



**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO SOBRE EL
ESTADO DE LOS MANANTIALES
SITUADOS EN LA TRAZA DEL TÚNEL DE
LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD LEÓN-
OVIEDO:**

- FUENTE VIEJA DE BEBERINO**
- ABASTECIMIENTO A BEBERINO**

Diciembre de 2006



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
Y CIENCIA



Instituto Geológico
y Minero de España

**ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO SOBRE EL ESTADO DE
LOS MANANTIALES SITUADOS EN LA TRAZA DEL
TÚNEL DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD LEÓN-
OVIEDO:**

- **FUENTE VIEJA DE BEBERINO**
- **ABASTECIMIENTO A BEBERINO**

Diciembre de 2006

El presente estudio se realiza a solicitud del Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) y en virtud del Acuerdo Marco firmado entre ADIF y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), sobre asesoramiento en aspectos geológicos e hidrogeológicos relacionados con distintas obras ferroviarias

Ha sido realizado por la Dirección de Hidrogeología y Aguas Subterráneas del IGME, con la dirección de José María Pernía Llera

AUTORES DEL ESTUDIO.

José María Pernía Llera. IGME - Madrid

Mónica Meléndez Asensio. IGME - Oviedo

Julio López Gutiérrez. IGME - Madrid

Han colaborado en los trabajos de campo.

Nemesio Heredia Carballo. IGME – León.

Carlos Zapatero Menchero. IGME – Oviedo.

ÍNDICE

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MARCO GEOLÓGICO.....	2
2.1 Introducción.....	2
2.2. Estratigrafía.....	3
2.3. Tectónica.....	9
3. MARCO HIDROGEOLÓGICO.....	10
3.1. Introducción.....	10
3.2. Comportamiento hidrogeológico de las formaciones.....	11
3.3. Hidrogeología regional.....	17
4. INCIDENCIAS SIGNIFICATIVAS DE ÍNDOLE HIDROGEOLÓGICO DURANTE LA PERFORACIÓN DE LOS TÚNELES.....	18
5. FUENTE VIEJA DE BEBERINO.....	22
5.1. Situación.....	22
5.2. Parámetros medidos.....	22
5.3. Aspectos hidrogeológicos del manantial.....	24
5.4. Afección y recuperación del manantial.....	24
5.5. Recomendaciones.....	26
6. MANANTIAL DE ABASTECIMIENTO A BEBERINO.....	26
6.1. Situación.....	26
6.2. Parámetros medidos.....	28
6.3. Aspectos hidrogeológicos del manantial.....	29
6.4 Afección y recuperación del manantial.....	30
6.5. Recomendaciones.....	31
7. CONSIDERACIONES GENERALES: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	32
BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA.....	34
ANEXO: Mapas y Cortes.....	35
Mapa 1. Mapa hidrogeológico. Fuente Vieja de Beberino	
Corte 1. Corte hidrogeológico I-I'	
Mapa 2. Mapa hidrogeológico. Manantial de abastecimiento a Beberino	
Corte 2. Corte hidrogeológico II-II'	
Corte 3. Corte hidrogeológico III-III'	

1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio se realiza a solicitud del Administrador de Infraestructuras Ferroviarias (ADIF) y en virtud del Acuerdo Marco firmado entre ADIF y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME), sobre asesoramiento en aspectos geológicos e hidrogeológicos relacionados con distintas obras ferroviarias.

De acuerdo con dicha solicitud, el objetivo de este estudio es determinar con la información disponible el grado de afección que presenta el manantial utilizado para el abastecimiento a la localidad de Beberino (Manantial de Abastecimiento a Beberino) y una fuente pública (Fuente Vieja) como consecuencia de las obras de construcción de los túneles de la línea de Alta Velocidad León-Oviedo, así como evaluar las posibilidades de recuperación de los mismos.

Los mencionados manantiales corresponden a drenajes naturales de dos acuíferos constituidos en formaciones que se han visto atravesadas en el subsuelo durante la construcción de los túneles. Durante las obras de perforación han tenido lugar algunas entradas de agua, en ocasiones bruscas, ("golpes de agua") induciendo un drenaje artificial de dichos acuíferos. Los golpes de agua se producen al cortar zonas karstificadas en formaciones carbonatadas o zonas muy fracturadas y alteradas en formaciones silíceas.

A estas afluencias bruscas de agua se asocia la desecación de algunos manantiales como sucedió en la Fuente Vieja de Beberino, tras el golpe de agua ocurrido en el P.K. 11+887, el 24 de noviembre de 2005, en el que se drenó un caudal máximo que osciló entre 0,5 y 1 m³/s durante varias horas. De manera similar, se produjo una reducción paulatina del caudal en el manantial de abastecimiento a Beberino hasta su desaparición total en agosto de 2006.

Para la realización del presente estudio se ha utilizado información obtenida en campo así como la siguiente documentación facilitada por ADIF:

- Informe final de la campaña de investigación geológica desarrollada en 2004/2005 por túneles de Pajares 1 UTE.
- Cartografía geológica de la galería de acceso al túnel de Pajares. Lote 2. Septiembre 2006.
- Estudio hidrogeológico de la traza de los túneles de Pajares de la línea de Alta Velocidad León-Asturias. Lote I. Julio 2005. EPTISA
- Estudio hidrogeológico del trazado de los túneles de Pajares (lote 2: Follado-Villadangos) de la línea de Alta Velocidad León-Asturias. Galería de acceso. Abril 2006. EPTISA
- Proyecto Básico. Túneles de Pajares
- Proyecto Constructivo. Lote 1. Anexo 3. Geología.
- Variante de Pajares. Estudio Geotécnico. Fase A.

- Informe sobre la entrada de agua al túnel de Pajares en el P.K. 11+887. Enero de 2006. (INECO).
- Informe sobre la afección a un manantial en la localidad de Beberino. Septiembre de 2006. (Túneles de Pajares 1, U.T.E.).
- Informe de seguimiento de las labores de reinyección secundaria en el túnel este (actualizado a 20 de septiembre de 2006). FCC-Acciona infraestructuras.
- Informe de seguimiento de las labores de reinyección secundaria en el túnel oeste (actualizado a 20 de septiembre de 2006). FCC-Acciona infraestructuras.

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1. Introducción

Desde un punto de vista geológico, la zona de estudio, que corresponde a la zona de influencia de las actividades realizadas en los denominados constructivamente como Lotes 1 y 2, se incluye dentro de la Unidad de Somiedo-Correcilla. Al Norte de dicha unidad se ubica la Unidad de La Sobia-Bodón.

La región de Pliegues y Mantos se caracteriza por presentar un estilo deformativo de despegue, lo que origina una traslación de mantos a favor de superficies de bajo ángulo que progresan a lo largo de los materiales más plásticos, normalmente de naturaleza lutítica o pizarrosa. Ello origina un apilamiento de las distintas formaciones, así como el plegamiento de los materiales debidos a distintos mecanismos. Estas estructuras, que presentan una orientación general E-O, y que configuran la estructura geológica principal, se originaron durante la orogenia hercínica, cuyo principal evento deformativo tuvo lugar durante el Carbonífero superior, en el límite Westfaliense-Estefaniense. El resultado de esta deformación es la creación de mantos de cabalgamiento con vergencia norte, a favor de superficies de bajo ángulo o rellanos, paralelas a la estratificación y rampas oblicuas a la estratificación que se propagan ascendiendo en las series estratigráficas. Durante la etapa de apilamiento de mantos se originan, además pliegues, tanto por adaptación a las superficies de cabalgamiento como por cizalla. Posteriormente al apilamiento de mantos se produce una etapa de deformación tardihercínica, de edad Estefaniense-Pérmico, que verticaliza las estructuras previas, reaprieta los pliegues hercínicos, llegando en algunos casos a invertir las series. El resultado más visible de este conjunto de estructuras es la repetición y la inversión de las series estratigráficas, así como la creación de desgarres.

Con posterioridad, durante la orogenia alpina, que comienza en el Cretácico superior y culmina en el Mioceno medio, se produce el rejuego de las estructuras hercínicas y tardihercínicas, con un predominio de los desplazamientos verticales, llegando incluso a plegar y reactivar las superficies

de cabalgamiento hercínicas. En esta etapa se produce el levantamiento de la Cordillera Cantábrica dando lugar a la morfología actual.

Las formaciones involucradas en la zona de estudio, de edad Paleozoico inferior-Westfaliense, se originaron en medios marinos y transicionales, predominando las litologías lutíticas/pizarrosas, carbonatadas y cuarcíticas/areniscosas silíceas y ferruginosas. En el sector de la cuenca Ciñera-Mantalla al este de Pola de Gordón, afloran sedimentos continentales de tipo fluvio-lacustre de edad Estefaniense.

2.2 Estratigrafía

Aunque en numerosas situaciones la serie se encuentra invertida como consecuencia del plegamiento post-mantos, las formaciones que aparecen en la zona de estudio de acuerdo con un orden cronológico ascendente son las siguientes (figura 1):

1) Formación Láncara

Esta unidad, de edad Cambriano inferior-medio, corresponde a los materiales más antiguos que afloran en el área de estudio. De composición fundamentalmente calcárea - dolomítica, esta formación varía de un punto a otro, presentándose los tres miembros que la componen en el manto de Somiedo-Correcilla, y faltando el término superior de calizas rojas nodulosas en la zona de Cueto Negro (Unidad de Sobia-Bodón). Se distinguen tres miembros:

- Miembro inferior: formado por pizarras de colores oscuros, con niveles areniscosos, constituye el nivel de despegue principal en la unidad de Somiedo-Correcilla, por lo que está casi siempre mecanizado y laminado, y no suele aflorar; cuando lo hace, se presenta muy alterado siendo muy difícil la observación de sus características.
- Miembro medio: constituido por dolomías con laminaciones y cavidades, en las que, en ciertas ocasiones, se le superponen calizas grises con moldes lenticulares de cristales de yeso (birdeyes). Es frecuente que los rellenos de calcita de los "birdeyes" no estén presentes, probablemente por disolución, lo que produce un aumento de la porosidad.
- Miembro superior (Caliza Griotte): formado por biomicritas glauconíticas, biomicritas con estromatactis y biomicritas nodulosas rojas. Son rocas de aspecto lajoso, muy bioturbadas, con gran contenido en fauna.

Dado que esta formación constituye el principal nivel de despegue, presenta un espesor variable en la zona, alcanzando potencia máximos en afloramiento de unos 70 m.

Los afloramientos principales se encuentran al Norte de la Unidad de Somiedo Correcilla y en la Unidad de Sobia-Bodón.

2) Formación Oville

En general se trata de una alternancia de pizarras y areniscas constituyendo lo que podría ser un flysch arenisca-pizarra, de edad Cámbrico medio. El espesor varía entre 90 y 370 m, disminuyendo progresivamente hacia el norte y el oeste. Dependiendo del predominio de litologías pizarrosas o arenosas, se distinguen dos tramos:

- **Tramo Pizarroso** . Se trata del tramo inferior de la formación, con una potencia de unos 120 metros. Está fundamentalmente formado por pizarras con pasadas milimétricas a decimétricas de areniscas. En general el porcentaje de areniscas es inferior al 10%, aumentado a techo hasta un 30%. Las pizarras se van haciendo mas limosas hacia techo a la par que aumenta la homogeneización del sedimento por bioturbación, estando constituidos los metros del transito entre los dos tramos de la Formación Oville por limolitas arenosas intensamente bioturbadas. En la parte baja de la unidad hay dos intercalaciones de areniscas ligeramente glauconíticas que han recibido tradicionalmente en la región el nombre de **Areniscas de Simula**. El más bajo de estos bancos tiene una potencia de variable entre 1 y 12 m y tiene una base erosiva, situándose en algunos puntos apenas un metro por encima de el techo de la Formación Láncara y en otros puntos a más de 25 m sobre la misma. La potencia del segundo banco también varia entre los 10 y los 20 metros.
- **Tramo Areniscoso**. Está constituido por unos 170 m de alternancia de capas de areniscas y capas con alternancias decimétricas de areniscas y pizarras. Las areniscas son cuarcitas con glauconita que les confiere un característico color verde, en ocasiones muy acusado. La potencia de las capas de areniscas oscila por lo general entre los 7 y los 15 m, mientras que las capas de alternancias arenisca-pizarra suelen tener potencias próximas a los 2 ó 3 metros y, muy raramente, alcanzan los 5. Hacia el techo de este tramo, en el tránsito hacia la formación Barrios, existe un predominio de areniscas y cuarcitas, sin que apenas se detecten pasadas de pizarras

3) Formación Barrios

Las series distinguidas en esta unidad, de edad Cámbrico superior-Ordovícico, son por lo general muy monótonas y están constituidas por una sucesión de cuarcitas con un espesor promedio de unos 350 m . Se trata de cuarcitas muy puras, que contienen más del 98% de sílice y abundante cemento ferruginoso. Morfológicamente, esta formación es la que da lugar a los resaltes más importantes de la zona, debido a su dureza y destacando además

por sus colores característicos que varían desde el blanco hasta el rojizo, ocre e incluso negro provocados por la oxidación del hierro y otros metales pesados.

