

---

**GEOLOGÍA Y GEOTECNIA**

**ANEJO 05**

**INDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO .....</b>	<b>1</b>	3.5.7. TÚNEL 1.7. ALTERNATIVA OESTE.....	82
1.1. METODOLOGÍA.....	1	3.5.8. TÚNEL 1.8. ALTERNATIVA OESTE.....	84
1.2. BIBLIOGRAFÍA .....	2	3.5.9. TÚNEL 1.9 ALTERNATIVA ESTE. ....	86
1.2.1. BIBLIOGRAFÍA ESPECÍFICA.....	2	3.5.10. TÚNEL 1.10. ALTERNATIVA ESTE. ....	88
1.2.2. BIBLIOGRAFÍA GENERAL.....	2	3.5.11. TÚNEL 1.11. ALTERNATIVA ESTE. ....	90
<b>2. ENCUADRE GEOLÓGICO .....</b>	<b>3</b>	3.5.12. TÚNEL 1.12. ALTERNATIVA CENTRO.....	93
2.1. CUENCA VASCO-CANTÁBRICA .....	3	3.5.13. TÚNEL 1.13 ALTERNATIVA ESTE .....	95
2.2. CUENCA DEL DUERO .....	4	3.5.14. TÚNEL 3.1 ALTERNATIVA ESTE .....	97
<b>3. GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>5</b>	3.5.15. RECOMENDACIONES .....	99
3.1. ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA.....	5	<b>4. SISMICIDAD.....</b>	<b>100</b>
3.1.1. TRIÁSICO.....	5	<b>5. GEOTECNIA.....</b>	<b>100</b>
3.1.2. JURÁSICO.....	8	5.1. INFORMACIÓN GEOTÉCNICA RECOPIADA.....	100
3.1.3. CRETÁCICO INFERIOR .....	13	5.2. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS MATERIALES.....	100
3.1.4. CRETÁCICO SUPERIOR.....	17	5.2.1. <i>MESOZOICO</i> .....	100
3.1.5. Terciario .....	20	5.2.2. <i>TERCIARIO</i> .....	111
3.1.6. CUATERNARIO .....	22	5.2.3. <i>CUATERNARIO</i> .....	113
3.2. TECTÓNICA Y ESTRUCTURA .....	22	5.3. OBRAS DE TIERRA.....	120
3.3. GEOMORFOLOGÍA .....	23	5.3.1. DESMONTES .....	120
3.4. HIDROGEOLOGÍA .....	24	5.3.2. RELLENOS .....	122
3.4.1. MARCO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL.....	24	5.4. ESPESOR DE LA CAPA DE FORMA.....	122
3.4.2. HIDROGEOLOGÍA DE LOS MATERIALES EN EL ÁMBITO DE LOS TRAZADOS.....	36	5.5. CIMENTACIÓN DE VIADUCTOS .....	122
3.5. GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA DE TÚNELES.....	64	5.5.1. METODOLOGÍA.....	122
3.5.1. TÚNEL 1.1. ALTERNATIVAS ESTE, CENTRO Y OESTE.....	64	5.6. AGRESIVIDAD DEL SUELO AL HORMIGÓN .....	122
3.5.2. TÚNEL 1.2. ALTERNATIVAS ESTE, CENTRO Y OESTE.....	69	5.6.1. AGRESIVIDAD DEL TERRENO .....	123
3.5.3. TÚNEL 1.3. ALTERNATIVAS ESTE, CENTRO Y OESTE.....	72	5.6.2. AGRESIVIDAD DEL AGUA .....	123
3.5.4. TÚNEL 1.4. ALTERNATIVAS CENTRO Y OESTE.....	75	<b>6. RIESGOS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS .....</b>	<b>124</b>
3.5.5. TÚNEL 1.5. ALTERNATIVAS CENTRO Y OESTE.....	76	6.1. ASPECTOS GENERALES .....	124
3.5.6. TÚNEL 1.6. ALTERNATIVAS CENTRO Y OESTE.....	79	6.2. ANÁLISIS DE RIESGOS.....	124

6.2.1.	RIESGOS DEBIDOS A LA LITOLOGÍA.....	124
6.2.2.	RIESGOS DEBIDOS A LA ESTRUCTURA GEOLÓGICA.....	125
6.2.3.	RIESGOS GEOMORFOLÓGICOS.....	125
6.2.4.	OTROS POSIBLES RIESGOS.....	126
6.3.	ESTIMACIÓN DEL RIESGO PARA EL ANÁLISIS MULTICRITERIO .....	127
6.3.1.	RIESGO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO. ....	127
6.3.2.	RIESGO HIDROGEOLÓGICO TÚNELES. ....	128
6.3.3.	RIESGO TOTAL. ....	128
<b>7.</b>	<b>CUADRO RESUMEN UNIDADES.....</b>	<b>128</b>

## APENDICES

### APÉNDICE 1. MAPA GEOLÓGICO 1:50.000

### APÉNDICE 2. MAPA GEOTÉCNICO 1:200.000

### APÉNDICE 3. MATERIAL AUXILIAR HIDROGEOLÓGICO

3.0: MAPA HIDROGEOLÓGICO 1:1.000.000

3.1. MAPA LITOESTRATIGRÁFICO Y DE PERMEABILIDADES A ESCALA 1:200.000 (IGME)

3.2. MAPA HIDROGEOLÓGICO A ESCALA 1:200.000 (IGME)

3.3. MAPA DE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA

3.4. MAPA INVENTARIO PRELIMINAR DE PUNTOS DE AGUA

3.5. LISTADO INVENTARIO PRELIMINAR DE PUNTOS DE AGUA

3.6. FICHAS DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA E. I. AGUILAR-REINOSA

3.7. FICHAS ORIGINALES DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA DE ORGANISMOS OFICIALES

3.8. FICHAS DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA PROPIO DE ESTE ESTUDIO

3.9: MEMORIA DEL ESTUDIO Y SEGUIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LOS TÚNELES DEL TRAMO ALAR DEL REY – AGUILAR DE CAMPOO. LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA – SANTANDER, AECOM (2019)

3.10: PRIMER INFORME DE SEGUIMIENTO DEL ESTUDIO Y SEGUIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LOS TÚNELES DEL TRAMO ALAR DEL REY – AGUILAR DE CAMPOO. LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA – SANTANDER, AECOM (2019)

### APÉNDICE 4. PLANTA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

### APÉNDICE 5. PERFILES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS DE TÚNELES

### APÉNDICE 6. REGISTRO DE INVESTIGACIONES RECOPIADAS

6.1. ESTUDIO INFORMATIVO. LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD: PALENCIA – SANTANDER. TRAMO: ALAR DEL REY-SANTANDER

6.2. PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN AUTOVÍA PALENCIA - CANTABRIA. TRAMO PK 105,4 - 112

6.3. PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN AUTOVÍA PALENCIA - CANTABRIA. TRAMO PK 112 - 120

6.4. PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN AUTOVÍA PALENCIA - CANTABRIA. TRAMO PK 120 - 140

6.5. ESTUDIO INFORMATIVO DEL PROYECTO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA – SANTANDER. TRAMO: VILLAPROVEDO – REINOSA. FASE B. 1:5.000

### APÉNDICE 7. RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO RECOPIADOS

7.1. ESTUDIO INFORMATIVO. LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD: PALENCIA – SANTANDER. TRAMO: ALAR DEL REY-SANTANDER

7.2. PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN AUTOVÍA PALENCIA - CANTABRIA. TRAMO PK 105,4 - 112

7.3. PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN AUTOVÍA PALENCIA - CANTABRIA. TRAMO PK 112 - 120

7.4. ESTUDIO INFORMATIVO DEL PROYECTO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA – SANTANDER. TRAMO: VILLAPROVEDO – REINOSA. FASE B. 1:5.000

### APÉNDICE 8. FICHAS DE ESTACIONES GEOMECÁNICAS

### APÉNDICE 9. MATRIZ DE RIESGOS

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO

El objeto del presente Anejo es el estudio geológico-geotécnico de las alternativas existentes en cada uno de los tres tramos en que se ha dividido el trazado, dentro del Estudio Informativo.

*La tramificación del ámbito de estudio e identificación de alternativas es la siguiente:*

El inicio del tramo se sitúa en el entorno de Nogales de Pisuerga, en el punto de conexión con el trazado del “Proyecto de Construcción de Plataforma de la Línea de Alta Velocidad Palencia-Aguilar de Campoo. Tramo: Calahorra de Boedo-Alar del Rey”, que actualmente se encuentra en fase de redacción.

La conexión al final del tramo se establece antes del cruce con el río Híjar, previo a la estación de Reinosa. El área de estudio se ha dividido en tres ámbitos geográficos ([Figura 1](#)), atendiendo a las diferentes condicionantes que deben cumplirse en el diseño de cada uno de ellos:

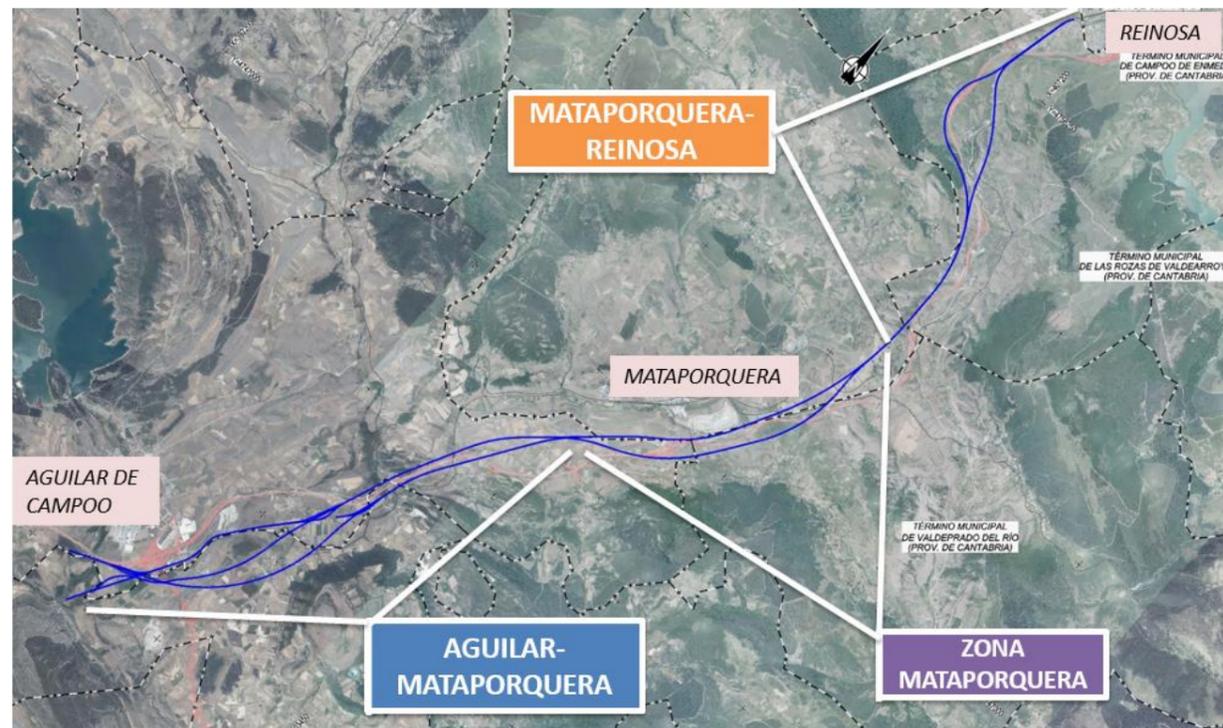


Figura 1. División en tramos del trazado objeto de estudio

Ámbito Nogales-Mataporquera: Tramo 1: se contemplan tres alternativas y el By-Pass de Aguilar con la consiguiente remodelación de la estación de Aguilar.

- Alternativa Oeste
- Alternativa Centro
- Alternativa Este

Ámbito Mataporquera: Tramo 2: se han definido dos alternativas:

- Alternativa Oeste
- Alternativa Este

Ámbito Mataporquera – Reinosa; Tramo 3: se han definido dos alternativas:

- Alternativa Oeste
- Alternativa Este

Como primer paso, se ha homogeneizado y reinterpretado la información geológica disponible. Posteriormente, se han cartografiado a escala 1:10.000 las zonas no cubiertas por proyectos anteriores, mediante fotointerpretación sobre esteropares y comprobación de campo.

Se ha realizado una cartografía de campo especialmente detallada centrada esencialmente en los grandes desmontes y túneles propuestos, ya que los que coinciden con los antecedentes de este estudio informativo estaban ya estudiados.

Se ha consultado toda la información de proyectos y estudios previos.

A modo de resumen, en este Anejo se describen los siguientes aspectos:

- Descripción de los aspectos geológicos e hidrogeológicos generales y de la zona de estudio en concreto.
- Definición de las unidades geoestructurales y litológicas reconocidas en la zona de estudio.
- Síntesis de las unidades afectadas agrupadas en unidades geotécnicas.
- Determinación cualitativa de los riesgos geológicos que pueden afectar a las unidades así definidas y clasificación de las unidades litoestratigráficas en función de ellos.
- Estimación del porcentaje de aprovechamiento de materiales excavados.
- Estudio hidrogeológico general y específico de los túneles, cuya base es el Estudio Hidrogeológico realizado por el ADIF entre Alar del Rey y Aguilar de Campoo en 2019.

### 1.1. METODOLOGÍA

La zona de proyecto fue estudiada previamente en varios proyectos ferroviarios y de carreteras. El punto de partida para la realización del presente anejo ha sido, por tanto, la recopilación y análisis de la información existente sobre la zona objeto de estudio. Se ha contado con

información de campañas geotécnicas previas realizadas en la zona, pertenecientes a los antecedentes que se indican en el punto 1.2.

Además, se han realizado recorridos de campo y cartografía con el fin de reconocer la litología y características de las formaciones existentes en todo el recorrido, zonas con alguna particularidad, y especialmente en las zonas de túneles.

Todo ello se ha recogido en una cartografía geológica (escala 1:5.000 en A3), la cual se incluye en el Apéndice 4. En el Apéndice 5 se presenta el perfil geológico interpretado de los túneles.

## 1.2. BIBLIOGRAFÍA

### 1.2.1. Bibliografía específica

- Proyecto de Construcción Autovía Cantabria - Meseta, N-611 de Palencia a Santander. PK 140 al PK 120. Tramo: Reinosa (N)– Límite de Palencia. SYNCONSULT S.L. 1999.
- Proyecto de Construcción Autovía Cantabria – Meseta, N-611 PK 112 al 120. Tramo: Aguilar de Campoo– Límite de Cantabria. UTE EYSER ECOPIISA, 2000.
- Proyecto de Construcción Autovía Cantabria – Meseta, N-611 PK 105 al 112. Tramo: Aguilar de Campoo N – Aguilar de Campoo S. EUROCONSULT S.A., 2002.
- Estudio Informativo del Proyecto de la Línea de Alta Velocidad Venta de Baños-Santander. Tramo: Alar del Rey-Santander. ETT, 2003.
- Proyecto de Construcción. Autovía A-73. Burgos- Aguilar de Campoo. Tramo Bascones de Valdivia-Aguilar de Campoo. Carretera N-627 de Burgos a Reinosa. PK 56.25 al 61.96. Provincia de Palencia. TECOPYSA, 2008.
- Estudio Informativo del Proyecto de la Línea de Alta Velocidad Palencia-Santander. Tramo: Villaprovedo\_Reinosa. Fase A 1:25.000. INECO, 2009.
- Estudio Informativo del Proyecto de la Línea de Alta Velocidad Palencia-Santander. Tramo: Villaprovedo\_Reinosa. Fase B 1:5.000. INECO, 2010.
- Estudio Informativo del proyecto de la línea de alta velocidad Palencia – Alar del Rey. INECO, 2018.
- Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo. Línea de Alta Velocidad Palencia – Santander. Estudio Hidrogeológico. AECOM, 2019.
- Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo. Línea de Alta Velocidad Palencia – Santander. Primer Informe de Seguimiento AECOM, 2019.

### 1.2.2. Bibliografía general

- Gibbons, W; Moreno, T. (eds.). 2002. The Geology of Spain. The Geological Society. London.
- Vera, J.A. (2004): Geología de España. SGE-IGME, Madrid
- Mapa Tectónico de España, escala 1:2.000.000. SGE-IGME, 2004.
- Mapa Geológico de España (MAGNA) del IGME, escala 1/50.000, Barruelo de Santullán, hoja nº 107.
- Mapa Geológico de España (MAGNA) del IGME, escala 1/50.000, Las Rozas, hoja nº 108.
- Mapa Geológico de España (MAGNA) del IGME, escala 1/50.000, Prádanos de Ojeda, hoja nº 133.
- Mapa Geológico de España (MAGNA) del IGME, escala 1/50.000, Polientes, hoja nº 134.
- Mapa Geológico de España del IGME, escala 1:200.000, Reinosa, hoja nº 11.
- Mapa Litoestratigráfico y de Permeabilidades del IGME, escala 1:200.000, marzo de 2005.
- Plan Hidrológico de la Cuenca del Duero. DGOH-ITGE, 1988.

## 2. ENCUADRE GEOLÓGICO

La zona de estudio se encuadra en la zona sur de la Cordillera Cantábrica, en su parte mesozoica o Cuenca Vasco-Cantábrica, incluyendo también el sector más septentrional de la Cuenca del Duero, justamente en contacto con la Cuenca Vasco-Cantábrica.

Esta última incluye el oeste de Navarra, País Vasco, norte de Burgos y Palencia, gran parte de Cantabria y pequeñas zonas de Asturias. Estructuralmente está formado por tres dominios, dos de los cuales se encuentran afectados por la zona de estudio, denominados Plataforma Norcastellana y Surco Navarro-Cántabro (Figura ).

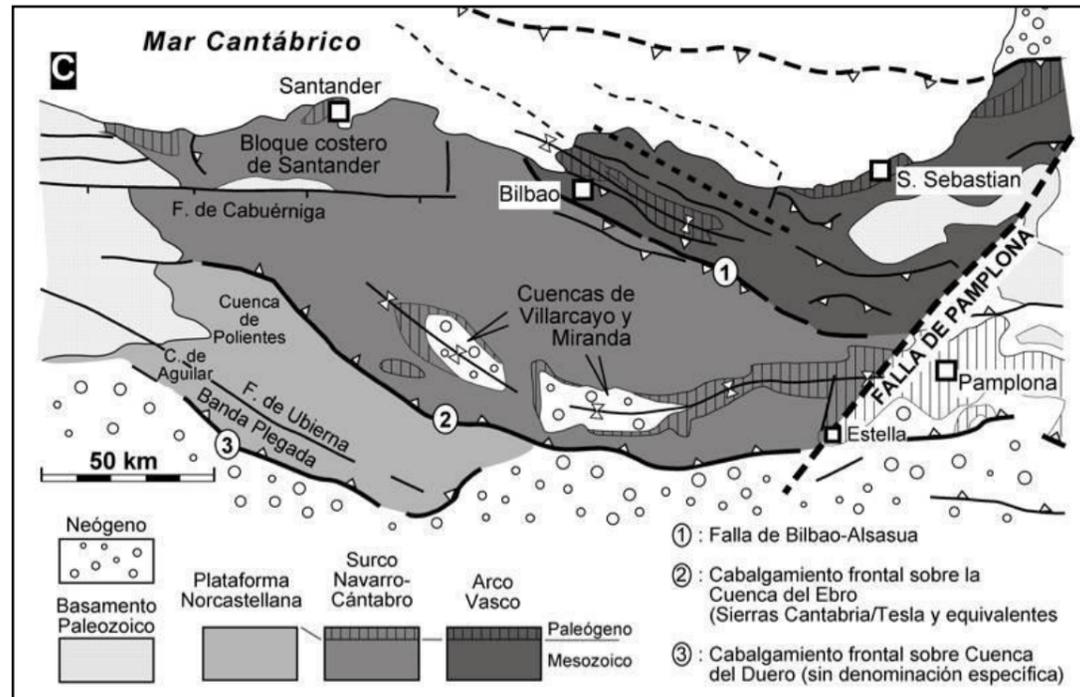


Figura 2. Esquema de división estructural de la Cuenca Vasco-Cantábrica según Vera, j.a. (2.004).

La naturaleza de los materiales es predominantemente carbonatada, aunque hay importantes formaciones detríticas. Sus edades oscilan entre Triásico inferior (areniscas del Buntsandstein) y Cretácico superior (calizas del Santoniense).

Los materiales mesozoicos se estructuran según unas directrices tectónicas NO-SE, aunque existen también estructuras de menores dimensiones según NNE-SSO. La zona también presenta una importante tectónica diapírica que se manifiesta en las extensas áreas de arcillas del Keuper y ofitas de las zonas de Aguilar de Campoo y de Reinosa.

El contacto de estos materiales con los detríticos de la Cuenca del Duero, es mediante una falla inversa o cabalgamiento, que presenta un salto notable que condicionó una importante acumulación de sedimentos del Terciario en el borde septentrional de la Cuenca del Duero.

Además, cabalgamientos intra-mesozoicos de menor entidad (despegados a favor de las formaciones margosas del Cretácico) han sido reconocidos en este trabajo dentro de la zona estudiada. Algunos de ellos no habían sido detectados ni en la cartografía MAGNA ni en los estudios y proyectos anteriores.

La configuración actual del relieve se debe a un rejuvenecimiento del mismo en el Plioceno, cuando las cuencas edorréicas terciarias de Iberia se abrieron al Mediterráneo y al Atlántico, por erosión remontante de la Cordillera Costera Catalana y el Macizo Hercínico, generándose las cuencas del Ebro y del Duero, respectivamente. Asociado a este cambio morfológico, acaeció un cambio climático de manera que se instaló un sistema fluvial, primero en forma de abanicos aluviales, para jerarquizarse posteriormente a la situación actual. Este encajamiento de la red fluvial genera los abundantes depósitos aluviales y de terrazas que aparecen en los valles de esta parte de la Cordillera Cantábrica.

### 2.1. CUENCA VASCO-CANTÁBRICA

Desde el punto de vista estratigráfico, la denominación de la región situada entre la Cordillera Cantábrica y el Pirineo como Cuenca Vasco-Cantábrica es correcta, ya que durante el Mesozoico se depositaron en ella importantísimos espesores de sedimentos marinos de plataforma y continentales, dado el régimen tectónico de extensión y sin procesos orogénicos que predominó en la placa Ibérica desde finales del Paleozoico hasta comienzos del Terciario, de más de 230 Ma de duración. Sin embargo, desde el punto de vista estructural, la región es la continuación hacia el oeste de la cordillera alpina de los Pirineos, cuyas manifestaciones más occidentales se encuentran en Galicia. Desde este punto de vista, es más propio llamarla Pirineo Vasco-Cantábrico o Pirineo Occidental.

Durante todo el Mesozoico, se produjo subducción moderada de corteza oceánica bajo la placa Ibérica a lo largo de una zona de subducción actualmente bajo las aguas del Mar Cantábrico. Las estructuras mayores durante todo ese dilatado periodo fueron fallas normales y de desgarre, que generaron fosas y altos o *grabne* y *horst* donde se depositaron grandes espesores de sedimentos continentales y marinos. Todo ello sobre una corteza continental adelgazada que a comienzos del Terciario tenía características de un rift incipiente, posteriormente abortado.

La tectónica extensional continuó al menos hasta el Jurásico Superior- Cretácico Inferior (125-145 Ma), quedando registrada por la sedimentación continental de las facies Purbeck y Weald en varias cuencas sedimentarias circundadas por grandes fallas normales, entre ellas la Cuenca Vasco-Cantábrica.

Durante el Cretácico Superior, una extensa transgresión procedente del este (océano Thetis), invadió más de la mitad de Iberia, depositando potentes series de calizas, dolomías y margas marinas. El mar se retiró definitivamente al finalizar el Cretácico, siendo la denominada facies Garumn, de características transicionales entre continental y marina, el testigo de este evento.

La Cuenca Vasco-Cantábrica se suele dividir en tres partes, separadas por accidentes tectónicos. Aquí adoptamos la división propuesta por Barnolas y Pujalte (en Vera, J. A. 2004), que se reproduce en la [Figura 2](#). La zona de estudio se adentra en el extremo sur-oriental de la Plataforma Norcastellana y el trazado atraviesa la Falla de Ubierna y la Banda Plegada.

