El sondeo se localiza dentro de un recinto cerrado con una valla metálica en el que se encuentra una caseta con el cuadro eléctrico.



Fig. 1. Equipo de testificación geofísica utilizado junto al sondeo.

1.2 SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El sondeo se encuentra en el término municipal de QUINTANAR DEL REY, CUENCA y, según los datos obtenidos en campo mediante un equipo GPS de la marca Garmin, sus coordenadas U.T.M. referenciadas al DATUM ETRS89 son las siguientes:

Huso: 30

X UTM: 595.728 m

Y UTM: 4.358.274 m

Altitud: 780 m.s.n.m.

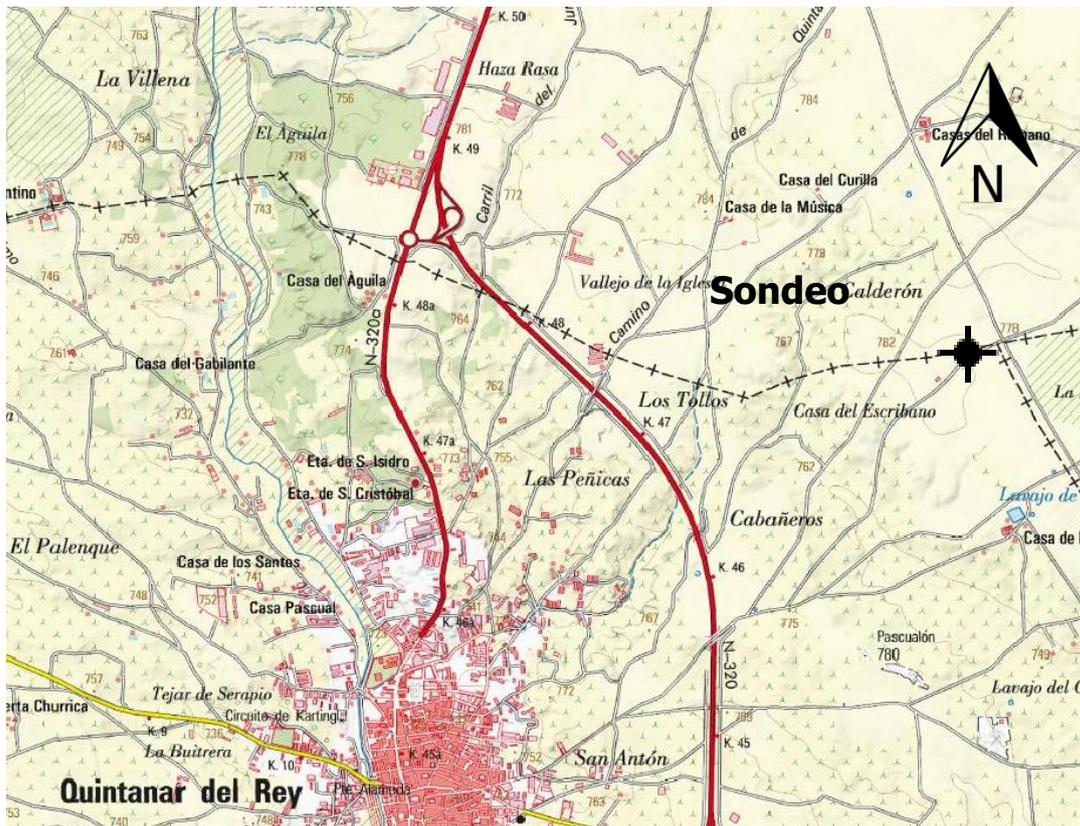


Fig. 2. Situación del sondeo. Cartografía del SIGPAC.

Según las coordenadas obtenidas en campo, el sondeo se encuentra en la parcela número 193, del polígono 9 del término municipal de QUINTANAR DEL REY, CUENCA.



Fig. 3. Localización del sondeo. Cartografía del SIGPAC.



Fig. 4. Ortofoto de la situación del sondeo. Cartografía del SIGPAC.

2 OBJETIVOS

Los objetivos del presente estudio son los siguientes:

- Conocer las características actuales del sondeo y su estado de conservación.
- Determinar posibles defectos constructivos.
- Detectar las posibles deficiencias de la captación que originen problemas durante su funcionamiento.
- Verificar las características litológicas de los terrenos atravesados durante la perforación.
- Determinar la temperatura y conductividad del agua a lo largo del sondeo.
- Conocer los diferentes diámetros de la tubería de acondicionamiento
- Conocer los posibles flujos verticales naturales del sondeo y las zonas de aportes más importantes.
- Determinar el grado de desviación de la verticalidad.

Por tanto, con la realización de este reconocimiento se pretende llegar a una serie de conclusiones y recomendaciones para la mejora tanto del estado del sondeo, y por tanto su vida útil, como evaluar cualitativamente la posible merma del rendimiento de la explotación.

Fig. 5. Fotografía del brocal del sondeo.



3 EQUIPO Y METODOLOGÍA DE LA INSPECCIÓN

3.1 EQUIPO DE TESTIFICACIÓN GEOFÍSICA

El estudio se ha llevado a cabo con un equipo de testificación geofísica fabricado por Mount-Sopris. Los datos son visualizados en tiempo real en un PC provisto del software de comunicación y adquisición MSLog, Matrix Logger. Posteriormente estos datos son exportados a otro software, WellCAD 4.4, en el que son tratados, corregidos y presentados.

Todos los equipos van montados sobre una furgoneta marca Mercedes-Benz, modelo Vito. El vehículo cuenta con una zona de control del equipo de testificación, una zona de trabajo y una zona de conducción. Dispone de un generador que proporciona energía eléctrica al conjunto del equipo con una autonomía de 15 horas.

Además de las sondas, el equipo de testificación cuenta con un cabrestante con 650 metros de cable equipado con un medidor de tensión con el fin de saber cuando la sonda ha llegado al fondo del sondeo y evitar posibles roturas por atasco. También se controla la velocidad de ascenso o descenso para realizar una correcta medición.

A continuación se describen las sondas que componen el equipo, sus características y los parámetros que registran:

- Sonda calíper modelo 2CAA-1000. Registra el diámetro del sondeo con un error inferior a +/- 5 mm. Su rango de medidas va de 40 a 650 mm. Esta sonda se calibra periódicamente para evitar posibles errores debido al desgaste y a la precipitación de elementos extraños en la misma.
- Sonda eléctrica y Calidad del agua modelo 2PEA-1000/F. Registra el potencial espontáneo (desde -1.5V a +1.5V), la resistencia puntual (0 a 5000 ohms), la resistividad normal de 8", 16", 32" y de 64" en un rango entre 0 y 2500 $\Omega \cdot m$ y la radiación gamma natural mediante un detector de cristal de Ioduro de Sodio con impurezas de Talio. Registra la conductividad en un rango entre 100 y 10000 $\mu S/cm$. y con un error de +/- 1%. Además determina la temperatura en un rango entre -20°C y 70°C y con un error de 0,5 % y una resolución de 0,05 %. Resistividad del fluido de 0 a 100 ohm-metros con un error del 1 %.
- Sonda inclinómetro modelo 2DVA-1000. Registra la desviación e inclinación del sondeo así como el azimut de la misma.
- Sonda Flowmeter modelo FLP-2492. Registra los diferentes flujos verticales en el interior del sondeo. Caracterización hidráulica de acuíferos.
- Sonda Toma Muestras. Capaz de extraer 2 litros de fluido de la profundidad deseada.

Fig. 6. Tabla resumen de las características de las sondas del equipo de testificación.

Sonda	Parámetro	Unidades	Error	Velocidad	Rango	Corriente	Aplicación
2CAA-1000 Cáliper	Diámetro del sondeo	Milímetros (mm)	+/- 5 mm	7 m/min (ascendente)	40 a 650 mm	60 a 65 V 30 a 60 mA 85 mA MAX abr/cerr	Diámetros de perforación/o entubado
	Potencial espontáneo SP	miliVoltios (mV)	1 %	3.5 m/ min (descendente)	-1,5 V a +1,5 V		
	Resistencia monoelectrónica SPR	Ohmios (Ω)	1 %	3.5 m/ min (descendente)	1 a 5.000 Ω		
	Resistividad 8",16",32" y 64"	Ohmios x metro (Ω·m)	1 %	3.5 m/ min (descendente)	1 a 2.500 Ω·m		Información litológica y contactos
2PEA-1000/F	Gamma natural	CPS	-	3.5 m/ min (descendente)	Energías mayores de 60keV	52 a 88 V 35 a 100 mA	Caracterización físico-química del agua.
	Resistencia del fluido	Ohmios x metro (Ω·m)	1 %	3.5 m/ min (descendente)	0 a 100 Ω·m		
	Temperatura	Grados Centígrados (C°)	0,5 %	3.5 m/ min (descendente)	-20° a 70° C		
	Conductividad	Microsiemens / centímetro (μS/cm)	1 %	3.5 m/ min (descendente)	100 a 10000 μS/cm		
2DVA-1000	Inclinación y desviación	Grados sexagesimales Azimut	+/- 0,5°	5-6 m/ min (descendente)	0 a 89,9 °	52-88 V 150 mA	Desviación e inclinación
FLP-2492	Flujo vertical	Metros por segundo (m/s)	< 0,3 m/min	2-4-6-12 m/ min (Asc/des)	2-70 m/min	+30 V 100 mA	Caracterización hidráulica de Acuíferos
TMM-1000	Toma muestras	Litros (l)	-	- (descendente)	-	90 V 12 mA 24 mA abr/cerr	Adquisición de muestras de agua en profundidad
Encoder	Profundidad	Metros (m)	0,15 %	- (Asc/des)	0-9999	5 V	Control de profundidad

3.2 CÁMARA DE TV

El equipo cuenta con una cámara de TV de alta resolución, sumergible hasta 1500 m., marca C.C.V. modelo BT9600. Dispone de iluminación fría antidesvellos y un objetivo que la dota de visión axial y lateral.

También se dispone de una cámara extrafina de 45 mm, con las mismas características y funciones, Marca CCV modelo WC1750.

Todas las funciones de enfoque, giros y elección de visual (axial o lateral) se controlan desde superficie.