Las intercalaciones pizarrosas son escasas y casi siempre con potencias inferiores al metro, si bien hacia el techo y el muro de la formación, en el tránsito hacia las formaciones más pizarrosas, Formigoso y Oville respectivamente, existen tramos pizarrosos de mayor envergadura. Son frecuentes las capas de caolín y la arenización de algunos sectores, relacionado posiblemente con la alteración de la cuarcita en zonas de fractura.

Este último aspecto adquiere gran relevancia desde el punto de vista hidrogeológico ya que implica la existencia de sectores con una alta porosidad eficaz intergranular y por lo tanto elevada permeabilidad, constituyendo en ocasiones acuíferos importantes.

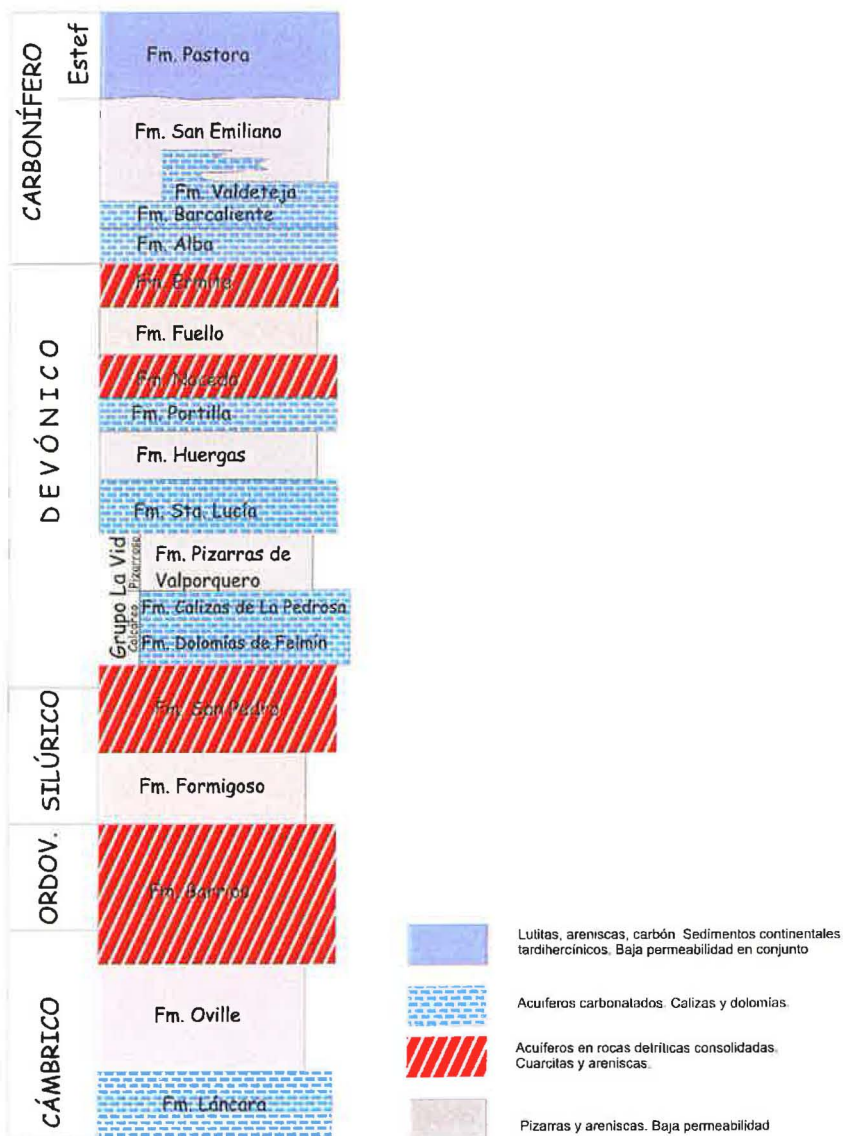


Figura 1.- Columna hidrogeológica/estratigráfica sintética.

4) Formación Formigoso

Esta formación, de edad Silúrico inferior, con una potencia promedio de 60 a 80 m, ha sido clásicamente subdividida en la Cordillera Cantábrica en un sector inferior puramente pizarroso (Capas del Bernesga), con un espesor de 40 a 50 m y otro superior constituido por una alternancia de pizarras y areniscas (Capas de Villasimpliz), de 20 a 30 m de espesor.

Las pizarras del tramo inferior suelen ser bastante arcillosas y compactas, presentan mayor tamaño de grano hacia el techo simultáneamente al aumento de las pasadas areniscosas. El tránsito hacia la formación San Pedro es gradual y tiene lugar mediante el aumento del tamaño de grano y el espesor de estas intercalaciones.

5) Formación San Pedro

La Formación San Pedro, de edad Silúrico superior, está constituida en este sector por unos 140 m de areniscas cuarcíticas con tonalidades claras, hacia la base (40% de la serie) y areniscas ferruginosas de tonos rojizos, hacia el techo (60% de la serie), con escasas intercalaciones de pizarras arenosas. Las areniscas se presentan en bancos de potencia variable pudiendo llegar a superar los 5 metros. Las intercalaciones pizarrosas son escasas y no suelen superar 1 metro de potencia. Algunos niveles están constituidos mayoritariamente por oolitos ferruginosos, pudiendo el contenido de hierro superar en algunos caso el 80%.

6) Grupo La Vid. Formación Dolomías de Felmín y Calizas de La Pedrosa “La Vid Calcárea”.

Esta unidad, de edad Devónico inferior, esta constituida por unos 200 metros de dolomías y calizas dolomíticas grises que hacia techo pasan a calizas fosilíferas. Aparecen intercalados algunos niveles centimétricos de pizarras negras, que han actuado como superficies de despegue internas, lo que dificulta la posibilidad de conocer el espesor real de la serie. En algún banco dolomítico se han identificado venas milimétricas de yeso y algunos nódulos centimétricos de anhidrita.

7) Grupo La Vid. Formación Pizarras de Valporquero “La Vid Pizarrosa”

Esta formación, también de edad Devónico inferior, se dispone estratigráficamente sobre el tramo calcáreo del Grupo La Vid, anteriormente descrito. La unidad comprende unos 200 m de pizarras negras, ocasionalmente fosilíferas, entre las que se intercalan algunos bancos de calizas bioclásticas de potencia generalmente inferior a los 50 cm. Las intercalaciones de calizas son más abundantes hacia la base, marcando un contacto gradual con las Calizas de La Pedrosa, y hacia el techo en tránsito hacia la formación de calizas Santa Lucía.

8) Formación Santa Lucía

La formación Santa Lucía, de edad Devónico medio-superior, está constituida mayoritariamente por calizas grises con estromatopóridos y frecuentes restos de corales en el tramo medio, aunque en la zona de transición hacia la formación lutítica-arenosa Huergas, puede presentar algunas intercalaciones pizarrosas. La potencia total de la serie varía entre 170 y 280 m.

9) Formación Huergas

Estratigráficamente sobre la formación Santa Lucía se dispone la formación Huergas, de edad Devónico medio, está constituida principalmente por pizarras arenosas con intercalaciones centimétricas a métricas de areniscas cuarcíticas y areniscas ferruginosas. Por lo general, se pueden distinguir:

- Tramo inferior compuesto por pizarras marrones con delgadas intercalaciones areniscosas y niveles de calizas arenosas.
- Tramo medio, con un predominio de areniscas, que suelen ser ferruginosas.
- Tramo superior compuesto principalmente por pizarras con delgadas capas de areniscas pizarrosas y algunos niveles calcáreos que se hacen progresivamente más abundantes hacia el techo de la serie.

Las zonas donde la serie es completa puede alcanzar una potencia total de entre 200 y 300 m.

10) Formación Portilla

La formación Portilla, de edad Devónico medio-superior, se dispone sobre la formación Huergas. Está constituida por calizas bioconstruidas y calizas margosas en facies arrecifales. Se distinguen tres miembros:

- Miembro inferior: Calizas detríticas con desarrollo de cuerpos arrecifales (calizas bioconstruidas) de hasta 50 m de extensión lateral y 5 m de espesor.
- Miembro intermedio: Calizas margosas correspondientes a facies de talud arrecifal. Su espesor varía de 25 a 40 m.
- Miembro superior: calizas detríticas con intercalaciones pizarrosas y areniscosas. Su potencia varía de 15 a 30 m.

El espesor total es de 90 a 120 m. Destaca su expresión morfológica en superficie, especialmente cuando presenta buzamientos elevados, ya que como consecuencia de una mayor resistencia frente a la erosión de los miembros superior e inferior en comparación con las calizas margosas del miembro intermedio, se originan dos marcados farallones.

11) *Formación Nocedo*

Esta formación, de edad Devónico superior, está compuesta principalmente por arenisca cuarcítica, con intercalaciones calcáreas arrecifales hacia el muro. Aunque la serie tipo descrita al norte de la localidad de Nocedo presenta un espesor de unos 500 m, en el valle del Bernesga su potencia varía entre 35 y 50 m.

12) *Formación Ermita*

Está constituida por areniscas cuarcíticas de grano fino, con algunas bandas ferruginosas, de edad Devónico superior, y con ella culmina el Devónico. En la zona de estudio la potencia es de unos 20 metros.

13) *Formación Alba (“serie Griotte”)*

Sobre la formación Ermita, anteriormente descrita, se dispone de forma neta el Carbonífero basal, constituido por calizas rojas tableadas y nodulosas, en tránsito gradual hacia techo con la formación Barcaliente. Su potencia suele ser inferior a 30 m.

14) *Formación Barcaliente (Caliza de Montaña)*

En tránsito gradual sobre la formación Alba, y en contacto neto o gradual bajo la formación Valdeteja, se desarrollan unas calizas micríticas grises oscuras y frecuentemente fétidas, con una potencia de 200 a 350 m. Su edad es Namuriense inferior (Carbonífero superior basal).

15) *Formación Valdeteja*

Esta formación aflora en la unidad de la Sobia-Bodón, y se dispone bien de forma continua sobre la formación Barcaliente, o bien aparece con geometría lenticular de base plana y techo monticular (“mound”), en el seno de la formación terrígena de San Emiliano. Se trata de calizas claras masivas, con algunos intervalos estratificados e intervalos margosos. Litológicamente, se trata de boundstones de algas, calizas bioclásticas, depósitos de brechas calcáreas, mud mounds. La edad de esta formación abarca el periodo Namuriense medio-superior.

16) Formación San Emiliano

También en la unidad de la Sobia-Bodón, se dispone sobre y lateralmente a la formación Valdeteja, una sucesión terrígena de lutitas, areniscas, margas con intercalaciones calcáreas y capas de carbón, denominada formación San Emiliano, de edad Namuriense medio-Westfaliense inferior. Aunque su espesor es difícil de establecer ya que su techo se encuentra biselado por superficies de cabalgamiento, en la zona de Villanueva de la Tercia supera los 420 m.

El tramo superior de la formación, denominado capas de Villamanín, está formado por calizas masivas con espesores máximos de hasta 250 m, aunque con desarrollo lateral discontinuo, que se acuñan en los materiales terrígenos circundantes (por ejemplo entre las localidades de Villadangos de Arbás y Casares de Arbás).

17) Formación Pastora (Estefaniense)

Se trata de una formación eminentemente terrígena continental, constituida por una sucesión de lutitas, areniscas, capas de carbón y conglomerados fluviales, que presenta una potencia de 85 a 200 m. Corresponde al relleno de una cuenca fluvial-lacustre dispuesta discordantemente sobre paleorrelieves desarrollados en el basamento preestefaniense. La deformación de estos materiales, tuvo lugar probablemente durante el Estefaniense tardío o incluso durante el Pérmico, lo que le confiere a la sedimentación un carácter post-orogénico o tardihercínico.

2.3. Tectónica

Al igual que en otros sectores de la Zona Cantábrica, las estructuras principales son cabalgamientos y pliegues de edad hercínica. En esta zona las deformaciones tardihercínicas y alpinas actúan sobre las estructuras hercínicas previas deformándolas, verticalizándolas e incluso invirtiéndolas, confiriendo a los mencionados cabalgamientos una apariencia de fallas normales.

Desde un punto de vista estructural, dentro de la Región de Pliegues y Mantos se han descrito dos unidades principales, denominadas Unidad de Somiedo-Correcilla y Unidad de La Sobia-Bodón. La unidad de Somiedo-Correcilla cabalga hacia el norte sobre la formación San Emiliano de la unidad de La Sobia Bodón, a favor de la superficie regional de despegue que se desarrolla a nivel de la formación Láncara en el cabalgamiento de Correcillas, si bien existen otras superficies de despegue de menor rango desarrolladas en el seno de los niveles pizarrosos y margosos existentes en la secuencia estratigráfica.

A menor escala los rasgos estructurales más característicos dentro de cada unidad son el desarrollo de cabalgamientos y pliegues, con dirección

principal E-O, inclinados con vergencia norte, formados durante la orogenia hercínica, que definen distintas escamas cabalgantes. Dentro de la unidad de Somiedo-Correcilla, se distinguen de sur a norte las escamas de Abalgas-Bregón y Aralla-Rozo limitadas por el cabalgamiento de Bregón, que pasa aproximadamente por el paralelo de Folledo-Buiza. Dentro de cada una de estas escamas se desarrollan cabalgamientos menores y dúplex, produciéndose frecuentes repeticiones de las series.