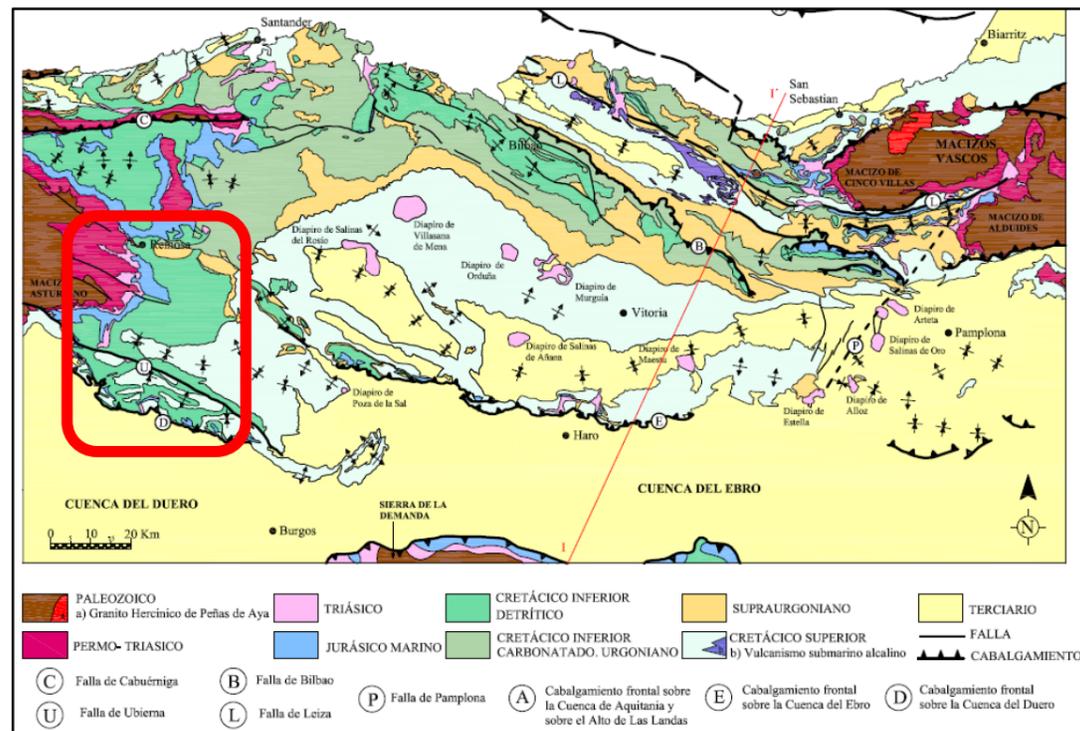


Figura 2. Esquema geológico correspondiente a la zona de estudio.

## 2.2. CUENCA DEL DUERO

La Cuenca del Duero es una cuenca intraplaca de evolución compleja, que comenzó a definirse a finales del Cretácico, hace unos 65 Ma y que se ha venido rellenado de sedimentos procedentes de las cadenas montañosas que la rodean. Durante tan dilatado periodo de tiempo, la Placa Ibérica experimentó diversos movimientos y rotaciones, migrando desde los 30º de latitud hasta los 40º de media actual. Diversos eventos tectónicos fueron los responsables de tal deriva y de la formación de las cadenas montañosas que la circundan:

- Convergencia Placa Ibérica-Placa Europea
- Apertura del Gofu de Vizcaya por un proceso de *rifting* intracontinental

- Colisión Placa Ibérica-Placa Africana
- Inversión por movimiento de fallas verticales (*horst* y *graben*) de las cuencas circundantes Vasco-Cantábrica y Pirenaica. Elevación del Sistema Central. Elevación de la Cordillera Cantábrica

Tales eventos, que en su conjunto constituyen la Orogenia Alpina en la Península Ibérica, tuvieron una gran importancia en el relleno de la cuenca, ya que éste se produjo simultáneamente a la elevación de las cadenas montañosas que la bordean: La Cordillera Cantábrica, el Sistema Ibérico y el Sistema Central. Cada pulso tectónico compresivo produjo sucesivas elevaciones en el cinturón montañoso, que tuvieron reflejo en los cambios producidos en el clima y en la sedimentación del relleno.

A finales del Cretácico, la zona aún permanecía sumergida en las aguas del mar Thetis, era una plataforma continental poco profunda con periodos de emersión ocasionales. El clima era tropical húmedo. A partir de entonces, el mar se retira definitivamente hacia el Este, y los sedimentos marinos son gradualmente cubiertos por sedimentos detríticos continentales procedentes del Oeste. Posteriormente, durante el Paleoceno y el Eoceno (34-65 Ma), la convergencia Placa Ibérica-Placa Europea produce grandes fallas que generan un relieve de fosas y altos o en *horst* y *graben*. Las zonas deprimidas (*graben*) se llenan rápidamente de sedimentos fluviales gruesos. El clima cambia gradualmente a subtropical cálido con periodos de aridez.

La Cuenca del Duero se generó como una cuenca continental endorreica (sin salida al mar), y así permaneció durante casi 60 millones de años, hasta hace unos 1.8 Ma, cuando, de manera gradual, la cuenca se abre progresivamente hacia el Atlántico sin intervención de la tectónica, por retroceso de cabecera de los ríos, formándose así el valle del Duero. Desde entonces, la Cuenca está en periodo de erosión.

En la zona de estudio solo aparece, en su margen meridional, el borde norte de la Cuenca del Duero. Está formada por sedimentos fluviales detríticos gruesos, tales como gravas, arenas y limos, que en algún caso se encuentra fuertemente cementados (conglomerado de la facies Alar del Rey). Dada su proximidad a la Cordillera cantábrica, se encuentran ligeramente afectados por la tectónica alpina.

### 3. GEOLOGÍA DE LA ZONA DE ESTUDIO

#### 3.1. ESTRATIGRAFÍA Y LITOLOGÍA

La Cuenca Vasco-Cantábrica incluye materiales mesozoicos que constituyen la cobertera deformada por los movimientos alpinos, y depósitos cuaternarios recientes, principalmente aluviales y coluviales, fruto del encajamiento de la red fluvial y de la activa dinámica de laderas en un entorno de fuerte relieve como este.

El corredor estudiado presenta un amplio rango de formaciones estratigráficas con una distribución temporal entre los pisos Triásico Inferior (areniscas del Buntsandstein) hasta el Cuaternario actual (depósitos de llanura aluvial). Se han agrupado las unidades estratigráficas de acuerdo con el objetivo general del estudio. A continuación, se describen las distintas formaciones litoestratigráficas, de más antigua a más moderna.

##### 3.1.1. Triásico

##### 3.1.1.1. Triásico Inferior en Facies Buntsandstein: T1.

Esta formación constituye una secuencia detrítica grano-decreciente que presenta espesores importantes, del orden de 400 m e incluso más. En ella se pueden diferenciar varios tramos que de muro a techo son:

- Conglomerados silíceos bien cementados. En ocasiones presentan paquetes representables a escalas pequeñas (1:25.000), como los situados en la ladera norte del pico Cuesta Labra al SO de Reinosa.
- Un tramo intermedio de areniscas cuarcíticas de grano medio a grueso bien cementadas, que pasan a areniscas de grano fino y a limolitas hacia techo, en colores rojos, marrones rojizos y ocasionalmente blanquecinos. Presentan abundante cemento ferruginoso que les proporciona su característica coloración.
- Un tramo superior de lutitas rojizas laminadas, donde se aprecian limolitas con estructura laminada y argilitas de aspecto masivo o laminado.

El tránsito entre estos materiales es gradual, de manera que se intercalan lutitas entre las areniscas y viceversa, y en zonas cubiertas su identificación y cartografía resulta complicada.

Los términos basales del Buntsandstein se interpretan como el resultado de la sedimentación de sistemas de abanicos aluviales que rellenan grandes fosas tectónicas delimitadas por fallas sin-sedimentarias. En cambio, la parte superior de la serie se depositó a partir de los sistemas fluviales que transportaban los productos de erosión del Orógeno Hercínico, en un clima continental árido, lo cual explicaría la abundancia de hierro fijado en forma de óxidos rojos como cemento pelicular en los materiales detríticos del Buntsandstein.

Esta facies aparece puntualmente en la zona del proyecto sobre el extremo norte del corredor, en el valle donde se sitúa Reinosa, en forma desestructurada y con grandes bloques aislados de

dimensiones plurimétricas a hectométricas, inmersos en la masa diapírica del Keuper, fruto del desmembramiento de la unidad durante el emplazamiento de los cabalgamientos a favor del nivel de despegue constituido por el Keuper. En el contacto con esta unidad están descritas unas facies brechoides, relacionadas con el emplazamiento mecánico de estos bloques.

También aparece en una zona altamente tectonizada al N de Hormiguera que es atravesada por la Alternativa Este, aunque los afloramientos son escasos y solamente el ojo experto del geólogo es capaz de distinguirlos.



Figura 3. Detalle de las areniscas cuarcíticas de la Unidad T1.



Figura 4. Afloramiento de areniscas de la Unidad T1.

### 3.1.1.2. Triásico Superior en Facies Keuper: T2

Tiene gran importancia en la tectónica regional, ya que constituye un nivel de despegue del conjunto sedimentario mesozoico de la Cuenca Vasco-Cantábrica sobre la Cuenca del Duero.

La Facies Keuper está formada por las típicas arcillas abigarradas de colores rojos, verdes y grises, apareciendo intercalaciones ocasionales de yeso y anhidrita en profundidad (existen explotaciones de yeso al suroeste de Reinosa, en el Izara, y en Aguilar de Campoo). Las arcillas aparecen fisuradas y en los metros más superficiales se encuentran alteradas. Dada su escasa competencia, aparecen siempre desestructuradas, como diapiros o masas muy tectonizadas en la base de los cabalgamientos. En el área del proyecto presenta un contacto mecanizado tanto con las facies Buntsandstein, que aparecen en el muro, como con los materiales carbonatados del Jurásico, que lo hacen a techo. Su comportamiento es de tipo halocinético, como lo demuestra el hecho de que aparezcan bloques de rocas volcánicas, calizas del Muschelkalk y jurásicas englobados en su interior. Las arcillas del Keuper no presentan una estructura definida al tratarse

de una roca blanda o suelo con un comportamiento plástico; es una litología fácilmente erosionable con problemas de estabilidad en los taludes de la zona.

Raramente aparece yeso, ya que se ha disuelto en superficie, aunque si aparece en los testigos de sondeo. La Memoria de la hoja MAGNA 133 cita un paquete de espesor decamétrico de yesos nodular y laminado en la zona de Aguilar de Campoo: *“Los términos inferiores están representados por margas verdosas yesíferas, con niveles de yesos nodulosos que pasan a una alternancia entre margas y yesos laminados con abundantes cristales de cuarzo bipiramidal. Los términos superiores evidencian una mayor energía en el medio puesta de manifiesto por yesoarenitas con estratificación de tipo lenticular (linsen), ondulante (wavy) y flasher a techo. Los ripples están generados por oleaje y son frecuentes las estructuras de deformación hidrolástica y de escape de fluidos. Asociados a estas facies tractivas pueden preservarse ocasionalmente algunos delgados intervalos de margas yesíferas con abundante materia orgánica.”*

También pueden tener ocasionalmente niveles de delgados de dolomías oquerosas.

En los metros más superficiales, la unidad se presenta bastante alterada. En superficie, es una litología fácilmente erosionable con problemas de estabilidad en los taludes de la zona. La presencia esporádica de yeso hace conveniente estudiar su probable agresividad al hormigón. En suma, se trata de una unidad a evitar en lo posible.

El medio sedimentario, origen de estas facies, corresponde a un medio de laguna salada o albufera en condiciones climáticas áridas, con depósito de sales abundantes, en particular yeso. Se han depositado en un ambiente lagunar muy árido, en tránsito a una llanura fangosa circunlitoral. Las dolomías y los yesos representan secuencias de llanuras salinas tipo *sebha*, similares a las que hoy en día pueden verse en la costa árabe del Golfo Pérsico. El texto citado dice: *“Las facies arcillosas se enmarcan en un ambiente lagunar a llanura fangosa circunlitoral. Los depósitos yesíferos del techo de la unidad pertenecen a un «lagoon» costero hipersalino y se organizan en ciclos de energía creciente en un ambiente supra a intermareal, («sabkha» costera con subambientes lagunares).”*

Muy abundantes son las masas de rocas subvolcánicas, que corresponden a términos doleríticos de un magmatismo toleítico intraplaca y denominadas tradicionalmente ofitas, emplazadas como sills. Estos materiales, en superficie, se encuentran muy alterados, presentando colores verdosos y negruzcos.

La formación aparece con profusión en el corredor, en las planicies donde se sitúan Aguilar de Campoo y Reinosa, también bajo los depósitos aluviales de los ríos Pisuerga, Camesa, Híjar y Ebro. Muy abundantes son también entre Reinosa y Aguilar de Campoo, en la vertiente oeste del corredor. En estas zonas las áreas de afloramiento son extensas y los bloques de ofitas y calizas triásicas son numerosos y de grandes dimensiones.

Al sur de Aguilar los afloramientos de arcillas son más escasos, y están limitados a las superficies de los cabalgamientos de las distintas unidades. En estas áreas las ofitas tienen una presencia muy escasa.



Figura 5. Panorámica de facies Keuper de la Unidad T2.

Los afloramientos siguen el trazado de la denominada *Falla de Ubierna* (Figura 2), que pasa por Villescusa de las Torres-Aguilar de Campoo, y también del cabalgamiento frontal, que pasa por Villela-Becerril del Carpio. Ambas alineaciones son zonas a considerar con detenimiento, ya que la formación T2 se ha encontrado bajo los materiales cuaternarios (en sondeos), con el consiguiente riesgo geotécnico.

### 3.1.1.3. Diabasas y doleritas "Ofitas" del triásico superior: T3.

Esta unidad está formada por masas de rocas subvolcánicas, correspondientes a términos doleríticos de un magmatismo toleítico intraplaca. Este vulcanismo está ligado a la distensión y fracturación generados en las primeras etapas de la apertura del Atlántico.

Las ofitas aparecen como masas aisladas incluidas en las arcillas versicolores de la unidad T2. Originalmente estuvieron interestratificadas entre las arcillas formando cuerpos lenticulares o *sills* (incluso produjeron un leve metamorfismo térmico en las mismas), pero debido a la intensísima deformación se han desmembrado en masas más o menos grandes y más o menos alteradas, dispersas dentro de las lutitas.

Estos materiales, en superficie, se encuentran muy alterados, presentando colores verdosos y negruzcos. La ofita fresca está compuesta principalmente por plagioclasa, piroxeno, olivino, y anfíbol y biotita minoritarios. Frecuentemente tienen la típica textura ofítica en la que los minerales aciculares se entrecruzan dando a esta roca su tenacidad característica, tenacidad que

desaparece al alterarse, incluso con bajo grado de alteración, generándose minerales secundarios como la calcita, epidota y clorita, y zeolitas si la alteración fue hidrotermal.

Donde no están alterados, son objeto de explotación, ya que constituyen una excelente materia prima para áridos de machaqueo. Por ejemplo, en la cantera de Matarrepudio, en el ámbito de Mataporquera.

La formación aparece con profusión en planicie donde se sitúa Reinoso, al este del municipio de Cervatos, así como en la cantera abandonada de áridos de Matarrepudio.



Figura 6. Contacto entre las ofitas de la Unidad T3, (color oscuro, a la izquierda), y las facies Keuper de la Unidad T2.



Figura 7. Detalle de las ofitas de la Unidad T3, roca fresca.

### 3.1.2. Jurásico

Las series jurásicas de la zona de estudio son de naturaleza carbonatada y mixta, lutítica o margosa – carbonatada, y origen marino o de medios de transición. Presentan unos espesores importantes de varios cientos de metros, y aparecen en todas las unidades geoestructurales a las que afecta el corredor, pero predominantemente en la zona de Becerril del Carpio, al E y NE de Aguilar de Campoo y en zona del Pozazal, al S de Reinosa.

Dentro del Jurásico se pueden distinguir cinco unidades denominadas J1, J2, J3, J4 y J5 que se describen a continuación:

#### 3.1.2.1. Calizas color crema y gris tableadas, dolomías oquerosas (carniolas) y calizas y dolomías bioclasticas: J1

Aparece en contacto, habitualmente fallado o al menos mecanizado, con las Facies Keuper y presenta una edad de Jurásico Inferior, aunque no es descartable que en su base esté representado el Triásico Superior (Rethiense). Se pueden distinguir cuatro tramos litológicos distintos, que de base a techo son:

#### **Tramo inferior: Calzas detríticas color crema y gris-negro, bien estratificadas,**

Quizás del Rethiense, el límite Triásico-Jurásico se encuentra probablemente dentro de esta unidad.

Según la Memoria 133 del MAGNA “son calizas y dolomías de color gris y de característico aspecto tableado en capas centimétricas a métricas. Es frecuente observar la presencia de estratificación ondulada del tipo «wavy», así como de laminaciones de algas, que a veces toman forma de estramotolitos dómicos de orden centimétrico” ... “Las calizas dolomías tableadas que constituyen la mayor parte del tramo intercalan algunos niveles de calizas nodulosas y con contactos ondulados producidos por estratificaciones cruzada de tipo «hummocky» y «swaley». Como componentes faunísticos destaca la presencia de bivalvos, particularmente abundantes en un nivel margo-calcáreo lajoso situado a mitad del tramo. Se observan también fragmentos de equínidos, crinoídes, gasterópodos y foraminíferos. La dolomitización es de tipo secundario y afecta de una manera variable en intensidad a diferentes niveles del tramo, observándose en ocasiones dedolomitizaciones” ... “se observan potencias mínimas visibles entre los 50 y 100 m” ...” Culmina la unidad un conjunto bioclástico y oolítico con superficies ferruginosas, las cuales se relacionan con un importante hard-ground que acota la unidad a techo “. Según nuestras propias observaciones de campo, las calizas bien estratificadas, incluso tableadas, de color claro y claramente detríticas (biocalcareónicas), predomina en la parte baja de esta subunidad, mientras que las calizas grises oscuro, ligeramente fétidas, con potencia métrica banco, forman los 20-30 m superiores de la subunidad.

Genéticamente, estas dolomías tableadas se depositaron en un ambiente de plataforma marina muy somera, en la zona intramareal a submareal, con corrientes de oleaje y tidales, en clima árido.

Debido a que se encuentran erosionadas en su techo, o también por motivos tectónicos en ciertas zonas este tramo inferior no aparece, comenzando así la unidad J1 con el Tramo descrito a continuación.

#### **Tramo medio: Carniolas**

Conjunto dolomítico con aspecto cavernoso y oqueroso (carniolas). Se trata de dolomías sacaroideas recristalizadas y masivas en colores ocres, muy características y que constituyen un buen nivel-guía. Se deposita de manera discordante, ya que existe un hiato sedimentario con la subunidad infrayacente. Son dolomías y calizas dolomíticas cristalinas oquerosas brechas dolomíticas y dolomías laminadas minoritarias. Las oquedades y la porosidad de esta formación son secundarias, por disolución de cristales de yeso y otras sales que contuvieron originalmente. Las brechas son de colapso, también por disolución de capas potentes de evaporitas. Las dolomías tableadas fueron originalmente calizas con laminación algal, laminación que desaparece cuando la dolomitización ha sido intensa. El espesor de este tramo oscila entre los 75 los 100 m.

Su origen es de plataforma costera salina o *sebha* en condiciones supramareales a intramareales.

La poca competencia de este tramo hace que sirva a veces como nivel secundario de despegue de los cabalgamientos, por lo que no aparece donde eso ocurre.

Las carniolas representan depósitos de llanura salina costera o *sebha*, correspondiendo algunos de los huecos que presentan a la disolución de antiguos cristales de sal.

- Calizas oscuras estratificadas en bancos gruesos y bastantes fracturadas. Aparecen en niveles dolomíticos formando plaquetas. Presentan colores negros que indican un alto contenido en materia orgánica y en ocasiones se ha observado asfalto contenido en pequeñas fisuras.
- Brechas calcáreo-dolomíticas intraformacionales, generalmente cavernosas y por tanto muy porosas.
- Paquete de calizas microcristalinas de color gris, estratificadas en bancos gruesos (30 a 80 cm) con interbancos margosos delgados, que hacia techo se hacen más patentes y más apretados, en claro tránsito a la unidad litológica superior (J2).

Representan el inicio de la secuencia transgresiva del Jurásico y corresponden a depósitos de plataforma interna.



Figura 8. Vista de las calizas grises de la Unidad J1 al W de Valoria de Aguilar.

En cuanto a la estructura del macizo de carniolas, se trata de una litología masiva donde frecuentemente se hace difícil la búsqueda de planos de estratificación. En general, no existen familias de discontinuidades bien definidas y las juntas presentan orientaciones que responden más a la estructura brechoide del macizo que a una determinada familia de discontinuidades. Las discontinuidades son de muy baja persistencia y de superficies rugosas y muy irregulares. En conjunto la roca presenta un aspecto brechoide, con numerosos huecos lo que le confiere una permeabilidad alta. No obstante, la resistencia de la roca es buena.

Cuando no existe la subunidad descrita más arriba, y las carniolas yacen directamente sobre T2, el contraste de permeabilidad entre el Keuper infrayacente y esta unidad favorece el flujo de agua freática preferencial a lo largo del contacto entre ambas unidades, como lo constata la existencia de numerosas fuentes asociadas a dicho contacto.

Esta unidad puede presentar una karstificación elevada, con desarrollo en superficie de formas exokársticas como torcas.

Su potencia es difícil de calcular, ya que frecuentemente está tectonizado. El MAGNA cita de 75 a 100 m. Nosotros hemos medido unos 45 m al SW de Aguilar de Campoo.



Figura 9. Vista de las carniolas de la Unidad J1.



Figura 10. Detalle de las carniolas de la Unidad J1.

#### Tramo superior: Calizas y dolomías

El tramo alto es más competente que los dos anteriores, por lo cual está menos afectado por los cabalgamientos y aflora mejor. Según la descripción de la memoria 133 del MAGNA: "La unidad culmina con un conjunto de aspecto tableado, pero que presenta una mayor variedad litológica que el tramo inferior de aspecto bastante homogéneo. Junto a calizas y dolomías de espesores centimétricos a métricos con predominio de las capas decimétricas y texturas grainstone a wackestone con presencia de granos de cuarzo, que presentan morfologías de barras, estratificaciones cruzadas de bajo ángulo, ripples de ola, etc., se intercalan calizas dolomíticas con texturas dominantes de tipo wackestone con laminaciones algales además de carniolas y dolomías brechoides. El tramo se compone de los intervalos de calizas dolomíticas tableadas por un tramo de dolomías laminadas algo acarnioladas".

En resumen, son calizas dolomíticas y dolomías de color gris oscuro, carentes de fauna, las cuales se encuentran estratificadas en bancos de 0,30 a 1,50 m de espesor, entre las que se intercalan delgados lechos de naturaleza margosa.

La potencia de este tramo es de 30 a 50 m.

#### 3.1.2.2. Caliza microcristalina y calizas masivas: J2

Está constituida por calizas microcristalinas, masivas y bien estratificadas de color gris claro. Entre los planos de estratificación aparecen intercalaciones margosas que se hacen más abundantes

hacia el techo, constituyendo la zona de transición a la unidad J3. Las microfacies dominantes son mudstone y wackestone en colores oscuros, aunque también abundan los términos grainstone y packstone con ooides, peloides y, sobre todo, numerosos bioclastos.

La unidad J2 es competente y los únicos problemas geotécnicos que podría presentar son la caída de bloques en taludes demasiado pendientes y la existencia de áreas fuertemente karstificadas, apareciendo tanto formas endokársticas como exokársticas de gran desarrollo, especialmente en la zona del puerto de Pozazal.

Desde el punto de vista genético, la unidad corresponde a una transgresión marina generalizada durante el Sinemuriense superior, que siguió a una época de no-deposición. Las calizas microcristalinas y bien estratificadas corresponden a un medio marino de plataforma continental externa, relativamente profunda, con circulación restringida, que en algunos momentos es incluso euxínica, lo que favoreció la existencia de materia orgánica abundante.



Figura 11. Caliza masiva de la Unidad J2



Figura 12. Calizas microcristalinas bien estratificadas de la Unidad J2.

### 3.1.2.3. Alternancia de margocalizas calizas y margas: J3

Se trata de un conjunto de bancos calizas tableadas y margas, de espesor decimétrico. La caliza es color gris-crema, con intraclastos y ocasionalmente, pequeños cristales cúbicos de pirita.

El contacto con la unidad inferior es gradual y en ocasiones difícil de precisar, mientras que a techo siempre mantienen un contacto con la unidad suprayacente mediante una discordancia sedimentaria. Esto se debe a que en la parte final de la unidad se produce una interrupción en la sedimentación que da lugar a hard-ground, no siempre visible.

El tramo inferior de la unidad está formado por un nivel calcáreo gris en el que las capas presentan bases erosivas y están formadas por micritas fosilíferas o biomicritas. El tramo superior de la unidad está formado por una alternancia de calizas y margas siendo éstas últimas más abundantes, mientras que hacia el techo de la unidad continúa la alternancia, pero predominando las calizas sobre las margas. Las margas tienen un alto contenido en materia orgánica, con presencia de sulfuros y sapropeles.

Por otro lado, la karstificación es menor, al tener una importante componente margosa, aunque se han visto pequeñas oquedades en las alternancias de calizas y margas, y cavidades métricas relacionadas con la disolución del material a partir de fallas o grandes diaclasas.

Esta unidad pertenece al Jurásico Inferior y Medio y sus depósitos se corresponden con un medio sedimentario de plataforma abierta pelágica. En esta formación se observa pirita, sobre todo en los términos de tonos más oscuros. Se estima que el conjunto tiene una potencia en torno a 350-400 m.