3.3 PARÁMETROS REGISTRADOS Y PROGRAMA DE TRABAJO

El estudio realizado consta de dos etapas, el trabajo en campo y el trabajo en gabinete.

Trabajo de Campo.- Tras estudiar los objetivos a alcanzar, conocer las características del emplazamiento y la explotación, y seleccionar las sondas a emplear en el reconocimiento; se realizaron los trabajos de campo. Los parámetros registrados en el reconocimiento del sondeo han sido los siguientes:

Registro Videográfico. Con este registro obtenemos una idea clara y sencilla de las características constructivas y del estado de conservación del sondeo. Podemos distinguir tramos filtrantes de tramos ciegos, detectar roturas en la entubación o localizar objetos caídos al sondeo, testificación directa de litología. Control de calidad.

Testificación de diámetros (caliper). El control de diámetros puede proporcionar información sobre presencia de cavidades, desplomes, etc.; lo que nos servirá para planificar adecuadamente una correcta entubación. Si el sondeo está entubado, la sonda caliper permite situar la cota de reducciones, posibles abolladuras o implosiones de la entubación.

Temperatura y conductividad del agua. El registro termométrico se realiza en sentido descendente, para obtener las medidas antes de que el movimiento de la sonda mezcle el agua y haga variar la temperatura. Las diferencias de las variaciones de la temperatura del agua a lo largo del sondeo pueden aportar datos interesantes sobre las características, procedencias e interacciones entre los distintos acuíferos perforados.

Se realiza simultáneamente el registro de conductividad eléctrica, que nos será muy útil para la detección de contaminación o identificación de acuíferos salobres. Esta conductividad se corrige a condiciones estándar (25° C).

Sonda eléctrica. La testificación eléctrica tiene como principal objetivo la identificación y definición de las cotas de las formaciones acuíferas, litologías y contactos. Esta testificación comprende la medición de resistividades de distintas penetraciones (corta 8" y 16" y larga 32" y 64"), resistencia puntual y potencial espontáneo. Solamente permite registros por debajo del nivel estático del agua y en sondeos sin revestimiento metálico.

Radiación gamma natural. El registro de rayos gamma natural (desintegración de los átomos de K^{40} , U^{238} y Th^{232}) permite distinguir materiales de alta emisión radiactiva, como las arcillas, feldespatos o micas, con alto contenido en K^{40} , de otros menos emisivos, como las calizas o arenas. Esta información nos ayudara a conocer los materiales atravesados durante la perforación

del sondeo. En cualquier caso, hay que tener en cuenta el efecto en la medida de varios factores como el diámetro del sondeo, densidad del lodo,...

Testificación de la desviación e inclinación. La desviación de la perforación suele deberse a causas de tipo técnico o de índole geológico. Esta inclinación puede producir dificultades para entubar y un envejecimiento prematuro de la construcción. Además un grupo de impulsión que trabaje relativamente separado de la vertical puede ver reducida su vida útil. La sonda nos muestra valores de inclinación y azimut, con lo que podemos obtener una visión de la verticalidad del sondeo y la dirección de la desviación.

Sonda flowmeter. Esencialmente la sonda consta de una hélice que se hace descender a velocidad constante a través del sondeo. Las variaciones de la velocidad de giro de la hélice son registradas y transformadas en datos de velocidad. La toma de medidas se realiza tanto durante el descenso de la sonda como en el ascenso de la misma, con el fin de establecer los sentidos de circulación con mayor precisión.

Permite detectar flujos verticales en el interior del sondeo con el objetivo de conocer las diferentes interrelaciones de los acuíferos captados y en consecuencia llegar a una evaluación relativa de sus potenciales hidráulicos.

Fig. 7. Tabla del programa de trabajo.

Tipo de sonda	Parámetro	Sentido	Día Hora	Velocidad (m/min)
TV	Registro Videográfico	Descendente	20/10/2020 09.00	Variable
ELX	Temperatura, conductividad, gamma	Descendente	20/10/2020 10.00	7
CAL	Diámetro	Ascendente	20/10/2020 11.00	7
INC	Verticalidad	Descendente	20/10/2020 11.45	7
FLM	Flujos naturales verticales	Descendente y ascendente	20/10/2020 13.00	6, 8 y 10

Trabajo de Gabinete.- Se aplica el tratamiento correspondiente a los resultados obtenidos en el trabajo de campo. Éste consiste en la eliminación de errores, suavizado de curvas, cálculo y estandarización de valores, etc. Con todo esto y la información recopilada se realiza el presente informe.

El video bruto obtenido en campo es editado para que pueda ser visionado en cualquier reproductor digital. Además se realiza este informe escrito que muestra las conclusiones obtenidas.

Tanto la campaña en campo como el trabajo de gabinete es llevado a cabo en todo momento bajo los procedimientos de la norma ISO 9001 / ISO 14001. Estas tareas las realizan técnicos del departamento de Testificación Geofísica de la empresa.

A continuación se muestra un resumen del procedimiento de Reconocimiento Videográfico y Testificación Geofísica.

Procedimiento IT10-03		Procedimiento de Reconocimiento Videográfico Testificación Geofísica	
1. Preparación y acondicionamiento del equipo en el lugar de trabajo.	Se anotarán diferentes parámetros en el parte diario de trabajo RP10-02.	<ul style="list-style-type: none"> • Selección de la correcta ubicación del equipo respecto al sondeo. • Comprobación de la estabilidad del trípode. • Toma de datos de diámetro de entubación, coordenadas, fotografías de la zona, etc. 	
2. Conexiones	Realizar y comprobar las diferentes conexiones para el funcionamiento del equipo.	<ul style="list-style-type: none"> • Cuando se utilice la sonda eléctrica es necesario conectar la toma de tierra y aislar correctamente la zona de unión entre la sonda y el cable. 	
3. Estabilizadores.	Según el diámetro de entubación, se colocarán los estabilizadores en la sonda, garantizando una correcta medición y un buen funcionamiento de la misma.	<ul style="list-style-type: none"> • El diámetro de la entubación quedará reflejado en el parte diario de trabajo (RP10-02). 	
4. Verificación del estado de los cables y sus aislamientos.	Se verifica visualmente el cable y el conector como mínimo al comienzo de cada jornada. Además se chequea el cable mediante una función del programa informático del equipo, para asegurar la correcta toma de datos.	<ul style="list-style-type: none"> • En caso de alguna incidencia se anotará en el parte de trabajo diario (RP10-02). 	
5. Comienzo de los registros	Se comenzarán los registros según las características de la sonda en cuestión, enrasando, siempre que sea posible en el brocal del sondeo.	<ul style="list-style-type: none"> • Cada 50 metros se anotarán los valores de profundidad, tensión del cable, posibles incidencias y las horas de trabajo en el parte diario (RP10-02). 	
6. Final del registro y grabación de los datos.	Al finalizar el registro, se comprueba:	<ul style="list-style-type: none"> • La grabación y estado de los archivos generados. • Para detectar posibles errores en la medición de la profundidad se enrasa de nuevo la sonda en el brocal. Se anotarán las posibles variaciones en RP10-02. • Los registros son almacenados en la memoria interna del ordenador de campo, para su posterior interpretación y correcciones necesarias. • Además se almacenará en una memoria portátil para evitar la pérdida de los datos. 	
7. Resultados de los registros en campo.	Es posible visualizar y grabar los datos obtenidos en el estudio.	Cualquier anomalía se reflejará en RP10-02.	
8. Desmontaje y limpieza.	Una vez concluidos los trabajos de medición, se procederá al desmontaje y limpieza de los equipos utilizados. Corresponde principalmente:	<ul style="list-style-type: none"> • Retirar los centradores y limpiar las sondas. • Limpiar el sistema de poleas y cable. • Limpiar los habitáculos utilizados. 	
9. Anclaje de materiales y objetos móviles.	Antes de comenzar el transporte se deberá anclar los objetos móviles del equipo como la grúa, la caja de herramientas, las sondas, el ordenador, la silla, etc.		
8. Incidencias	En caso de existir anomalías en estas actividades diferentes a las contempladas anteriormente, se reflejarán en los partes diarios de trabajo (RP10-02) y se tomarán las medidas necesarias para corregir las variaciones, según P02.		
9. Informe	Los datos obtenidos en campos serán subidos al Servidor del Departamento para ser tratados y corregidos obteniendo de ellos las conclusiones oportunas del informe.		

Fig. 8. Tabla resumen de procedimiento de la norma ISO 9001/ISO 14001.

4 RESULTADOS DEL RECONOCIMIENTO

Todos los registros se realizaron tomando como punto de referencia el brocal del sondeo que, en este caso, se encuentra a ras del suelo y tiene 600 mm de diámetro.

4.1 REGISTRO VIDEOGRÁFICO

El reconocimiento se realizó el día 20/10/2020 con los siguientes resultados:

El registro comienza con el enrasado de la cámara en el brocal del sondeo.

La tubería de acondicionamiento es de tipo soldadura longitudinal y fue instalada mediante palier y orejetas que se encuentran cerradas.

La tubería de acondicionamiento se encuentra en moderado estado de conservación. Se observan síntomas de oxidaciones y corrosiones. Los primeros metros de la entubación se encuentran deteriorados apareciendo costras en la entubación que esta apunto de separarse. Las paredes de la tubería presenta los habituales depósitos de incrustaciones en forma de pequeños abultamientos redondeados.

A 56,97 m, se observa la entrada de agua descolgada por una orejeta. Posteriormente, se localiza otra entrada de agua a 59,92 m por un "pequeño poro" en la entubación.

A 98,93 m, se observa una tercera entrada de agua por una orejeta.

A 149,85 m de profundidad se localiza el nivel estático del agua. Ésta se encuentra clara y la visión es buena.

Se observa un aumento progresivo de las incrustaciones. Por su textura y morfología parecen ser óxidos e hidróxidos de hierro. Seguramente existe además una componente carbonatada.

A 164,78 m se localiza el final de la entubación. Se observa un corte regular, ajustado y en buen estado.

A partir de esta profundidad se observa una formación mayoritariamente calcárea. Se observan varias zonas de fisuras y cavernas a lo largo del reconocimiento. Estas zonas se intercalan con zonas calcáreas masivas.

A 169 m se localiza una caverna. Posteriormente, a 176 m, se observan oquedades en la formación perforada.

A 198 y 223 m se observan fisuras significativas.