Con respecto a la unidad de La Sobia-Bodón, en la zona existen tres láminas o escamas alóctonas: Gayo, Bodón y Forcada, con una estructura interna bastante simple, consistente en cabalgamientos con gran desarrollo lateral con rellanos en la formación Láncara y rampas que ascienden en la serie hasta las unidades carboníferas. En esta unidad aparecen asimismo pliegues de dimensiones kilométricas, relacionados tanto con la acomodación de las capas a la geometría de los cabalgamientos (sinclinal de Alba), como al apilamiento de láminas cabalgantes (Antiforme del Cueto Negro) o pliegues de propagación de fallas.

Con respecto a la edad de las deformaciones cabe indicar que la Unidad de Correcillas cabalga sobre una sucesión sinorogénica que alcanza hasta el Westfaliense B, y que la formación Pastora, de edad Estefaniense, aflorante en la cuenca de Ciñera-Mantalla al este de Pola de Gordón, se dispone discordantemente sobre distintas formaciones preestefanienses fosilizando las superficies de cabalgamiento. Por lo tanto, se puede establecer que el emplazamiento de los mantos se desarrolló durante el Westfaliense. No obstante los materiales Estefanienses aparecen deformados, lo que indica que los esfuerzos continuaron hasta el final del Carbonífero y posiblemente durante el Pérmico (etapa tardihercínica). Estos últimos esfuerzos hercínicos, fueron los responsables del reapretamiento de los pliegues relacionados con los cabalgamientos, así como de la verticalización e inversión de los propios cabalgamientos, lo que posiblemente tuvo lugar de nuevo a lo largo de la orogenia Alpina.

3. MARCO HIDROGEOLÓGICO

3.1. Introducción

Desde un punto de vista hidrogeológico, la zona de estudio se enmarca en el borde septentrional de la cuenca hidrográfica del Duero, en la vertiente sur de la Cordillera Cantábrica, al norte de la provincia de León. Se trata de una zona con relieve montañoso, y cotas que oscilan entre 1.000 y 2.000 m.

Las precipitaciones son abundantes, superándose los 1.000 mm en años medios, con una importante componente nival en los meses de invierno, y temperaturas medias anuales no superiores a los 10°C. La red de drenaje principal, que en el caso que nos ocupa se enmarca íntegramente en la cuenca

del río Bernesga, adquiere una dirección N-S, transversal a las principales estructuras geológicas de dirección E-O. La red secundaria, sin embargo presenta un claro control litológico y estructural, predominando las direcciones E-O.

El estado del conocimiento hidrogeológico de la zona es pobre. De este modo, no existen trabajos previos de investigación hidrogeológica. Los datos disponibles proceden precisamente de los trabajos realizados como consecuencia de la construcción de los túneles de Pajares. A este respecto hay que indicar que aunque se han perforado numerosos sondeos a lo largo de la traza, la mayor parte de ellos tienen una finalidad geotécnica o de reconocimiento geológico, por lo que no se encuentran suficientemente equipados para la obtención de datos hidrogeológicos. Así, los escasos sondeos que disponen de tubería, ésta se encuentra ranurada en toda su longitud, de manera que se comunican los distintos acuíferos existentes y las medidas no son representativas de una formación concreta. La única excepción son los sondeos SB-1, SB-2 y SB-3 que controlan exclusivamente la formación Santa Lucía, al oeste de la localidad de Cabornera.

En la documentación analizada, el cálculo de los parámetros hidráulicos de las distintas formaciones se ha realizado en distintos de los estudios mediante ensayos de permeabilidad tipo Lugeon y Lefranc. La propia metodología de estas técnicas determina que los datos obtenidos sean solo representativos del tramo ensayado, lo que unido al carácter altamente anisótropo de las formaciones implicadas, les confieren un alto grado de incertidumbre. Por el contrario, no se tiene conocimiento de que se hayan realizado ensayos de bombeo en ninguna formación, con los que se habrían obtenido valores más representativos de la totalidad de la columna del sondeo.

3.2. Comportamiento hidrogeológico de las formaciones

De forma muy genérica se puede establecer la existencia de dos tipos de formaciones en cuanto a su comportamiento hidrogeológico: formaciones que constituyen acuíferos y formaciones que se comportan, a efectos prácticos, como acuicludos o acuitardos (figura 1).

En la primera categoría se enmarcan las formaciones carbonatadas (calizas, dolomías) y las detríticas consolidadas (cuarcitas y areniscas). En la segunda categoría se incluyen las formaciones predominantemente pelíticas (pizarras, lutitas).

3.2.1. Formaciones que constituyen acuíferos

Salvo algunas excepciones tanto las formaciones carbonatadas como las detríticas consolidadas presentan una permeabilidad secundaria desarrollada principalmente por fracturación y que se ve aumentada, en el caso de las carbonatadas por fenómenos de karstificación. Además, aunque con

menor importancia presentan cierta permeabilidad por porosidad intergranular, siempre condicionada por el grado de compactación y sobre todo de cementación. Por lo tanto, se trata de medios altamente anisótropos y heterogéneos en cuanto a su comportamiento hidráulico, lo que dificulta la extrapolación de los resultados puntuales a la totalidad de la formación.

a) Acuíferos carbonatados

Las formaciones carbonatadas pueden constituir acuíferos importantes desde el punto de vista hidrogeológico. En ellos el funcionamiento hidrogeológico está condicionado por el grado de fracturación, karstificación y posterior relleno (figura 2). Las formaciones susceptibles de constituir acuíferos carbonatados son:

- Láncara
- La Vid calcárea
- Santa Lucía
- Portilla
- Alba
- Barcaliente
- Valdeteja



Figura 2.- Aspecto de la karstificación en la Formación Santa Lucía

Los resultados obtenidos en los ensayos de permeabilidad, recogidos de la documentación previa y sintetizados en el trabajo: "Estudio hidrogeológico del trazado de los túneles de Pajares (lote 2: Folledo-Vidangos) de la línea de Alta Velocidad León-Asturias. Galería de acceso. Abril 2006. EPTISA", muestran por lo general permeabilidades bastante bajas, con órdenes de magnitud que varían desde los 10^{-2} m/día de la formación Valdeteja a los 10^{-4} m/día obtenidos en la formación Láncara. Además los valores obtenidos en los distintos estudios son muy dispares en debido a que se aunque se ensayan las mismas formaciones los sondeos utilizados son distintos. Respecto a estos ensayos cabe destacar los siguientes aspectos:

- los ensayos de permeabilidad que se realizaron corresponden a ensayos tipo Lugeon o Lefranc
- las profundidades alcanzadas en general son menores de 200 m, por lo que no se alcanza la rasante del túnel
- el número de ensayos es variable para cada formación, lo que compromete la representatividad de las medidas obtenidas.

Se realizaron ensayos Lugeon en calizas de Láncara en sondeo SEI-2 hasta 228,5 m de profundidad, obteniéndose valores de permeabilidad en un rango de 1 a 4×10^{-7} (m/s). En las tablas se reflejan los valores de permeabilidad asignados a cada formación como resultado de los ensayos realizados ordenados de mayor a menor permeabilidad correspondientes al Estudio Geotécnico (2002) y al Proyecto y Obra: Túneles de Pajares. Lote 1

Valores recogidos en el Informe: "Variante de Pajares. Estudio Geotécnico. Fase A (2002)"

	m/s	m/d
Barrios (areniscas)	8.1×10^{-7}	7×10^{-2}
Oville (areniscas)	4.2×10^{-7}	3.6×10^{-2}
Valdeteja (calizas)	3.4×10^{-7}	2.9×10^{-2}
Huergas (pizarras)	1.3×10^{-7}	1.1×10^{-2}
Portilla (calizas)	9.4×10^{-8}	8.1×10^{-3}
Subhullero (pizarras)	7.9×10^{-8}	6.8×10^{-3}
Barcaliente (calizas)	7.3×10^{-8}	6.3×10^{-3}
Subhullero (areniscas)	5.7×10^{-8}	4.9×10^{-3}
San Emiliano (pizarras)	5.1×10^{-8}	4.4×10^{-3}
Formigoso (pizarras)	4.2×10^{-8}	3.6×10^{-3}
San Pedro (areniscas)	3.8×10^{-8}	3.3×10^{-3}
La Vid (calizas)	3.4×10^{-8}	2.9×10^{-3}
Oville (pizarras)	1.8×10^{-8}	1.5×10^{-3}
Láncara (calizas)	8×10^{-9}	6.9×10^{-4}
San Pedro (pizarras)	6×10^{-9}	5.2×10^{-4}
Herrería (areniscas)	4×10^{-9}	3.4×10^{-4}

Valores recogidos en el "Proyecto y Obra: Túneles de Pajares. Lote 1"

	m/d
La vid Calcárea	$3,5 \times 10^{-2}$
Alba	$2,69 \times 10^{-2}$
Oville (areniscas y pizarras)	$2,47 \times 10^{-2}$
Barrios	$2,25 \times 10^{-2}$
San Emiliano	$2,10 \times 10^{-2}$
Huergas	$1,90 \times 10^{-2}$
Pastora	$1,81 \times 10^{-2}$
Portilla	$1,13 \times 10^{-2}$
Barcaliente	$8,47 \times 10^{-3}$
Formigoso	$3,63 \times 10^{-3}$
La Vid Pizarroso	$1,73 \times 10^{-3}$
Oville (conglomerado)	$1,30 \times 10^{-3}$
Láncara Superior	$7,78 \times 10^{-4}$
San Pedro (areniscas rojas)	$7,78 \times 10^{-4}$
San Pedro (areniscas rojas y pizarras)	$6,91 \times 10^{-4}$
Láncara Inferior	$5,18 \times 10^{-4}$
San Pedro (areniscas y cuarcitas)	$5,18 \times 10^{-4}$

Los valores bajos de permeabilidad de las formaciones carbonatadas contrastan además con el inventario de puntos de agua y las observaciones de campo realizadas, ya que se ha podido constatar que manantiales bastante caudalosos, están asociados a estas formaciones. Así, el manantial utilizado para el abastecimiento a la población de Beberino surge en la formación La Vid calcárea (caudal ~ 2 L/s) en las proximidades al contacto con la Formación San Pedro; los manantiales de la zona de Carbornera (Fuente de la Fontanilla y manantial de la Vega la Cubilla), se asocian a la formación Santa Lucía brotando en el contacto con la formación Huergas; y en la formación Portilla aparece la Fuente Vieja de Beberino.

Por lo tanto en casi todas las formaciones carbonatadas aparecen descargas relativamente importantes.

Un rasgo muy característico de las aguas subterráneas procedentes de acuíferos carbonatados es que presentan valores de conductividad eléctrica relativamente altos ($> 250 \mu\text{S}/\text{cm}$), en comparación con aquellas procedentes de acuíferos cuarcíticos, cuyos valores son, en general, menores de $75 \mu\text{S}/\text{cm}$.

b) Acuíferos desarrollados en formaciones detríticas consolidadas

Se trata de aquellos acuíferos formados principalmente por cuarcitas y areniscas, y en concreto los asociados a las formaciones:

- Barrios
- San Pedro
- Nocedo
- Ermita

Se trata de formaciones con alto grado de consolidación/cementación que presentan una porosidad eficaz secundaria, desarrollada por fracturación. No obstante, en la Formación Barrios, asociado a las zonas de fractura, se desarrollan sectores alterados o arenizados altamente permeables (figura 3), comportándose desde el punto de vista hidrogeológico como materiales detríticos no consolidados con elevada porosidad eficaz intergranular. Estas zonas tienen mucha importancia hidrogeológica ya que pueden constituir acuíferos significativos.

Al igual que en el caso de las formaciones carbonatadas, se obtuvieron datos de permeabilidad mediante ensayos Lugeon y Lefranc, aunque en este caso se realizaron tanto en roca sana como en zonas de fractura. Sólo se han realizado ensayos de bombeo (interpretación mediante el método de Jacob acuíferos confinados en régimen variable, en recuperación), en los sondeos SR-9 y SR-90. Se caracterizaron únicamente las formaciones Barrios y las areniscas ferruginosas de San Pedro, obteniéndose para la formación Barrios valores de permeabilidad de $2,25 \times 10^{-2}$ m/día, como media, y de $2,20 \times 10^{-1}$ m/día en zonas de fractura y para la formación San Pedro, $5,2 \times 10^{-4}$ m/día como promedio y 1,1 m/día en zona de fractura.

Por lo general, dentro de la reserva con la que hay que considerar los datos de los ensayos puntuales de permeabilidad, destaca la elevada permeabilidad existente en las zonas de fractura ensayadas, sobre todo los obtenidos en la formación San Pedro, así como la relativamente elevada permeabilidad promedio de la formación Barrios.

Los manantiales conocidos en relación con estas formaciones son los de la Braña y la Reguera de la Aguja, que aparecen en una zona fuertemente fracturada mediante fallas de desgarre de dirección ENE-OSO en la formación Barrios, ambos se utilizan para el abastecimiento a la población Poladura de la Tercia y presentan un caudal del orden de 1 L/s.

Una característica distintiva de estas aguas es que los valores de la conductividad eléctrica es inferior a $75 \mu\text{S}/\text{cm}$.