Figura 13. Margas y calizas del tramo superior de la Unidad J3

### 3.1.2.4. Alternancia de margas y calizas microcristalinas, con niveles de lutitas, margocalizas y calizas bioclásticas: J4

Está constituida por una alternancia de calizas y margas, de aspecto muy característico. Contiene tanto términos margosos y calizos potentes como alternancias de calizas y margas. Dentro de la serie aparecen términos de diversa composición: calizas arcillosas bien estratificadas, calizas margosas con indicios de laminación y margas hojosas. Éstas aparecen de forma alternante, variando su proporción relativa en función de su situación tanto geográfica como a lo largo de la serie.

El tramo inferior es una alternancia de materiales con un carácter muy heterogéneo que hace prácticamente imposible diferenciarlo en pisos, por lo que se cartografían en una única unidad, pese a que incluye al menos una interrupción o hiato sedimentario. Litológicamente se compone de alternancias de potencia decimétrica a métrica de calizas y margas, con predominio de las segundas.

El tramo medio es predominantemente margo-lutítico, de escasa potencia (7-10 m), el cual se pone de manifiesto como una zona deprimida o de relieve contrastado con los crestones de calizas del tramo basal, y las alternancias calizo-margosas del tramo superior del Dogger. La litología más característica se encuentra conformada por lutitas de color ocre que pasan a margas a techo y gran homogeneidad. Contiene cuerpos de areniscas cuarzosas.



Figura 14. Alternancia de margas y calizas con niveles de lutitas de la Unidad J4.



Figura 15. Detalle de las calizas fosilíferas de la Unidad J4.

La litología del tramo superior se corresponde dos bancos potentes de caliza separados por un nivel de marga, que dan resalte en el relieve, con una potencia máxima de unos 20 m para dicho superior, aunque normalmente se presenta con menos potencia. La caliza es gris claro y contiene espículas de espongiarios. La Memoria 133 del MAGNA lo describe detalladamente:

“Los términos calcáreos tienen un color gris claro y se presentan en capas con bases erosivas. En el nivel calcáreo superior, se aprecian estratificaciones cruzadas a muy gran escala y bajo ángulo” ...” el nivel superior de la unidad alcanza espesores en torno a la veintena de metros” ... “aunque estos engrosamientos de la barra superior tienen dimensiones laterales hectométricas acuñaándose y adquiriendo el aspecto y la potencia usual de este nivel superior entre 7 y 10 m. La intercalación margosa adquiere valores métricos con un máximo en torno a los 5 m. Esta intercalación margosa puede acuñaarse sedimentariamente hasta desaparecer, amalgamándose los dos niveles calcáreos. El nivel calizo inferior, también de orden métrico, alcanza valores comunes en torno a los 3-4m. Según esto la potencia más frecuente de la unidad es de 20-30 m, con valores máximos de 50 m” ...” El aspecto más destacable de la unidad es la presencia de fósiles de esponjas litíctidas, que se encuentran normalmente disgregadas dentro de las barras bioclásticas de la unidad”.

En su conjunto, la unidad J4 es una alternancia de capas duras y blandas, con una potencia variable de 110 a 130 m. Al igual que en otras formaciones anteriores, en los tramos potentes de caliza es frecuente la existencia de procesos de karstificación con carácter local.

### 3.1.2.5. Lutitas anaranjadas con niveles de conglomerados y areniscas con niveles de calizas y margas con lutitas a techo (Purbeck Inferior): J5

La facies Purbeck comparte características sedimentarias marinas y continentales debido al proceso de somerización acaecido a finales del Malm. Los ambientes sedimentarios corresponden a dos ciclos sedimentarios. El más antiguo depositó los denominados Grupo Campoo, continental, y Grupo Cabuérniga, continental y marino somero; y el más moderno, o Grupo Pas, de carácter fluvial y deltaico.

La génesis de esta formación continental y costera, que solapa bruscamente sobre las facies marinas del Jurásico anteriormente descritas, estuvo relacionada con un importante evento tectónico: La apertura del Golfo de Vizcaya por la creación de un *rift* intracontinental y el consiguiente giro antihorario de la Placa Ibérica con respecto a la Placa Europea. En las primeras etapas de *rift* se produjo un abombamiento cortical y la correspondiente etapa de regresión marina. El clima durante toda esa época era tropical húmedo, como lo demuestra la existencia de paleosuelos lateríticos durante las interrupciones sedimentarias.

En nuestra zona de estudio aparece del Grupo Campoo, representado por la Formación Aguilar, en la que predominan las calizas y margas lacustres.

Se trata de una compleja sucesión de materiales detríticos (areniscas, conglomerados y lutitas fluviales) y carbonatados, éstos últimos predominantemente en los tramos superiores, que según diversos autores se corresponde con una emersión de la cuenca de sedimentación. Cronológicamente la serie se sitúa en el tránsito Jurásico-Cretácico.

El tramo inferior está compuesto por lutitas anaranjadas, conglomerados poligénicos, areniscas y niveles calcáreos. La litología más característica de este tramo está constituida por materiales detríticos, entre los que destacan los conglomerados poligénicos de color ocre rojizo o anaranjado, coloración debida a la presencia de clastos carbonatados que han sufrido rubefacción en la etapa previa a la erosión y depósito del tramo. Su tamaño es decimétrico a métrico. Los términos lutíticos asociados a estas litologías detríticas groseras, muestran idénticas tonalidades, alcanzando potencias métricas a decamétricas. Así mismo, dentro de este tramo, también se han distinguido niveles calcáreos con lutitas versicolores, aunque porcentualmente son minoritarias respecto al resto de componentes que constituyen este nivel, alcanzando potencias entre 25 y 50 cm.

El tramo intermedio está constituido por calizas grises, margas, lutitas y niveles carbonosos. La litología más común de los materiales que constituyen este nivel está formada por calizas de colores predominantemente gris claro, aunque algunos niveles presentan tonos más oscuros debido a su elevado contenido en materia orgánica. Los términos margo-arcillosos presentes dentro de este nivel son poco importantes; únicamente a techo se observan una serie de tramos margo-arcillosos de mayor potencia.

El tramo superior es muy heterogéneo litológicamente, además, en este se encuentra situado el límite temporal entre el Jurásico y el Cretácico.

Está formado por margas, calizas lascustres, lutitas rojas y verdes, y areniscas. Entre los términos carbonatados de este tramo destacan los niveles margosos, de potencias centimétricas y decimétricas y color gris claro, observándose, en este sentido, todas las transiciones posibles entre calizas y margas.

Así mismo, los niveles calcáreos relacionados con este tipo de margas presentan dos tipos litológicos principales: calizas oncolíticas y calizas intraclásticas, con contactos ondulados, a veces erosivos. Presentan oxidaciones, rubefacciones, costras ferruginosas y perforaciones de raíces a techo de las capas. Otro componente litológico de este tramo es el formado por lutitas versicolores, de colores grises-blancos, verdosos y rojizos, formando espesores métricos a decamétricos, representando ciclos de oxidación-reducción palustres.

Por último, se observa la asociación de lutitas rojas y niveles arenosos de grano medio a grueso, bien cementados y color pardo, con bases canalizadas y estratificaciones cruzadas, correspondientes a ciclos fluviales.

Debido a las diferentes litologías que forman la unidad, la asignación de propiedades físicas o químicas a la misma es muy complicada. Por tanto, las propiedades geotécnicas y los riesgos geológicos son muy desiguales, dependiendo si se refieren a los términos calcáreos, lutíticos, areniscos o conglomeráticos.



Figura 16. Vista de un afloramiento de arenisca del tramo inferior de la Unidad J5.

### 3.1.3. Cretácico Inferior

Los materiales cretácicos se presentan muy extendidos en todo el corredor de estudio, con una variabilidad de facies, pero sobre todo de espesores entre el norte y el sur, fruto de la tectonización y compartimentación de la cuenca de sedimentación en este período.



Figura 17. Contacto entre las calizas del tramo superior de la unidad J5 y los materiales detríticos de la Unidad C1.

### 3.1.3.1. Areniscas y arcillas con niveles de conglomerados (Purbeck Inferior): C1

Estos materiales son abundantes, presentando espesores importantes y ocupando amplias superficies en el entorno de Pozazal. Las facies de los materiales de esta edad son distintas en las zonas sur (Valoria de Aguilar y Quintanilla de las Torres) y norte (Pozazal – Reinos).a).

La secuencia representativa en la zona del Pozazal comienza por una alternancia de arcillas rojas y areniscas calcáreas de grano medio a grueso, con algunas intercalaciones de conglomerados silíceos, más abundantes hacia muro (Jurásico marino). En la zona de Mataporquera aparece un nivel de calizas lacustres, cartografiable y de utilidad como nivel guía.

Hacia techo aparecen más niveles de calizas arcillosas lacustres con arcillas y margas, e intercalaciones de areniscas calcáreas que pasan lateralmente a calizas arenosas. Ocasionalmente puede haber niveles carbonosos poco importantes.

Las lutitas rojas y verdes con intercalaciones de arenas, presentan mayor desarrollo en las cercanías de Aguilar de Campoo (monte Bernorio), donde presentan niveles caoliníferos.

Los niveles de areniscas presentan estratificación cruzada y conglomerados basales, con cementos ferruginosos.



Figura 18. Afloramiento de la Unidad C1.



Figura 19. Detalle de la fotografía anterior

### 3.1.3.2. Arcillas, lutitas, areniscas, conglomerados y calizas y margas con ostreidos (Facies Purbeck Superior): C2

Esta unidad incluye varias formaciones en general de naturaleza carbonatada, aunque con tipos areniscosos, lutíticos, margosos y calizos, así como niveles carbonosos.

La tendencia es en general hacia un aumento hacia techo de los tipos carbonatados en detrimento de los siliciclásticos, como resultado de una profundización progresiva de los medios de sedimentación desde ambiente estuarino con fuerte influencia mareal, y ambiente intermareal hasta submareal, marino somero e incluso marino relativamente profundo (calizas con fósiles marinos y margas).

El tramo superior de la unidad constituye el primer episodio carbonatado del Cretácico en la zona, y está constituido por un paquete de calizas y biocalcarenitas, en ocasiones dolomitizadas, en gruesos bancos de espesores decimétricos a métricos (0,5 a 3 m), conformando un conjunto de entre 20 y 100 m de espesor. Los mejores afloramientos de la zona se sitúan en Las Tuerces y Monte Bernorio. La unidad produce formas de relieve muy resistentes de tipo mesa, con taludes verticales.



Figura 20. Banco de caliza del tramo superior de la Unidad C2



Figura 21. Vista general de un afloramiento de materiales detríticos y carbonáticos de la Unidad C2. se observa como los bancos de naturaleza calcárea dan resalte mientras que los materiales detríticos se erosionan con más facilidad

### 3.1.3.3. Areniscas, conglomerados y lutitas "Facies Weald": C3

El conjunto denominado en sentido amplio Cretácico en facies Weald, aparece escasamente al sur de Aguilar de Campoo, y con gran profusión en la zona de Pozazal – Reinoso. En el área de Aguilar, la unidad tiene un espesor total de unos 100 a 130 m, y se aprecian en él dos tramos bien distintos.

El tramo inferior de la unidad está constituido por areniscas y conglomerados de tonos rojizos, de naturaleza silíceas. Están organizados en capas de espesor decimétrico a métrico, granodecipientes hacia techo, con laminación cruzada, y capas conglomeráticas a muro. Presentan algunas intercalaciones de arcillas como relictos de las facies de llanura de inundación.

A techo de la unidad dominan las arcillas de tonos rojos y verdes, con intercalaciones de areniscas silíceas (facies de relleno de canal). También aparecen niveles carbonosos y horizontes lateríticos (óxidos de hierro).

En la zona norte, los espesores alcanzan varios cientos de metros, con máximos de 1500 a 2000 m, y se disponen discordantemente o en paraconformidad sobre la unidad de facies Purbeck.

### 3.1.3.4. Lutitas rojas y verdes con niveles de arenas y areniscas: C4

Litológicamente, se encuentra constituida por lutitas de color verde, gris y pardo, entre las que se pueden apreciar a techo intercalaciones de arenas silíceas y areniscas poco cementadas con granos de cuarzo y glauconita. Se observan también niveles decimétricos de calizas margosas y calcarenitas. El contacto superior de esta unidad suele ser neto, pasando sin transición a condiciones plenamente marinas en las que se deposita la unidad siguiente.

El medio de depósito de esta unidad se sitúa en un contexto de plataforma abierta dominada por tormentas durante el intervalo inferior, y de muy baja energía por debajo de la influencia de las tormentas para el superior.

Debido a su carácter poco competente, puede presentar problemas de desestabilización en los taludes de fuerte pendiente.



Figura 22. Afloramiento de lutitas de la Unidad C4.

3.1.3.5. Conglomerados y areniscas pardo – rojizas con niveles de lutitas grises y rojas a techo:  
C5

La litología de estos niveles está constituida por intercalaciones de conglomerados y areniscas de tonos rojizos con intercalaciones de lutitas más abundantes hacia techo, con tonos rojos y grisáceos y ocreos.

Los términos basales de esta unidad están compuestos por conglomerados poligénicos y areniscas bien cementadas. Los primeros muestran cantos subredondeados con diámetros que varían de 1 a 10 cm y una marcada granoselección positiva. Frecuentemente los cantos encuentran orientados en el sentido del flujo principal. En los conglomerados, y sobre todo en las arenas, se desarrollan laminaciones cruzadas y superficies erosivas que configuran secuencias de canales imbricados. Hacia la parte alta, los conglomerados pasan a ser cuarcíticos principalmente y las areniscas están poco cementadas, a veces con arcilla caolinífera.



Figura 23. Afloramiento de areniscas y conglomerados de la Unidad C5.

En general, es una litología competente, con gruesos bancos de conglomerados y areniscas que destacan en el relieve, por ejemplo al Oeste de Olleros de Pisuerga.



Figura 24. Areniscas y conglomerados de la Unidad C5.

### 3.1.3.6. Arenas y conglomerados con lutitas versicolores. Facies Utrillas: C6

Esta unidad aparece con mayor desarrollo en la zona al sur de Aguilar de Campoo. Se presenta discordante sobre la formación infrayacente, y está constituida por conglomerados y arenas silíceas sin cementar, de manera que son materiales que no sólo no producen resaltes, sino que suelen ser proclives a abarrancamientos, desarrollo de suelos, etc. En esta formación es frecuente el desarrollo de alteraciones caoliníferas sobre arenas feldespáticas, siendo el producto resultante una arcilla blanca o colores abigarrados (rojos, violetas, amarillos).

A techo de las arenas, aparecen términos lutíticos y limolíticos de tonos rojos y verdes, con algunas intercalaciones carbonosas (lignitos), las cuales incluso han sido objeto de explotación en antiguas minas artesanales.



Figura 25. Talud excavado en las arenas de Utrillas (C6). Actualmente este talud se encuentra reforzado por escollera y geotextil con hidrosiembra, debido a los problemas de acarreamiento que presentó.

La Facies Utrillas es una formación en la que se suelen genera problemas geotécnicos, como acarreamiento, deslizamientos y flujo de agua, debido a su alta permeabilidad.

### 3.1.4. *Cretácico Superior*

Finalizado el episodio de sedimentación continental, durante el cual se deposita la Facies Utrillas, se produce una gradual profundización de las cuencas sedimentarias, al avanzar el proceso de *rifting* de apertura del Golfo de Vizcaya. Esta progresiva implantación de las condiciones de sedimentación marina, origina los depósitos que caracterizarán al resto de las unidades del Cretácico Superior.

La sedimentación de este ciclo está afectada por varios periodos de interrupción en la sedimentación de importancia variable. Los lapsos deposicionales más marcados son los que establecen los límites de los sub-ciclos principales.

La potencia de este ciclo deposicional varía entre los 250 m y los 450 m.

Se diferencian los siguientes tramos:

### 3.1.4.1. Areniscas ocre, calcarenitas, calizas y margas con lignito: C7.

Esta unidad se diferencia claramente como constituyente del relieve en zonas tales como al norte del núcleo de Las Rebolledas, y al noreste de Olleros de Pisuerga entre otros, constituyendo la base de la *Mesa de Las Tuerces*.

Litológicamente, se diferencian dos tramos.

#### **Tramo Inferior.**

Constituida por niveles de arenisca y calcarenita de color ocre y potencias variables entre 1 y 3 m, las cuales se encuentran asociadas a margas, limolitas y lutitas. Intercalándose con las areniscas hay dos tipos de facies calcáreas; por un lado, bancos decimétricos de calizas arenosas y nodulosas muy bioturbadas, y capas decimétricas de calizas arenosas y calcarenitas con abundantes fragmentos de ostreidos.



Figura 26. Detalle de los fósiles de ostreidos en la unidad C7.

Otra litología destacable dentro de esta unidad son los niveles de acumulación de materia orgánica vegetal, los cuales varían entre margas y lutitas verdes y grises con un laminado tractivo interno, a lutitas carbonosas con intercalaciones ligníferas centimétricas a decimétricas. La potencia de estos tramos carboníferos es centimétrica a decimétrica, con espesores medios máximos del orden de 30-40 cm. En los lugares en que la capa de lignito alcanza mayor potencia, fue objeto de explotación en el pasado (La Rebolleda-Villacibio).

El medio sedimentario es litoral de estuario, con una costa muy cercana con abundante vegetación. Las areniscas son depósitos de canal fluvial que se adentraban en el mar mientras que las calizas y margas fosilíferas representan las facies mareales intercanales.

Tiene este tramo un espesor muy variable, de entre 10 y 75 m. Su edad es Cenomanese-Coniaciense.

#### **Tramo superior.**

En este tramo cartográfico finaliza la transición del Cretácico Superior basal hacia condiciones plenamente marinas. En las zonas en las que no se distingue la unidad anteriormente descrita, ésta se sitúa sobre los tramos detríticos de la Facies Utrillas.

Esta unidad se caracteriza por la presencia de niveles areniscos y carbonosos de muy escasa potencia, los cuales pasan a alternancias de calizas y margas grises y ocre con fósiles de ostreas, incrementándose el porcentaje de las capas calcáreas hacia el techo. Entre las litologías calcáreas se distinguen bancos de 1 a 2,50 m de calizas arenosas y nodulosas muy bioturbadas, y bancos de 0,50 a 1,50 m de calizas arenosas y calcareníticas con base plana y techo ondulado.

La potencia de este tramo es también muy variable, de 20 a 100 m.

Su medio sedimentario evoluciona de estuarino inter-mareal en la parte inferior a medio de plataforma sub-mareal en la parte alta. Su edad es Coniaciense.

### 3.1.4.2. Calizas y biocalcarenitas. Cretácico Superior (Cenomaniense-Coniaciense): C8.

Esta unidad destaca vigorosamente en el relieve, al constituir el primer resalte topográfico de las características mesas existentes en la zona de estudio, como la ya mencionada *Mesa de las Tuerces*

La litología predominante de esta unidad se encuentra constituida por calizas, las cuales aparecen dolomitizadas total o parcialmente, así como organizadas en ciclos negativos de potencia métrica. En la parte baja de las secuencias se encuentran calizas nodulosas bioclásticas dispuestas en capas decimétricas y con contactos ondulados en la base (Figura 24). El aspecto noduloso está producido por un elevado grado de bioturbación.



Figura 27. Calizas nodulosas de la unidad C8.

Los términos superiores están formados por calizas masivas con cemento esparítico. Las alteraciones superficiales y diagenéticas pueden hacer que se degrade el cemento esparítico de los tramos nodulosos y facilitar la disgregación de la roca.

Intercalándose en esta serie hay niveles centimétricos y decimétricos de calizas arenosas, muy bioclásticas y ferruginosas en las que se desarrollan superficies de interrupción de la sedimentación que separan esta unidad del tramo suprayacente de carácter predominantemente margoso. El techo de esta unidad está marcado por el desarrollo de una importante interrupción en la sedimentación de edad Coniaciense, la cual se manifiesta por la aparición de repetidas superficies de hard-ground y por el desarrollo en algunas áreas de una sedimentación condensada.

El espesor de esta unidad de calizas es de 50 a 80 m. Su medio sedimentario, plataforma marina somera, con influencia de las olas de tormenta.

Tanto la posibilidad de disgregación de la roca por meteorización (especialmente las facies nodulosas) como su karstificación pueden ser problemas geotécnicos, aunque menores, dada la competencia de esta formación rocosa.

#### 3.1.4.3. Margas grises y ocreas con margocalizas al techo: C9..

Esta unidad tiene un claro reflejo morfológico respecto a las unidades que la rodean, situándose en las mesas como una franja vegetada de menor pendiente, la cual aparece intercalada entre los farallones calcáreos generados por las unidades infra y suprayacentes.

Litológicamente, se encuentra constituida por margas de color verde, gris y pardo, entre las que se pueden apreciar a techo intercalaciones de arenas silíceas poco cementadas con granos de cuarzo y glauconita. Se observan también niveles decimétricos de calizas margosas y calcarenitas.

El contacto superior de esta unidad suele ser neto, pasando sin transición a condiciones plenamente marinas en las que se deposita la unidad siguiente.

El medio de depósito de esta unidad se sitúa en un contexto de plataforma abierta dominada por tormentas durante el intervalo inferior, y de muy baja energía por debajo de la influencia de las tormentas para el superior. La existencia de depósitos desorganizados, propios de los contextos de talud, induce a considerar un modelo de plataforma en rampa.

La potencia de este potente paquete margoso va de 70 a 120 m. Su edad es Cenomanense-Coniaciense.

Debido a su carácter poco competente, puede presentar problemas de desestabilización en los taludes de fuerte pendiente.

Entre los PK 102 y 103, este nivel blando ha servido como nivel de despegue de un cabalgamiento intra-Cretácico, representado en la cartografía geológica.

#### 3.1.4.4. C8. Calizas, dolomías y biocalcarenitas grises y ocreas. C10

Unidad predominantemente calco-dolomítica que da lugar al segundo resalte topográfico de las mesas y loras, presentando un gran parecido con los materiales carbonatados del Cretácico Superior basal (Unidad C7).

La litología de estos niveles está constituida por calizas grises y ocreas, las cuales en ocasiones aparecen dolomitizadas, dispuestas en capas decimétricas. Los términos inferiores muestran aspecto noduloso y son bastante fosilíferos.



Figura 28. Calizas grises y ocreas de la unidad C10.

La potencia de estos materiales es muy variable, comprendida entre los 60-80 m para el primer nivel de la unidad, y 75-100 m para el segundo paquete.

Esta unidad, presenta importantes fenómenos de karstificación que dan lugar a estructuras exokársticas como dolinas con un gran desarrollo en las mesetas o lomas. Este fenómeno aporta un alto grado de permeabilidad a la formación. Además de ello, en las zonas en las que la dolomitización ha sido importante, los cambios de volumen que se produjeron por dicho proceso fracturaron mucho la roca.

### 3.1.5. Terciario

#### 3.1.5.1. Conglomerados y gravas, areniscas y arenas y lutitas rojas: M3 y M4

Estratigráficamente corresponde a la Facies Grijalba-Villadiego del Mioceno Medio (Astarciense).

Estas unidades son esencialmente lutítico-limosa y se caracterizan por la presencia minoritaria de conglomerados y areniscas, los cuales se encuentran relacionados genéticamente con las cabeceras de abanicos aluviales húmedos. Constituyen un cambio lateral de la Facies Alar del Rey hacia facies ligeramente menos groseras, hacia el sur. Cuando los cuerpos de conglomerados y areniscas son mayoritarios, pueden generar replanos estructurales. Dan lugar a los relieves más pronunciados existentes en los alrededores de las localidades de Herrera de Pisuerga y Alar del Rey, especialmente al Sur de ésta última, donde aparece de forma mayoritaria. Se encuentran en el recorrido Herrera -Nogales, en ambas laderas del valle del Pisuerga, donde los conglomerados dan relieves de cima plana o tesos. Así pues, se diferencian dos tipos litológicos dentro de esta unidad:

Los cantos son esencialmente calcáreos y proceden del desmantelamiento de las litologías carbonatadas mesozoicas, presentando unos diámetros muy variables que oscilan entre 3 y 20 cm. Aunque predominan los cantos calcáreos, pueden contener cantos de cuarzo, cuarcita y rocas metamórficas, en todos los casos con altos grados de esfericidad y redondez. La matriz es arenosa rojiza y el cemento calcáreo.

La base de los conglomerados está claramente canalizada y presenta cicatrices internas y estratificación cruzada.

Por su parte, las areniscas normalmente configuran secuencias de relleno de canal, presentando un grado de cementación variable dependiendo del tipo de procesos edáficos acontecidos.

El tamaño de grano de estas rocas varía entre muy fino y grueso, mientras que las tonalidades oscilan entre beige, ocres amarillento y rojizo.



Figura 29. Conglomerados y lutitas. Unidad M3

Éstas presentan un color predominantemente rojo vivo, disponiéndose en paquetes masivos interrumpidos esporádicamente por la aparición de canales y depósitos de desbordamiento arenosos. El contenido en limos de estos suelos es muy variable, desarrollándose suelos calcimorfos (caliches) en superficie. Las areniscas y conglomerados englobados en las lutitas son similares a los de la unidad M2.