A 226 se observa una caverna en la cual se pierde la sección cilíndrica típica del sondeo.

Se localiza el comienzo de un tramo de tubo sonda de PVC a 230,18 m.

A 240 m se observa un aumento de la turbidez del agua.

El fondo del sondeo se localiza a 242 m.

Véase la **Figura 14. Fotografías del sondeo**, donde se esquematiza, mediante fotografías, la información descrita en el presente apartado.

4.2 REGISTRO DE TEMPERATURA Y CONDUCTIVIDAD

Fig. 9. Diagrama de temperatura y conductividad.



El registro de temperatura y conductividad se realizó el día 20/10/2020 según el programa de trabajo.

La temperatura del agua en el nivel estático es de 21,4° C.

Entre el NEA y 170 m, la temperatura aumenta hasta 22,4° C.

Entre 170 m y 220 m, la temperatura se mantiene entre 22,4 y 22,3° C.

A lo largo del resto del sondeo la temperatura aumenta lentamente y de forma sostenida hasta alcanzar 22,6° C en el fondo del sondeo.

La conductividad en el nivel estático del agua es de 890 µS/cm y disminuye hasta 777 µS/cm a 170 m

La conductividad del agua permanece prácticamente constante entre 170 y 220 m, registrándose ligeras variaciones entre 778 y 794 µS/cm.

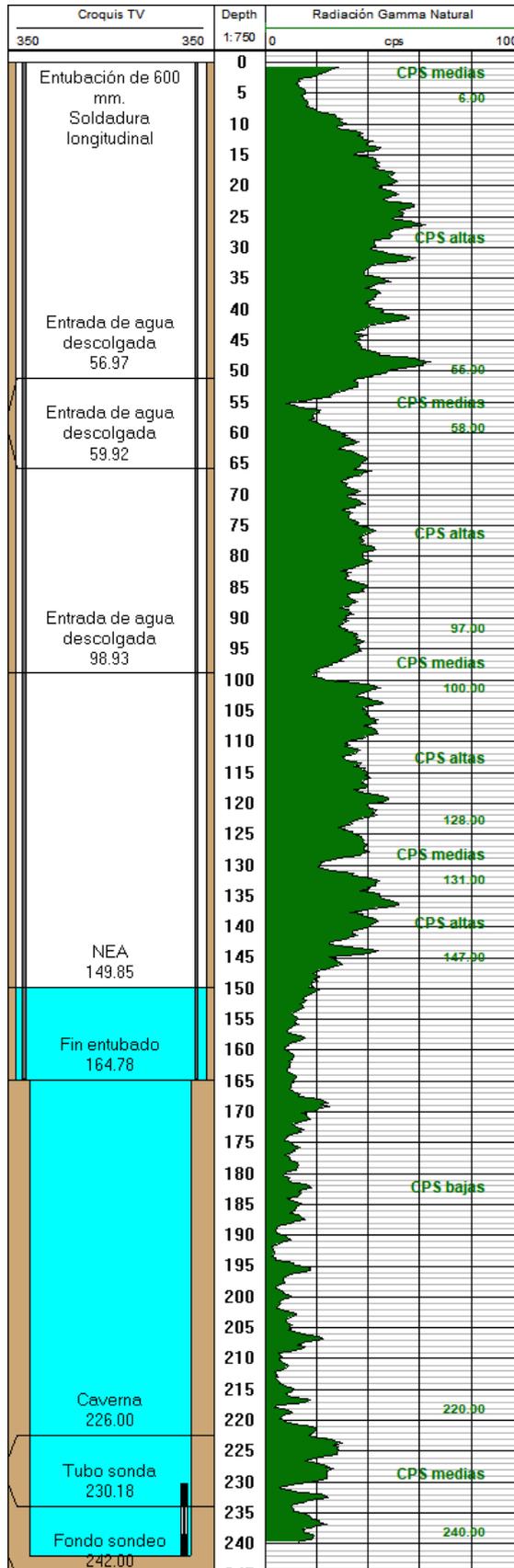
A partir del metro 220, la conductividad aumenta registrándose 854 µS/cm en el fondo del sondeo.

A 200 m se observa una ligera inflexión de ambas curvas (temperatura y conductividad).

Nota. La conductividad ha sido estandarizada a 25° C.

4.3 REGISTRO DE RADIACIÓN GAMMA NATURAL

Fig. 10. Diagrama de radiación gamma natural.



Este registro se realizó el día 20/10/2020.

De él se extrae la siguiente información, una vez realizada las correcciones pertinentes para eliminar la atenuación producida por el fluido.

El registro obtenido se puede dividir en dos zonas, de 0 m a 147 m, donde se muestra un paquete más arcilloso y; a partir de 147 m, donde la medidas indican valores bajos que se relacionan con materiales calcáreos.

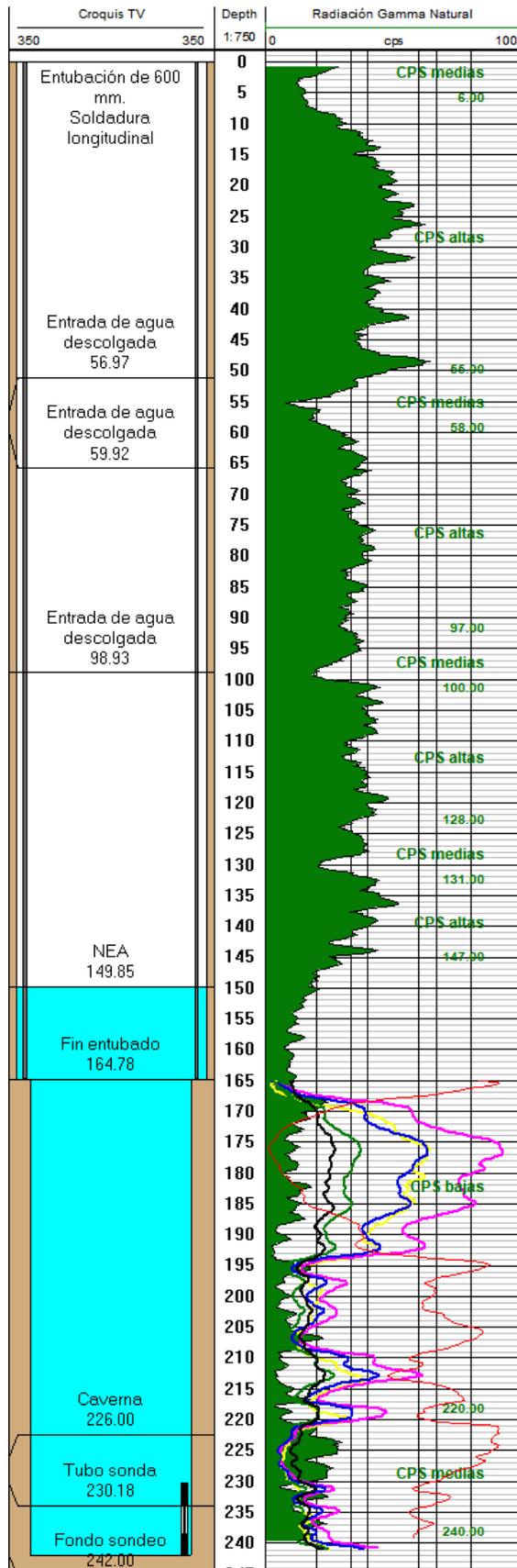
Entre 0 y 6 m, valores medios, pudiendo relacionarlos con materiales detríticos calcáreos y/o carbonatados.

Entre 6 y 55 m, valores altos, pudiendo relacionarlos con materiales detríticos con presencia arcillosa y/o materiales margosos carbonatados.

Entre 55 y 58 m, valores medios, pudiendo relacionarlos con materiales detríticos calcáreos y/o carbonatados. Coincide con entradas de agua descolgadas.

Entre 58 y 97 m, valores altos, pudiendo relacionarlos con materiales detríticos con presencia arcillosa y/o materiales margosos carbonatados.

Entre 97 y 100 m, valores medios, pudiendo relacionarlos con materiales detríticos calcáreos y/o carbonatados. Coincide con entradas de agua descolgadas.



Entre 100 y 128 m, valores altos, pudiendo relacionarlos con materiales detríticos con presencia arcillosa y/o materiales margosos carbonatados.

Entre 128 y 131 m, valores medios, pudiendo relacionarlos con materiales detríticos calcáreos y/o carbonatados.

Entre 131 y 147 m, valores altos, pudiendo relacionarlos con materiales detríticos con presencia arcillosa y/o materiales margosos carbonatados.

Entre 147 y 220 m, valores bajos, pudiendo relacionarlos con materiales carbonatados, como calizas y/o dolomías.

Entre 220 y 242 m, valores medios, pudiendo relacionarlos con materiales carbonatados margosos, como caliza margosa o margocaliza.

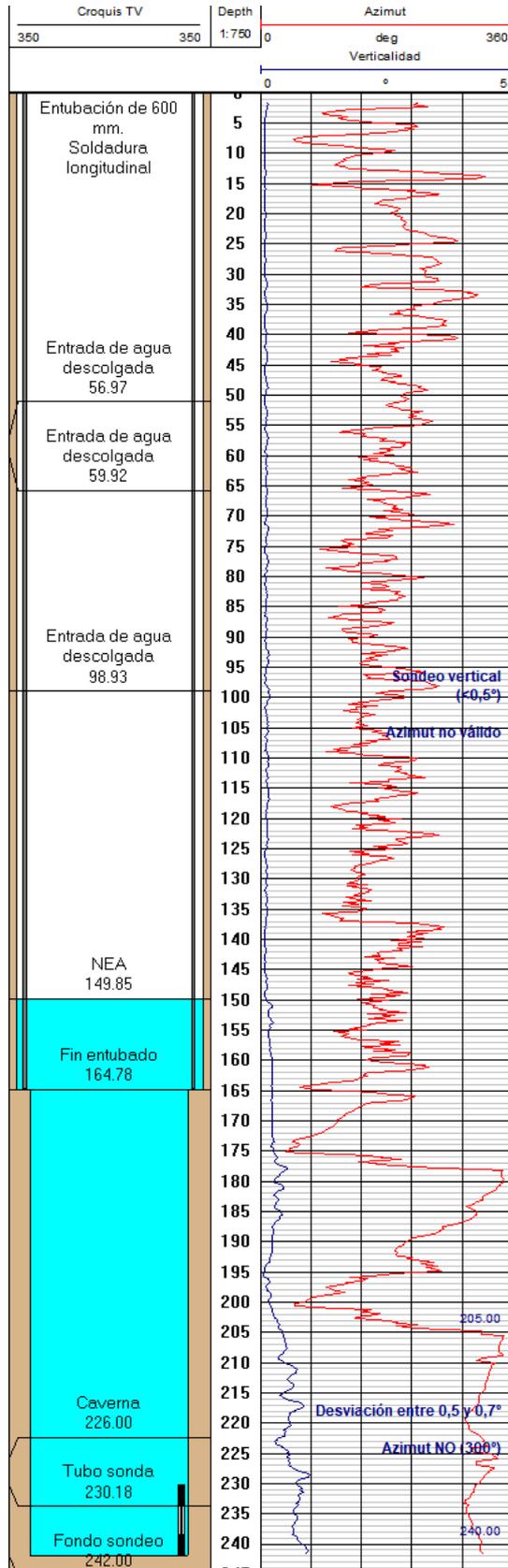
Si recordamos que la radiación gamma natural es emitida principalmente por las arcillas, dentro de cada nivel sería posible distinguir pequeñas variaciones hacia rocas más o menos margosas.