Figura 3.- Aspecto de la Formación Barrios arenizada en el entorno de una fractura

3.2.2. Formaciones que no constituyen acuíferos

El resto de las formaciones presentes, compuestas principalmente por pizarras con intercalaciones de distinta entidad de areniscas y calizas, constituyen acuicludeos o acuitardos. Aunque en algunas formaciones de esta naturaleza, como Oville, los niveles areniscos de pueden presentar considerable potencia, al encontrarse limitados a muro y techo por pizarras su recarga se ve dificultada y no suelen albergar agua.

Estos materiales presentan, a efectos prácticos, un comportamiento prácticamente impermeable constituyendo los niveles de base de los distintos acuíferos (figura 4). Las formaciones incluidas en este conjunto son:

- Oville
- Formigoso
- Huergas
- San Emiliano

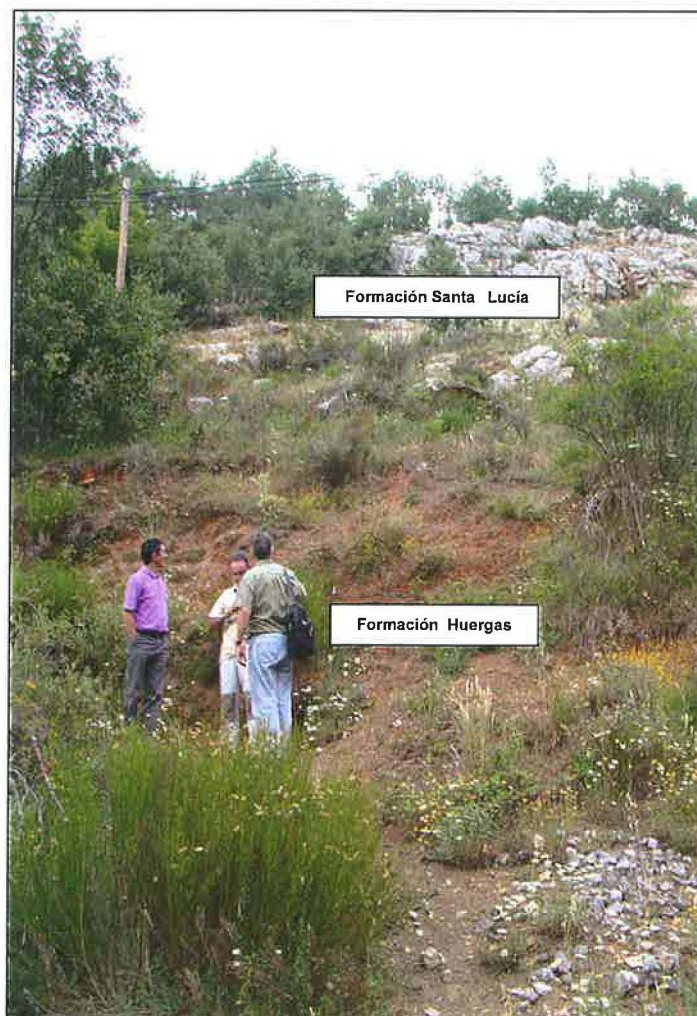


Figura 4.- Contacto entre la formaciones Huergas y Santa Lucía, en las proximidades de Cabornera

3.3. Hidrogeología regional

La distribución de los acuíferos y el funcionamiento hidrogeológico de los mismos está condicionada por las características de las sucesiones estratigráficas, la estructura geológica regional y las microestructuras.

En este sector de la región de Pliegues y Mantos de la Cordillera Cantábrica, desde un punto de vista hidrogeológico, están presentes un conjunto de acuíferos de naturaleza carbonatada o silíceas, limitados a muro y techo por formaciones pelíticas de baja permeabilidad, pudiendo aparecer duplicados en profundidad por el efecto de los planos de cabalgamiento. Esta zona, por lo tanto, se caracteriza por la presencia de un sistema de acuíferos más o menos aislados, cada uno de los cuales se dispone ocupando bandas de dirección E-O, de acuerdo con la estructura regional.

Aunque no se dispone de suficientes datos piezométricos para poder definir con precisión el funcionamiento del flujo subterráneo, la observación de los puntos de drenaje, unido a la geometría de los acuíferos permite hacer un bosquejo del funcionamiento hidrodinámico regional.

La recarga de los acuíferos carbonatados tiene lugar a través de las precipitaciones mayoritariamente y probablemente, el flujo principal de dirección ONO-ESE, tenga lugar de las zonas cumbres hacia las zonas de drenaje correspondientes a los niveles de base marcados por los arroyos principales que disectan perpendicularmente la estructura regional, como el arroyo de Folledo o el arroyo de Casares en la zona de Beberino (carácter efluente).

Las descargas producidas a través de los manantiales identificados, están relacionadas habitualmente con contactos litológicos entre las formaciones carbonatadas que constituyen acuíferos y las formaciones pizarrosas impermeables, o en contactos entre formaciones carbonatadas y materiales cuarcíticos que se comportan como medios de baja permeabilidad cuando no se encuentran fracturados o alterados. En este grupo se incluyen los manantiales de abastecimiento a Beberino (contacto entre las formaciones La Vid Calcárea y San Pedro), la Fuente Vieja de Beberino (contacto entre las formaciones Portilla y Huergas), los manantiales de Cabornera (contacto entre Sta. Lucía y Huergas) y el manantial El Gravién, utilizado para abastecimiento a Villadangos (contacto entre Láncara y Oville).

Existen sin embargo otros manantiales relacionados exclusivamente con formaciones detríticas consolidadas, principalmente con las formaciones Barrios y San Pedro. En este caso, la presencia de los manantiales está relacionada con zonas de fracturación intensa, normalmente de tipo alpino. Este es el caso del manantial del Gorgollo (abastecimiento a la población de Folledo), de los manantiales de la Braña y la Aguja (abastecimiento a la población de Poladura de la Tercia), y de los manantiales de La Canalina y San Antón (abastecimiento a Rodiezmo).

4. INCIDENCIAS DE ÍNDOLE HIDROGEOLÓGICO DURANTE LA PERFORACIÓN DE LOS TÚNELES

La situación de la traza de los Túneles de Pajares de la Línea de Alta Velocidad León-Asturias correspondientes al denominado Lote 1 se muestra en la figura 5. Durante la etapa de construcción de los túneles se atraviesan las formaciones acuíferas por lo que es probable que se produzcan afecciones de diversa cuantía a los acuíferos del entorno. Estas afecciones son apreciables en los manantiales de descarga de los mismos, en los que pueden producir disminuciones de caudal llegando incluso a la desaparición temporal (figuras 5 y 6).

De acuerdo con la información disponible, durante las obras ejecución de los túneles se produjeron los siguientes golpes de agua:

Túnel Oeste

	Fecha	Evento	P.K.	Geología
1	24/11/05	golpe de agua. Q: 50.000 m ³ y caudal remanente >10 L/s	11+887	contacto Formaciones Barcaliente - Alba
2		cueva	11+957,5	Formación Ermita, calcoarenitas
3	16/1/06 a 25/01/06	agua+lodo	12+170,5 a 12+173	Formación Portilla, calizas
4	30/01/06	pequeñas entradas de agua + presencia karstificaciones	hasta 12+190	
5	8/02/06	comienza entrada agua + golpe de agua	12+226	
		cavidad kárstica	12+236	
6	2/03/06	pequeño golpe de agua	12+764,7	
7	6/03/06	golpe de agua	12+805	Formación Portilla (mayor entrada - zona de falla)
8	19/03/06	entrada de agua		Zona ya ejecutada (Formación Portilla, calizas)
9	6/04/06	brusca entrada de agua	13+471	Formación Santa Lucía, calizas
10	7 al 20 /04/06	entradas menores de agua		Formación Santa Lucía, calizas
11	22/05/06	entrada de agua	13+958	La Vid Calcárea
13	04/06/06	entrada de agua	14+976	Probable falla La Vid Calcárea – San Pedro
14	13/07/06	entrada de agua	15+122 a 245	Falla San Pedro
15		entrada de agua	15+300 a 410	

Túnel Este

	Fecha	Evento	p.k.	Geología
1	13/02/06		11+926	Falla Ermita
2	24/02/06		12+095	Portilla calizas y areniscas karstificadas
3	27/02/06		12+151 a 157	
4	20/04/06	golpe de agua + lodo	13+444	Santa Lucía (relación con golpe nº 10 de túnel oeste por falla E-O)
5	27/04/06	entrada de algo de agua	13+505	Santa Lucía
6	17/05/06	entrada de agua	13+904 a 917	La Vid Calcárea
7	22/06/06	entrada de agua	14+896 a 928	La Vid Calcárea
8	4/07/06		15+058 a 167	Falla en Formación San Pedro
9	25/07/06		15+282 a 332	

En relación con algunas de estas incidencias se han visto afectados los manantiales objeto de estudio.

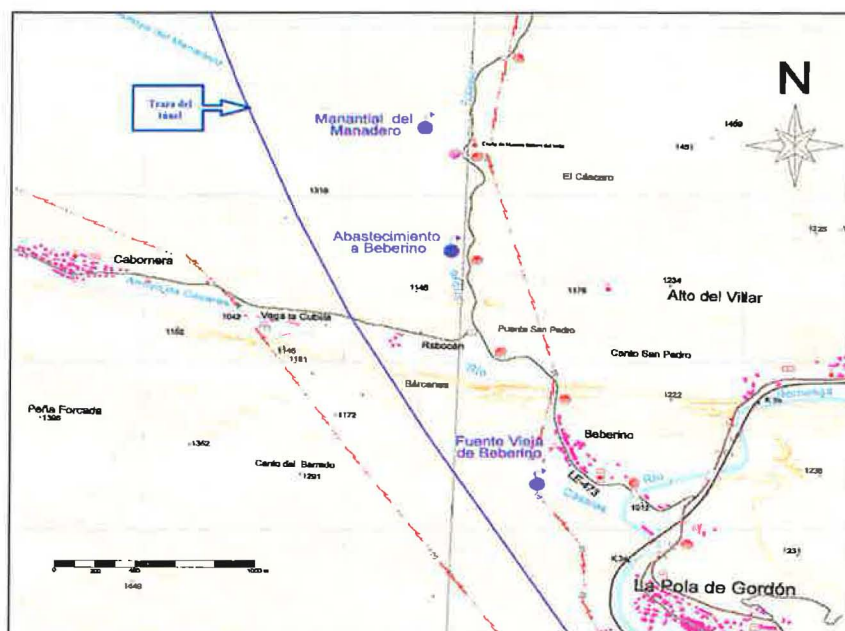


Figura 5.- Situación de los manantiales en la zona de Beberino

La Fuente Vieja de Beberino fue la primera surgencia que se vio afectada por las obras del túnel en la zona de Beberino, secándose totalmente a finales del mes de noviembre de 2005.

Las afecciones observadas en el manantial de abastecimiento a la población de Beberino, según indicaciones de los miembros de la Junta Vecinal, comenzaron con la detección cierta turbidez sobre el 15 de junio de 2006, fecha que coincide con la desaparición del agua en los manantiales de Cabornera.

A partir del 15 de julio, aproximadamente, se produce una merma considerable en el caudal de agua en este último manantial, procediéndose a sustituir este servicio mediante una cuba provisional junto a la captación que es rellenada como mínimo con 25.000 litros diarios de agua. A mediados de agosto el manantial se seca completamente. Sin embargo, sobre la mitad del mes de octubre se detecta de nuevo presencia de agua en la captación y en la visita realizada el 30 de octubre el caudal estimado era de unos 3 L/s, aunque el aspecto del agua era turbio.