Figura 30. Aspecto general de la facies Grijalba – Villadiego M4 en la que se observa fracción lutítica con niveles más gruesos, de gravas

Tienen una relación arcilla/limo muy variable y mineralógicamente están formadas por illita como componente principal, seguido de caolinita y en ocasiones clorita. Asimismo, contienen cantidades variables de carbonatos y fragmentos de roca.

El origen de estos materiales se centra en dos mecanismos sedimentarios principales, unos constituyendo la llanura aluvial originada por desbordamiento de los canales fluviales, y otros generados por inundaciones a escala de todo el abanico.

En su mayor parte, los canales arenosos y areniscosos se encuentran intercalados entre las lutitas, y se enmarcan en el frente distal de los abanicos húmedos.

El espesor de la unidad es de unos 60-70 m.

Desde el punto de vista geotécnico, las lutitas son fácilmente excavables por lo cual, en taludes, puede haber socavaciones bajo las capas de conglomerado, y acarreamiento.

### 3.1.5.2. Conglomerados, gravas y arenas ocasionalmente cementadas: M1 y M2

Estas facies proximales de la Cuenca del Duero se encuentran adosadas a los relieves de las calizas cretácicas que constituyen los primeros contrafuertes rocosos de la Cordillera Cantábrica.

En los conglomerados, los cantos son esencialmente calcáreos y proceden del dismantelamiento de las litologías carbonatadas mesozoicas, presentando unos diámetros muy variables que oscilan entre 3 y 20 cm. Aunque predominan los cantos calcáreos, pueden contener cantos de cuarzo, cuarcita y rocas metamórficas, en todos los casos con altos grados de esfericidad y redondez. La matriz es arenosa rojiza y el cemento calcáreo.

La base de los conglomerados está claramente canalizada y presenta cicatrices internas y estratificación cruzada.



Figura 31. Paleocanal relleno de conglomerado calcáreo M2 sobre caliza cretácica.

Por su parte, las areniscas normalmente configuran secuencias de relleno de canal, presentando un grado de cementación variable dependiendo del tipo de procesos edáficos acontecidos.

El tamaño de grano de estas rocas varía entre muy fino y grueso, mientras que las tonalidades oscilan entre beige, ocres amarillento y rojizo.



Figura 32. Bancos de areniscas yaciendo sobre conglomerado parcialmente cementado, de la unidad M1

### 3.1.6. Cuaternario

Se describen a continuación los depósitos cuaternarios más representativos de la zona, que presentan gran variedad litológica. Se ha simplificado esta variabilidad adecuándose al objetivo general de este estudio.

#### 3.1.6.1. Depósitos de terraza: QTZ

En esta unidad hay ciertas diferencias entre las terrazas de la cuenca del Duero (río Pisuerga) y las de la cuenca del Ebro (ríos Híjar e Izarilla en Reinosa). Respecto a las primeras, tanto las terrazas bajas como las altas están compuestas por gravas silíceas (cantos y granos de cuarcitas, areniscas, cuarzo, y calizas) con una matriz arenosa y mayoritariamente cuarcítica. El espesor está comprendido entre 2 y 4 m.

Respecto a las segundas, en el valle donde se sitúa la población de Reinosa existen unos extensos depósitos de terrazas que se observan bien en las explotaciones de áridos naturales de la zona.

Son gravas y bolos de naturaleza silícea fundamentalmente, con matriz arenosa, muy densos. Sobre ellos se desarrollan también suelos ricos en materia orgánica con espesores inferiores a 1m.

#### 3.1.6.2. Depósitos aluviales recientes: QAL

Similares a los descritos para las terrazas, aunque existen depósitos de corrientes estacionales, que no han sido incluidos en la cartografía, y que presentan granulometrías más finas.

Los pertenecientes a los grandes cursos fluviales permanentes se han representado en la cartografía geológica y están constituidos por gravas y arenas con mayor contenido de finos que las terrazas. Sobre estos depósitos se desarrollan suelos pardos de vega sobre los limos y arcillas de llanura de inundación.

#### 3.1.6.3. Depósitos coluviales: QCL

Este tipo de depósitos son muy abundantes en la zona de estudio, en particular en las áreas con mayores alturas y pendientes, donde los procesos gravitacionales son más activos. De igual manera y dada la gran difusión de estos depósitos, sólo se han representado las acumulaciones más importantes, dando preferencia a la representación de los sustratos rocosos sobre los que yacen.

Destacan las acumulaciones al pie de los grandes relieves de areniscas y conglomerados del Buntsandstein en el entorno de Reinosa.

#### 3.1.6.4. Depósitos de conos de deyección: QCD

Los depósitos de esta naturaleza aparecen en la cuenca del Duero, apoyados sobre terrazas o aluviales y originados a partir de pequeños cauces estacionales, por lo que su naturaleza será variable en función de los materiales que drenen: gravas, arenas o finos.

#### 3.1.6.5. Depósitos de deslizamiento de ladera: QD

Estos depósitos se encuentran desarrollados sobre las llanuras de inundación y sobre las terrazas y fondos de valle, a la salida de pequeños barrancos y arroyos.

Se trata de gravas de naturaleza diversa, pero principalmente cuarcítica, con un gran predominio de finos.

#### 3.1.6.6. Depósitos de relleno de fondo de vaguada: QFV

Se han considerado en este apartado los depósitos de cursos de agua de pequeña entidad que ocupan generalmente vaguadas rectilíneas excavadas junto a los caminos agrícolas.

Sus depósitos tienen origen mixto y corresponden al pequeño caudal que normalmente circula en sus cauces (aporte longitudinal) como a los sedimentos de arroyada difusa o canalizada que proceden de las vertientes (aportes transversales).

Están constituidos por limos más o menos arenosos, con abundancia de materia orgánica originada en la vegetación que recubre la extensión de terreno que ocupan.

#### 3.1.6.7. Cuaternario antrópico: rellenos, vertidos y canteras: QRE

Se agrupan aquí tanto rellenos, escombreras mineras, firme y terraplenes de carreteras y autovías importantes, que impiden ver la geología sobre la que se asientan, así como aquellos huecos mineros o de otro origen que se encuentran a lo largo del trazado, que por lo general corresponden a antiguas graveras, que pueden estar parcial o totalmente rellenas de residuos sólidos urbanos y escombros.

#### 3.1.6.8. Cuaternario antrópico: zonas urbanas e industriales: QU

Esta unidad está formada por depósitos antrópicos de material variado que han sufrido un proceso de compactación mecánico tras su vertido, tanto en zonas urbanas como industriales y que impiden ver la geología sobre la que se asientan.

## 3.2. TECTÓNICA Y ESTRUCTURA

Como ha sido indicado anteriormente, la zona de estudio se ubica en dos grandes unidades geoestructurales de la Península Ibérica: la Cordillera Cantábrica y la Cuenca del Duero.

La parte oriental de la primera, denominada Cuenca Vasco – Cantábrica, se divide a su vez en tres partes de las que el corredor afecta a la Plataforma Norcastellana y al Surco Navarro – Cántabro.

Estas unidades corresponden a zonas móviles durante la Orogenia Alpina de umbrales y surcos de sedimentación que funcionaron en el Mesozoico como área de sedimentación en una fase preorogénica, a favor de fallas del zócalo paleozoico, y posteriormente en la compresión alpina invirtieron su dinámica de manera que las fallas normales jugaron como inversas o cabalgamientos y los materiales depositados en los surcos cabalgaron sobre los surcos más proximales o bien sobre umbrales de sedimentación. En este caso, la gran mayoría del corredor en la zona Cantábrica se encuentra en el Surco Navarro – Cántabro, que se dispone cabalgante sobre la anterior la Plataforma Norcastellana.

La unidad estructural llamada Surco Navarro-Cántabro presenta importantes espesores de materiales jurásicos y cretácicos, que en el área de estudio presentan una superficie de afloramiento muy extensa.

Está constituida por una serie de grandes bloques cabalgados sobre la Plataforma Norcastellana, que, al disponer de una mayor rigidez debido a su espesor, presentan una deformación menor y por tanto un plegamiento más laxo formado por pliegues de longitud de onda plurikilométrica.

En éste área aparecen tanto materiales del Triásico como del Jurásico y Cretácico. Los valles constituidos por los ríos Pisuerga y Camesa, y arroyo Henares hasta el puerto de Pozazal, y ríos Marlantes e Izarilla entre puerto de Pozazal y Reinosa se han encajado en la banda de arcillas del Keuper que limitan al oeste las areniscas y conglomerados del Triásico inferior, y al este el resto de series mesozoicas.

El Surco Navarro – Cántabro a su vez se divide en varias unidades estructurales, que se denominan Zona Hundida del Embalse del Ebro y el Entrante de Cabuérniga.

El Entrante de Cabuérniga constituye el límite norte de la zona de estudio. Forma la alineación montañosa al norte de Reinosa Por lo que no se verá afectado por las alternativas estudiadas

La planicie en torno a Reinosa, está constituida por las arcillas con algunas masas de rocas volcánicas del Keuper, que ocupan una extensa área de varias decenas de kilómetros cuadrados, al sur del Entrante de Cabuérniga. Esta zona está muy tectonizada y presenta algunas zonas con yeso.

La zona tectonizada del Puerto de Pozazal es un paquete de materiales jurásicos situados entre Mataporquera y Reinosa, con una estructura de anticlinorio muy fracturado por acomodación de la cobertera mesozoica a las compartimentaciones del zócalo. Desaparece hacia el sur a favor de una falla.

La zona de Las Rozas es un amplio sector situado entre el Embalse del Ebro al norte, la zona tectonizada de Pozazal al oeste y la Banda Plegada (Plataforma Norcastellana) al sur. Su límite oriental se aleja de la zona de estudio por lo que no se menciona.

Se caracteriza por una deformación menos intensa que las áreas periféricas, y por un potente espesor de materiales jurásicos y cretácicos, por una desigual presencia de las facies de arenas de Utrillas en su superficie. Mientras que en las inmediaciones del Embalse del Ebro aparecen extensiones de espesor moderado, en la zona sur (desde la población de Quintanilla de las Torres hacia el sur) aparecen con una gran profusión, y espesores potentes.

En detalle, se han localizado varias estructuras de cabalgamiento que afectan tanto a los paquetes de calizas del Jurásico como del Cretácico, siendo usualmente la litología de despegue tectónico la facies Keuper, pero también las formaciones margosas blandas del Jurásico terminal y del Cretácico. Es notable la complejidad tectónica al N del anticlinal de Hormiguera, zona atravesada por la Alternativa Este, que genera una gran inestabilidad de ladera en este sector.

Los pliegues son frecuentes, en general laxos y de flancos tendidos, pero en ocasiones con flancos verticales e incluso invertidos. Hay dos direcciones predominantes, la NW-SE y la NE-SW, que producen figuras de interferencia como el llamado Domo de Aguilar, en cuyo núcleo aflora el Triásico.

### 3.3. GEOMORFOLOGÍA

La configuración actual del relieve se debe a un rejuvenecimiento del mismo en el Plioceno, asociado a un cambio climático de manera que se instala un sistema fluvial primero en forma de abanicos aluviales, para jerarquizarse posteriormente a la situación actual. Este encajamiento de la red fluvial genera los abundantes depósitos aluviales y de terrazas que aparecen en los valles de esta parte de la Cordillera Cantábrica, que en la zona de estudio pertenecen a las cuencas del Duero y Ebro.

La historia de sucesivos encajamientos se refleja en los distintos niveles de terrazas del sistema Pisuerga y sus afluentes. Las superficies de erosión y depósito son muy patentes en los materiales terciarios, y en menor medida en los materiales rocosos cantábricos. Existe una tendencia clara en la deriva fluvial hacia el este, probablemente debida a un basculamiento del zócalo en esa dirección.

Las unidades mesozoicas de la Cordillera Cantábrica presentan unos rasgos morfológicos en general con un fuerte control litológico y estructural. Así, por ejemplo, los cretácicos de la banda Norcastellana producen un relieve tipo mesa o páramo cuando se disponen con plegamiento laxo o subhorizontales como sucede en las Tuerces y monte Bernorio.

Los cretácicos y jurásicos fuertemente plegados y deformados en asociación a los cabalgamientos producen sierras estrechas y largas dada su disposición verticalizada, y alternante con niveles más blandos y erosionables, lo cual podría considerarse como una morfología tipo “apalachense”.

La zona situada más al norte se caracteriza por un fuerte relieve rejuvenecido en el que existen varios dominios en función de las formaciones que aparecen y su grado de deformación. La zona de Pozazal – Mataporquera se caracteriza por la deformación con grandes pliegues sinclinales muy amplios. Sobre estos materiales la dinámica fluvial ha creado una superficie colgada donde se sitúan las poblaciones de Hormiguera, Mataporquera y Villanueva de Henares. La superficie está disecada por el actual valle del Henares, más profundo.

Más al norte, en el entorno de Pozazal a Cervatos, se manifiesta el intenso encajamiento de la red fluvial en las estructuras existentes.

El entorno de Reinosa se caracteriza por el relieve juvenil, así como la dinámica fluvial del Híjar-Ebro, que discurre sobre los materiales blandos del Triásico inferior, creando unas extensas llanuras aluviales, así como depósitos de terrazas cubriendo éstas.

A lo largo de toda el área de estudio, y afectando a los abundantes materiales carbonatados presentes, se desarrolla un intenso modelado kárstico que produce el desarrollo de formas exokársticas, fundamentalmente dolinas, lapiazes, etc. Este tipo de modelado se aprecia en los materiales cretácicos de las Tuerces y en los materiales jurásicos de la zona de Reinosa – Pozazal – Mataporquera.

### 3.4. HIDROGEOLOGÍA

#### 3.4.1. Marco Hidrogeológico Regional

Desde el punto de vista hidrográfico, la zona donde se emplaza el corredor estudiado se encuentra a caballo entre la Cuenca Hidrográfica del Duero (al suroeste) y la del Ebro (al noreste).

Hidrogeológicamente, y dentro del ámbito regional del corredor ferroviario estudiado, se han identificado las siguientes Unidades Hidrogeológicas (en adelante, UUHH) y Masas de Agua Subterránea (en adelante, MASb). Éstas tienen, a su vez, la siguiente correspondencia con los Sistemas Acuíferos, definidos antaño por ITGE (1981).

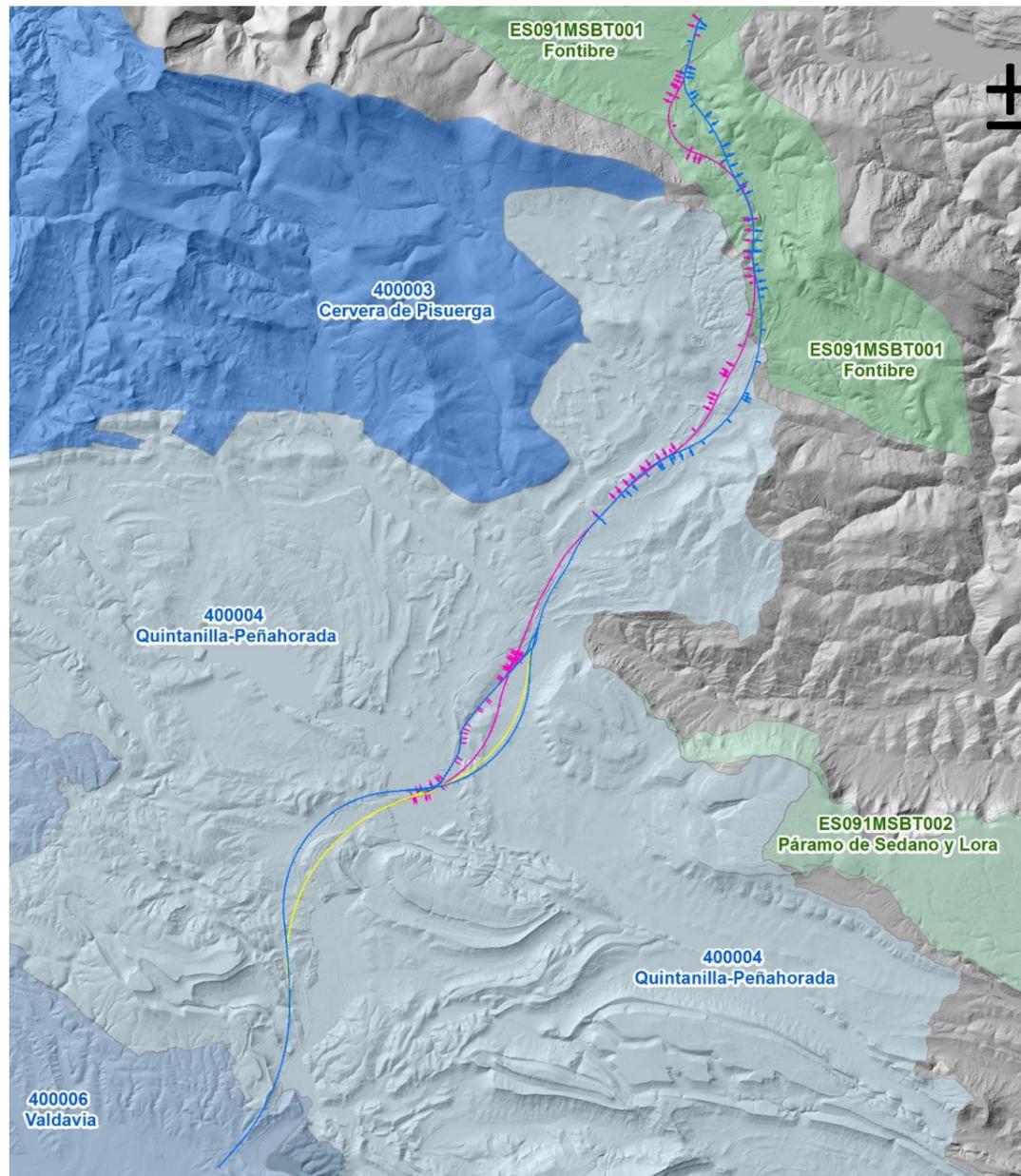
D. H. DUERO		
MASb	UUHH	SSAA
400004 Quintanilla-Peñahorada	02.02 Quintanilla-Peñahorada- Atapuerca	SA nº 9 Borde Septentrional de la Cuenca del Duero
400003 Cervera de Pisuerga	---	---
400006 Valdavia	02.09 Burgos-Aranda	SSAA nº 8 y 12. Cuenca del Esla, Valderaduey, Pisuerga, Duero y Tormes

D. H. EBRO		
MASb	UUHH	SSAA
091.001 (ES091MSBT001) Fontibre	101 Fontibre	SA nº 64. La Lora y Villarcayo
ES091MSBT002 Páramo de Sedano y Lora	102 Páramo de Sedano y La Lora	

Por su parte, en las siguientes figuras se muestra su distribución geográfica con respecto a las alternativas de trazado en estudio. En el Apéndice 3.3 se incluye el detalle cartográfico de dicha distribución en el entorno del corredor ferroviario.

Como puede apreciarse en dichas figuras, los trazados considerados únicamente interceptan las MASb 400004 Quintanilla – Peñahorada, 400006 Valdavia y ES091MSBT001 Fontibre, si bien, lo hacen en las proximidades de las MASb 400003 Cervera de Pisuerga y ES091MSBT002 Páramo de Sedano y Lora. En los siguientes párrafos se ofrece un breve resumen de la caracterización hidrogeológica de las MASb identificadas a nivel regional.

En los siguientes párrafos se ofrece un breve resumen de la caracterización hidrogeológica de las MASb identificadas a nivel regional.



**D. H. DUERO**

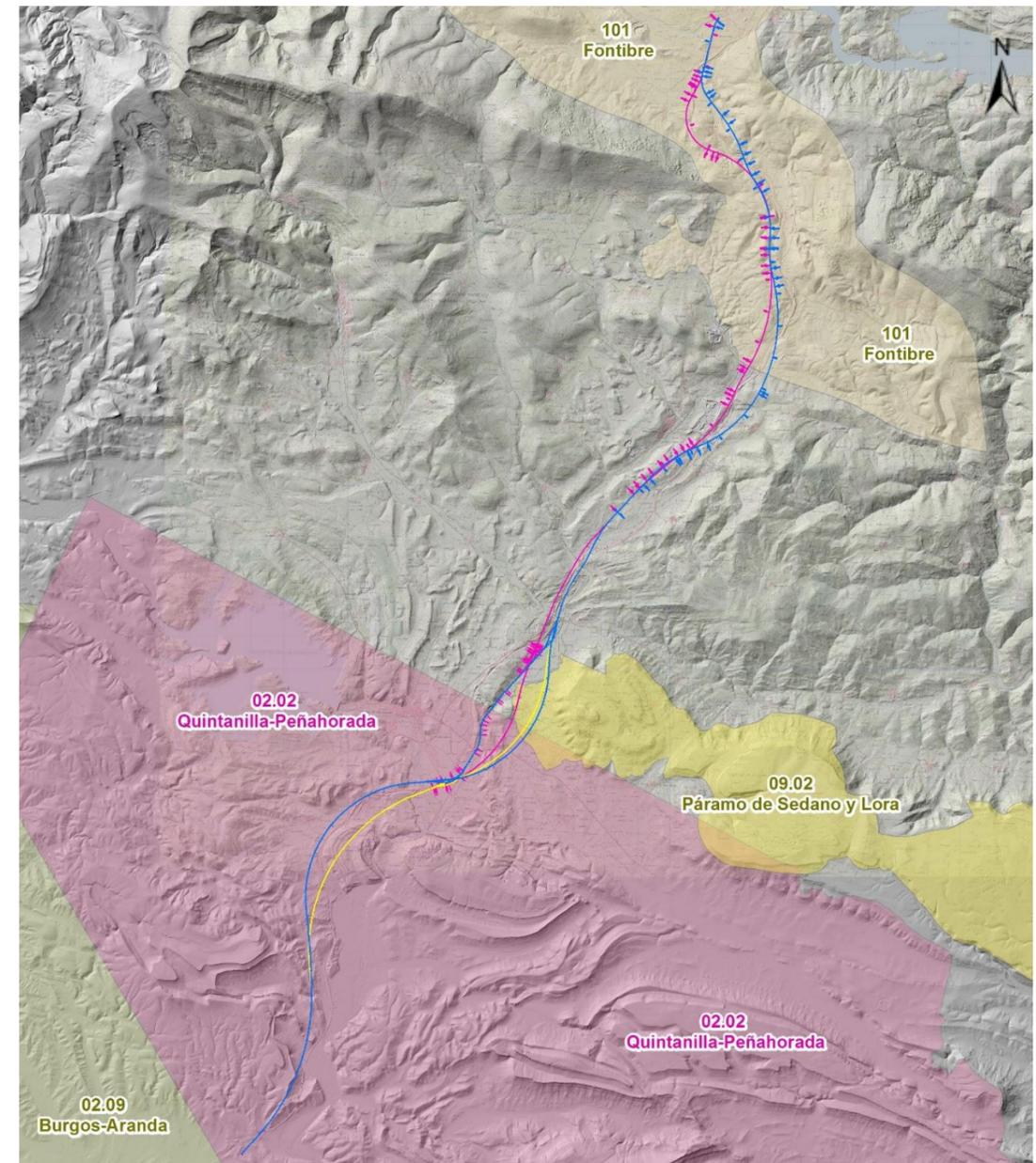
- CERVERA DEL PISUERGA
- QUINTANILLA - PEÑAHORADADA
- VALDAVIA

**D. H. EBRO**

- FONTIBRE
- PÁRAMO DE SEDANO Y LORA

- Alternativa OESTE
- Alternativa ESTE
- Alternativa CENTRO

Figura 33. Masas de agua subterránea en el ámbito de estudio (elaboración propia a partir de información cartográfica procedente de las confederaciones hidrográficas del Duero y del Ebro)



**D. H. DUERO**

- QUINTANILLA - PEÑAHORADADA - ATAPUERCA
- BURGOS - ARANDA

**D. H. EBRO**

- FONTIBRE
- PÁRAMO DE SEDANO Y LORA

- Alternativa OESTE
- Alternativa ESTE
- Alternativa CENTRO

Figura 34. unidades hidrogeológicas en el ámbito de estudio (elaboración propia a partir de información cartográfica procedente de las confederaciones hidrográficas del Duero y del Ebro)

### 3.4.1.1. Confederación Hidrográfica del Duero

- 400004 - Quintanilla – Peñahorada

Esta masa se extiende por las provincias de Palencia, Burgos y parte de la comunidad de Cantabria. Engloba los afloramientos mesozoicos de la región Vasco-Cantábrica dentro de la cuenca del Duero. Se dispone como una banda arqueada que limita por el norte con la Cuenca del Ebro.

Los límites de la masa están formados por contactos mecánicos hacia la zona del detrítico terciario de la Cuenca del Duero situado en el flanco suroeste, hacia las MASb de Valdavia, Villadiago, Catrojeriz y Burgos. El borde noroeste corresponde con el límite de la cuenca. Los materiales de la MASb Cervera de Pisuerga forman un borde impermeable en el sector noroeste. El conjunto cabalga sobre la cuenca terciaria del Duero. Los sedimentos cuaternarios se restringen al fondo aluvial de los principales ríos, abanicos y coluviones.