Los registros de resistividades del terreno corroboran la interpretación calcárea definida anteriormente. Se observan un paquete más resistivo entre 170 y 220 m.

Sería fundamental relacionar esta columna interpretada con la testificación mecánica que se realizó en la perforación del sondeo. De esta forma se podría confirmar la naturaleza detrítica o carbonatada de la primera zona del sondeo.

4.4 REGISTRO DE VERTICALIDAD

Fig. 11. Diagrama de verticalidad



Este registro se llevó a cabo el día 20/10/2020, según el programa de trabajo.

La verticalidad del sondeo permanece por debajo de $0,5^\circ$ hasta los 205 m.

Entre 205 y 242 m, se registra un aumento de la desviación entre $0,5$ y $0,7^\circ$.

La dirección de la desviación no ha podido ser medida en los primeros 164 m puesto que el sondeo se encuentra acondicionado con tubería metálica y la brújula no funciona correctamente en estas condiciones. A partir de esta profundidad, y más concretamente a partir de 205 m, donde el sondeo se desvía, la dirección indica una desviación hacia el NO (300°)

El perfil del sondeo adjunto en el anejo IV muestra la forma del sondeo suponiendo una dirección de desviación constante. De este modo el sondeo se desviaría una media de $0,1^\circ$ y el extremo final del sondeo se alejaría 0,35 metros de la vertical.

4.5 REGISTRO DE DIÁMETROS

Fig. 12. Diagrama de diámetros



Este registro se llevó a cabo el 20/10/2020, según el programa de trabajo. En el registro se observan los siguientes datos:

Este reconocimiento se realiza en sentido ascendente, abriéndose las patas de la sonda en el fondo del sondeo hasta que contactan con la tubería.

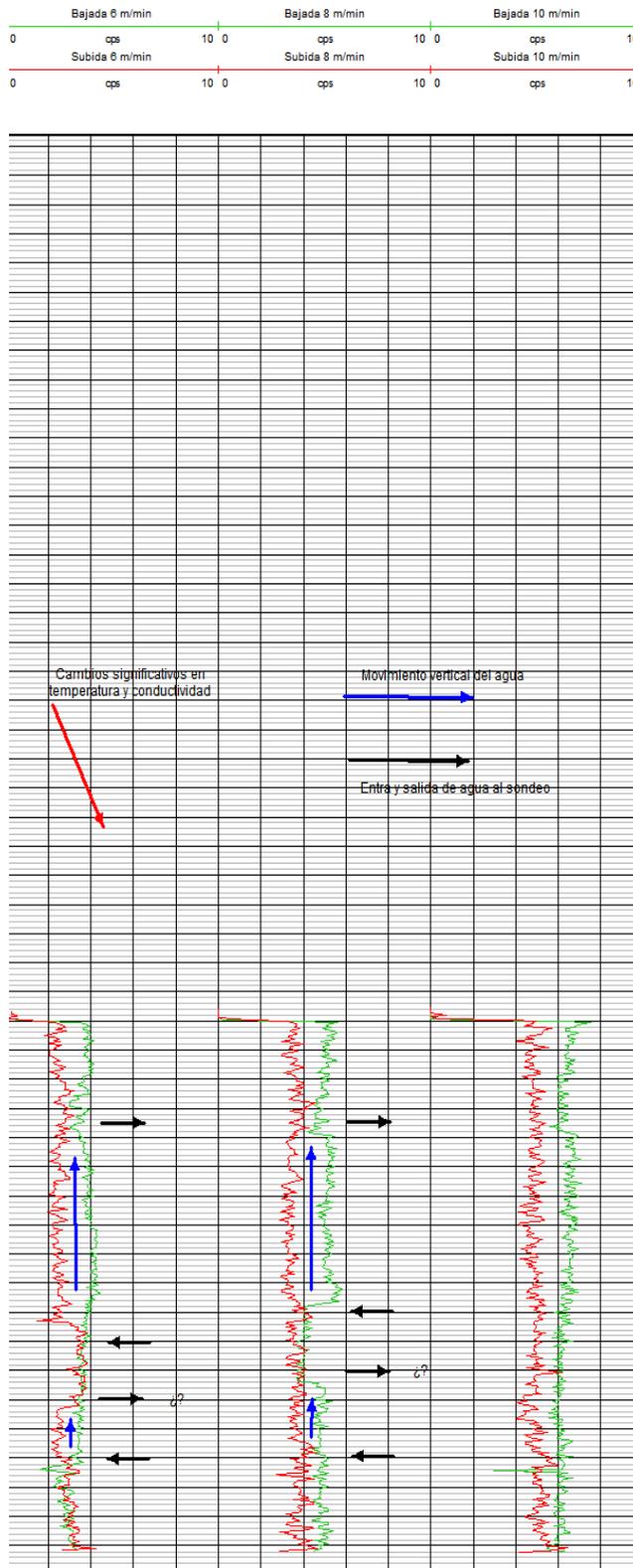
Entre 0 y 164,78 m, se registran valores máximos de la sonda (570 mm), correspondientes a la tubería de acondicionamiento original de 600 mm.

Entre 164,78 y 175 m se registran valores máximos de la sonda (570 mm), correspondientes a la perforación.

Entre 175 y 242 m se registran valores que varía entre 515 y 570 mm, correspondientes a la perforación.

4.6 REGISTRO FLOWMETER

Fig. 13. Diagrama de flujos



Este registro se realizó el día 20/10/2020, según el programa de trabajo.

Del análisis matemático de los resultados obtenidos en los distintos registros realizados se concluye que no existe flujo natural vertical a lo largo del sondeo dentro de los límites de medición de la sonda.

En el anejo V se exponen los cálculos realizados y se justifican las conclusiones obtenidas.

No obstante, del análisis cualitativo de los registros realizados, se extrae la tendencia a un flujo vertical ascendente.

Existiría una entrada de agua al sondeo entre 215 y 215 m y posteriormente a partir de 205 m. Es posible que el flujo que entra a 225 m se pierda a 215 m, y entre 205 y 215 m, no exista flujo ascendente. Posteriormente existe una nueva entrada de agua a 205 m, que mantiene el flujo ascendente hasta 170 m.

El flujo ascendería por el sondeo hasta un nivel de potencial menor a 170 m.

Dicho flujo se hace más presente comparando la subida y bajada de 6 y de 8 m/min.

5 CONCLUSIONES

A partir de los registros descritos se deduce que el sondeo tiene las características siguientes:

Profundidad:

El fondo del sondeo se encuentra a **242 m**. Se observa un tubo sonda de PVC desde 230,18 m hasta el fondo actual del sondeo.

Tubería de acondicionamiento:

Se trata de una tubería de acero al carbono tipo soldadura longitudinal. La tubería se encuentra en un moderado estado de conservación. Las continuas incrustaciones generadas de los procesos de corrosión y los precipitados adheridos a la entubación, impiden discernir con garantías el estado actual del encamisado. No se han observado roturas ni deformaciones significativas en el registro videográfico.

La entubación finaliza a 164,78 m. A partir de este punto la perforación se encuentra sin revestimiento metálico.

La formación es mayoritariamente calcárea y se muestra tramos masivos intercalados con zonas fisuradas.

Diámetros:

El diámetro medido en el brocal es 600 mm.

Entre 0 y 164,78 m, se registran valores máximos de la sonda (570 mm). Entubación 600 mm.

Entre 164,78 y 175 m se registran valores máximos de la sonda (570 mm). Perforación.

Entre 175 y 242 m se registran valores que varía entre 515 y 570 mm. Perforación.

Ranuras:

No se observan ranuras en el entubado. Se trata de una entubación ciega.

Nivel Estático del Agua:

Se localiza a **149,85 m** de profundidad. El agua se muestra limpia.

En el nivel estático del agua, la conductividad registrada es de 890 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y la temperatura de 21,4° C.

La conductividad del agua disminuye y la temperatura aumenta en el sondeo hasta 170 m. Entre 170 m y 220 m, la conductividad y la temperatura se mantienen constantes con una ligera inflexión a 200 m. Entre 220 y 242 m aumenta la conductividad y la temperatura. Por lo tanto se muestran 3 zonas claramente diferenciadas.

1. Desde 149 a 170 m, donde la temperatura pasa de 21,4 a 22,4° C, lo que equivale a 1° C en 21 m de profundidad. El gradiente para esta zona es de 0,047° C/m. Es un gradiente ligeramente superior al gradiente geotérmico, que puede estar influenciado por temperaturas ambientales.