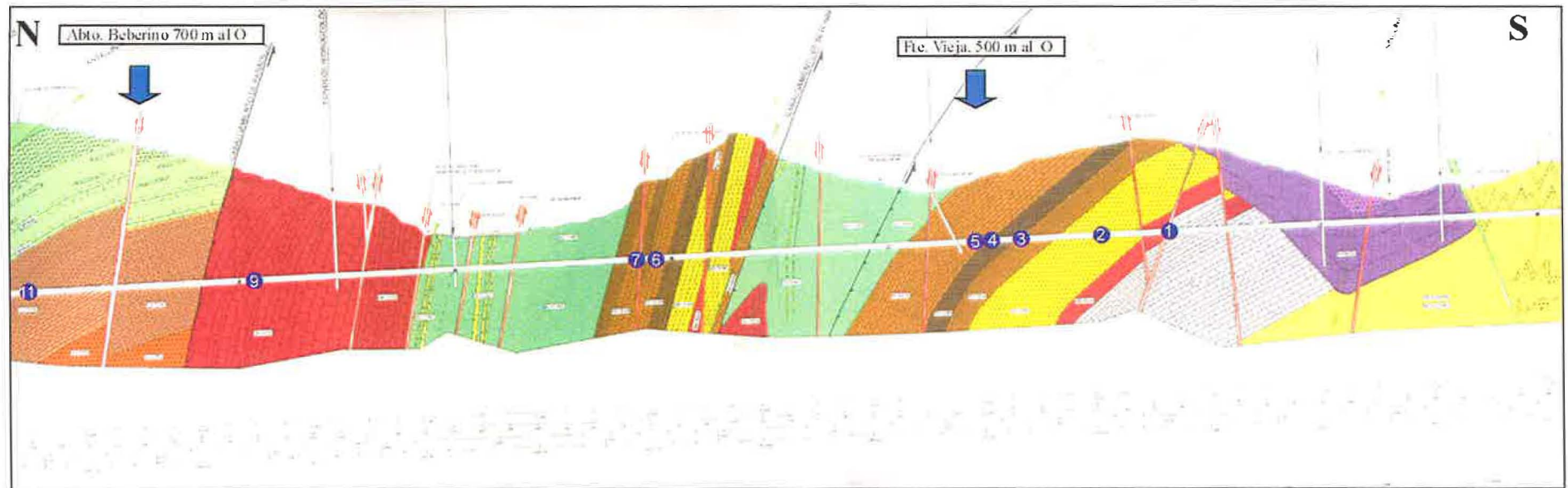


Figura 6.- Corte general (Proyecto y Obra de plataforma de la línea de alta velocidad León-Asturias. Tramo Túneles de Pajares (Lote 1). UTE. Pajares Lote 1) con la ubicación de los principales los golpes de agua y proyección de los manantiales estudiados

5. FUENTE VIEJA DE BEBERINO

5.1. Situación

En la localidad de Beberino, en las proximidades del cauce del Río Casares, se localiza una surgencia denominada Fuente Vieja de Beberino (figura 7) cuya situación se muestra en la figura 5. Se trata de una pequeña captación con dos caños en la que el agua surge a cota ligeramente superior a donde está situada la fuente. Históricamente, el caudal se dividía de forma que parte del agua se derivaba al Lavadero de Beberino (figura 8) y parte manaba por los caños de la fuente, donde además solía tener existir cierto sobrante que se incorporaba al cauce del Río Casares.

Se corresponde con el número 11 del inventario de Eptisa y con el número 66 del inventario que figura en el Proyecto Constructivo. Los datos de situación de esta fuente figuran en la tabla 1.

Tabla 1.- Datos de situación de la Fuente Vieja de Beberino

Nº EPTISA	Toponimia	Coordenadas		Cota (m.s.n.m.)
		X	Y	
11	Fuente Vieja de Beberino	281.013	4.749.253	1.020

5.2. Parámetros medidos

Desde principios del mes de julio de 2006 se han realizado una serie de visitas de campo con el objetivo de estudiar la evolución del manantial en el tiempo. En cada visita realizada, siempre que fue posible, se midieron los parámetros: caudal, conductividad eléctrica del agua, temperatura y pH.

Para las medidas del pH y de la conductividad eléctrica del agua se empleó un conductivímetro-phímetro de la marca Cybescan y la temperatura se midió con un termómetro de la marca Digi-thermo. Las medidas de caudal se obtuvieron a partir del cálculo del tiempo de llenado de un recipiente aforado.

En la tabla 2 se recogen los datos recopilados de la documentación previa así como los recogidos en las sucesivas visitas realizadas.



Figura 7.- Fuente Vieja de Beberino (Julio, 2006)

Tabla 2.- Fuente Vieja de Beberino. Parámetros medidos

Técnico	Fecha	Caudal estimado (L/s)	pH	C. E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Tª (°C)	Observaciones
Proyecto Constructivo	16/08/2003	≥ 2				
Eptisa	10/08/2004	$\geq 1,0$	7,9	270	11,0	
IGME	5/07/2006	seco				
IGME	8/08/2006	seco				
IGME	03/10/2006	seco				
IGME	30/10/2006	0,04	7,4	395	10,2	



Figura 8.- Lavadero de Beberino (Julio 2006)

5.3. Aspectos hidrogeológicos del manantial

Este manantial constituye un punto de descarga del acuífero calcáreo constituido en las calizas de la Formación Portilla. Está situado en las proximidades del contacto de dicha formación con la Formación Huergas, en la parte superior de una terraza aluvial del Río Casares. La Formación Portilla está formada por calizas bioclásticas grises y calizas margosas arrecifales y la Formación Huergas por pizarras y pizarras arenosas, de naturaleza prácticamente impermeable; las diferencias en los valores de permeabilidad entre ambas condicionan la presencia del manantial en esta zona. En el mapa hidrogeológico 1 y en el corte I-I' del Anejo de mapas y cortes, se muestra una situación hidrogeológica no influenciada por las obras de los túneles así como la situación, supuesta, del nivel piezométrico cuando dejó de manar agua debido al descenso de dicho nivel, ya que no existe ningún piezómetro instalado en la formación que permita seguir su evolución.

5.4. Afección y recuperación del manantial

El 24 de noviembre de 2005 tuvo lugar una avenida de agua dentro del túnel oeste, en consecuencia y a fin de evitar la inundación de la tuneladora se intensificó el bombeo, desaguándose un total de 54.000 m³ en cinco días. Entre unas 24 horas y pocos días después del incidente se produjo la pérdida total de la Fuente Vieja de Beberino.

Esta avenida de agua se ocasionó cuando la tuneladora cortó (INECO, enero 2006) un conducto kárstico desarrollado en la parte basal de la Formación Barcaliente y en la Caliza Griotte (Formación Alba). Esta zona se encuentra intensamente karstificada, con cuevas de tamaño métrico (INECO, enero 2006).

En superficie, en la zona donde tuvo lugar el golpe de agua del 24/11/2005, afloran materiales Estefaniense que se disponen discordantemente sobre las formaciones devónicas y carboníferas.

Entre la Formación Portilla (en la que surge la Fuente Vieja de Beberino) y las formaciones carboníferas, en las que tuvo lugar el golpe de agua, se disponen los materiales devónicos areniscos de la Formación La Ermita. Estos materiales, presentan valores de permeabilidad bajos, en conjunto, aunque durante la perforación del túnel oeste se produjo un golpe de agua al ser atravesados y se detectaron cavidades asociadas a tramos calcareníticos incluidos dentro de la formación. Por ello, aunque de forma general esta unidad no debería permitir la conexión hidráulica entre las formaciones Alba y Portilla, de manera local se puede establecer dicha conexión. A este hecho contribuye la complejidad estructural, caracterizada por la presencia de cabalgamientos, plegamientos y una intensa fracturación. En la cartografías presentadas tanto en el proyecto básico como en el informe de Eptisa figuran múltiples fracturas de dirección aproximada N20°E, como consecuencia de las cuales se pueden llegar a poner en contacto las formaciones calcáreas carboníferas con la Formación Portilla, permitiendo así una comunicación hídrica entre ambos acuíferos. Si bien, también podría suceder que estas fracturas, aún sin llegar a poner en contacto las formaciones permeables, permitan la circulación de agua a través de ellas.

El golpe de agua que se produjo en el túnel oeste a finales de noviembre de 2005, proveniente en el acuífero kárstico carbonífero (parte basal de la Formación Barcaliente-Caliza Griotte), también afectó al acuífero formado en las calizas de la Formación Portilla, provocando un descenso en el nivel piezométrico de ambos acuíferos y por lo tanto la desaparición temporal de algunos de sus drenajes naturales (Fuente Vieja de Beberino). Posteriormente, durante los meses de enero y febrero, durante la perforación de la Formación Portilla tuvieron lugar sucesivos golpes de agua, con mayor entrada de agua en las zonas de fractura.

El dato disponible de agosto de 2003 correspondiente a una medida de caudal superior a 2 L/s, indica que las obras de los túneles han provocado la desaparición de dicha fuente durante prácticamente todo el año 2006, si bien volvió a surgir con un caudal del orden de 0,04 L/s, en octubre de 2006 tras un periodo de elevadas precipitaciones.

Esta recuperación puede haber tenido relación con algunos de los trabajos de impermeabilización que se han desarrollado a lo largo de 2006 sobre las formaciones implicadas en el funcionamiento de este manantial. De acuerdo con los informes de seguimiento de las labores de reinyección de la constructora facilitados por la Asistencia Técnica, estas actuaciones han consistido en la inyección de lechada y espumas hidrófobas con el fin de detener ciertas fugas y humedades. Además, y para evitar que pueda existir conexión hidráulica por el trasdós, se han realizado una serie de anillos de Geoflex para crear exclusas que lo impidan y faciliten la reinyección secundaria con lechada de cemento. Se han realizado en el túnel oeste diversos trabajos de impermeabilización, en la formación Portilla, a base de lechada, Geoflex y Geoflex (campañas de impermeabilización del 08/03/06 a 16/05/06 y 13/03/06 a 15/03/06). Aunque previsiblemente estas actuaciones deben tener un efecto positivo sobre la recuperación del manantial, es difícil determinar si la reaparición de la fuente tras las lluvias de octubre y noviembre se debe a estos trabajos o responden a un episodio transitorio. Para poder determinar si la recuperación es permanente se necesita controlar el caudal al menos durante un año hidrológico completo y a fin de comprobar su mantenimiento durante el periodo de estiaje

5.5. Recomendaciones

En la fuente Vieja es necesario hacer un seguimiento de los caudales del manantial tras la recuperación del mes de octubre de 2006, con el objeto de poder determinar la efectividad de las actuaciones de impermeabilización, ya que la recuperación del flujo se puede deber solamente a una situación transitoria o bien que esté motivada por la reducción del flujo de afluencia al túnel. Por ello las condiciones hidrodinámicas que presente el manantial en la situación más desfavorable (próximo periodo de estiaje) serán indicativas del comportamiento futuro del manantial. También se considera necesario acompañar las medidas de caudal con la de los parámetros: pH, conductividad eléctrica y temperatura.

6. MANANTIAL DE ABASTECIMIENTO A BEBERINO

6.1. Situación

Beberino está situado próximo a las confluencias de los ríos Casares y Bernesga, dista de La Pola de Gordón un par de kilómetros, limita al Norte y Noroeste con Buiza y Vega, al Sur y Sureste con Barrios y Pola de Gordón, al Este con Pola de Gordón y Vega y al Oeste con Cabornera. El número de habitantes de esta localidad que figura en el Nomenclátor de enero de 2005 es de 71, población que se ve incrementada notablemente en épocas vacacionales.

El abastecimiento a la población de Beberino se realiza mediante la captación de un manantial (figura 9) situado a unos 1.400 m al norte de dicha localidad en la margen derecha del Río Casares (figura 5). La captación consta de una pequeña galería cubierta que conduce el agua desde el lugar de nacimiento a una caseta, en cuyo interior hay una arqueta en forma de “L” de dónde el agua es conducida a un depósito de agua para su posterior distribución a la población, además dispone de dos tuberías que conducen el sobrante al cauce del Río Casares (figura 10).

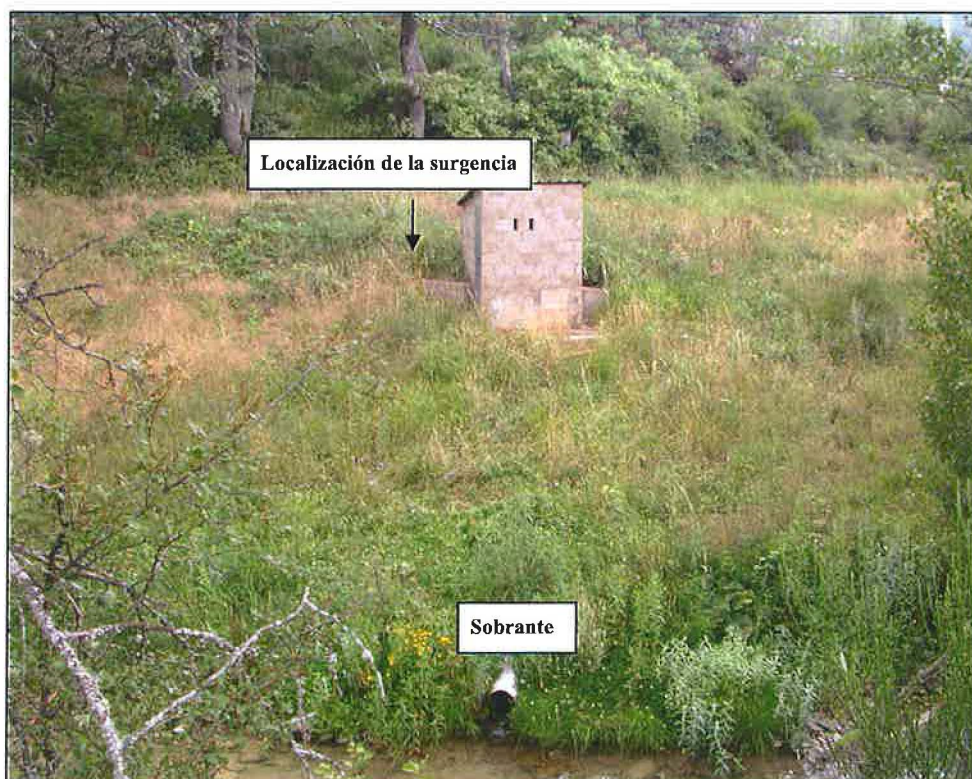


Figura 9.- Captación de abastecimiento a la población de Beberino **Beberino**

Este manantial consta en el informe “*Estudio hidrogeológico de la traza de los túneles de Pajares de la línea de alta velocidad León-Asturias. Lote 1 (julio 2005)*” realizado por EPTISA, con el nº 6.