La MASb está compuesta por materiales Cretácicos que forman un conjunto fuertemente tectonizado sobre el que descansan discordantemente los materiales del Terciario superior, formando parte del borde meridional de la Cordillera Cantábrica. Esta formación se presenta en las laderas de los núcleos anticlinales desmantelados. La base de la masa está constituida, en último término, por los materiales triásicos, como el Bundsandstein al norte y el Keuper, que constituye el nivel de despegue regional de fracturas y cabalgamientos.

La tectónica en esta masa resulta de interés, desarrollándose grandes estructuras surcadas por abundantes fallas que dan lugar a numerosos afloramientos diapíricos, como los de Quintanilla-Pedro Abarca, los que rodean a la gran falla de Urbel del Castillo-Montorio y, en la zona oriental, los de Salinillas de Bureba y Buezo.

Los mejores niveles acuíferos se localizan en las calizas del Turoniense superior, que se encuentran fisuradas y karstificadas, presentando una alta permeabilidad secundaria y unas transmisividades de 1200 m<sup>2</sup>/día. Asimismo constituyen niveles potencialmente acuíferos las calizas y dolomías karstificadas del Santoniense-Campaniense, que se encuentran desconectadas hidráulicamente de las anteriores por un paquete de margas prácticamente impermeables. A continuación, se identifican los principales acuíferos:

- **Villaverde-Peñahorada:** Se extiende desde las inmediaciones de Robledo de Temiño hasta Huermececes, con una superficie de unos 17,6 km<sup>2</sup>.

Los materiales que los constituyen son calizas del Turoniense, con una potencia que oscila entre 100-250 m, aproximadamente, y permeabilidad muy alta. Este acuífero está separado tectónicamente del Albiense, que aparece al norte, por una falla longitudinal de dirección NO-SE; hacia el sur, el acuífero se oculta bajo formaciones terciarias.

- **Peñahorada:** Se desarrolla desde el pueblo de Peñahorada hasta las inmediaciones de Robledo-Temiño, ocupando una extensión de 10,1 km<sup>2</sup>. Está formado por una banda de calizas masivas de edad Turoniense y por otra de calizas y calizas arenosas de edad Cenomaniense, situadas inmediatamente debajo y aflorando al sur de las Turonienses, apareciendo nuevamente en las inmediaciones de San Martín de Ubierna. La permeabilidad de estas formaciones va desde alta a muy alta.
- **Gredilla-La Polera:** Ocupa un área de 28 km<sup>2</sup>, extendiéndose desde este municipio hasta las inmediaciones de Rojas. Está constituido por una banda de calizas, margas y calizas arenosas de edad Santoniense y alta permeabilidad. Entre este acuífero y el anterior de Peñahorada existe un nivel margoso de permeabilidad baja-muy baja de edad Coniaciense.
- **Quintanilla-Pedro Abarca:** Se extiende desde el norte de Quintanilla-Pedro Abarca hasta las inmediaciones de Huermececes y ocupa una superficie de 18,6 km<sup>2</sup>. Los materiales que lo constituyen son calizas de edad Turoniense con alta permeabilidad.
- **Atapuerca:** Está situado al nordeste de Burgos, ocupando una extensión de 7 km<sup>2</sup>. Los materiales son calizas y limos de edad Turoniense inferior, de permeabilidad más baja que las calizas del Turoniense superior.
- **Rioseras:** Se extiende desde las proximidades de Temiño hasta las de Revillalcón y Piernigas, con una superficie de 41 km<sup>2</sup>. Los materiales corresponden a calizas y limos de edad Turoniense inferior con permeabilidades análogas a las del acuífero de Atapuerca.

Existen asimismo otras formaciones acuíferas depositadas en régimen continental sobre los acuíferos calcáreos de la zona sur de la unidad, que corresponden a los sedimentos terciarios de la zona norte de la cuenca detrítica del Duero.

- **Acuífero Terciario:** Corresponde a materiales depositados en régimen continental atribuidos al Terciario inferior, pudiéndose diferenciar dos facies:
  - Facies de Borde: constituida por conglomerados heterométricos, formados por cantos de caliza y cuarcita con matriz calcárea, reposa discordantemente sobre el Cretácico, presentando buzamientos hacia el centro de la cuenca, que pueden llegar a ser importantes.
  - Facies intermedias: constituidas por arcillas arenosas y bancos de conglomerados, más numerosos y potentes en las proximidades del borde, pierden entidad hacia el interior de la cuenca donde aparecen núcleos con margas arenosas y arcillas.
- **Acuífero Cuaternario:** Está representado por las típicas rañas y los aluviales de los ríos. Las primeras están compuestas por depósitos de cantos, más o menos rodados y heterométricos, englobados en una matriz limo-arcillosa con espesores pequeños no superiores a 3 m, pero con extensiones considerables depositados sobre el Terciario, dejándolo al descubierto por erosión en los valles de los ríos. Los aluviales, están

compuestos por limos y arenas con algunos lentejones de materiales detríticos más gruesos. La potencia de estas formaciones, en general, no supera los 6 m.



Figura 35. Zonificación de la MASb 400004 - Quintanilla - Peñahorada

### HIDRODINÁMICA SUBTERRÁNEA

Los datos analizados corresponden a sondeos, ubicados en su mayor parte en Villaverde-Peñahorada, con profundidades del orden de 200 m, arrojan caudales medios de 130 l/s y caudales específicos altos de 35 l/s/m, transmisividades muy altas, comprendidas entre 300 y 2000 m<sup>2</sup>/día, y coeficiente de almacenamiento entre 1% y 6%, correspondientes a formaciones carbonatadas kársticas. Considerando una potencia media de estos acuíferos de 250 m y una superficie permeable de 123 km<sup>2</sup>, pueden estimarse unas reservas comprendidas entre 61,5 y 369 hm<sup>3</sup>.

### FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

Las entradas de agua o recarga natural proceden de la infiltración directa del agua de lluvia, realizándose el drenaje a través de los ríos que nacen o atraviesan la unidad y por los manantiales y fuentes de los bordes. Las extracciones pueden considerarse nulas.

El drenaje se realiza a través de los ríos Urbel y Ubierna, con sus afluentes Rioseras y arroyo de la Hoz y de los manantiales y fuentes del borde de la unidad.

El clima de esta unidad se caracteriza por ser riguroso, muy frío en invierno y relativamente cálido en verano. Según la clasificación de climas establecida para el conjunto de la cuenca del Duero, el mismo oscila entre Mediterráneo templado, para las zonas más bajas, hasta Mediterráneo templado fresco, para las zonas más altas.

En el "Estudio Hidrogeológico del Sistema nº 9" (ITGE 1981), se realiza un minucioso estudio de la recarga y descarga de los acuíferos de esta unidad mediante el cálculo de las precipitaciones medias, aforos en ríos y manantiales, aportaciones y drenajes, cálculo de la lluvia útil e infiltración, etc. Los resultados se resumen a continuación (cifras dadas para el conjunto de la UH).

- Años secos: entre 15 y 20 hm<sup>3</sup>/año
- Años medios: entre 20 y 25 hm<sup>3</sup>/año
- Años húmedos: entre 25 y 30 hm<sup>3</sup>/año

Se estima, por tanto, la infiltración media para un año medio, de toda la unidad, en unos 22 hm<sup>3</sup>/año.

Del análisis de la piezometría general de la cuenca del Duero se observa un flujo, no demasiado importante, de estas formaciones hacia el terciario detrítico de la unidad limítrofe 02.09 Burgos-Aranda.

### CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS

De los datos de calidad de las aguas subterráneas (ITGE y Servicio de Sanidad y Bienestar Social de Burgos, de la Junta de Castilla y León), se obtienen las siguientes conclusiones:

- El contenido en cloruros es bajo, del orden de 7 mg/l.
- La concentración de sulfatos inferior a los 35 mg/l.
- El total de sólidos disueltos no supera los 650 mg/l.
- El contenido en nitratos es muy bajo, no apreciándose tampoco indicios de nitritos.
- El contenido de bicarbonatos es normal, dada su procedencia, no superando los 317 mg/l.

En general, se puede decir, que se trata de aguas bicarbonatadas cálcicas, cuyos contenidos iónicos no sobrepasan los límites admitidos por la R.T.S., considerándose aptas para el uso urbano, industrial y agrícola.

**VULNERABILIDAD Y CONTAMINACIÓN**

Sobre la unidad no existen asentamientos o concentraciones importantes de población, ni actividades industriales que puedan determinar la existencia de focos potencialmente contaminantes para las aguas subterráneas.

Según cálculos estimativos para la zona correspondiente a la provincia de Burgos, basados en el censo de población, la producción anual de residuos sólidos urbanos es de unas 586 tm/año y los vertidos líquidos urbanos de unas 12 tm de nitrógeno.

Las actividades industriales y agrícolas producen cantidades de residuos insignificantes. El mayor foco, potencialmente contaminante, se produce en el conjunto de las actividades pecuarias, estimado en unas 700 tm/año de nitrógeno.

En resumen, los vertidos susceptibles de producir contaminaciones de tipo puntual o difusa son muy pequeños y asumibles por la capacidad depuradora natural del suelo, excepto cuando se produzcan directamente sobre los acuíferos calcáreos de la unidad.

**RECURSOS, EXPLOTACIÓN ACTUAL Y POSIBLES USOS FUTUROS**

Las salidas de agua drenadas por ríos y manantiales fuera de la unidad, calculadas (ITGE-1981) mediante aforos y las salidas subterráneas a la unidad 02.09 Burgos-Aranda, ascienden a 0,76 m3/s de media para un año también medio, que corresponden a unos 24 hm3/año, cantidad que coincide con la obtenida para la infiltración directa del agua de lluvia, calculada por diversos métodos de evaluación, en el mismo estudio.

En el plano agrícola, los riegos con aguas superficiales y subterráneas prácticamente no existen, excepto en el valle del río Urbel que las derivan del río para utilizarlas en pequeñas áreas de sus márgenes. De acuerdo con los recursos de aguas subterráneas calculados para esta unidad, se podría estimar la posibilidad de poner en regadío unas 700-1 000 ha, que utilizarían, con una dotación media de 5 000 m3/ha/año, menos del 23% de los recursos de agua subterránea disponibles. Referente a los posibles usos futuros del agua, cabe indicar que no existirán problemas para cubrir las demandas urbanas que puedan presentarse.

CUADRO RESUMEN DE LOS PRINCIPALES PUNTOS ACUÍFEROS (Fuente: ITGE)				
Nº	NATURALEZA	TERMINO MUNICIPAL	TOPONIMIA	Q L/s
1	Manantial	Fuente Urbel	Las Fuentes	50
2	Manantial	Quintanilla Sobresierra	La Poza	60
3	Manantial	Ubierna	Los Manantiales	50
4	Manantial	Villaverde-Peñahorada	Los Manantiales	100
5	Manantial	Arlanzón	Fte de Arlanzón	250

Fuente: IGME

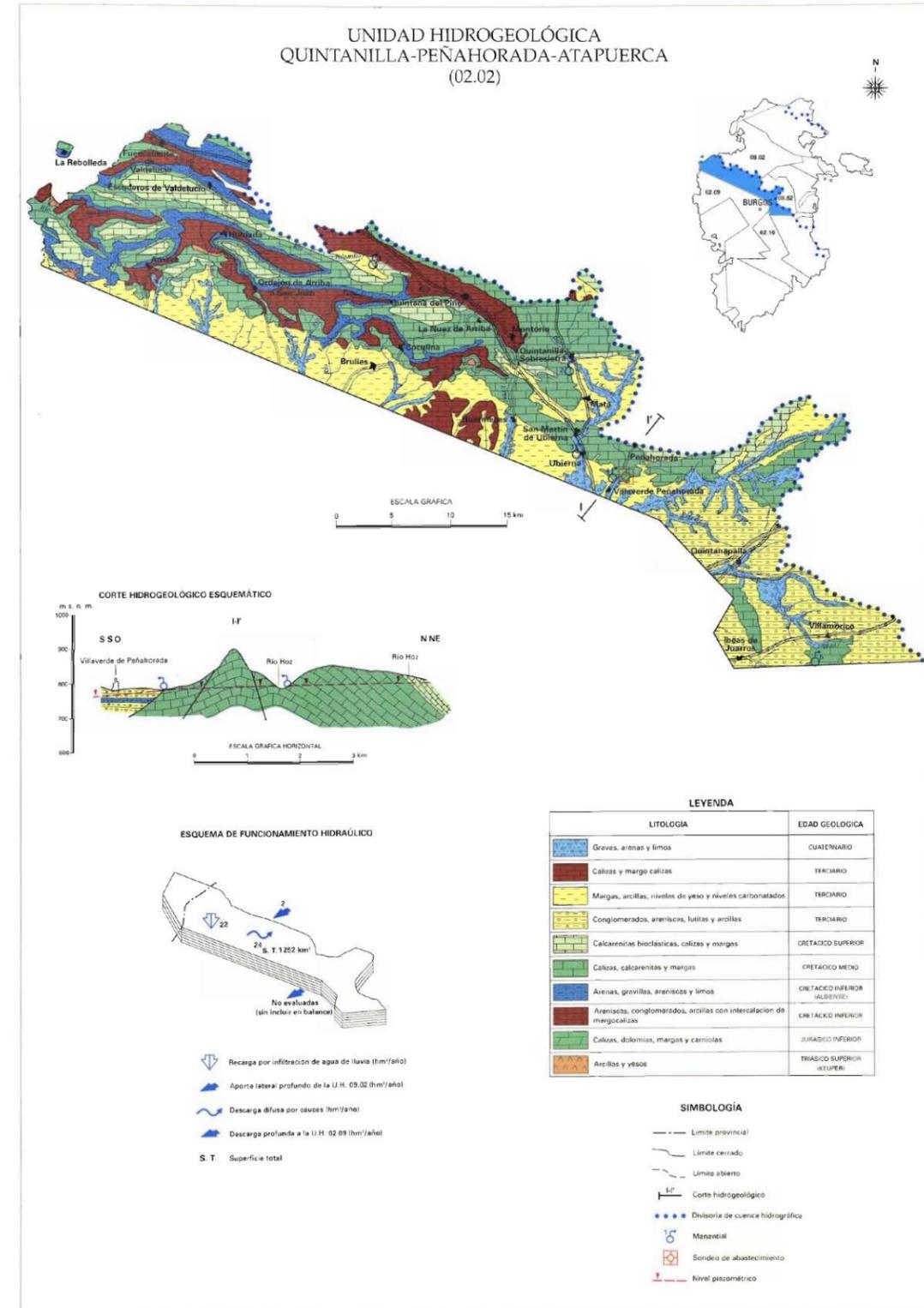


Figura 36. Esquema de la MASb 400004 - Quintanilla – Peñahorada (Fuente: IGME).

- 400006 - Valdavia

Ocupa el sector centro-oriental de la provincia de Palencia, entre los ríos Carrión y Pisuerga. El límite norte lo forman las sierras de la Cordillera Cantábrica y el sur las estribaciones del Páramo de Astudillo. Los principales ríos que atraviesan esta unidad, son: por el nordeste, el Pisuerga, con sus afluentes por la margen izquierda, Odra y Brulles; el Arlanzón por el oeste, con el Urbel y Ubierna; por el centro, el Arlanza y Esgueva; y por el sur, el Duero.

En la unidad pueden considerarse tres sectores: el norte, que abarca el valle del Arlanzón, Burgos y Villadiego; el central, que corresponde al valle del Arlanza, Lerma y valle del Esgueva; y el sector sur, que comprende el valle del Duero, Aranda y Fuentelcesped.

La MASb se encuentra ubicada sobre terrenos del Terciario detrítico, de origen continental; estratigráficamente se han definido (PIAS-IGME-1980) varias facies susceptibles de albergar acuíferos, que, de norte a sur de la unidad, se denominan: Tierra de Campos S.L., Grijalba-Villadiego, Santa María del Campo y Aranda de Duero. Las litologías básicamente son análogas, con características diferenciales muy selectivas y difíciles de definir, ya que, en general, estas facies están formadas por una matriz arcillo-arenosa-limosa, de colores rojizos a pardos, que engloban lentejones de arenas y areniscas, estas últimas poco cementados, con cemento calizo y grano de grueso a medio. En general, las facies se van haciendo más detríticas hacia el sur, y así, la facies Grijalba-Villadiego se caracteriza por ser más detrítica que la de Tierra de Campos S.L., con areniscas de grano medio a grueso y lentejones de arenas con potencias que no superan los 5 m de espesor y escaso desarrollo lateral, a diferencia de la facies Santa María del Campo, con lentejones de arenas de mayor extensión. La facies Aranda se caracteriza por el cambio lateral, este-oeste, de las areniscas a arenas hacia el centro de la cuenca, con espesores de las areniscas de 3 a 6 m, con continuidad lateral de 6 a 8 km, mientras que las arenas presentan potencias mayores, del orden de 10 m y continuidad lateral menor, no superando en general el kilómetro.

Sobre las facies detríticas, y concordantes con ellas, se deposita, en una franja norte-sur en el límite oeste de la provincia de Burgos, desde Sasamón a Roa, una facies margosa denominada "Facies Cuesta". Se trata de una alternancia de margas, calizas margosas y yesos, culminando la serie unas calizas que constituyen las superficies estructurales de las "mesas" o "páramos", que regionalmente se denominan "Páramos calcáreos". La potencia de estas formaciones es variable: la "Facies Cuesta", entre los 80 y 150 m, y para los Páramos Calcáreos, entre 5 y 20 m. Estas formaciones se sitúan al norte de Burgos y al norte y sudeste de Aranda de Duero. Se les atribuye edad Vindoboniense superior-Pontiense a la Facies Cuesta y Pontiense a la Facies Páramo (Hernández Pacheco, E. 1915; Royo Gómez, 1922).

Al nordeste de Lerma existen unos depósitos que poseen cierta importancia hidrogeológica local, atribuidos al Pliocuatrnario, formados por cantos y bolos de cuarcita, con una matriz arcillo-arenosa de color rojizo y potencias que no sobrepasan los 3 m

Los materiales cuaternarios (terrazas y aluviales) presentan una permeabilidad media, no obstante, su escasa potencia, así como su disposición espacial, reducen el interés hidrológico de estos materiales que funcionan como acuíferos colgados (terrazas) o bien relacionados con los cauces de los ríos (aluviales y terrazas más bajas), que son explotados tradicionalmente mediante pozos excavados de gran diámetro, para el riego de pequeñas huertas.

#### FORMACIONES ACUÍFERAS E HIDRODINÁMICA SUBTERRÁNEA

Se diferencian tres tipos de acuíferos en estas formaciones:

- **Acuífero terciario detrítico:** Con las características litológicas y extensión antes descrita constituyen, en conjunto, un acuífero muy heterogéneo y anisotrópico con espesores que en ocasiones alcanzan los 1 500 m, comportándose como confinado ó semi-confinado con múltiples variaciones locales que no favorecen la conexión entre los diferentes niveles lentejonares.

Las características hidrodinámicas del acuífero profundo de la unidad, obtenidas a partir de los escasos ensayos de bombeo existentes y de los datos aportados por los sondeos estudiados, son muy variables debido a los métodos de perforación, diámetros y profundidades, entre otros, así como a los niveles detríticos que explotan.

Se diferencian dos zonas:

- a) La situada en el triángulo comprendido entre el río Pisuerga, el Arlanzón y el borde norte de la unidad en su límite con la 02.02 Quintanilla-Peñahorada.

El número de sondeos disponible es pequeño, ya que únicamente se tienen datos de la información aportada por los sondeos petrolíferos denominados Iglesias y otros de investigación realizados en Sasamón, todos ellos con profundidades superiores a los 500 m. También se han realizado algunos sondeos para abastecimiento a poblaciones, con resultados por lo general poco relevantes en cuanto a cantidad y calidad, debido al gran contenido en arcillas y limos que presentan las facies que rellenan la cuenca terciaria en esta zona; en el mejor de los casos, se atraviesan pequeños niveles de arenas muy finas y limos, como materiales susceptibles de ser explotados, comportándose más como acuitardos que como acuíferos.

- b) La segunda se extiende desde el río Arlanzón hasta el límite sur de la unidad, variando la profundidad de los sondeos de 40 a 400 m, siendo lo más frecuente 150 m. Al norte de Lerma existe un área en la que se agrupan sondeos con profundidades inferiores a los 90 m y caudales surgentes entre 1 y 3 l/s. En los páramos, este acuífero se encuentra a profundidades superiores a los 200 m.

Los niveles piezométricos son muy variables, dependiendo de la profundidad del sondeo, de la zona en la que se ubica y de la cota del terreno. Las mayores profundidades del agua se encuentran al oeste de la unidad, mientras que las áreas surgentes se localizan en el área de Lerma y en el valle del Duero, entre Aranda y Roa. Los caudales son muy variables, dependiendo de la profundidad, del número de capas permeables atravesadas y de las características hidrogeológicas de la zona en que se ubican los sondeos, siendo algunos 98 de éstos surgentes, con caudales de unos 10 l/s. En general, los caudales

medios de los sondeos no surgentes oscilan entre 15 y 20 l/s, con caudales específicos del orden de 0,5 l/s/m.

- **Acuífero de los páramos calcáreos:** Su comportamiento hidrogeológico corresponde al de un acuífero libre, independizado del resto de la unidad por potentes paquetes de margas impermeables. No tienen mucha entidad en la zona, aunque las mejores condiciones se desarrollan en los páramos de Torresandino y Villafruela, al sur.

En otras zonas, fundamentalmente en el norte de la unidad, estos páramos poseen poco espesor saturado y están muy compartimentados y atravesados o cruzados por numerosos arroyos, donde concurren diversas vías de drenaje natural.

Se trata de un acuífero con escaso interés provincial en el que la mayor parte de los sondeos no superan los 5 l/s de caudal continuo y las profundidades medias los 30 o 50 m; no obstante, en la zona de Torresandino-Villafruela los caudales son excepcionalmente mayores.

Este acuífero se descarga por los numerosos manantiales que lo circundan y raramente superan los 2-3 l/s, estando muy influenciados por las precipitaciones y las condiciones climáticas. Los manantiales más productivos se encuentran en la zona sur, entre los ríos Esgueva y Arlanza: nacimiento del río Franco (Royuela del río Franco, 30 l/s); Villafruela, con varias fuentes que suman un caudal de 100 l/s; Tortoles de Esgueva y Fuente de los Caños con caudales de 35 a 50 l/s, dando lugar a cursos de agua, en la mayoría de los casos, discontinuos, que alimentan los acuíferos aluviales de dichos ríos y arroyos.

- **Acuíferos aluviales, terrazas y rañas:** Constituidos por depósitos de ríos y arroyos de edad cuaternaria, están compuestos por gravas, arenas, limos y cantos de caliza, con espesores muy variables, no superando en general los 10 o 12 m en los principales valles.

Los depósitos de rañas, de edad pliocuaternaria, muy desarrollados en la zona norte y noroeste de la cuenca del Duero, tienen su representación en esta unidad al noroeste de Lerma, donde se sitúan sobre el Mioceno detrítico, constituyendo un acuífero libre de interés local, utilizado para pequeños abastecimientos.

Están asociados a los principales ríos que atraviesan la unidad: Pisuerga, Arlanzón, Arlanza, Esgueva, Duero, y otros de menor entidad situados sobre todo en su tramo final, cerca de su desembocadura, en los cauces principales.

Estos acuíferos se explotan con pozos de escasa profundidad, entre 3 y 10 m, obteniéndose caudales muy variables según el espesor saturado y la conexión hidráulica con el río. Los caudales pueden variar de 1 a 15 l/s, aunque en algunos casos, Vega del Duero entre Roa y Aranda, se obtienen caudales de hasta 25 l/s. Las rañas poseen menor importancia que los anteriores, con caudales entre 0,5 y 3 l/s, correspondiendo a litologías menos permeables. En general, son acuíferos de poca entidad, útiles para pequeños abastecimientos y regadíos locales.

#### FUNCIONAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

Se caracteriza por sus frecuentes variaciones de facies, encontrándose todas las gradaciones entre arenas limpias y arcillas, de modo que las capas productivas (arenas) se encuentran englobadas en una matriz arcillo-limosa semi-permeable, comportándose el conjunto como un acuífero heterogéneo y anisótropo.

La región de la Ibérica donde se ubica esta unidad, que incluye las cuencas de los ríos Pisuerga, Arlanzón, Arlanza y Duero, desde que penetran en la Meseta hasta que alcanzan la región de los Páramos, tiene una recarga subterránea procedente del Mesozoico de la cordillera Ibérica, produciéndose un flujo complejo tridimensional todavía poco conocido por la escasez de datos existentes.