En cuanto a la conductividad, se observa un descenso de la misma, con una variación a 165 m, que se puede relacionar con el final del entubado. En este tramo la conductividad disminuye de 890 a 777 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

2. Desde 170 a 220 m, la temperatura y la conductividad se mantienen prácticamente constantes a lo largo de 50 m, con un gradiente de temperatura (0,002° C/m) muy inferior al gradiente geotérmico. Es indicativo de un flujo vertical ascendente desde el fondo del sondeo hasta 170 m. A medida que le agua entra por la parte inferior del sondeo (principalmente 215-225 m), tiende a mezclarse con otros aportes como el observado a 205 m y el flujo finaliza su ascenso a 170 m. Las variaciones de temperatura son mínimas debido a la existencia del flujo vertical ascendente en el sondeo, lo que homogeniza las aguas. Es posible que el flujo que entra a 225 m se pierda a 215 m, y entre 205 y 215 m, no exista flujo ascendente. Posteriormente existe una nueva entra de agua a 205 m, que mantiene el flujo ascendente hasta 170 m.

En cuanto a la conductividad, muestra el mismo comportamiento que la temperatura, existiendo un tramo de 50 m, con variaciones muy ligeras. Únicamente se destaca la variación observada a 205 m que se puede relacionar con una entrada de agua al sondeo.

3. Desde 220 a 242 m, la temperatura aumenta desde 22,3 a 22,6° C, lo que equivale a 0,3° C en 22 m de profundidad. El gradiente para esta zona es de 0,013° C/m. es un gradiente inferior al gradiente geotérmico que puede relacionarse con pequeños aporte de agua en esta zona del sondeo. Se trata de un tramo margocalizo, por lo que no tan propicio para aportes como el superior.

La conductividad sufre un aumento en esta zona pasando de 794 a 854 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Por lo que los posibles aportes de esta zona son de aguas de diferente calidad.

El registro de temperatura y conductividad muestran una inflexión a **entre 170 m, 200 m y 220 m**.

Litología

En cuanto a los terrenos perforados el gamma natural muestra dos zonas de litologías diferentes. La primera zona correspondiente a materiales detríticos con presencia arcillosa y/o materiales margosos carbonatados, desde superficie hasta el metro 147. La segunda corresponde con materiales calcáreos con escasa matriz arcillosa, desde el metro 147 hasta el 242.

Se puede relacionar las entradas de aguas descolgadas con pequeños niveles detríticos calcáreos y/o carbonatados, tal y como se describen en el registro Gamma natural. Resumiendo:

- Entre 0 y 6 m.
- Entre 55 y 58 m, entrada de agua a 56,97 m y a 59,92 m.
- Entre 97 y 100 m, entrada de agua a 98,93 m.
- Entre 128 y 131 m.

En cuanto al nivel acuífero, el gamma natural y las resistividades indican un potencial acuífero calcáreo desde 170 m hasta 220 m. Estas profundidades coinciden con las inflexiones de la temperatura y la conductividad.

Esta identificación litológica es de gran importancia a la hora de interpretar los registros de temperatura y conductividad y flowmeter, puesto que parece evidente que existe un tramo carbonatado descrito de 170 a 220 m productivo, y un tramo más margoso desde 220 a 242 m, donde parece que los aportes de aguas al sondeo son de menor entidad.

Flowmeter:

El registro flowmeter arroja también variaciones coincidentes con las interpretaciones del resto de registros, si bien en conjunto el registro presenta poco contraste. Del análisis matemático se concluye que no existe flujo natural vertical a lo largo del sondeo dentro de los límites de medición de la sonda. Este es posible que se deba al diámetro del sondeo, lo que provoca que las posibles velocidades de flujo verticales sean pequeñas debido a la gran sección de paso.

El registro flowmeter y el registro de temperatura y conductividad, ha permitido determinar cualitativamente la existencia de flujos verticales en el interior del sondeo, puesto que el agua que entra a la captación por la parte inferior del sondeo 215-225 m (zonas karstificada) y a partir de 205 m (fisuras) y asciende según un flujo vertical hasta 170 m, donde cesa el flujo.

Es posible que el flujo que entra a 225 m se pierda a 215 m, y entre 205 y 215 m, no exista flujo. Posteriormente, existe una nueva entra de agua a 205 m, que mantiene el flujo ascendente hasta 170 m. Esta interpretación se puede observar en el registro de 6 y 8 m/min.

Recomendaciones:

No se recomienda la instalación del equipo de impulsión fuera del entubado. La instalación de la bomba fuera del entubado aumenta el riesgo de que se produzcan roturas en el cableado eléctrico y que algún desprendimiento de roca pueda inutilizar el equipo de elevación y/o atascar la impulsión en el sondeo.

Sería recomendable el acondicionamiento del sondeo mediante la entubación de la zona sin revestimiento, para realizar una explotación del mismo con garantías.

En cuanto al equipo de impulsión definitivo, se recomienda el seguimiento de los niveles dinámicos de agua del sondeo, con la finalidad de conocer en todo momento los descensos de nivel en el sondeo a los diferentes caudales de explotación.



Manuel Martínez Samper

Graduado en Ingeniería de Recursos

Minerales y Energía



Jose Vicente Pjera Mateo

Licenciado en Ciencias Ambientales

Ingeniero Agrónomo

6 ANEJOS

Anejo I: Formato digital con una copia del reconocimiento videográfico

Anejo II: Fotografías del reconocimiento

Anejo III: Diagrafías normalizadas

Anejo IV: Perfil del sondeo

Anejo V: Justificación matemática del análisis de flujos verticales naturales

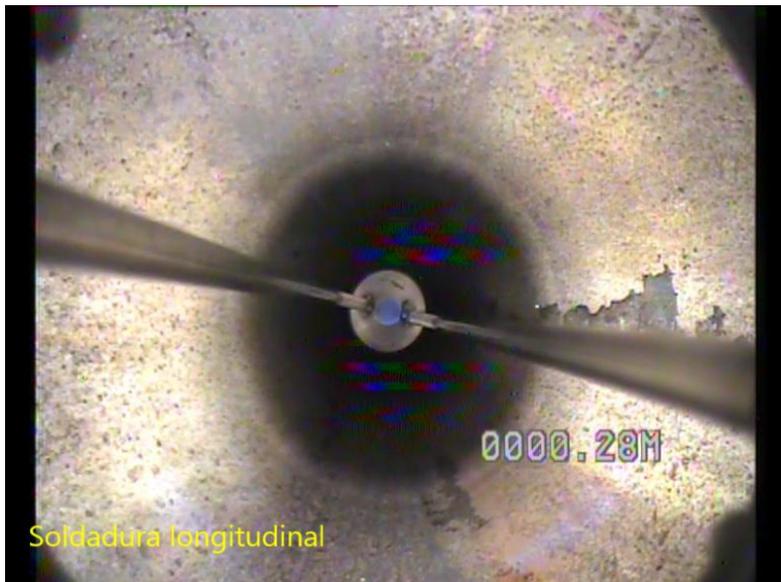
Anejo VI: Resumen de trabajos realizados

Anejo I: Formato digital con una copia del reconocimiento videográfico

Anejo II: Fotografías del reconocimiento



Enrasado en el brocal, 0 m



Soldadura longitudinal, 0,28 m



Orejetas tapadas, 3,63 m



Descenso de la cámara, 39 m



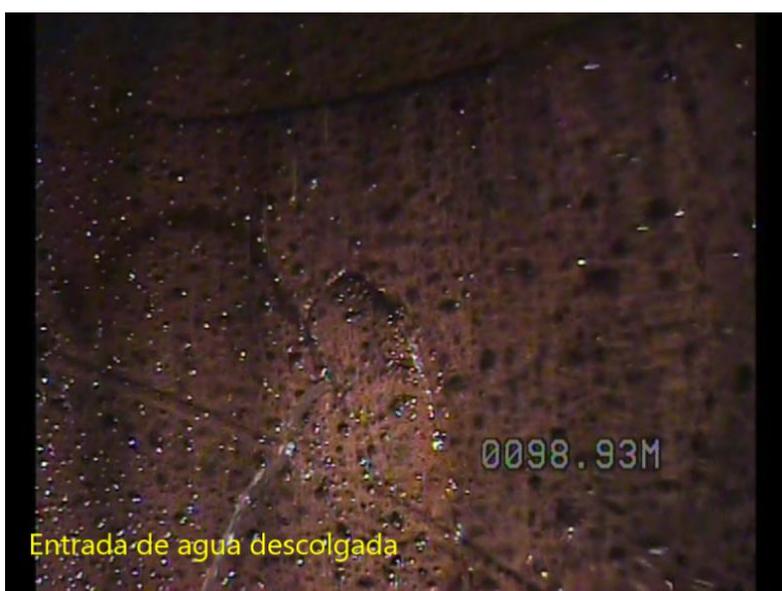
Entrada de agua descolgada por ranura, 56,97 m



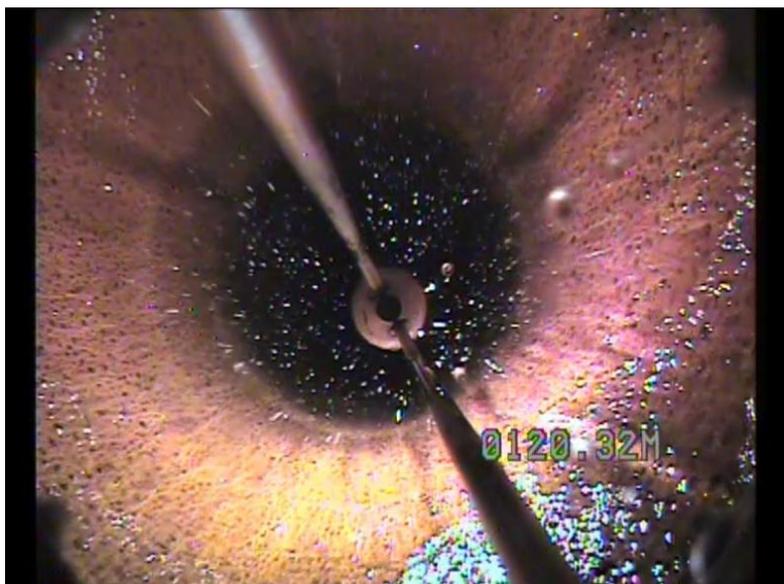
Entrada de agua descolgada por poro del entubado, 59,92 m