Los datos referentes a su situación son los siguientes:

Nº EPTISA	Toponimia	Coordenadas		Cota (m.s.n.m.)
		X	Y	
6	Abastecimiento a Beberino	280.591	4.750.700	1.050

6.2 Parámetros medidos

Desde principios del mes de julio de 2006 se han realizado una serie de visitas de campo con el objetivo de estudiar la evolución del manantial en el tiempo. En cada visita realizada se midieron los parámetros: caudal, conductividad eléctrica del agua, temperatura y pH.

Las medidas de caudal se tomaron en la tubería mediante la cual se incorpora el sobrante del depósito al Río Casares, ya que en el interior de la captación es imposible. El método de medida empleado consiste en calcular el tiempo que tarda en llenarse un recipiente aforado. En ocasiones, debido a que el tubo se inunda bajo el cauce del Río Casares, solo se pudo hacer una estimación visual del caudal. Para las medidas del pH y de la conductividad eléctrica del agua se empleó un conductivímetro-phímetro de la marca Cybescan y la temperatura se midió con un termómetro de la marca Digi-thermo.

En la tabla 3 se muestran los datos recopilados procedentes de la documentación previa así como los recogidos en las sucesivas visitas realizadas.

Tabla 3. Manantial para el abastecimiento a Beberino

Técnico	Fecha	Caudal (sobrante) (L/s)	pH	C. E. ($\mu\text{S/cm}$)	T ^a (°C)	Observaciones
Eptisa	10/08/2004	> 2	7,9	270	11	No cuantifica límite superior
IGME	4/07/2006	≈1,5 (estimado)	7,5	259	16,6	Conexión al pueblo abierta
IGME	20/07/2006	0,75	7,4	275	10	
IGME	8/08/2006	0,3	7,4	288	11,8	Conexión al pueblo cerrada
IGME	18/08/2006	0,03	7,7	291	10,4	Conexión al pueblo cerrada
IGME	31/08/2006	seco				
IGME	11/09/2006	seco				
IGME	18/09/2006	seco				
IGME	3/10/2006	seco				
IGME	17/10/2006	muy bajo caudal, imposible medir				
IGME	30/10/2006	3 L/s (estimado)	6,5	299	11,2	Conexión al pueblo cerrada. Agua turbia



Figura 10.- Interior de la captación para el abastecimiento a Beberino

6.3 Aspectos hidrogeológicos del manantial

La surgencia captada está situada sobre un coluvión cubierto por una vegetación abundante, siendo imposible observar los materiales en los que surge el manantial. (Mapa hidrogeológico 2 Anexo).

Los datos de los parámetros físico-químicos (pH y conductividad eléctrica) medidos son característicos de aguas cuya circulación ha tenido lugar predominantemente en materiales de naturaleza calcárea. Por lo tanto, teniendo en cuenta las litologías presentes en la zona, se considera que esta surgencia es un punto de descarga natural del acuífero calcáreo constituido en la Formación La Vid Calcárea. La surgencia de este manantial tiene lugar en las proximidades del contacto con la Formación San Pedro. A partir de los datos disponibles, y debido a la existencia del recubrimiento cuaternario, es difícil discernir si la surgencia del manantial está relacionada con el contacto con la formación San Pedro (de menor permeabilidad) o, si por el contrario, se debe a la presencia de alguna fractura.

Desde el punto de vista estructural, se encuentra en el flanco sur de un anticlinal cuyo eje presenta una dirección aproximada E-O. En el núcleo afloran materiales de la Formación Formigoso. Se pueden distinguir dos redes de fracturas principales que afectan a los materiales en esta zona, la E-O, que coincide con las direcciones hercínicas, que en parte rejugaron en la etapa alpina y otra de dirección N-S a NNE-SSO que corta las estructuras hercínicas.

Se considera probable la existencia de conexión hidráulica entre las formaciones Santa Lucía y La Vid Calcárea a través del cabalgamiento de Paradilla, bajo la formación San Pedro (Corte hidrogeológico 3 Anexo). De este modo se explicarían los altos caudales que presenta el manantial en época lluviosa y su permanencia en época de estiaje, y que de otro modo, serían difícilmente explicables ya que la extensión del área de recarga es pequeña si se consideran exclusivamente los afloramientos de la formación La Vid

Calcárea. El funcionamiento del manantial estaría por lo tanto relacionado con el del acuífero de la formación Santa Lucía en el que las fluctuaciones del nivel piezométrico se pueden observar en los sondeos SB 1, 2 y 3, y cuya descarga natural tiene lugar a través de los manantiales de Cabornera, (mapa hidrogeológico 2, cortes 2 y 3 del Anexo).

6.4. Afección y recuperación del manantial

Los días 17 de mayo y el 22 de junio de 2006 se produjeron entradas de agua en el túnel este, coincidiendo con la perforación de la Formación La Vid Calcárea. Además en el túnel oeste se detectaron entradas de agua relacionadas con la misma formación los días 22 de mayo y 4 de junio (esta última probablemente asociada a una zona de fractura que pone en contacto mecánico esta formación con la formación San Pedro).

Como ya se indicó anteriormente, la disminución de caudal en el manantial de abastecimiento a Beberino comenzó a mediados de julio, y llegó a secarse totalmente a principios de agosto del presente año. El drenaje de esta formación a través de los túneles tiene lugar a cotas entre 323 – 342 m, es decir a unos 700 m por debajo de la cota de surgencia de dicho manantial. Este drenaje provoca un descenso general del nivel piezométrico en el entorno de los túneles.

Se considera por lo tanto, que la afección del manantial está relacionada con dicho drenaje, ya que el descenso del nivel piezométrico por debajo de la cota topográfica de surgencia del manantial implica su desaparición. Esta situación se ha reflejado en el corte hidrogeológico 3 del Anexo.

También se debe tener en consideración que se ha producido en una época de escasez de lluvia muy marcado, iniciado en el año 2002 en el que el volumen de precipitación anual disminuye desde el máximo alcanzado en 2003 (figura 11), hecho que contribuye al descenso de niveles piezométricos.

Posteriormente, las fuertes lluvias caídas durante octubre-noviembre de 2006 recargaron el acuífero con un volumen de agua suficiente como provocar un ascenso del nivel piezométrico suficiente para que tuviera lugar la resurgencia del manantial de abastecimiento a Beberino. Los valores de los parámetros físico-químicos medidos en el mes de octubre son semejantes a los obtenidos con anterioridad a la desaparición del manantial e indican que proceden del acuífero kárstico y no de escorrentía superficial o subsuperficial o de aguas acumuladas en el coluvión. Sin embargo, el aspecto del agua era todavía turbio.

La disminución de los caudales en el manantial de abastecimiento a Beberino desde el verano del año 2006 indica una clara afección al acuífero de

las obras de los túneles a la que se une también a una situación de precipitaciones extremadamente bajas. Esto tuvo como consecuencia la desaparición total del agua a finales de agosto de 2006. Sin embargo, las fuertes lluvias acaecidas desde octubre del año en curso han provocado la recarga del acuífero y la resurgencia del manantial. Pero se debe tener en consideración, que esta recuperación no está ligada a ningún trabajo específico de impermeabilización en el túnel sobre las formaciones afectadas (según la información disponible sobre las labores de impermeabilización, a fecha de septiembre de 2006). Por lo que podría suceder que esta recuperación fuera únicamente aparente y estacional y que durante el próximo periodo de estiaje el manantial disminuya su caudal y llegue a agotarse de nuevo.

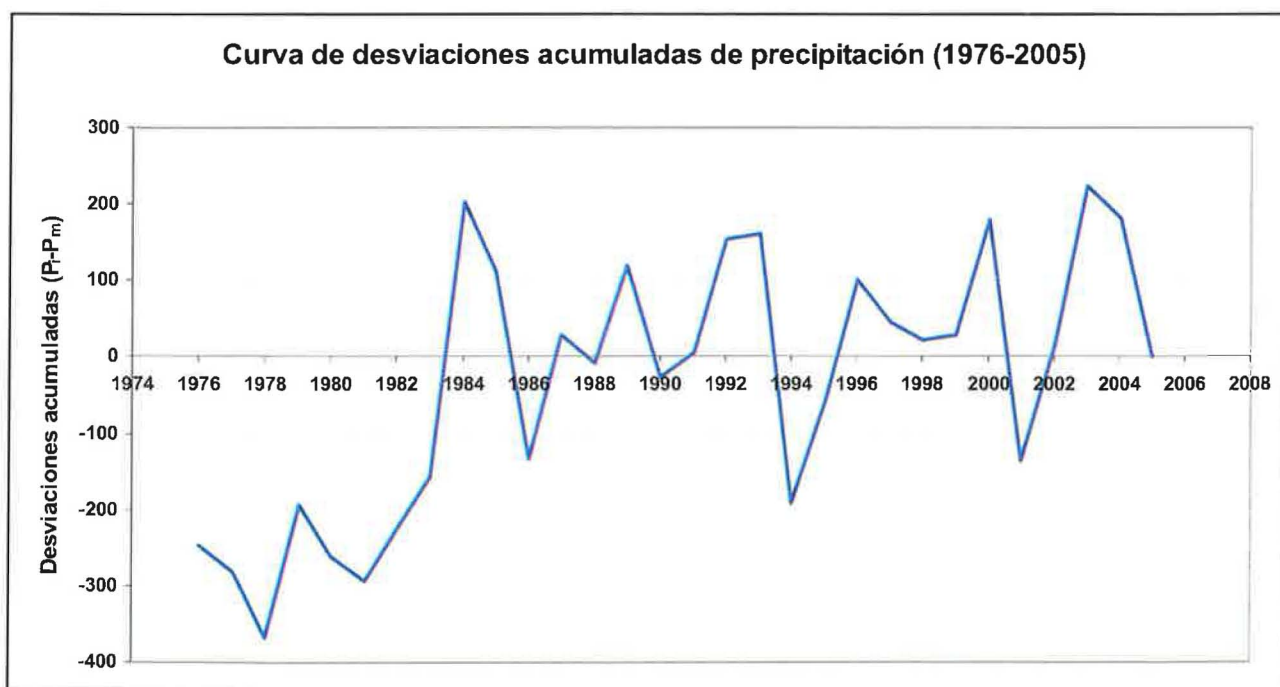


Figura 11.- Estación nº 2645 Campolongo. (datos proporcionados por el INM). Curva de desviaciones acumuladas de precipitación correspondiente al periodo 1976-2005.

($P_r - P_m$: precipitación anual (mm) – Precipitación media de la serie (mm))

6.5. Recomendaciones

Una vez que se ha observado la recuperación del manantial en época de lluvias, se pueden hacer recomendaciones encaminadas al conocimiento de la evolución de las descargas del acuífero por el drenaje del manantial y de los túneles. Con el control de estas dos descargas de agua se puede determinar si la afección al manantial ha sido transitoria o bien permanente en cuyo caso habría que efectuar estudios especiales en busca de soluciones específicas.

Cabe pues hacer dos tipos de recomendaciones, unas sobre el manantial y otras sobre los túneles:

a) Realización de un programa de seguimiento de la evolución del caudal mediante la medida mensual del mismo, al menos, durante un año hidrológico completo, que permita establecer una relación significativa entre volumen de precipitación y caudal drenado. Las condiciones hidrodinámicas que presente el manantial en la situación más desfavorable (periodo de estiaje) serán indicativas del comportamiento futuro del manantial y su análisis permitirá establecer la necesidad, o no, de abordar trabajos. Al mismo tiempo se considera recomendable acompañar la medida del caudal con la de los parámetros: pH, temperatura y conductividad eléctrica del agua.

b) Al mismo tiempo que se efectúa el seguimiento de la evolución del manantial, se debe completar el conocimiento con la evolución de surgencias en los túneles. Esto se encamina a conocer con precisión los tramos que han atravesado las formaciones de Santa Lucía y la Vid Calcárea, el caudal que drena por ellos y la situación de las labores realizadas en el túnel y su trasdós para la impermeabilización.

7.- CONSIDERACIONES GENERALES: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El estado del conocimiento actual permite establecer una relación causa efecto entre la perforación de los túneles y la disminución progresiva de los caudales de la fuente Vieja de Beberino y del manantial de abastecimiento a la misma población, hasta su completa desaparición. Aunque puede existir cierta influencia climática ésta no justifica la desecación de los manantiales ya que no se conocen precedentes y además se ha visto una clara relación con los golpes de agua producidos en los túneles.

Los trabajos de impermeabilización adicionales llevados a cabo pueden ser efectivos para la fuente Vieja de Beberino, donde se ha actuado en la propia formación afectada. Este hecho debe ser confirmado mediante el seguimiento periódico de la evolución de caudales durante al menos un año hidrológico, con una periodicidad mensual. La efectividad de las actuaciones de impermeabilización debe ser corroborada al final del periodo de control. Además se deben controlar los parámetros: pH, temperatura y conductividad eléctrica el agua.

Con respecto al manantial de abastecimiento de Beberino se considera que para asegurar la restauración de las condiciones naturales del acuífero y por lo tanto la recuperación permanente manantial, se deben analizar las labores complementarias de impermeabilizaciones tanto en la formación Santa

Lucía como en La Vid Calcárea. De todas formas el comportamiento real de estos trabajos se debe analizar después del próximo año hidrológico.