Del análisis de los mapas de isopiezas disponibles (ITGE, 1996), se observa que los niveles más altos se sitúan en el borde más oriental de la unidad y los más bajos próximo a los principales ríos, en la zona más occidental, en el límite con la unidad 02.08 Central del Duero. Las isopiezas indican una componente general del flujo de sentido E-O y una convergencia del mismo hacia los valles de los ríos Arlanzón, Arlanza y Duero, que constituyen la principal vía de drenaje del acuífero. La zona oriental aparece como una zona de recarga y en ella los niveles de agua en los sondeos son, por lo general, más profundos cuanto mayor es la cota de los mismos. Las isopiezas indican también la existencia de aportes procedentes de los materiales mesozoicos de borde.

En general, puede considerarse un flujo profundo, que en la parte oriental tiene una componente vertical descendente, con el que coexisten otros locales más superficiales, que también tienen un sentido principal E-O, asentándose aquí la mayor parte de las explotaciones de la unidad. Estos flujos de dirección oeste pasan a tener una componente vertical ascendente, como se pone de manifiesto en las áreas donde se concentran los sondeos surgentes, Lerma-Sta. M4 del Campo y Roa-Aranda de Duero; la surgencia o no de los sondeos está relacionada con la profundidad de los mismos.

La recarga de los acuíferos se produce por infiltración del agua de lluvia en las zonas no surgentes y por aportes laterales del Mesozoico. Las salidas se producen por bombeos, drenaje de los ríos y por cesión lateral a la unidad hidrogeológica 02.08 Central del Duero, por debajo del páramo que limita por el borde occidental.

**CALIDAD DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS**

Son generalmente bicarbonatadas cálcico-magnésicas. En el caso de las facies bicarbonatadas, la mineralización es muy débil y de dureza blanda a media, mientras que las sulfatadas poseen mineralización fuerte y son duras a muy duras. La conductividad varía entre 190 µS/cm de las aguas bicarbonatadas y 16.820 µS/cm en algunos puntos de la zona de Sotopalacios, con aguas sulfatadas-cloruradas sódicas. Los cloruros y los sulfatos alcanzan en estas zonas (Aranda) valores de 3 000 y 6 000 mg/l. La calidad de las aguas bicarbonatadas es, en general, apta para abastecimiento. No hay evidencia de contaminación por nitratos, siendo el máximo observado de 3 mg/l, valor por debajo del límite de la Reglamentación Técnico Sanitaria (RTS) para uso doméstico. En las zonas de aguas sulfatadas la calidad es deficiente, superando los límites admisibles por la R.T.S. de concentración de sulfatos y, en algunos casos, de sodio en aguas destinadas a abastecimiento.

En cuanto a su calidad para riego están clasificadas en los grupos C1S1 y C1S2, en la mayor parte de la unidad, siendo de mala calidad en la zona nordeste, y con un grado muy alto de peligro de salinización y alcalinización del suelo en la zona de Sotopalacios, donde las aguas pertenecen al grupo C4S4.

**RECURSOS Y EXPLOTACIÓN ACTUAL DEL AGUA SUBTERRÁNEA**

Resulta complejo el establecimiento del balance hídrico de la unidad al desconocerse ciertos términos, sobre todo los relacionados con las unidades hidrogeológicas limítrofes. No obstante, una primera valoración para la unidad, incluyendo el territorio que pertenece a Palencia, Soria y Segovia, puede estimarse en: entradas por infiltración de 130 hm<sup>3</sup>/año, cesión lateral del borde Mesozoico de 106 hm<sup>3</sup>/año, lo que supone un total 236 hm<sup>3</sup>/año. Las salidas principales son: por drenaje de ríos 220 hm<sup>3</sup>/año; bombeos y sondeos surgentes, 10 hm<sup>3</sup>/año; y salidas a la unidad 02.08 Central del Duero, 6 hm<sup>3</sup>/año, equivalentes a 236 hm<sup>3</sup>/año.

Los recursos renovables evaluados para el conjunto de la unidad, incluyendo las zonas que pertenecen a Palencia, Segovia y Soria, son del orden de 236 hm<sup>3</sup>/año. Las reservas se desconocen, pero se intuyen importantes, en especial en el borde este de la unidad.

La explotación, a nivel global, es baja en las zonas de mayor bombeo, entre Aranda-Roa y Burgos-Lerma, no detectándose problemas de sobreexplotación. Los usos principales se cifran en 1 hm<sup>3</sup>/año para abastecimiento urbano y unos 9 hm<sup>3</sup>/año para regadío.

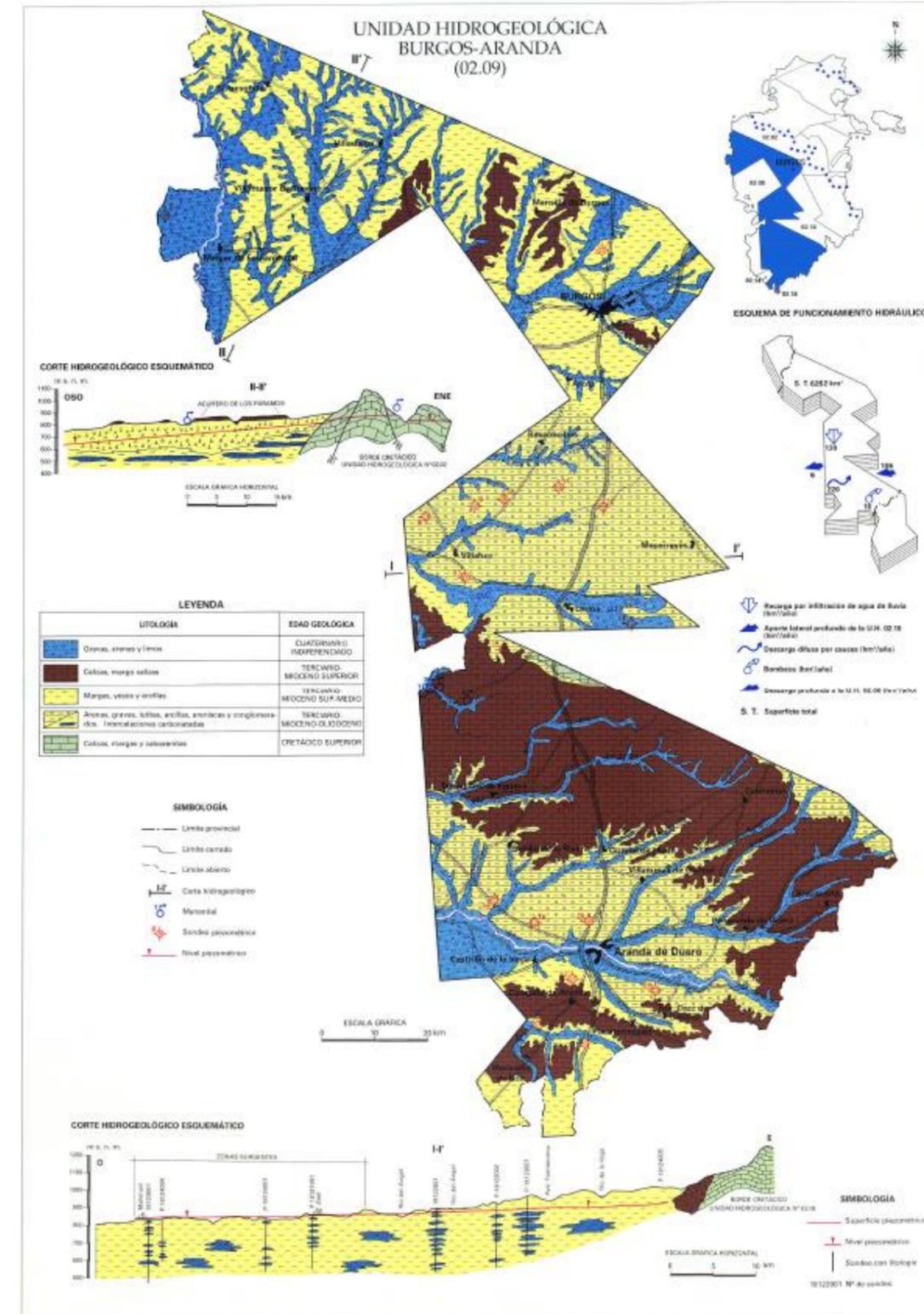


Figura 37. Esquema de la MASb 400006 - Valdavia (Fuente: IGME).

CUADRO RESUMEN DE LOS PRINCIPALES PUNTOS ACUIFEROS  
U.H. 02.09: BURGOS-ARANDA

Nº	Nº ITGE	NATURALEZA	TERMINO MUNICIPAL	TOPONIMIA	PROF (m)	Q (l/s)
1,2,3		Manantiales	Villafruela	La Manquilla		
				Pozo Carol		80
4		"	"	Campanario		30
5		"	La Sequera de Haza	Fte. Hontanguilla		250
6	17105001	Piezómetro	S. Llorente de la Vega	Villarracino	220	1 surg
7	19106001	"	Sotragero	El prado	250	
8	18123001	"	Mahamud	La Casilla	350	
9	18124001	"	Villaverde del Monte	El Cristo	300	3 surg
10	19121001	"	Zael	Cº. Tordomar	300	18
11	19122001	"	V. de los Montes	La Tomesa	350	40
12	19123001	"	Torreçilla del Monte	Valdejimena	300	29
13	18128002	"	Villahoz	Crtra. Tordomar	250	28
14	19127001	"	Castrillo Solarana	Los Borbollones	300	21
15	19131001	"	Avellanosa de Muñó	Cepo gordo	250	
16	19136001	"	Bahabón de Esgueva	Las Huertas	65	
17	19142001	"	Oquillas	El Parejo	87	
18	19145001	"	Gumiel del Mercado	La Ventosilla	102	
19	19146001	"	Aranda de Duero	Crta. de Sotillo	90	
20	19147002	"	Aranda de Duero	La Rostrilla	65	
21	19148001	"	Quemada	Mojón de Hontoría	315	50
22	20146001	"	Arandilla	El Altillo	300	7
23	19153002	"	Fuentespina	Las Aguileras	109	
24	19153003	"	Fuentelcesped	La Dehesa	173	
25	19152001	"	Campillo de Aranda	La Cañada	250	
26	19156005	"	Moradillo de Roa	Vega La Torre	35	
27	19155001	"	Moradillo de Roa	Valdemaya	70	

Fuente: ITGE.

- 400003 – Cervera de Pisuerga

Ocupa el norte de la provincia de Palencia y en mucha menor proporción en las de León y la Comunidad de Cantabria. El borde norte lo forma el límite de la cuenca hidrográfica del Duero, el sur el Terciario de la cuenca del Duero, el oeste la divisoria de las cuencas Esla-Valderaduey y Carrión y el oriental los mesozoicos de la masa Quintanilla-Peñahoradada.

Limita al norte con las cuencas hidrográficas del Norte y del Ebro, al oeste con la masa de Guardo, de similares características. Al este con la de Quintanilla-Peñahoradada de edades mesozoicas y al sur con las de Carrión y Valdavia, con las que se relaciona por medio de fallas y plegamientos.

Esta masa incluye materiales paleozoicos: pizarras y areniscas del Silúrico; pizarras, areniscas y calizas del Devónico; calizas, lutitas, areniscas y capas de carbón del Carbonífero, las calizas carboníferas afloran sobre todo en el SW de la masa. En el frente de cabalgamiento sobre el Terciario aparecen calizas cretácicas. En la zona E de la masa afloran depósitos detríticos del Bundsandstein. Presentan una estructura en escamas de cabalgamiento propia de la Cordillera Cantábrica.

#### 3.4.1.2. Confederación Hidrográfica del Ebro

- ES091MSBT001 - Fontibre

Se encuentra situada en el extremo NO de la cuenca del Ebro, en el límite con la cuenca del río Saja vertiente del Cantábrico. El límite NE se define sobre la divisoria hidrográfica con la cuenca Norte hasta alcanzar al E el embalse del Ebro. El límite E discurre por las facies Purbeck-Weald de forma más o menos paralela al río Ebro.

Se encuentra enclavada en el borde occidental de la Cordillera Cantábrica y está constituida fundamentalmente por materiales mesozoicos plegados y fallados formando estructuras de dirección E-O y NO-SE que se amoldan a las directrices hercínicas dominantes en el borde oriental del macizo asturiano. Estas directrices pueden estar asociadas a las dislocaciones del zócalo con un cierto despegue del Mesozoico al nivel del Keuper.

Los materiales triásicos afloran en el sector noroccidental de la masa de agua y se componen de una serie terrígena de areniscas, limolitas, arcillas y conglomerados de las facies Bundsanstein, dolomías y calizas del Muschelkalk y por el Keuper que se distribuye formando amplias manchas de arcillas y yesos que dan lugar a la intrusión de masas ofíticas localizados en las zonas de Cervatos y Fresno del Río.

El Jurásico aflora al norte y en el sector suroriental de la masa de agua. Se compone por la serie carbonatada del Rethiense-Hettangiense compuesta por varios niveles de carniolas, calizas microcristalina y brechas calcáreo-dolomíticas que constituyen el acuífero del Suprakeuper-Lias y por el Dogger compuesto por una alternancia de calizas y margas. Todo el Jurásico se encuentra formando una serie monoclinial que en el borde sureste se pierde bajo el Dominio Vasco Cantábrico.

Finalmente se reconocen las facies Purbeck y Weald, del Jurásico Superior-Cretácica Inferior que constituyen el límite SE de la masa de agua. Se componen de una potente serie detrítico-terrígena con intercalaciones calcáreas a diferentes niveles que presentan importantes variaciones de facies y espesor.

El Cuaternario también está presente tapizando los fondos de valle. Corresponde a los cantos con matriz arcillosa de los coluviones y las gravas y arenas que forman las terrazas de los ríos Híjar, Izarilla y Ebro.

Comprende varios acuíferos formados por materiales triásicos y jurásicos principalmente. Los materiales que configuran el acuífero carbonatado del Muschelkalk se localizan en el núcleo del anticlinal del Alto Campoo y aparecen, además, en afloramientos aislados con una base impermeable formada por materiales arcillosos del Muschelkalk medio. Está constituido por barras de dolomías, calizas, carniolas y brechas calcáreas con espesores que oscilan entre 50 y 150 metros y constituyen el nacimiento del río Ebro.

El acuífero jurásico está formado por calizas, dolomías y carniolas del Lías inferior y Calizas del Dogger que floran al N y S, en los flancos de los anticlinales, y presentan espesores de 300-450 y 750 metros respectivamente. Su yacente impermeable está formado por materiales arcillosos del Keuper. Entre estos dos tramos más calcáreos, se intercala una serie de materiales margosos del Lías Superior.

Existe otro acuífero de menor envergadura formado por los detríticos aluviales y derrubios de ladera del cuaternario que rellena el valle fluvial y la cabecera del río Ebro.

Los niveles permeables mesozoicos incluyen las dolomías y calizas del Muschelkalk, las calizas, dolomías y carniolas de la serie Keuper superior – Lías inferior, así como las calizas y margas del Dogger.

Por lo que respecta a los cuaternarios, los niveles más permeables corresponden a los derrubios de ladera que constituyen los coluviales y a los depósitos aluviales y de terrazas fluviales.

La recarga de la unidad se produce por infiltración de las precipitaciones y por Infiltración en algunos tramos fluviales. El acuífero del Muchelkalk se recarga a partir de las superficies de afloramiento de algo menos de 3 km<sup>2</sup> en el sector de Fontibre-Espinilla, por la superficie infrayacente bajo los depósitos cuaternarios, así como en los pequeños retazos diseminados por el borde meridional de la Sierra de Cantabria (la Sierra del Cordal), entre Espinilla y Sopeña a lo largo de toda la margen izquierda del arroyo Guares. El sustrato impermeable de este nivel acuífero, así como sus límites septentrionales, occidental y oriental, vienen definidos por las arcillas de baja permeabilidad del Muschelkalk Medio y del Keuper que le impondrán un carácter cerrado. Es posible que exista una conexión profunda en el límite occidental con el Bundsandstein a través de una fractura de dirección NO-SE discurrente por el del sinclinal del Cordel. El único límite abierto se encuentra en el borde meridional del acuífero, conectado hidráulicamente con los depósitos aluviales del río Híjar y el arroyo Celadas, de donde recibe los máximos aportes. El funcionamiento del sistema consiste en los aportes procedentes de las pérdidas del río Híjar en el tramo comprendido entre Paracuellos y El Reguero, con caudales del orden de 500 l/s en estiaje

y algo más de 800 l/s en aguas altas que recargan mediante trasferencias subterráneas el acuífero del Mulchelkalk.

Finalmente, la descarga se realiza a través de los manantiales y drenajes del acuífero hacia la red fluvial. Son importantes el manantial de Fontibre, nacedero del río Ebro y los manantiales situados a mayor cota en el contacto entre las dolomías y las margas arcillosas del Keuper. El acuífero del Suprakeuper-Lias, de mayor entidad, se recarga a partir de las infiltraciones en los afloramientos permeables y por aportes del río Marlantes de carácter perdedor en todo su recorrido por el acuífero. Las descargas se realizan hacia los cauces de la red hidrográfica, preferentemente hacia el río Polla.

- ES091MSBT002 - Páramo de Sedano y Lora

Engloba los extensos páramos de Sédano y Lora con una superficie de 744 km<sup>2</sup> ubicados principalmente dentro de la provincia de Burgos, (98% de la superficie total), y en menor medida, Palencia y Cantabria. Comprende la cuenca del río Rudrón y Oca donde su principal acuífero está constituido por las calizas del Cretácico superior dispuesto a modo de extensas parameras entre las que se encajan los ríos Ebro, Rudrón y Hómino.

Geográficamente se encuentra limitado al S y SO con la divisoria hidrográfica entre la cuenca del Ebro y la del Duero, Al NO el límite se establece en las inmediaciones de las localidades de Revelillas, Montecillo, Villaescusa de Ebro y Renedo de Bricia y el límite oriental y suroriental se establece en la depresión del Ebro y las localidades de Padrones de Bureba y Abajas.

Los límites estructurales de la masa de agua vienen establecidos por el núcleo Wealdico del Anticlinal de Zamancas al N, el contacto Mesozoico-Neógeno del entrante de Padrones de Bureba al NE, el hundimiento del Cretácico bajo el Terciario continental de La Bureba al SE y el techo de la formación Utrillas al NO.

Está constituida por plataformas escasamente deformadas constituidas fundamentalmente por materiales del cretácico, afectadas por pliegues muy suaves y de gran amplitud que forman amplias mesas estructurales. Esta suave estructura sólo se ve modificada por el diapiro de Poza de la Sal, que verticaliza las capas circundantes.

Hacia el SE los afloramientos cretácicos se sumergen bajo el relleno terciario de la Bureba, cuya potencia estimada en sondeos petrolíferos es de 700 m, para reaparecer en el extremo meridional de la unidad de Arco de Rojas-Sta. Casilda, en la unidad meridional de La Bureba. Esta disposición en plataformas horadadas por los ríos se traduce en la desconexión de los principales acuíferos de la masa de agua.

El acuífero principal del Cretácico superior, está constituido por un conjunto calcáreo formado por tres litologías: calcarenitas y calizas arenosas del Cenomaniense con potencia entre 40-100 m, calizas dolomitizadas del Turoniense-Santoniense inferior de espesor 100-200 m y calcarenitas bioclásticas del Santoniense medio superior de 80-150 m de espesor. Además de este acuífero, aparecen otros de menor importancia: Carbonatos del Rethiense-Sinemuriense de 110m, Arenas de Utrillas con un espesor de 125-150 m, conglomerados calcáreos del Mioceno (100 m) y el cuaternario formado por aluviales y terrazas. Estos materiales se disponen formando amplias mesetas estructurales formadas por pliegues muy suaves y de gran amplitud, que se ven modificados únicamente por el diapiro de Poza de la Sal. La estructura, configurada por plataformas poco deformadas, es atravesada por los ríos haciendo que los principales acuíferos se desconecten entre sí. Al SE los materiales cretácicos se sumergen bajo el terciario de la Bureba, llegando a alcanzar profundidades de hasta 700 metros de profundidad.

Los acuíferos principales que constituyen la masa de agua subterránea están constituidos fundamentalmente por las calizas, dolomías, carnioles del Lías inferior, las arenas en facies Utrillas del Cretácico inferior, las calizas y calcarenitas también del Cretácico inferior, los conglomerados calcáreos del Mioceno y los aluviales y terrazas del Cuaternario.

La recarga se realiza mediante la infiltración de las precipitaciones que se recogen en los afloramientos permeables de los páramos cretácicos de Orbaneja, Sédano y La Lora. Los flujos subterráneos convergen hacia la red hidrográfica para descargar en los ríos Ebro (Cueva del Agua de Orbaneja), Moradillo (Pozo Azul y Fuente Hornillo), San Antón y en el nacimiento de los ríos Rudrón y Homino (Manantiales de Hontonín). Otras zonas de recarga están constituidas por el río Hurón, que se infiltra totalmente en Basconcillos del Tozo para aflorar de nuevo en Barrio Panizales, constituyendo así el nacimiento del río Rudrón.

La unidad tiene un marcado carácter cárstico, con importantes complejos de cavidades entre los que destacan las Cuevas de Bastoncillos del Tozo, Tobazo, Pozo Azul y Orbaneja del Castillo.

#### 3.4.1.3. Litología, permeabilidad e hidrogeología general del ámbito

A efectos de analizar la permeabilidad de los materiales, de forma cualitativa, se ha procedido a proyectar los trazados en estudio sobre el Mapa de Permeabilidades a escala 1:200.000 (IGME, 2015). De igual forma, se han superpuesto los trazados en estudio sobre el Mapa Hidrogeológico a escala 1:200.000 (IGME, 2015). En las siguientes figuras se ilustra el resultado.

En la primera figura puede observarse el primer tercio del corredor discurre sobre materiales de *permeabilidad baja (D-B) a media (D-M y Q-M)*, asocian a litologías porosas detríticas (azul y gris claro), a excepción de los depósitos aluviales cuaternarios, que presentan *permeabilidad alta (Q-A)*. Estos últimos están ligados a litologías porosas detríticas cuaternarias.

En el segundo y tercer tercio del corredor (la zona central), las alternativas más occidentales se proyectan sobre materiales calcáreos de *baja permeabilidad (C-B)*. Las más orientales, sin embargo, continúan discurrendo sobre materiales detríticos de *baja permeabilidad (D-B)*. En el último tercio del corredor, la totalidad de los trazados discurre mayoritariamente sobre materiales calcáreos. Los trazados más orientales lo hacen sobre materiales de *baja permeabilidad (C-B)*, mientras que los occidentales lo hacen sobre todo sobre materiales de *permeabilidad alta (C-A)*. No obstante, en todos los casos, la entrada a este dominio jurásico se hace atravesando una franja de *alta permeabilidad (C-A)*. Asimismo, en el tramo final cabe llamar la atención sobre el hecho de que los trazados occidentales atraviesan también un breve tramo de materiales de *baja y muy baja permeabilidad (D-B e I-MB)* correspondientes a los sedimentos triásicos.

En tramos puntuales de los trazados, por último, se observan litologías porosas detríticas cuaternarias (gris oscuro) de *muy alta permeabilidad (Q-MA)* asociadas a los principales cauces fluviales.

Por lo que respecta al carácter hidrogeológico asociado con la permeabilidad, en la figura anterior se observa que, en el primer tercio del corredor, las litologías atravesadas se corresponden con los tipos *Ib Formaciones detríticas o cuaternarias de permeabilidad media* y *IIIa Formaciones detríticas, volcánicas carbonatadas o cuaternarias de permeabilidad baja*. Puntualmente se llega a atravesar algunos tramos aluviales cuaternarios correspondientes a la categoría *Ia Formaciones detríticas o cuaternarias de permeabilidad alta o muy alta*.

A lo largo del segundo tercio del corredor, la totalidad de los trazados discurre sobre litologías del tipo *IIIa Formaciones detríticas, volcánicas carbonatadas o cuaternarias de permeabilidad baja*.

En el último tercio, las alternativas más occidentales discurren mayoritariamente sobre materiales del tipo *Ia Formaciones carbonatadas de permeabilidad alta o muy alta*. A diferencia de éstas, las alternativas más orientales lo hacen sobre materiales de tipo *IIIa Formaciones detríticas, volcánicas carbonatadas o cuaternarias de permeabilidad baja*.

De nuevo, cabe notar la franja de materiales de alta permeabilidad correspondiente al principio del tercer tercio, que es atravesada por todas las alternativas. Ésta se clasifica como *Ia Formaciones carbonatadas de permeabilidad alta o muy alta*.

En los Apéndices 3.1 y 3.2 se muestran las figuras detalladas correspondientes a estos análisis.