Descenso de la cámara, 71 m



Entrada de agua descolgada por ranura, 98,93 m



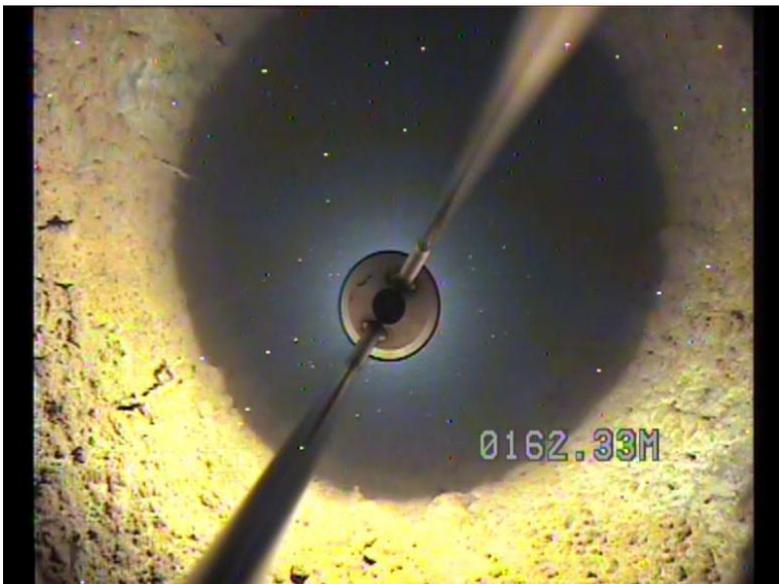
Caída de agua descolgada, 120 m



Nivel estático del agua, 149 m



Nivel estático del agua, 149,85 m



Incrustaciones y precipitados carbonatados, 162 m



Final de la entubación, 164,78 m



Formación calcárea, 165 m



Caverna, 169 m



Caverna, 170 m



Oquedades, 176 m



Formación calcárea blanca, 184 m



Fisuras, 187 m



Fisuración, 198 m