Con el fin de apoyar los trabajos futuros de control hidrogeológico es necesario disponer de los datos termopluviométricos en la zona, así como conocer los caudales de salida de agua a través del túnel. Este es el único modo de poder hacer una correlación fiable entre los caudales de los manantiales y la precipitación. Por ello se considera conveniente la instalación en la zona de una estación termopluviométrica con registro continuo de precipitación y temperatura. En este mismo sentido es preciso tener un control permanente de los caudales de salida de agua al túnel por cada una de las formaciones permeables atravesadas.

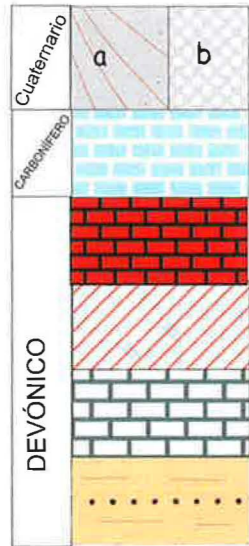
BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA

- IGME (1983). Carbonífero y Pérmico de España. X Congreso Internacional de Estratigrafía y Geología del Carbonífero. Madrid 1983.
- ITGE (1991). Mapa geológico de España. Escala 1:50.000. La Pola de Gordón. Hoja 103.
- ITGE-Diputación de León (1994). Mapa Geológico de la Provincia de León. Escala 1:200.000.
- Lorenzo Vilas Minando (1971). El Paleozoico Inferior y Medio de la cordillera cantábrica entre los ríos Porma y Bernesga (León). Memoria del Instituto Geológico y Minero de España. Tomo 80.
- Documentos facilitados por ADIF:
 - Informe final de la campaña de investigación geológica desarrollada en 2004/2005 por túneles de Pajares 1 UTE.
 - Cartografía geológica de la galería de acceso al túnel de Pajares. Lote 2. Septiembre 2006.
 - Estudio hidrogeológico de la traza de los túneles de Pajares de la línea de Alta Velocidad León-Asturias. Lote I. Julio 2005. EPTISA
 - Estudio hidrogeológico del trazado de los túneles de Pajares (lote 2: Folledo-Vidangos) de la línea de Alta Velocidad León-Asturias. Galería de acceso. Abril 2006. EPTISA
 - Proyecto Básico. Túneles de Pajares
 - Proyecto Constructivo. Lote 1. Anexo 3. Geología.
 - Variante de Pajares. Estudio Geotécnico. Fase A.
 - Informe sobre la entrada de agua al túnel de Pajares en el P.K. 11+887. Enero de 2006. (INECO).
 - Informe sobre la afección a un manantial en la localidad de Beberino. Septiembre de 2006. (Túneles de Pajares 1, U.T.E.).
 - Informe de seguimiento de las labores de reinyección secundaria en el túnel este (actualizado a 20 de septiembre de 2006). FCC-Acciona infraestructuras.
 - Informe de seguimiento de las labores de reinyección secundaria en el túnel oeste (actualizado a 20 de septiembre de 2006). FCC-Acciona infraestructuras.

ANEXO

MAPAS Y CORTES

LEYENDA



a. Sedimentos coluviales. b. Sedimentos aluviales. Permeabilidad alta por porosidad intergranular.

Fm. Barcaliente. Calizas micríticas. Permeabilidad alta por fisuración y/o karstificación.

Fm. Alba. Calizas rojas. Permeabilidad alta por fisuración y/o karstificación.

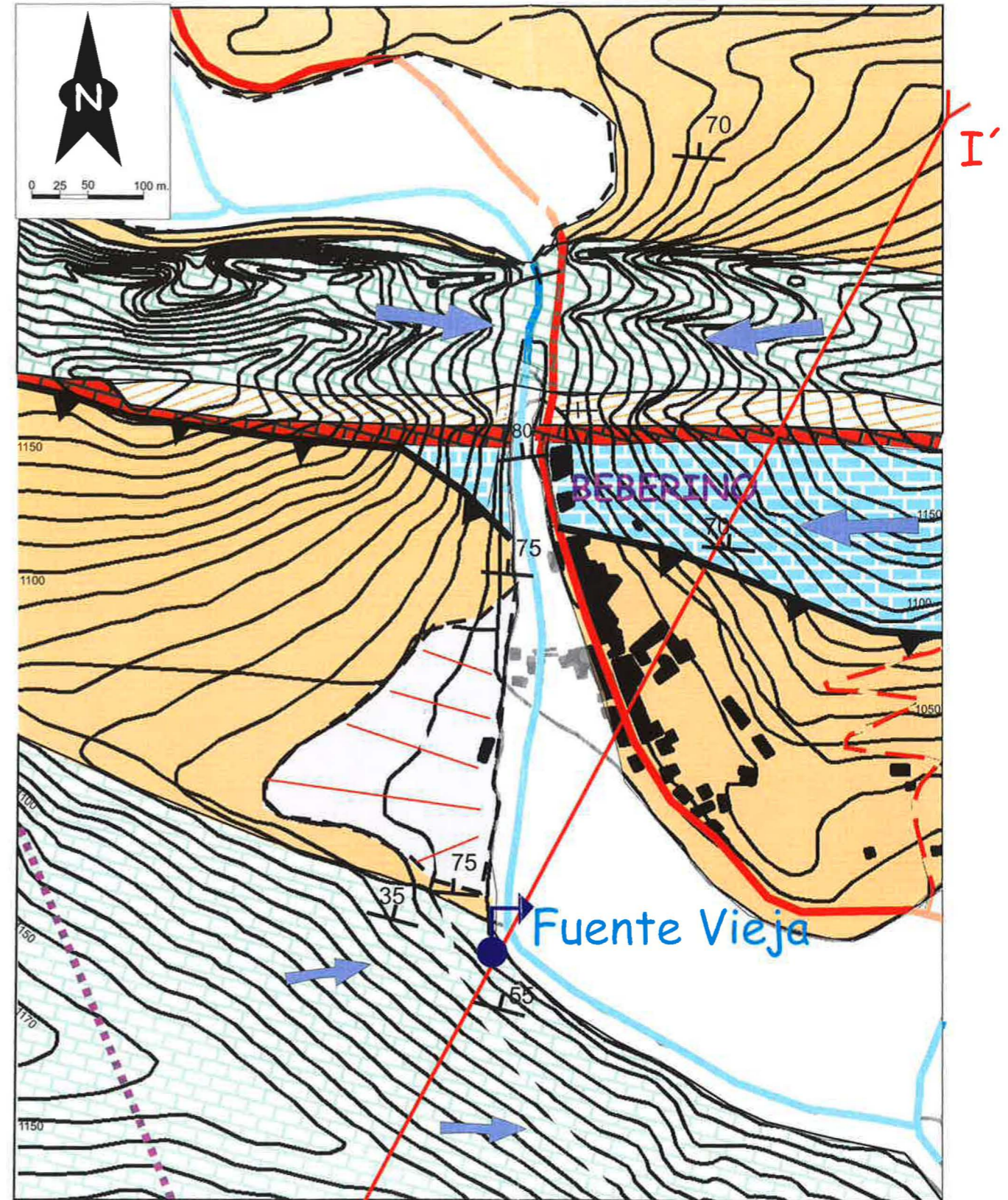
Fm. Ermita. Areniscas y cuarcitas. Localmente permeabilidad alta por fracturación.

Fm. Portilla. Calizas y calizas margosas arrecifales y pararrecifales. Permeabilidad alta por fisuración y/o karstificación.

Fm. Huergas. Pizarras con intercalaciones areniscosas y cuarcíticas. Permeabilidad baja.

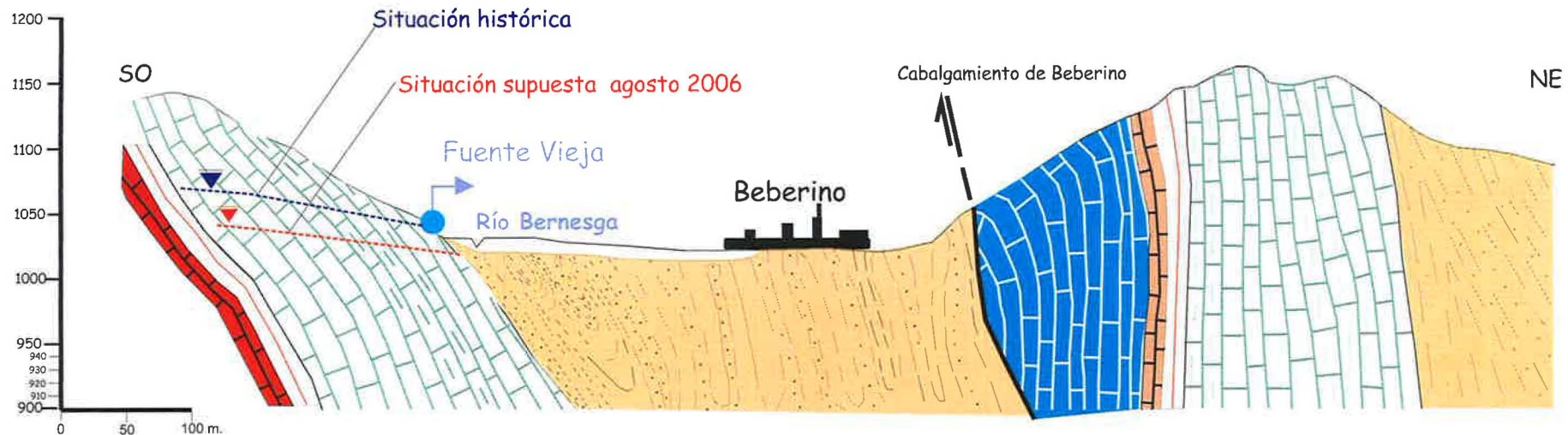
SIMBOLOGÍA

- Cabalgamiento varisco
- Falla indiferenciada
- Buzamiento subvertical
Dirección, sentido de buzamiento y buzamiento
- Manantial
- Traza del túnel
- Flujo subterráneo supuesto









MAPA 1
MAPA HIDROGEOLÓGICO
FUENTE VIEJA
DE BEBERINO

I - I'







Escala vertical y horizontal: 1:5.000.

LEYENDA

-  Cuaternario. Sedimentos aluviales. Permeabilidad alta por porosidad intergranular.
-  Fm. Barcaliente. Calizas micríticas negras. Permeabilidad alta por fisuración y/o karstificación
-  Fm. Alba. Calizas nodulosas rojizas. Permeabilidad alta por fisuración y/o karstificación.
-  Fm. Ermita. Areniscas y cuarcitas. Permeabilidad localmente alta por fisuración y alteración.
-  Fm. Portilla. Calizas bioclásticas y bioconstruidas, y calizas margosas. Permeabilidad alta por fisuración y/o karstificación
-  Fm. Huergas. Pizarras con intercalaciones areniscosas y cuarcíticas. Permeabilidad baja.