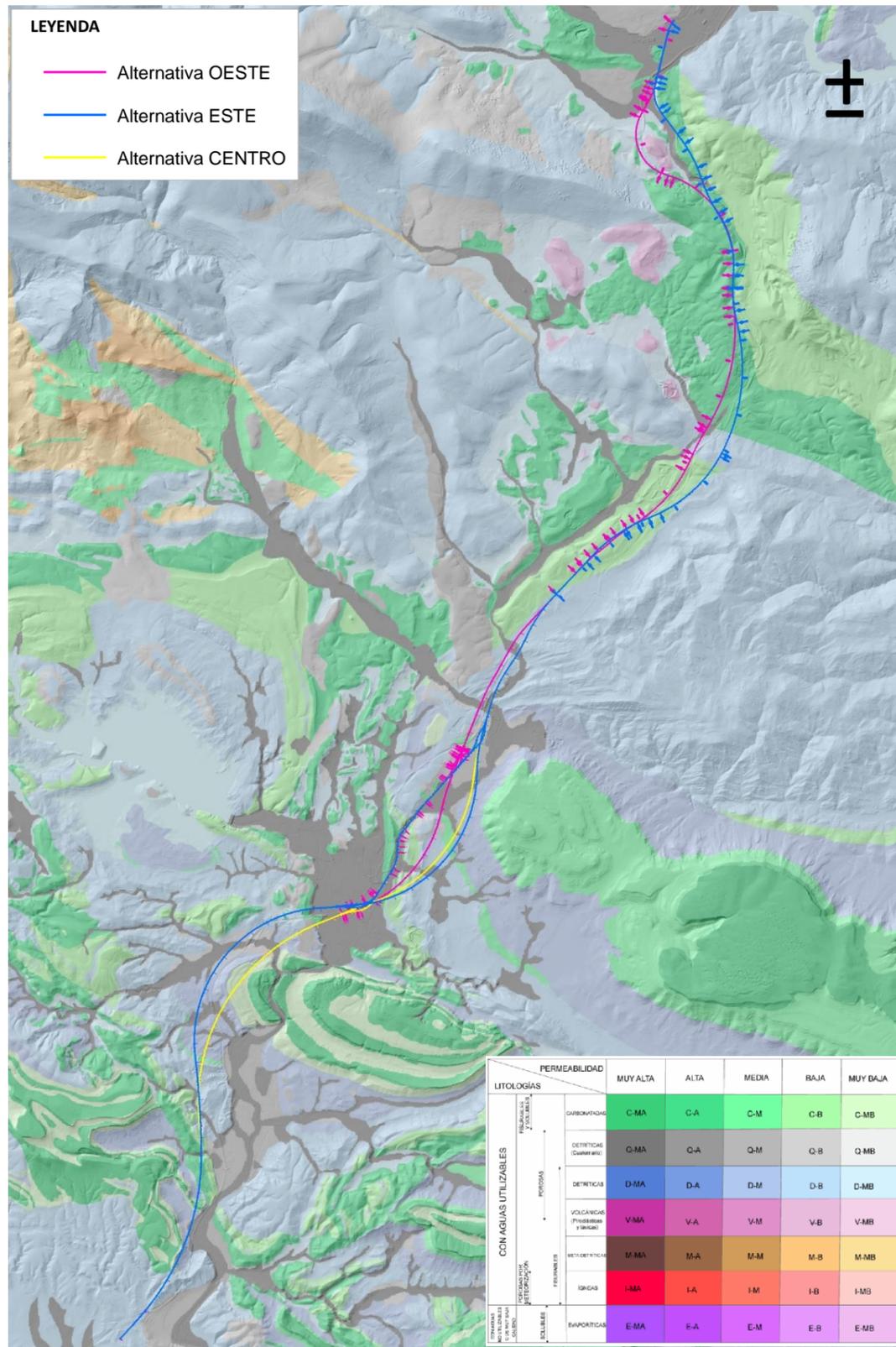


Figura 38. Mapa de Permeabilidades de España. (elaboración propia a partir de información cartográfica procedente del IGME).

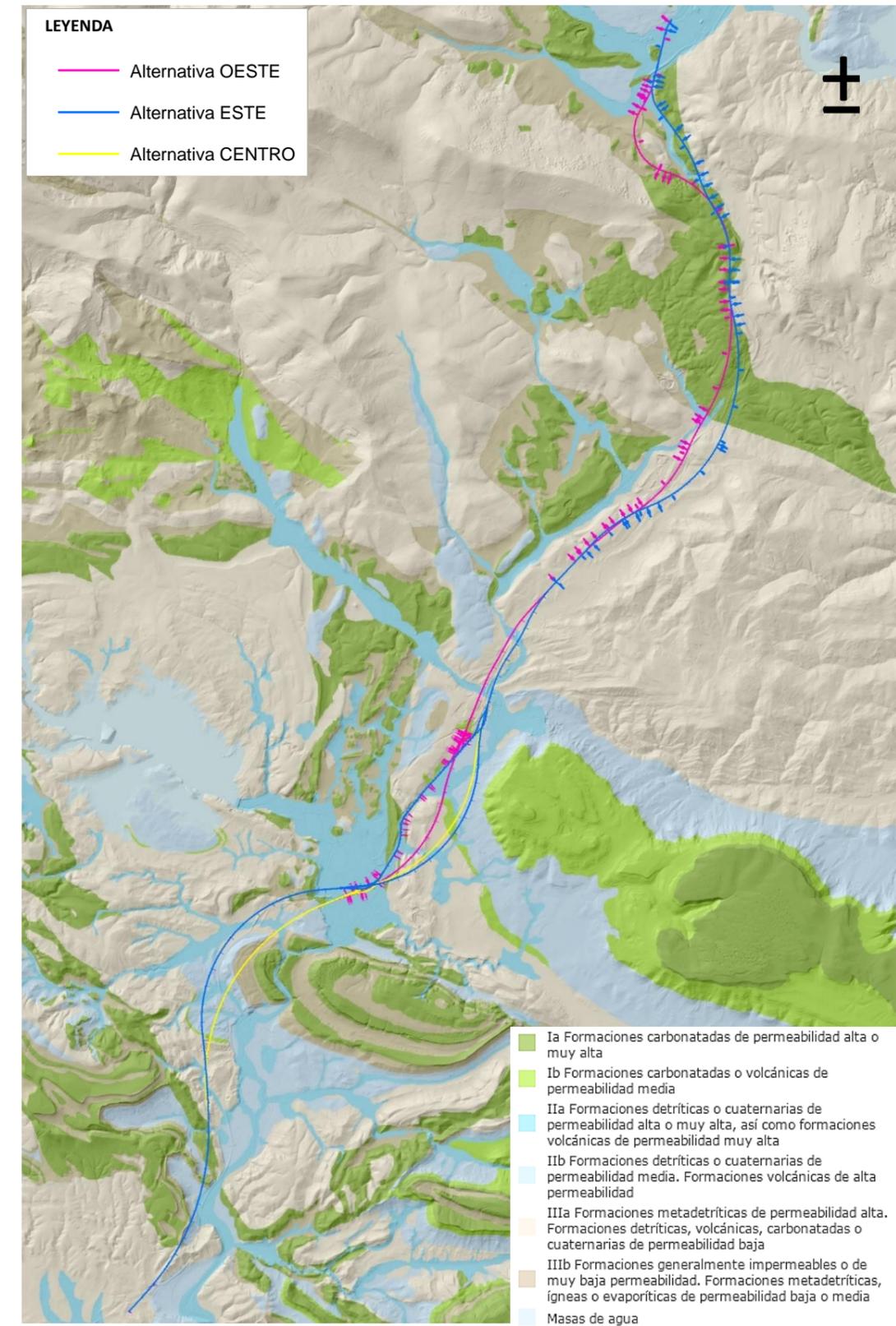


Figura 39. Mapa Hidrogeológico de España. (elaboración propia a partir de información cartográfica procedente del IGME).

### 3.4.2. Hidrogeología de los materiales en el ámbito de los trazados

La zona de estudio presenta una gran variedad de formaciones, de las cuales sólo algunas pueden constituir acuíferos de suficiente entidad para ser considerados en fases posteriores de proyecto, en cuanto a las afecciones hidrogeológicas que las obras puedan originar sobre ellos se refiere.

En los siguientes apartados se refiere una caracterización hidrogeológica preliminar de las formaciones geológicas afectadas por los trazados.

#### 3.4.2.1. Permeabilidad de los materiales afectados el corredor ferroviario

En la siguiente figura se ha efectuado una correspondencia preliminar entre las unidades geológicas identificadas en el presente anejo y los tipos de permeabilidad cualitativa definidos en el *Mapa de Permeabilidades a escala 1:200.000 (IGME, 2015)*.

La permeabilidad de algunos materiales se ha modificado con respecto a tipo definido originalmente en la fuente de referencia, dado el conocimiento concreto que se tiene de ellos en la zona en cuestión. Cabe recordar que la fuente que aquí se está refiriendo, corresponden a una cartografía muy general (escala 1:200.000). En el caso en que una sola categoría agrupe materiales de permeabilidades muy diferentes (como ocurre con las unidades geológicas C4, de permeabilidad baja y C5, de permeabilidad media) se ha observado que el tipo asignado corresponde tipo que presente la mayor de ellas, lo cual está del lado de la seguridad, ya que supone para el análisis el caso más desfavorable.

Los materiales cuaternarios, en particular aluviales y terrazas bajas, suelen ser objeto de intensa explotación dado que presentan conexión hidráulica con los cauces superficiales, de manera que podrían afectarse si esta conexión se reduce o desaparece. Estos acuíferos suelen tener una transmisividad elevada, así como importantes recursos hidrogeológicos, debido al tipo de recarga que poseen. En cuanto a las unidades de edad mesozoica, aparecen varios tipos de acuíferos: por un lado, los detríticos, donde se ubican las unidades definidas como arenas de Utrillas y tramos areniscos de las facies Purbeck y Weald; por otro lado, los acuíferos carbonatados, que incluyen las formaciones carbonatadas del Jurásico y Cretácico, y por último las formaciones rocosas permeables por fisuración, como las areniscas triásicas y las ofitas incluidas en las facies Keuper.

Algunas unidades pueden tener características mixtas, tales como las calizas, que también tienen circulación de agua por las juntas. Las carnioles jurásicas, con porosidad elevada y fisuración, en ocasiones se presentan arenizadas. Las areniscas pueden presentar tramos permeables por porosidad intergranular y por fisuración.

La unidad de arenas de Utrillas, se presenta como un potente acuífero granular, interestratificado entre niveles de permeabilidad menor, aunque puede tener conexión hidráulica con formaciones suprayacentes. Esta formación presenta una elevada permeabilidad, y en caso de tener una recarga eficiente puede constituir un acuífero importante. Es el caso de las Tuerces, donde algunas poblaciones situadas en su margen sur se abastecen de manantiales emplazados en las arenas de Utrillas.

Los tramos más continuos de areniscas de las facies Purbeck pueden generar caudales que tengan cierto aprovechamiento.

Las unidades carbonatadas presentan una karstificación variable, que en algunas zonas está muy desarrollada. Tales son los casos de las barras carbonatadas cretácicas en las Tuerces y monte Bernorio, en los que existen varias fuentes asociadas a estos materiales. Los tramos más carbonatados de las facies Purbeck también tienen algunos manantiales en la zona al norte de las Tuerces.

La unidad jurásica basal J1, presenta una karstificación muy importante, por la presencia de niveles carnioles porosos y su intenso grado de tectonización. Al apoyar directamente sobre las arcillas impermeables del Keuper este contacto suele canalizar cierta cantidad de agua, a veces con caudales importantes.

El resto de unidades pueden presentar flujos localmente más destacados, pero en general son unidades que por la presencia de intercalaciones margosas o arcillosas serían clasificables como acuitardos o acuífugos.

Las areniscas triásicas del Buntsandstein son afectadas por el trazado oeste solo en un corto tramo, al N de Hormiguera, pero pueden presentar pequeños flujos asociados a niveles más permeables sobre todo en zonas de fractura.

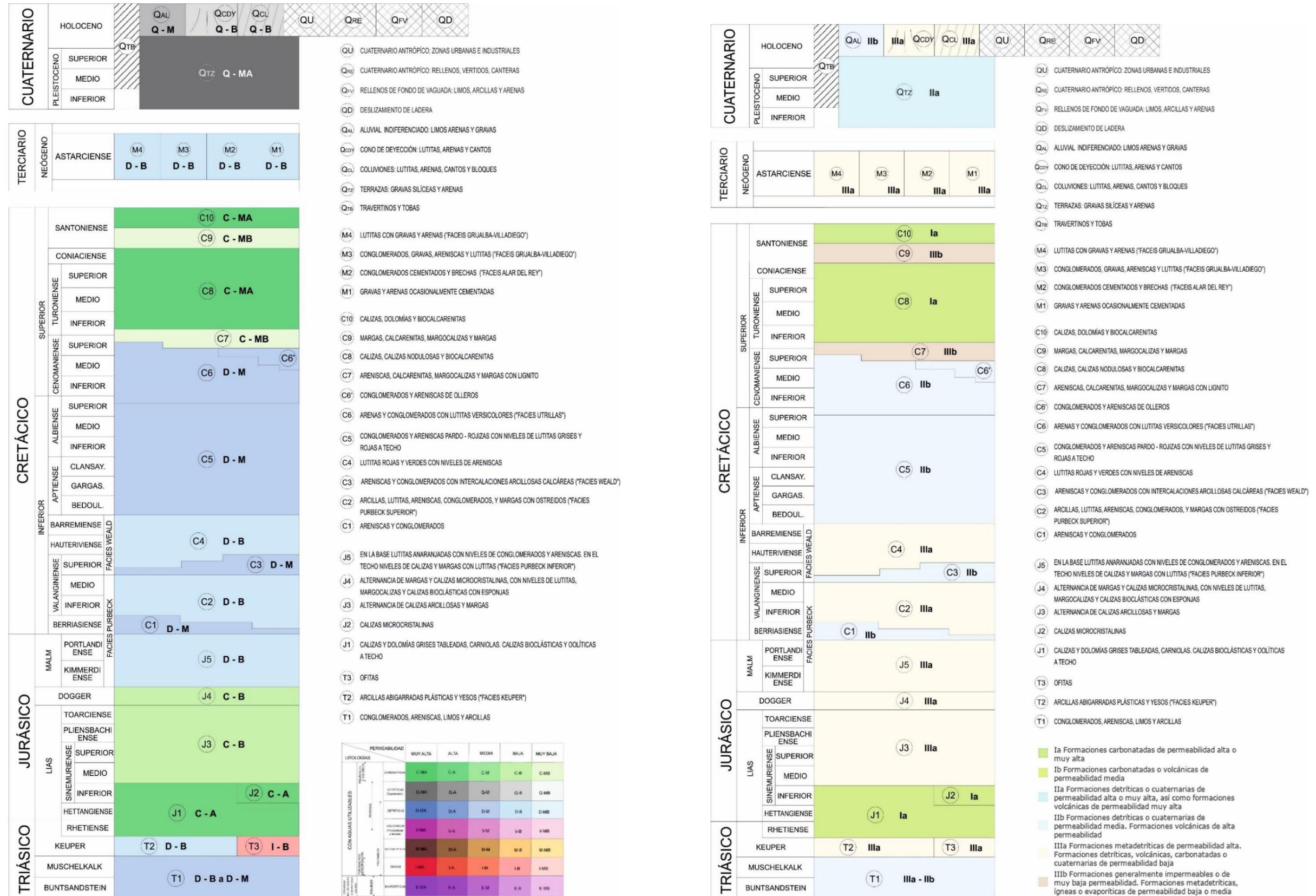


Figura 40. Permeabilidad (izquierda) y Carácter Hidrogeológico (derecha) de las unidades diferencias en la zona (elaboración propia a partir de información procedente del IGME, 2015).

A continuación, se efectúa la caracterización hidrogeológica de las formaciones litológicas definidas en el apartado de estratigrafía. Para ello se ha efectuado un análisis de la litología y estructura de dichas unidades con características similares, lo que hace que el comportamiento hidrogeológico esperable sea semejante.

Se cuenta, además de la información bibliográfica, con los datos aportados por los ensayos de infiltración (Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019), así como con los datos aportados por los sensores de cuerda vibrante colocados en cada uno de los sondeos (Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019):

- T2: Arcillas abigarradas plásticas y yesos “Facies Keuper”

Esta Unidad se ha localizado en la base del accidente (cabalgamiento) de Becerril, como unidad de despegue tectónico debido a las características de la litología de estas facies.

Se apoya tectónicamente sobre distintas unidades cretácicas. Litológicamente está constituida por lutitas y arcillas de distintas tonalidades, que van desde rojizos a verdosos, con evaporitas. En el ámbito de estudio no se aprecia la totalidad de la Unidad, únicamente el techo, por lo que se desconoce su espesor.

La permeabilidad de esta unidad, eminentemente arcillosa, es muy baja. Desde el punto de vista hidrogeológico esta Unidad se puede considerar como un acuicludo.

El sondeo SH-012, de 20 m de profundidad, se ha perforado completamente en estos materiales. Tanto en las medidas de niveles freáticos como lo que se deduce de las lecturas de los sensores de cuerda vibrante, se encuentra seco.

- J1 y J2: Calizas microcristalinas y dolomías oquerosas.

Dentro del ámbito de estudio, se localiza de manera paralela al accidente de Becerril, que superpone tectónicamente esta unidad jurásica a los afloramientos cretácicos del dominio de La Ojeda. Se apoya sobre la unidad triásica anterior [T2]. Al estar muy ligada al mencionado accidente tectónico, tanto el aspecto como la potencia de las unidades varía de unos puntos a otros, pudiendo llegar a desaparecer alguno de los términos litológicos que a continuación se caracterizan. Según la documentación consultada, la potencia de esta Unidad es de unos 150-200 m, en la zona de estudio y regionalmente puede alcanzar hasta los 400 m, estos datos, como ya se ha comentado, pueden variar en gran medida debido a su implicación en la zona del cabalgamiento de Becerril.

Presenta una karstificación muy importante, por la presencia de niveles carniolares porosos y su intenso grado de tectonización, que le confiere una permeabilidad alta o muy alta. Son esperables vías preferentes de flujo ligadas a la fracturación y al desarrollo kárstico asociado, con caudales que pueden llegar a ser importantes. Al apoyar directamente sobre las arcillas impermeables del Keuper este contacto suele canalizar cierta cantidad de agua, a veces con caudales también importantes.

Dentro del Estudio Informativo del Proyecto de la Línea de Alta Velocidad Palencia-Santander (Tramo: Villaprovedo-Reinosa), se dispone de dos ensayos Lugeon practicados en esta litología.

SONDEO	Nº ENSAYO	PROFUNDIDAD (m)		LITO.	PERMEABILIDAD			OBSERVACIONES
					UD. LUGEON	m/s	m/día	
STC 11+400	1	20	25	J1	0	5.49 x 10 <sup>-8</sup>	4.74E-03	Fallido en el 2º escalón
	2	30	35	J1	0	1.60 x 10 <sup>-7</sup>	1.38E-02	Sólo se alcanza 7.5 kg/cm <sup>2</sup>

- J3: Alternancia de margocalizas y margas.

Dentro de esta Unidad se han incluido las unidades geológicas del jurásico marino constituidas por litologías carbonatadas, margas y calizas, fundamentalmente. Concretamente, dentro de la presente Unidad han quedado englobadas las Unidades JMc y JMm, descritas en el Apartado de la estratigrafía.

En el ámbito de estudio, se localiza en una banda estrecha muy condicionada por la estructura, paralela a la Unidad anterior.

Así, litológicamente, está constituida por una alternancia de materiales margosos y niveles de caliza. El espesor del conjunto puede alcanzar hasta los 100 m, aunque se encuentra muy condicionado por la tectónica. Este conjunto litológico, tiene una permeabilidad baja, debido a su contenido margoso. No obstante, algún nivel de calizas puede presentar una permeabilidad mayor, aunque su importancia queda limitada por el espesor de la capa. Esta Unidad se puede considerar como un acuicludo, sobre todo en el caso de los flujos transversales a la estratificación.

Los ensayos de infiltración realizados en el presente trabajo, sobre estos materiales se exponen en la tabla siguiente:

SONDEO	PROF. (m)	LITOLOGÍA	K MEDIA (cm/s)	K MEDIA (m/d)
SH-014	8,85	Margas con intercalaciones de caliza (JMm) - JURÁSICO	1,03E-05	0,0089
SH-014	12,05	Margas con intercalaciones de caliza (JMm) - JURÁSICO	3,58E-06	0,0031

Como se puede apreciar, los resultados de estos materiales corresponden a litologías de baja permeabilidad, lo que condiona el flujo del agua aportada por los materiales superiores.

- J4: Alternancia de margas y calizas microcristalinas, con niveles de lutitas, margocalizas y calizas bioclásticas.

Esta Unidad representa los materiales inferiores jurásicos de origen marino. Se apoyan sobre la Unidad anterior y se localizan de manera paralela al cabalgamiento de Becerril.

Desde el punto de vista litológico, esta unidad jurásica se caracteriza por estar constituida por calizas y dolomías grises bien estratificadas, tableadas, en bancos decimétricos muy característicos y un conjunto de calizas y dolomías oquerosas, carniolas, de aspecto masivo.

Debido a su localización tectónica, próxima al accidente de Becerril, se encuentran muy fracturadas y replegadas, lo que se traduce en una alta densidad de planos o discontinuidades, generando un grado de karstificación superficial significativo y, en definitiva, una permeabilidad alta que junto a su considerable potencia, en la zona de estudio unos 150-200 m y regionalmente hasta 400, hace que se comporte como un acuífero de alta permeabilidad por karstificación y fisuración.

Los ensayos de infiltración realizados en el presente trabajo, sobre estos materiales se exponen en la tabla siguiente:

SONDEO	PROF. (m)	LITOLOGÍA	K MEDIA (cm/s)	K MEDIA (m/d)
SH-013	14,2	Calizas bien estratificadas y carniolas (Jc) - JURÁSICO	1,42E-04	0,1225
SH-014	34,25	Calizas bien estratificadas y carniolas (Jc) - JURÁSICO	3,19E-05	0,0276
SH-014	48,35	Calizas bien estratificadas y carniolas (Jc) - JURÁSICO	3,08E-05	0,0266

Según los datos aportados por los sensores de cuerda vibrante, los materiales jurásicos, presentan un fuerte gradiente hacia el arroyo de la Costana, si bien la cota del piezómetro SH-013 parece indicar que el nivel se halla por debajo de la del arroyo, por lo que el cauce se podría comportar como perdedor en este tramo, como se deduce de los resultados de los caudales medidos en este arroyo.

- J5: Lutitas anaranjadas con conglomerados y areniscas. A techo niveles de calizas y margas en "Facies Purbeck"

Sobre la unidad anterior se instalan los materiales de origen continental, facies Purbeck. Dentro del conjunto litológico que constituyen estas facies, la presente unidad representa las litologías constituidas por calizas, conocidas como Calizas de Aguilar.

El espesor de las Calizas de Aguilar no es muy considerable, en la zona de estudio, en torno a los 60 m, aunque en las proximidades puede alcanzar los 150 m, según la información del IGME (Memoria de la Hoja MAGNA nº 133). Esta Unidad está altamente tectonizada, tiene una gran densidad de discontinuidades, que favorece el proceso kárstico, por lo que la permeabilidad de esta unidad se estima alta, pudiendo considerarse un acuífero por karstificación y fisuración. Estos materiales carbonatos se encuentran tiene intercalaciones de materiales detríticos, areniscas, conglomerados y lutitas (UHJPd en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019), lo que reduce considerablemente la permeabilidad del conjunto. De estos materiales no se disponen datos de ensayos de infiltración.

Los flujos, en estos materiales tiene dirección noroeste-sureste, próximos a nivel de base que supone el río Pisuerga.

- C1 y C2: Areniscas y conglomerados "Facies Purbeck Inferior" y arcillas, areniscas, conglomerados y margas "Facies Purbeck Superior"

Las facies Purbeck están formadas por litologías sedimentarias de origen continental, en esta Unidad Hidrogeológica quedan recogidas las de carácter detrítico y mixto, incluidos niveles de calizas oncolíticas, es decir, desde lutitas y margas hasta areniscas y conglomerados (unidades JPd y JPM en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019). La relación con la unidad anterior se efectúa como un cambio lateral de facies.

En el ámbito de estudio, este conjunto litológico tiene un espesor muy condicionado por la tectónica, entre 50 y 100 m, según la bibliografía consultada. Desde el punto de vista hidrogeológico se puede tratar como un medio de permeabilidad media-baja en el caso de las capas constituidas por areniscas o conglomerados, o un acuífero en el caso de las capas de margas y lutitas. En las zonas de fracturación de los materiales detríticos más gruesos se generan zonas de flujos preferentes por la arenización y brechificación de los mismos, aumentando considerablemente la permeabilidad. Como en el caso anterior, no se dispone datos de ensayos de infiltración. Los flujos de agua subterránea, en esta unidad, están condicionados a los aportes de los materiales carbonatados, UH JPC (en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019).

- C3, C4, C5, y C6: Areniscas y conglomerados con intercalaciones arcillosas "Facies Weald", Lutitas rojas y verdes con niveles de areniscas "Facies Weald", Conglomerados y areniscas silíceas con niveles de lutitas grises y rojas a techo y Arenas, gravas y conglomerados con arcillas versicolores "Facies Utrillas"

La presente unidad está constituida por las dos unidades detríticas del Cretácico Inferior que se han diferenciado en la estratigrafía (unidades CCg y CAu en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019). Litológicamente, esta unidad está conformada por niveles de conglomerados y areniscas, con distintos grados de cementación, con intercalaciones de limos y lutitas, lo que influye directamente en la permeabilidad, que se considera, media.