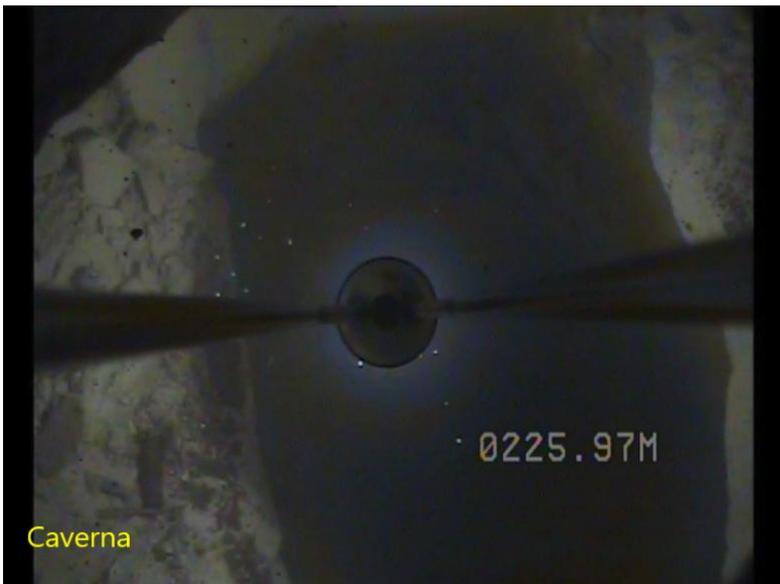
Formación masiva, 207 m



Fisuración, 223 m



Fisuración, 225 m



Caverna y pérdida de sección del sondeo, 226 m



Detalle de tornillos, 226,59 m



Tubo sonda PVC, 230,18 m



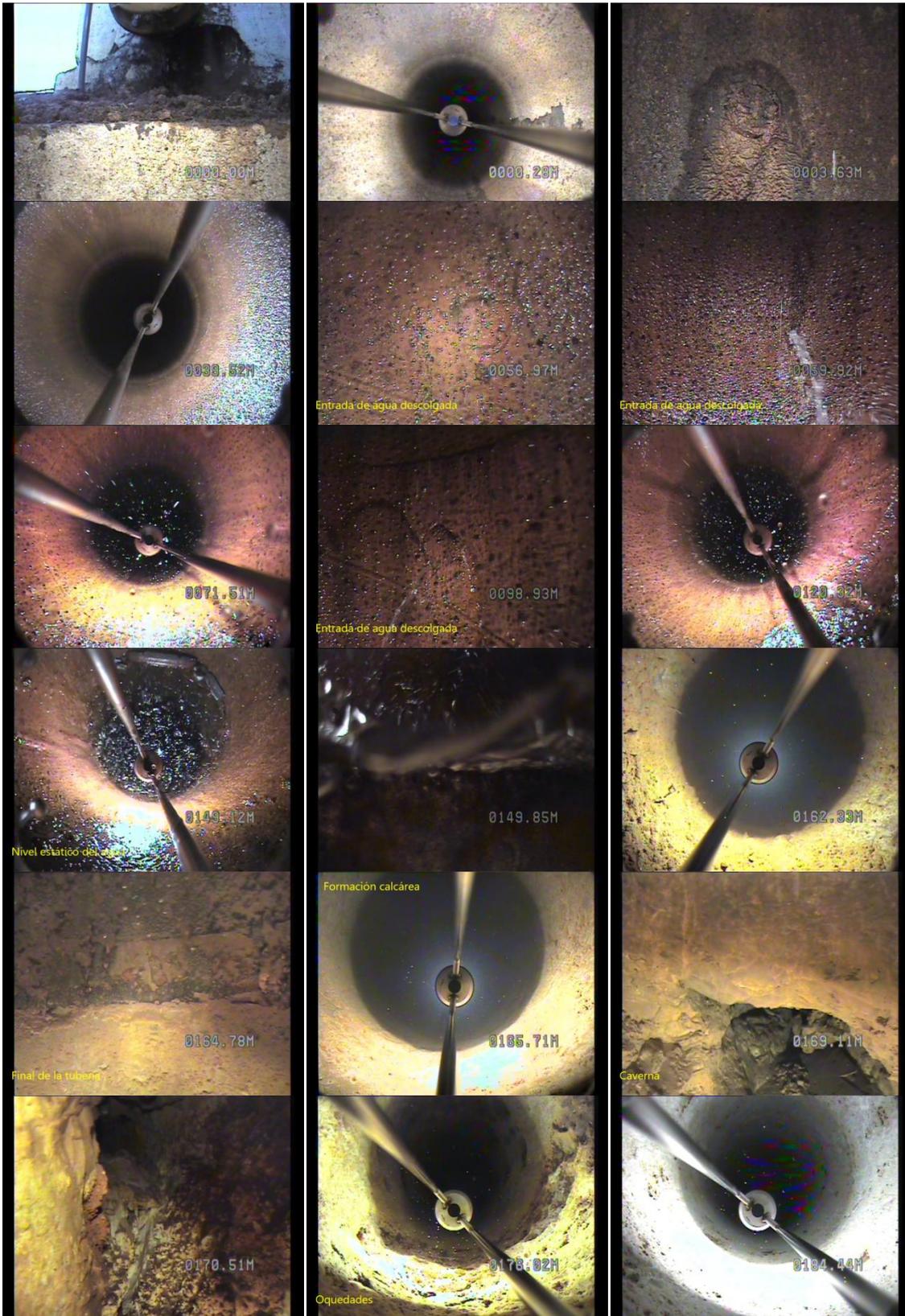
Tubo sonda, 232 m



Turbidez del agua, 240 m



Fondo actual del sondeo, 242 m



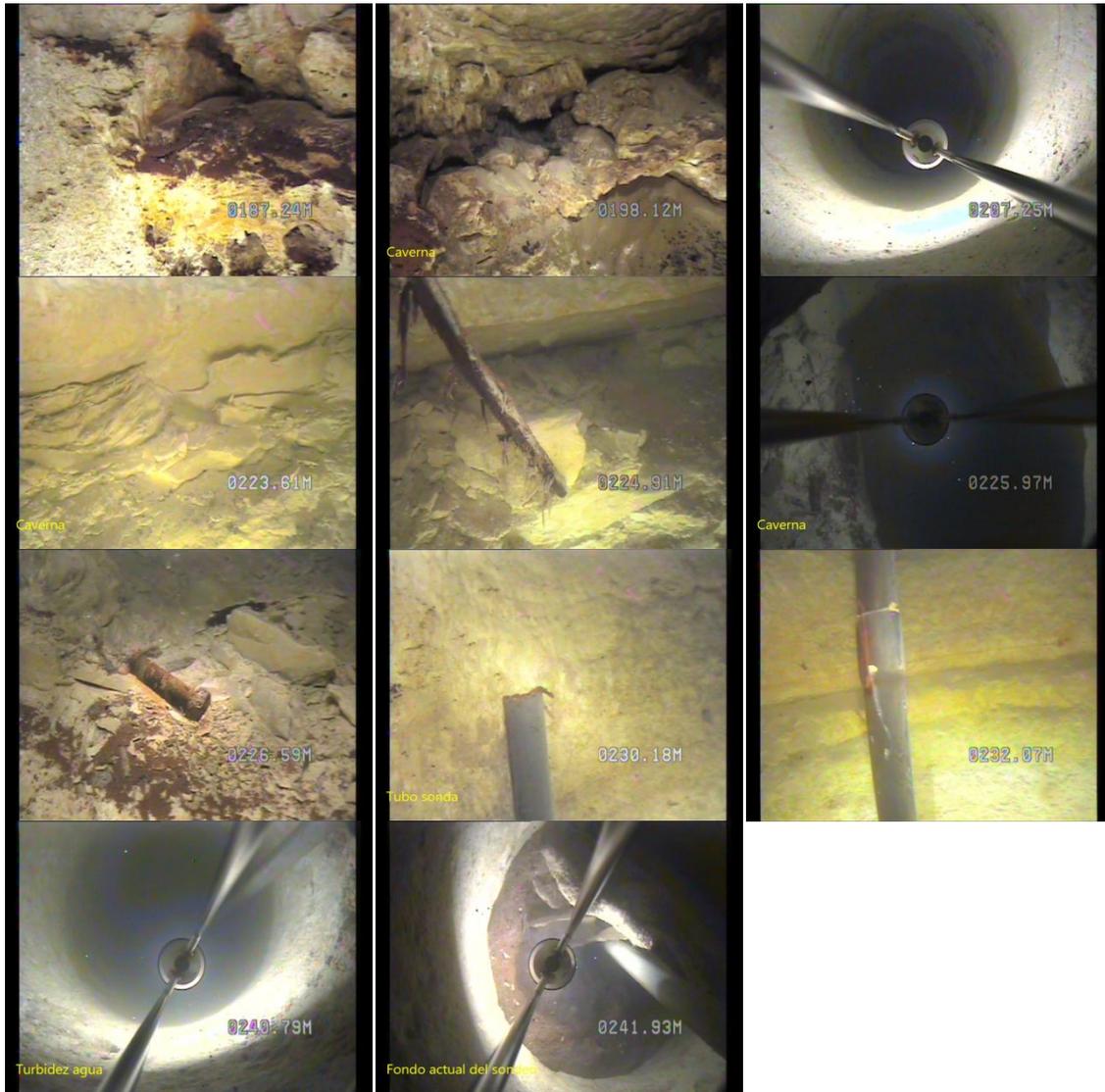
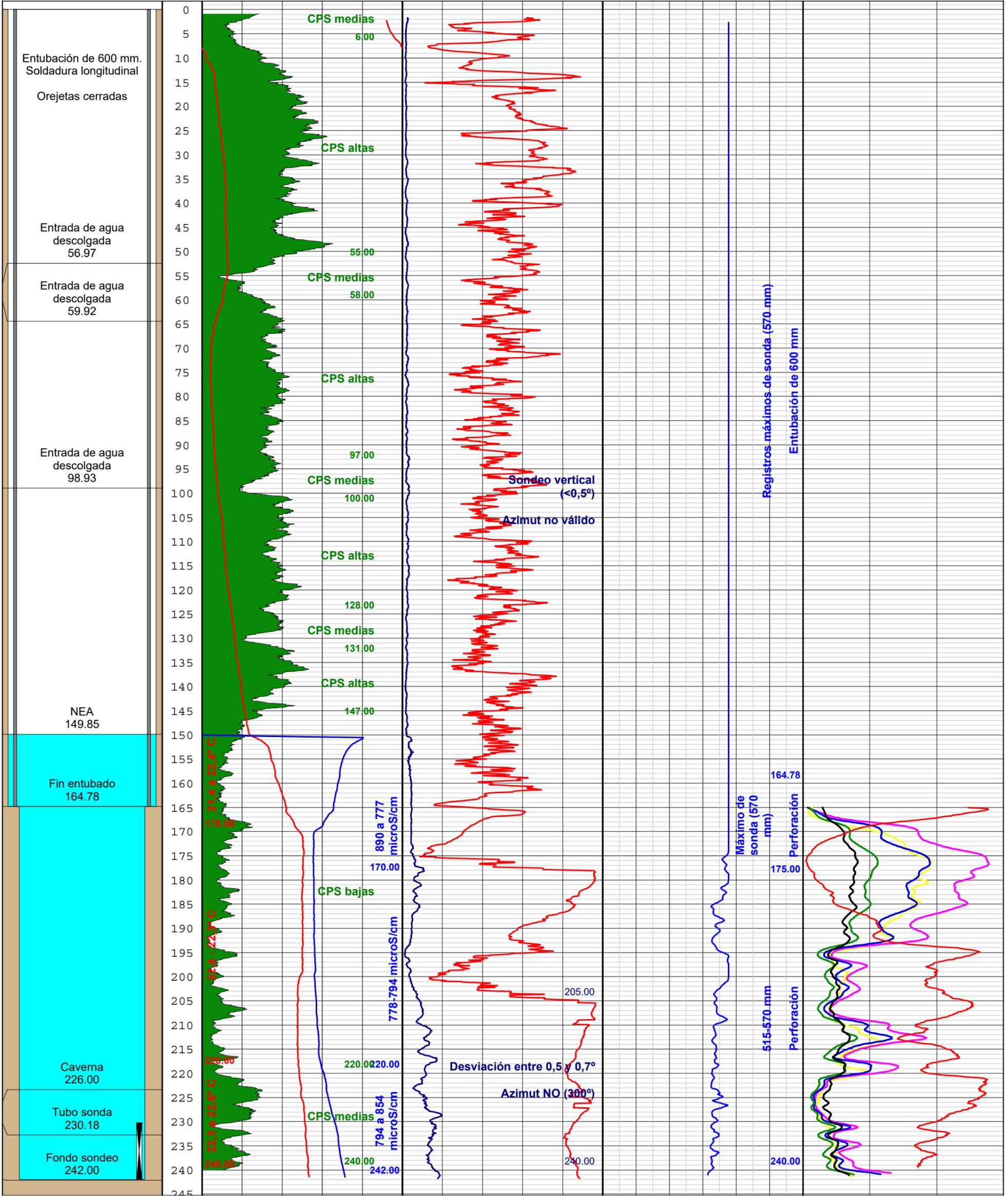
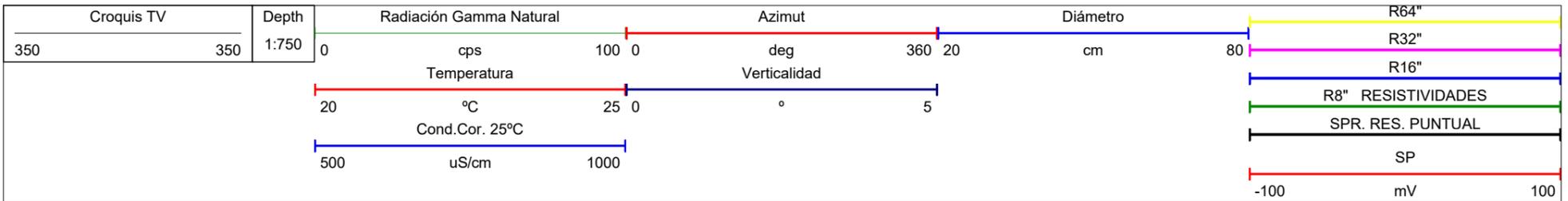
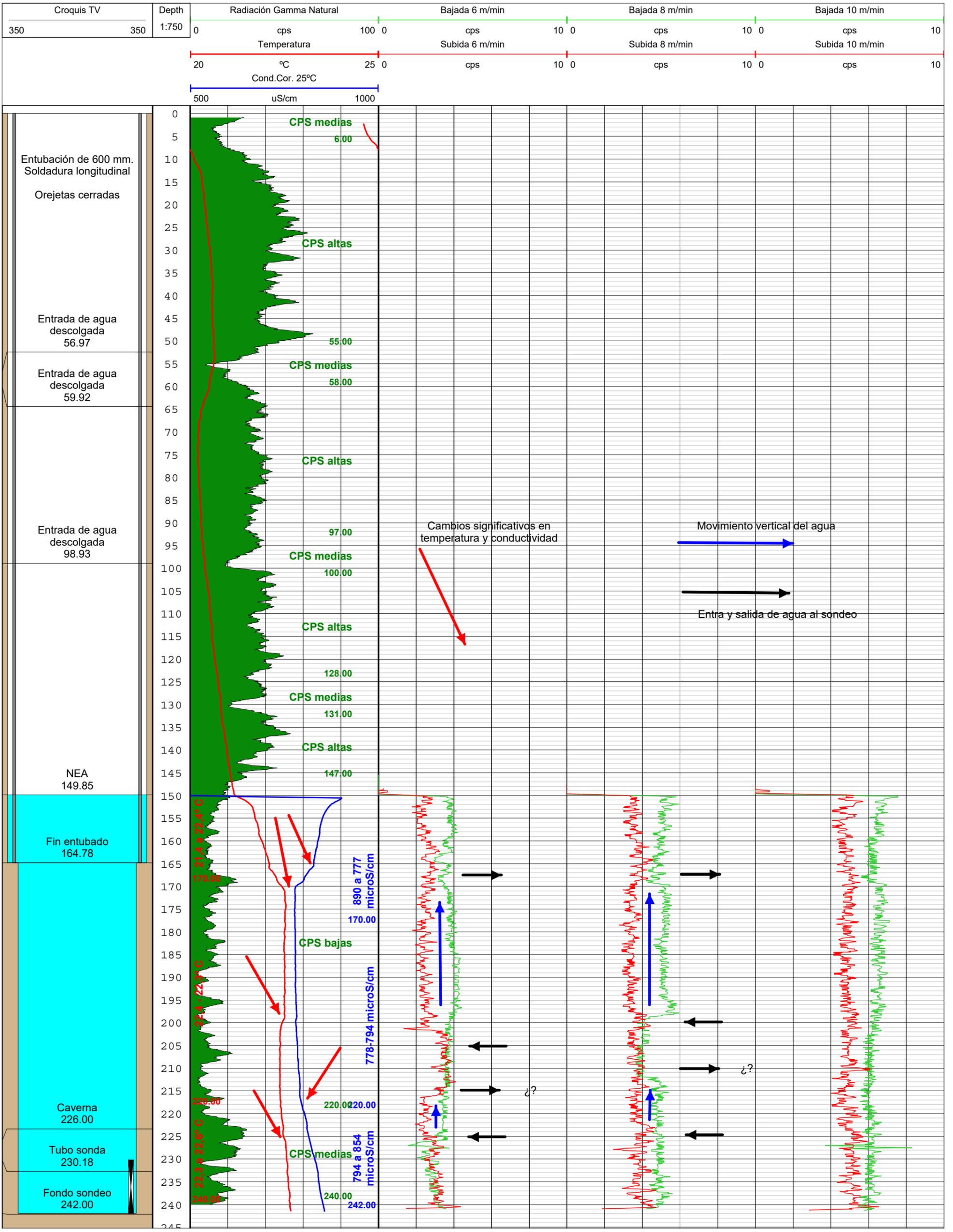