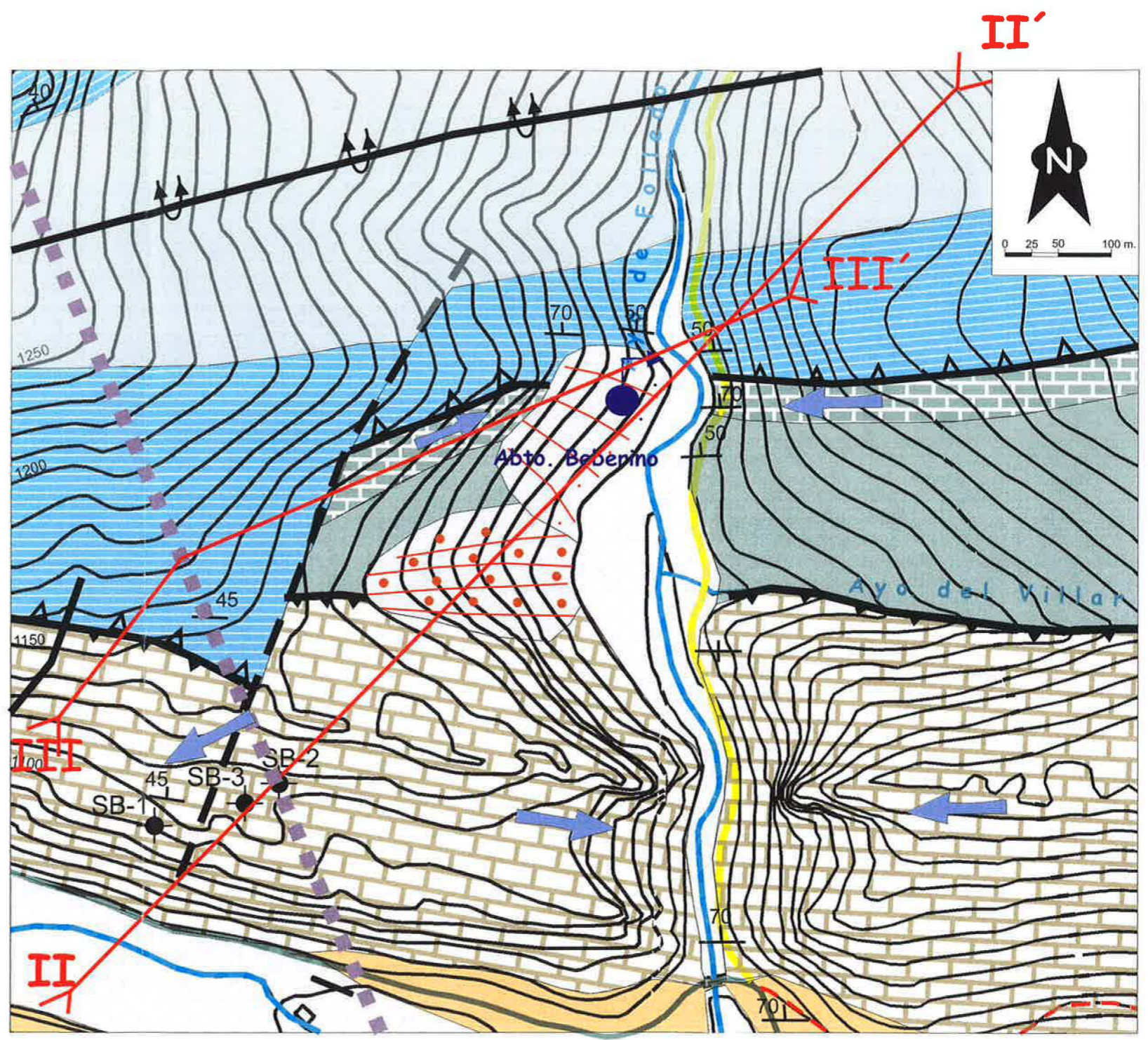
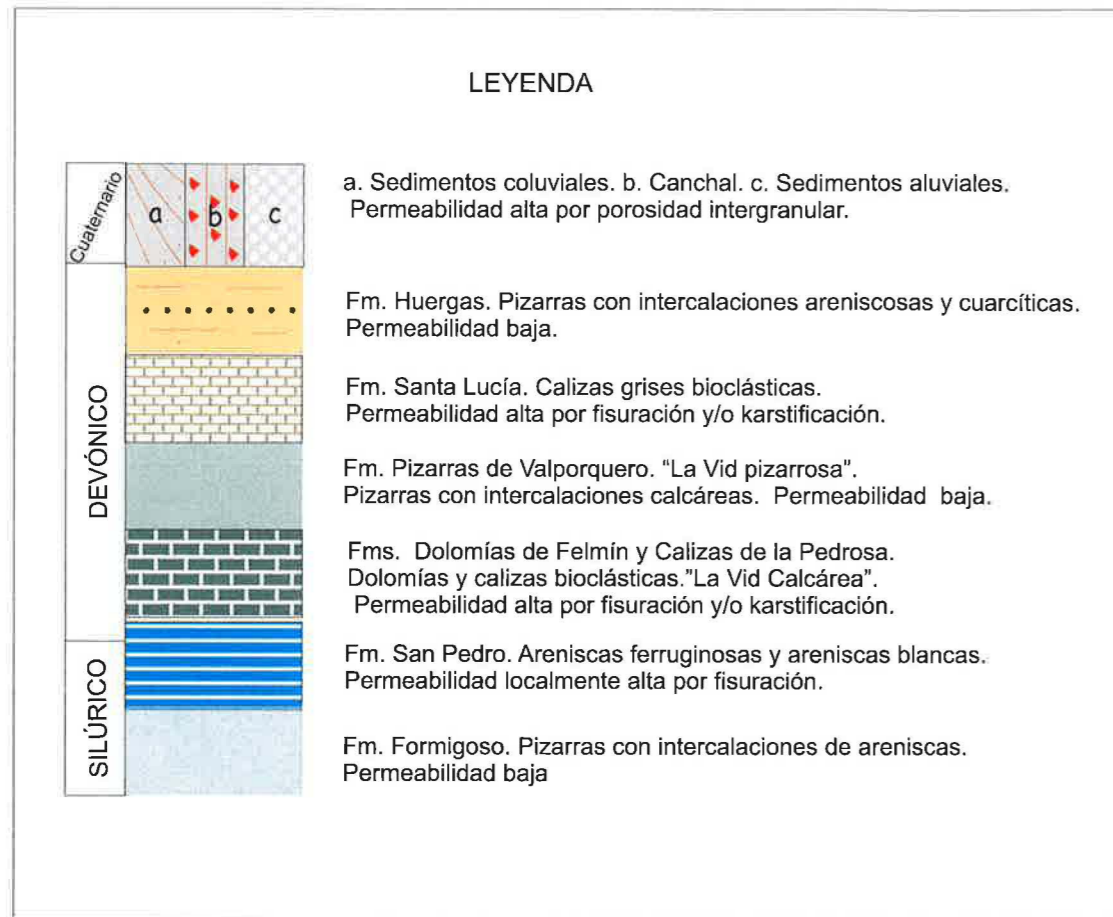
SIMBOLOGÍA


-  Cabalgamiento Varisco
-  Manantial
-  Nivel freático histórico
-  Nivel freático actual supuesto

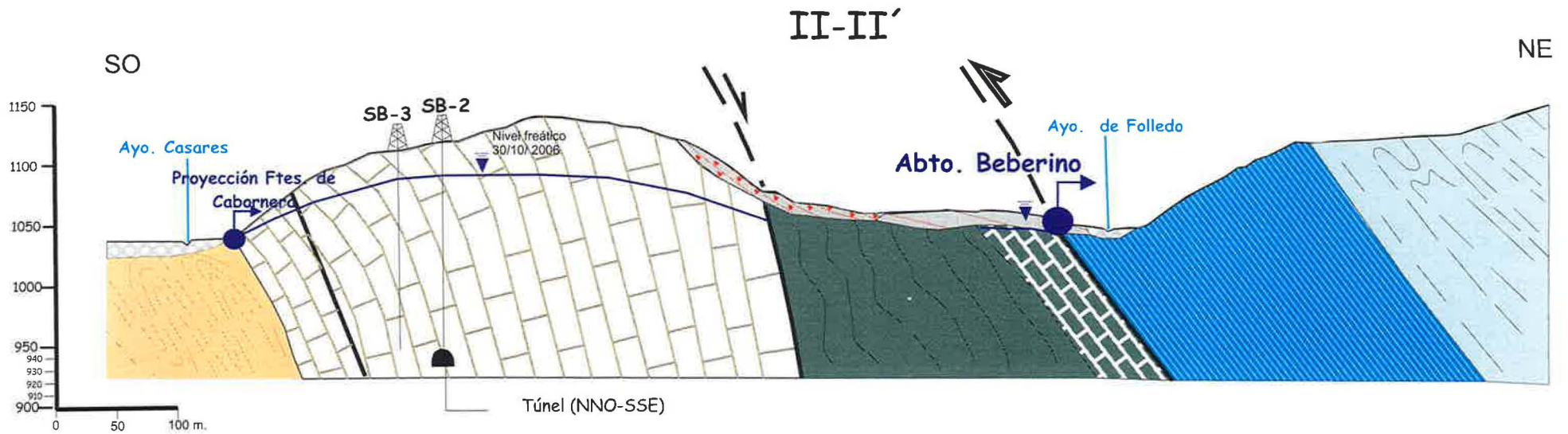


CORTE 1








CORTE HIDROGEOLÓGICO I-I'. FUENTE VIEJA DE BEBERINO








	<p>MAPA 2</p> <p>MAPA HIDROGEOLÓGICO. MANANTIAL DE ABASTECIMIENTO A BEBERINO</p>
---	---



LEYENDA

-  Cuaternario. a. Sedimentos coluviales. b. Canchal. c. Sedimentos aluviales. Permeabilidad alta por porosidad intergranular.
-  Fm. Huergas. Pizarras con intercalaciones areniscosas y cuarcíticas. Permeabilidad baja.
-  Fm. Santa Lucía. Calizas grises bioclásticas. Permeabilidad alta por fisuración y/o karstificación.
-  Fm. Pizarras de Valporquero. "La Vid pizarrosa". Pizarras con intercalaciones calcáreas. Permeabilidad baja.
-  Fms. Dolomías de Felmín y Calizas de la Pedrosa. Dolomías y calizas bioclásticas. "La Vid Calcárea". Permeabilidad alta por fisuración y/o karstificación.
-  Fm. San Pedro. Areniscas ferruginosas y areniscas blancas. Permeabilidad localmente alta por fisuración.
-  Fm. Formigoso. Pizarras con intercalaciones de areniscas. Permeabilidad baja.

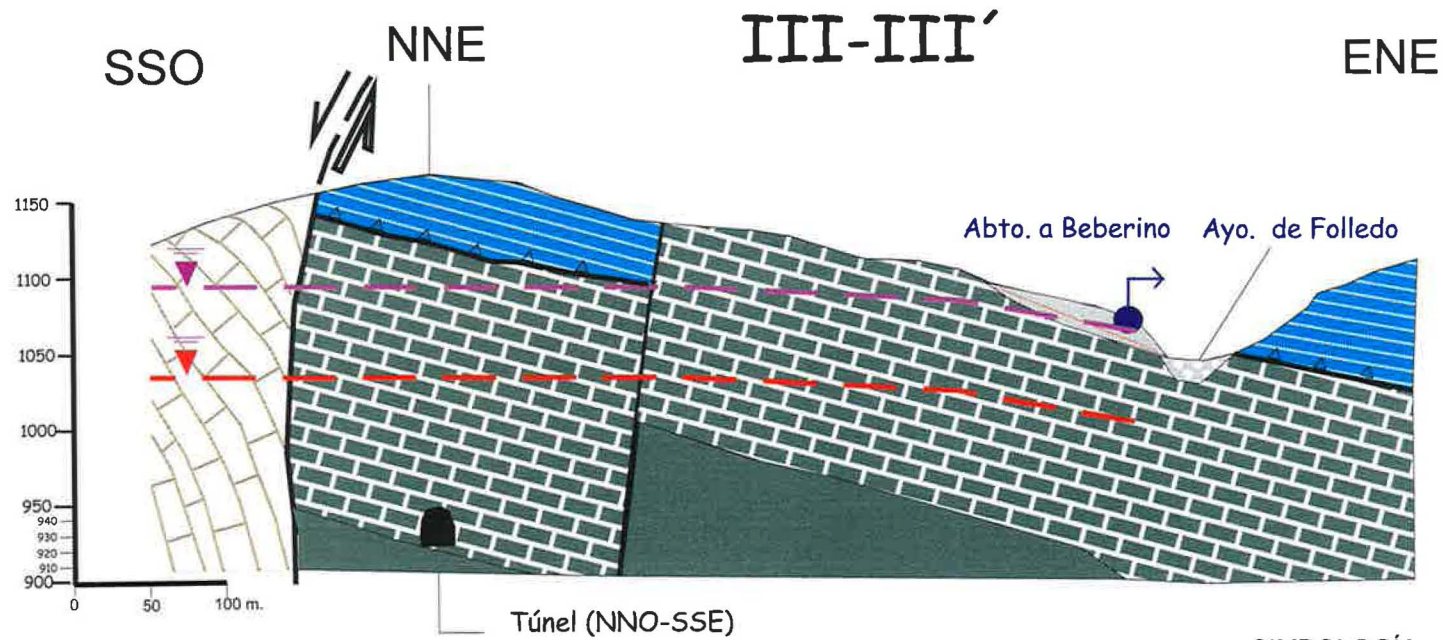
SIMBOLOGÍA

-  Falla inversa alpina
-  Cabalgamiento varisco
-  Falla indiferenciada
-  Manantial
-  Nivel freático



CORTE 2

CORTE HIDROGEOLOGÍCO II-II'. MANANTIAL DE ABASTECIMIENTO A BEBERINO



LEYENDA



Cuaternario. a. Sedimentos coluviales. b. Canchal. c. Sedimentos aluviales. Permeabilidad alta por porosidad intergranular.



Fm. Santa Lucía. Calizas grises bioclásticas. Permeabilidad alta por fisuración y/o karstificación.



Fm. Pizarras de Valporquero. "La Vid pizarrosa". Pizarras con intercalaciones calcáreas. Permeabilidad baja.

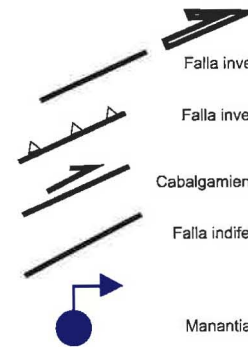


Fms. Dolomías de Felmín y Calizas de la Pedrosa. Dolomías y calizas bioclásticas. "La Vid Calcárea". Permeabilidad alta por fisuración y/o karstificación.



Fm. San Pedro. Areniscas ferruginosas y areniscas blancas. Permeabilidad localmente alta por fisuración.

SIMBOLOGÍA



Falla inversa alpina

Falla inversa alpina

Cabalgamiento varisco

Falla indiferenciada

Manantial



Nivel freático proyectado desde SB-2
08/08/2006

Nivel freático proyectado desde SB-2
30/10/2006



CORTE 3

CORTE HIDROGEOLÓGICO III-III'. MANANTIAL DE ABASTECIMIENTO A BEBERINO