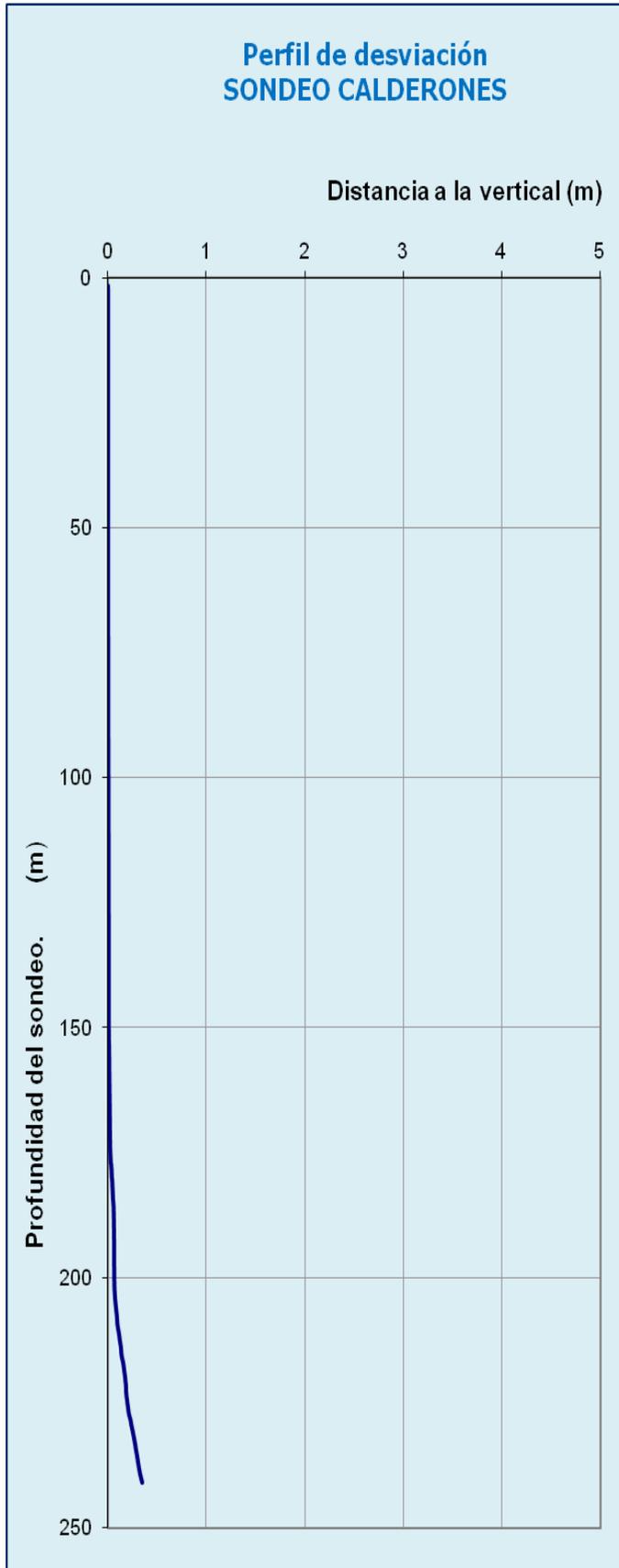
Fig. 14. Fotografías del sondeo.

Anejo III. Diagrafías del reconocimiento





Anejo IV: Perfil del sondeo



Sondeo CALDERONES	
desviación horizontal (m)	0,35
profundidad real/registrada (m)	241,0 241,8
desviación media °	0,1

Anejo V: Justificación matemática del análisis de flujos verticales naturales

El análisis cuantitativo de los registros de la sonda "flowmeter" tiene como objetivo la estimación del valor de los flujos detectados por la sonda, más allá de la determinación intuitiva de la existencia de dichos flujos extraíble de la mera observación de los registros.

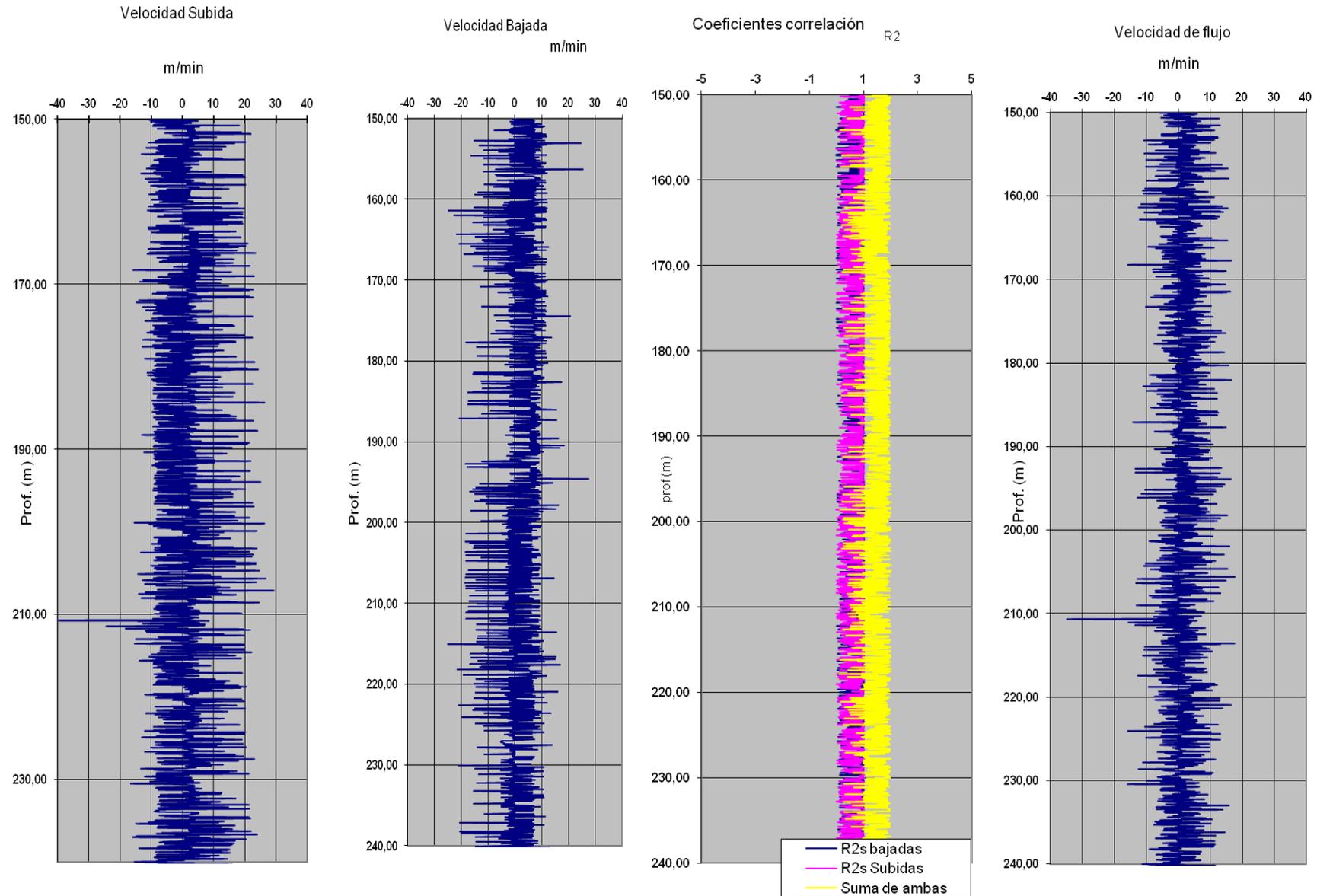
Dada la variabilidad de las condiciones del fluido objeto de estudio (densidad, temperatura, partículas en suspensión, secciones, etc) es necesario un análisis estadístico que relacione los distintos registros, efectuados a distintas velocidades y con distintos sentidos, para obtener estimaciones del flujo de las que, al menos, conozcamos el grado de incertidumbre con el que se trabaja. La mera transformación de un registro de las vueltas del rotor en flujos, mediante algún tipo de formulación, sufriría el defecto del desconocimiento del error cometido.

El camino elegido para superar estos escollos es la realización de 3 registros descendentes y 3 ascendentes a las velocidades de 6, 8 y 10 metros por minuto. De esta forma, para cada punto de medición, se dispone de 6 datos de revoluciones por minuto. Con cada uno de estos dos grupos de 3 datos se realiza una regresión lineal sencilla para, suponiendo nulo el parámetro revoluciones de la hélice, determinar la velocidad de la sonda a la que esto ocurriría –ya que cuando el vector velocidad de la sonda fuera igual al vector velocidad del fluido, la hélice no giraría-. De cada una de estas dos operaciones se obtiene una velocidad inferida de la subida y una velocidad inferida de la bajada.

De esta manera, además de poder calcular el vector velocidad del fluido en cada punto, podemos estimar la fiabilidad de nuestro cálculo mediante dos herramientas. Por un lado, esperamos que, cuando existe flujo, la velocidad inferida de los registros ascendentes sea similar a la inferida de los registros descendentes. Cuando estas velocidades son muy distintas –objetivamente: cuando tienen sentidos contrarios- no tenemos razones para decantarnos por una u otra, por lo que diremos que no existe flujo dentro del umbral de medición de la sonda. Por otro lado podemos calcular la calidad de la regresión realizada mediante, en este caso, el estadístico R^2 , que toma valores cercanos a 1 cuando la calidad es óptima. Así, cotejando nuestras diagráfias calculadas de flujo en el sondeo con la "diagráfia" de R^2 , podemos evaluar la consistencia del cálculo realizado para cada punto.

A continuación se presentan las "diagráfias" de velocidad de flujo inferida del registro ascendente, del registro descendente y R^2 (calidad de la regresión).

Se puede apreciar cómo los sentidos de las velocidades obtenidas mediante ambas regresiones son ligeramente contradictorios y/o de flujo nulo. En la gráfica de R^2 se aprecia cómo la calidad de la regresión es óptima en prácticamente todo el sondeo.



Anejo VI: Resumen de los registros realizados

Desplazamiento del equipo hasta el sondeo	1
Redacción de informe	1
Registro videográfico	242 m
Sonda temperatura y conductividad	242 m
Sonda gamma natural	242 m
Sonda eléctrica	242 m
Sonda de verticalidad	242 m
Sonda de diámetros	242 m
Sonda flowmeter	242 x 3 m



Gamma Natural

Registro Eléctrico

Calidad del Agua

Flujos Naturales

Diámetros

Verticalidad y Azimut

Tomamuestras hermético

CÁMARA TV COLOR y EXTRADELGADA

654 34 36 43
654 33 97 25
965 80 62 49
f: 965 81 73 04



Autovía de Levante, km 57
03400 Villena (ALICANTE)

www.sondeosmartinez.com
testificación@sondeosmartinez.com