La potencia de esta Unidad varía, según el dominio donde se encuentran, siendo mucho más importante en el dominio Pisuerga-Tuerces, donde el conjunto supera los 400 m.

Desde el punto de vista hidrogeológico esta Unidad se clasifica como un medio de baja-media permeabilidad. Como sucede con la Unidad anterior, existen zonas, relacionadas con la fracturación y/o alteración, donde la permeabilidad aumenta, dando lugar a flujos preferentes; en estos tramos, las areniscas y conglomerados se encuentran más sueltos, comportándose como un acuífero, como se puede comprobar en el rango de los valores obtenidos en las pruebas de infiltración, cuyos resultados se exponen en la siguiente tabla:

SONDEO	PROF. (m)	LITOLOGÍA	K MEDIA (cm/s)	K MEDIA (m/d)
SH-015	20,85	U. Detrítica de base. Conglomerados, areniscas y argilitas (CCg) - CRETÁCICO	2,12E-05	0,0183
SH-015	23,8	U. Detrítica de base. Conglomerados, areniscas y argilitas (CCg) - CRETÁCICO	1,67E-05	0,0144
SH-019	5,55	U. Detrítica de base. Conglomerados, areniscas y argilitas (CCg) - CRETÁCICO	3,40E-05	0,0294
SH-019	20	U. Detrítica de base. Conglomerados, areniscas y argilitas (CCg) - CRETÁCICO	1,46E-05	0,0126
SH-019	23	U. Detrítica de base. Conglomerados, areniscas y argilitas (CCg) - CRETÁCICO	8,52E-06	0,0074
SH-019	29	U. Detrítica de base. Conglomerados, areniscas y argilitas (CCg) - CRETÁCICO	1,49E-04	0,1284
SH-019	35,35	U. Detrítica de base. Conglomerados, areniscas y argilitas (CCg) - CRETÁCICO	1,61E-04	0,1391
SH-019	40,15	U. Detrítica de base. Conglomerados, areniscas y argilitas (CCg) - CRETÁCICO	9,63E-05	0,0832

Los sondeos SH-019 y SH-015, ambos con unos 40 m de profundidad en la Unidad detrítica de base (CCg en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019). En ambos casos los sensores están demostrando que el nivel piezométrico, de existir, se encuentra por debajo del fondo de la perforación. Los sensores indican que están secos, hecho que es coherente con las observaciones realizadas en los ensayos de infiltración.

- C7: Areniscas ocreas, calcarenitas, margocalizas y margas con lignito

Sobre los materiales detríticos anteriores se apoyan unas unidades de carácter mixto, detrítico y carbonatado, que representan el paso de la sedimentación continental a la marina de las siguientes unidades. En esta Unidad Hidrogeológica se han agrupado dos unidades margosas del Cretácico, (unidades CMt y CMI en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019), de las unidades geológicas caracterizadas en el apartado de Estratigrafía.

Litológicamente, está constituida por margas, lutitas y algún nivel de areniscas, calcarenitas y calizas. Este conjunto litológico tiene una potencia muy variable, dentro del ámbito de estudio, de entre 50-150 m, aproximadamente.

Esta unidad presenta una acusada anisotropía, de modo que el flujo a favor de la estratificación, de los niveles de areniscas o calcarenitas, puede tener una cierta relevancia mientras que el flujo transversal a la misma puede ser prácticamente despreciable. En general, se trata de materiales de muy baja permeabilidad, si bien puntualmente se detecta algún valor relativamente elevado, como se puede ver en la tabla que se adjunta a continuación:

SONDEO	PROF. (m)	LITOLOGÍA	K MEDIA (cm/s)	K MEDIA (m/d)
SH-009	16,8	Margas de transición. Niveles de areniscas y de caliza (CMT) - CRETÁCICO	1,47E-04	0,1268
SH-009	24,2	Margas de transición. Niveles de areniscas y de caliza (CMT) - CRETÁCICO	6,40E-06	0,0055
SH-017	20,4	Margas de transición. Niveles de areniscas y de caliza (CMT) - CRETÁCICO	1,77E-06	0,0015

- C8: Calizas, calizas nodulosas y biocalcarenitas.

Esta Unidad hidrogeológica representa la barra marina carbonatada inferior del Cretácico Superior, la Primera Serie Marina (unidades CC1, CCa y CCn en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019). Por tanto, está constituida litológicamente por calizas nodulosas (CCn en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019) en la base, calizas y dolomías bien estratificadas (CC1 en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019) y calizas arenosas y calcarenitas (CCa en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019), en la parte superior. La potencia de este conjunto litológico es del orden de los 50-80 m, aunque, en el dominio de La Ojeda se encuentra muy condicionada por la tectónica, encontrándose muy adelgazada.

Localmente, la permeabilidad de estos materiales, eminentemente carbonatados, es alta debido al alto grado de karstificación que presentan, favorecido por la alta densidad de discontinuidades.

Desde el punto de vista hidrogeológico, esta Unidad se comporta como un acuífero de altos valores de los parámetros hidráulicos.

Los valores obtenidos en los ensayos de infiltración, tabla 30, se deducen valores de permeabilidad baja a media.

SONDEO	PROF. (m)	LITOLOGÍA	K MEDIA (cm/s)	K MEDIA (m/d)
SH-003	76,85	Caliza bien estratificada (CC1) - CRETÁCICO	2,57E-05	0,0222
SH-004	50,3	Caliza bien estratificada (CC1) - CRETÁCICO	1,50E-04	0,1294
SH-011	6,3	Caliza bien estratificada (CC1) - CRETÁCICO	1,64E-04	0,1418
SH-011	16,7	Caliza bien estratificada (CC1) - CRETÁCICO	7,16E-06	0,0062

Según las zonas, estos materiales presentan gradientes altos, como ocurre en los sondeos SH010 y SH-011, en zonas próximas a las de recarga o como ocurre con el sondeo SH-003 que tiene un nivel piezométrico muy bajo, debido a localizarse en la parte marginal de la estructura. Por otra parte, el SH-004 si tiene niveles piezométricos acordes con la esta Unidad, 960-983 msnm.

- C9: Margas ocreas, calcarenitas, margocalizas y margas.

La presente Unidad Hidrogeológica representa la unidad margosa marina existente entre la primera y la Segunda Serie Marina del Cretácico Superior. Litológicamente, está constituida por margas con un espesor muy variable, debido a la alta tectonización, sobre todo en el dominio de La Ojeda, variando entre unos 70 a 120 m, según la memoria de la Hoja nº 133 del MAGNA.

Se trata de materiales que presentan claramente muy baja permeabilidad, coherente con su naturaleza litológica, como se puede ver en los valores expuestos en la tabla siguiente:

SONDEO	PROF. (m)	LITOLOGÍA	K MEDIA (cm/s)	K MEDIA (m/d)
SH-005	13,25	Margas intermedias (CMi) - CRETÁCICO	1,04E-05	0,0090
SH-005	48,35	Margas intermedias (CMi) - CRETÁCICO	6,51E-05	0,0562
SH-005	60,25	Margas intermedias (CMi) - CRETÁCICO	2,74E-05	0,0236
SH-010	26,4	Margas intermedias (CMi) - CRETÁCICO	6,69E-06	0,0058
SH-018	2,4	Margas intermedias (CMi) - CRETÁCICO	8,61E-06	0,0074
SH-018	23,2	Margas intermedias (CMi) - CRETÁCICO	6,50E-06	0,0056
SH-018	43,5	Margas intermedias (CMi) - CRETÁCICO	1,26E-06	0,0011
SH-018	60,2	Margas intermedias (CMi) - CRETÁCICO	5,63E-05	0,0486

Desde el punto de vista hidrogeológico, esta unidad se clasifica como un acuícludo. Por la posición estratigráfica, normalmente entre los dos acuíferos kársticos del Cretácico Superior, puede suponer una barrera de al flujo de agua subterránea entre ambas.

Los sondeos en margas intermedias los niveles indican niveles desde cota 962 a 946 msnm mostrando flujo hacia el Noreste con recarga en las calizas bien estratificadas (CC1 en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019).

- C10: Calizas grises, dolomías y biocalcarenitias grises y ocreas.

Esta Unidad Hidrogeológica representa la segunda serie marina del Cretácico Superior (unidades CC2 y CAc en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019). Desde el punto de vista litológico, la presente Unidad es semejante a la de la primera serie marina. La potencia de esta serie oscila entre 60-80 m, aunque en la zona de La Ojeda los espesores están muy condicionados por la tectónica.

Aunque se trate de un conjunto litológico que se puede considerar de permeabilidad alta, los resultados de los ensayos de infiltración apuntan hacia una permeabilidad baja, como se puede ver en la siguiente tabla:

SONDEO	PROF. (m)	LITOLOGÍA	K MEDIA (cm/s)	K MEDIA (m/d)
SH-007	25	Calizas bien estratificadas (CC2) - CRETÁCICO	5,10E-06	0,0044
SH-007	45,2	Calizas bien estratificadas (CC2) - CRETÁCICO	3,93E-06	0,0034
SH-007	60,5	Calizas bien estratificadas (CC2) - CRETÁCICO	3,09E-07	0,0003
SH-008	3,5	Calizas bien estratificadas (CC2) - CRETÁCICO	5,01E-05	0,0432

Los sondeos en calizas bien estratificadas (CCs en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019)) indican valores de cota elevados, por lo que en general, estos materiales actúan como áreas de recarga, detectándose las principales zonas de recarga al Oeste del Murciélagu, existiendo una divisoria de aguas subterráneas que separaría el sector de Nogales (Suroeste) del sector del Murciélagu. El sector de Nogales descargaría en el manantial que existe a cota 904 msnm, mientras que el sector del Murciélagu descarga de forma difusa en los materiales del río Pisuerga.

- M2: Conglomerados cementados y brechas “Facies Alar del Rey”

Las facies granulares gruesas del terciario, adosadas a los relieves mesozoicos, se apoyan sobre los materiales cretácicos de La Ojeda, están conformados por brechas y conglomerados con cemento carbonatado. Se trata de un conjunto litológico masivo con escasas superficies de discontinuidad y evidencias superficiales de procesos kársticos (disolución) lo que le proporciona una permeabilidad media-baja al conjunto; en función de la presencia de niveles arcillosos esta permeabilidad puede ser, localmente, muy baja.

Desde el punto de vista hidrogeológico esta Unidad se puede clasificar como un acuitardo, salvo que se presente karstificado, cobn zonas de flujo preferente, donde presenta un mayor grado de disolución y, debido a ésta, mayor porosidad.

Se tiene un único valor de la permeabilidad obtenido en un ensayo de infiltración que da un resultado de permeabilidad media-baja:

SONDEO	PROF. (m)	LITOLOGÍA	K MEDIA (cm/s)	K MEDIA (m/d)
SH-002	20,4	Conglomerado polimíctico bien cementado (TCg) - Terciario	5,10E-05	0,0441

El caso del sondeo SH-001, enclavado en arcillas y gravas polimícticas (TAg en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019), el nivel se halla muy próximo a la superficie (904-907 msnm) e indica flujo ascendente, hecho que se ha podido corroborar en la perforación.

- M1: Gravas y arena, ocasionalmente cementadas.

Según los materiales terciarios se van alejando del contacto con el mesozoico, hacia el sur del ámbito de estudio, van apareciendo más niveles arcillosos, entre los cuerpos conglomeráticos, hasta hacerse mayoritarios. Esta Unidad representa estas litologías, niveles de arcillas con intercalaciones de conglomerados.

La permeabilidad de este conjunto litológico es baja, debido a la presencia de los niveles arcillosos, acuícludo. No obstante, en los niveles conglomeráticos la permeabilidad relativa puede ser algo superior. Localmente se aprecian rezumes y pequeñas aportaciones de agua, según se han apreciado en algunas de las excavaciones, a cotas próximas a 900 msnm.

- Qtz. Terrazas fluviales: Gravas silíceas y arenas.

Únicamente se han representado los depósitos de terrazas del río Pisuerga, depósitos de este cauce sobre los que se encaja o divaga y que se encuentran a distintas cotas sobre el valle aluvial. Litológicamente están conformados por niveles granulares gruesos con intercalaciones arenosas y arcillosas. La permeabilidad, en general, de esta unidad es alta.

Desde el punto de vista hidrogeológico esta unidad se define como un acuífero detrítico, conectado hidráulicamente en la mayoría de los casos con el cauce o la llanura aluvial del río. Sólo aquellas terrazas que han quedado colgadas sobre sustrato quedan desconectadas del depósito aluvial del río.

- Qcl. Coluviales: Lutitas, arenas, cantos y bloques.

Esta unidad representa los depósitos producidos por la dinámica natural de las laderas. Debido a la variedad de litologías existentes en el ámbito de estudio, y a su disposición, existen acumulaciones de cierta entidad de estos materiales. Así, las litologías que los constituyen son variadas, según los materiales de procedencia, desde bloques hasta depósitos de carácter arcillosos. La permeabilidad, por tanto, varía entre baja a muy alta.

Por su localización en las laderas, además del agua infiltrada sobre estos materiales puede recibir flujos de agua de los materiales del sustrato. En el caso de apoyarse sobre unidades de permeabilidad baja pueden dar lugar a la presencia de manantiales, generalmente de carácter estacional, o rezumes, según la permeabilidad de estos depósitos de ladera.

Por tanto, el comportamiento de la Unidad, como en el caso anterior, según sea su composición litológica, se considera un acuífero o un acuitardo.

- Qal. Aluvial indiferenciado: Limos, arenas y gravas.

El aluvial actual del río Pisuerga está constituido por los depósitos por donde divaga el cauce del río. Litológicamente están conformados por niveles granulares gruesos con intercalaciones de arenas. La permeabilidad es muy alta.

Desde el punto de vista hidrogeológico esta unidad representa un acuífero detrítico, conectado hidráulicamente con el cauce del río.

- QFv. Relleno de fondo de vaguada: Limos, arcillas y arenas.

Se ha representado en aquellos valles donde presenta una superficie significativa. Litológicamente, está conformados por materiales detríticos de distinta granulometría, lo que le confiere una permeabilidad media. Por su localización, en la parte inferior de los valles, estos depósitos de origen mixtos pueden ser alimentados por flujos de agua de los materiales que constituyen el sustrato.

El funcionamiento hidrogeológico de esta Unidad, según esté conformado por litologías detríticas gruesas o por finas, se considera un acuífero conectado con el flujo local, o como un acuitardo en el segundo caso.

- Fracturación. Fallas y cabalgamientos

Aunque las fracturas no forman una unidad hidrogeológica, localmente, estas discontinuidades tienen una importancia destacada, tanto en el sentido de los flujos como en los contrastes de permeabilidad que generan dentro de los macizos. En ocasiones actúan como zonas de circulación preferente, además de constituir zonas de infiltración.

Las fallas son zonas de debilidad a favor de las cuales los procesos de karstificación y encajamiento de la red de drenaje superficial se intensifican, por lo que, a priori, son zonas de flujos de agua destacados. No obstante, la presencia de unidades de carácter margoso y arcilloso hace que los flujos de agua subterránea tengan direcciones paralelas a los contactos con los materiales de mayor permeabilidad relativa. La configuración estructural de estas unidades y la compartimentación de los macizos por la fracturación configuran las direcciones de flujo.

El cabalgamiento o accidente de Becerril es la discontinuidad de mayor orden en el ámbito de estudio. Desde el punto de vista hidrogeológico, pone en contacto los materiales arcillosos del Keuper, nivel de despegue, con los materiales cretácicos. Debido a la baja permeabilidad de los materiales triásicos, se produce una zona de contraste de permeabilidades lo que favorece la aparición de zonas de descarga de aguas subterráneas procedentes de los materiales de mayor permeabilidad.

Existen otros cabalgamientos que ponen en contacto distintos niveles cretácicos entre sí. Las margas de la Unidad CMi (en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019) también juegan un papel importante como nivel de despegue, en este caso entre materiales cretácicos, lo que le proporciona unas características hidrogeológicas similares al Keuper en la fractura anteriormente descrita; ello es debido a su baja permeabilidad.

Por otra parte, las fracturas de mayor continuidad en los macizos carbonatados de la zona de La Ojeda compartimentan zonas donde condicionan los flujos de agua subterránea hacia el sur, en la parte occidental y meridional del ámbito. En el dominio del Jurásico y Pisuerga-Las Tuerces las fallas existentes, en general, tienen menor recorrido y, por tanto, tienen una influencia de menos peso en la compartimentación del macizo, dando lugar a flujos locales de escasa entidad.

A partir del análisis de las características de las distintas Unidades Hidrogeológicas se obtienen las siguientes conclusiones. Hay que tener en cuenta que la variabilidad en las permeabilidades obtenidas, al tratarse de datos de permeabilidad localizada en el tramo en el que se realiza el ensayo, por lo que se puede decir que:

- Se detectan valores de permeabilidad más alta en las Calizas bien estratificadas y carniolas (JCc en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019) - JURÁSICO, Caliza bien estratificada (CC1 en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019) - CRETÁCICO y en la Unidad Detrítica de base - Conglomerados, areniscas y argilitas (CCg) - CRETÁCICO.
- Se detectan muy bajas permeabilidades en las Margas con intercalaciones de caliza (JMm en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019) - JURÁSICO y en las Margas intermedias (CMi en Estudio Hidrogeológico, AECOM 2019) - CRETÁCICO.
- Hay dos formaciones en las que se detectan valores aparentemente contradictorios: En primer lugar, el caso de las Calizas bien estratificadas, estas deberían de ser mayores los valores de permeabilidad, dadas las características de los materiales, pero como se ha podido comprobar durante la testificación de estos materiales, las calizas son muy masivas sin porosidad secundaria. Por otro lado, en el caso de las Margas de transición, se obtiene un valor relativamente elevado, probablemente relacionado con un nivel más permeable, pero en general la formación presenta muy baja permeabilidad.

En general, se trata de formaciones de baja a muy baja permeabilidad, y así lo demuestran las evoluciones de los ensayos. Además, existen claras evidencias de que esto es así, ya que no existen surgencias con importantes caudales de descarga. Tampoco se encuentran complejos kársticos o un exokarst desarrollado que pueda evidenciar circulaciones subterráneas importantes. Por último, las pérdidas registradas en sondeos son mínimas y el sellado de sondeos con lechada nunca ha presentado problemas, siempre se ha conseguido hacer ascender la lechada hasta las superficies sin mayores problemas.

### 3.4.2.2. Niveles piezométricos

Se han recopilado los niveles freáticos recogidos en los siguientes estudios y/o proyectos precedentes:

- Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo. Línea de Alta Velocidad Palencia – Santander. Primer Informe de Seguimiento (AECOM, octubre 2019).
- Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo. Línea de Alta Velocidad Palencia – Santander. Estudio Hidrogeológico (AECOM, mayo 2019).
- Estudio Informativo de la Línea de Alta Velocidad Aguilar - Reinosa. (Ineco, 2018)
- Estudio Informativo del Proyecto de la Línea de Alta Velocidad Palencia – Alar del Rey. (Ineco, 2018).
- Estudio Informativo del Proyecto de la Línea de Alta Velocidad Palencia-Santander. Tramo: Villaprovedo-Reinosa. Fase A 1:25.000. (Ineco, 2009).
- Proyecto de Construcción. Autovía A-73 Burgos \_ Aguilar de Campoo. Tramo: Bascones de Valdivia – Aguilar de Campoo. Carretera N-627 de Burgos a Reinosa. PK 56,25 al 61,96. Provincia de Palencia (Tecopysa, 2008).
- Proyecto de Trazado y Construcción Autovía Cantabria – Meseta, A-67 PK 112 al 120. Tramo: Aguilar de Campoo– Límite de Cantabria (UTE Eyser Ecopisa, 2000).
- Proyecto de Trazado y Construcción Autovía Cantabria - Meseta, A-67 de Palencia a Santander. PK 140 al PK 120. Tramo: Reinosa (N)– Límite de Palencia. (Synconsult S.L. 1999).

Por otra parte, INECO ha efectuado varias visitas de campo al área de los trazados, ex profeso para el presente Estudio Informativo. En ellas ha sido posible la localización de 2 sondeos de campañas anteriores, en los que se ha procedido a realizar una medida del nivel piezométrico. Esta información se resume en la siguiente tabla:

Id	X (ETRS89)	Y (ETRS89)	Z (msnm)	FECHA MEDIDA	PROF. NF (m)	COTA NF (m.s.n.m.)	PROYECTO ORIGINAL
STO 6+670	393791	4732358	962	Oct. 2019	12	950.00	INECO (2010)
S-4+000	399.397,00	4.736.838,00	921,0	Dic. 2019	13,64	907.40	TECOPYSA (2008)

Cabe mencionar los sondeos llevados a cabo durante el *Estudio Informativo de Alar del Rey – Santander (2003)*, de los que no se dispone de información de proyecto referente a niveles freáticos. Sin embargo, durante la realización del inventario de puntos de agua del *Estudio Informativo de la Línea de Alta Velocidad Aguilar - Reinosa. (Ineco, 2018)*, se ha conseguido localizar y medir el sondeo S’-8 (E. I. Alar del Rey – Santander, 2002), coincidente con el túnel 3.1. proyectado en la alternativa Este del Tramo 3. Asimismo, se ha establecido su cota topográfica aproximada (a partir del MDT 5x5 m procedente del CNIG). La lectura se resume en la siguiente tabla:

ID	DENOM.	X (ETRS 89)	Y (ETRS 89)	Z (msnm) BARO. (GPS)	Z (msnm) MDT	FECHA	Prof. N.F. (m)	COTA N. F. msnm
P-27	Sondeo S'8	407055,51	4756633,89	953,00	951,20	16/09/2018	58,35	894,65

Durante la realización de este mismo Estudio Informativo, se obtuvieron datos piezométricos suministrados por el Instituto Tecnológico Agrario de la Junta de Castilla y León (ITACyL) procedentes de los sondeos destinados a regadío; algunos de ellos se situaban próximos al Túnel 1.7. Los datos obtenidos durante la campaña del citado estudio se resumen en la siguiente tabla. Por su parte, dichos sondeos se encuentran inventariados en el apartado 3.4.2.3.7. Los sondeos en cuestión se captan el acuífero cretácico con cotas piezométricas estáticas entre 891 m.s.n.m. y 908 m.s.n.m.

SONDEO	AÑO	POT. BOMBA (kW)	PROF. SONDEO (m)	COTA BOCA SONDEO (m.s.n.m.)	P. NIVEL DINÁMICO (m)	P. NIVEL ESTÁTICO (m)	CAUDAL (L/s)	COORD. X	COORD. Y
Villarén de Valdivia (P-33)	2005	75	332 m.	960,73	-100	-53,22	34,1	402756	4737787
Porquera de los Infantes (P-34)	2003	89	341	929,23	-85	-27,5	39,1	401502	4738652
Quintanilla de las Torres (P-35)	2004	53	212	940,59	-80	-49,43	23,6	403117	4740921

Debido a su extensión, el seguimiento piezométrico detallado, llevado a cabo en el *Estudio Hidrogeológico por AECOM* (aún en realización), se incluye en los sub-apéndices 3.9 y 3.10. En las siguientes tablas, no obstante, se resume la información piezométrica extraída de las lecturas de los piezómetros de cuerda vibrante instalados para realizar dicho seguimiento, así como de los piezómetros Pz-125 y Pz-130, en los cuales fueron instalados sensores limnimétricos.

ESTUDIO Y SEGUIMIENTO HIDROGEOLOGICO DE LOS TUNELES DEL TRAMO ALAR DEL REY – AGUILAR DE CAMPOO. LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA – SANTANDER. PRIMER INFORME DE SEGUIMIENTO (AECOM, 2019).												
Id	X (ETRS89)	Y (ETRS89)	Z (msnm)	Sensor	Cota. Max (m)	Observaciones						
SH-001	392.597	4.726.170	907,6	SH-001a	907,5	SH-001b	904	SH-001c	-			
SH-002	393.087	4.726.604	977,7	SH-002a	952	SH-002b	953	SH-002c	954	SH-002d	-	
SH-003	393.144	4.726.816	955,1	SH-003a	880	SH-003b	-	SH-003c	-	SH-003d	-	
SH-004	393.195	4.727.238	986,3	SH-004a	953	SH-004b	-	SH-004c	-	SH-004d	-	El sensor SH-007a muestra un importante descenso del NP durante el estiaje
SH-005	393.210	4.727.583	955,5	SH-005a	954	SH-005b	954	SH-005c	960	SH-005d	954	Se deshecha la lectura del sensor SH-005c ya que se lectura está por encima del siguiente sensor.
SH-006	392.677	4.727.200	967,1	SH-006a	932	SH-006b	934	SH-006c	952	SH-006d	963	
SH-007	392.775	4.728.005	1.010,20	SH-007a	992	SH-007b	993	SH-007c	998	SH-007d	-	El sensor SH-007a muestra un importante descenso del NP durante el estiaje
SH-008	392.568	4.727.542	1.001,60	SH-008a	969	SH-008b	974,5	SH-008c	-	SH-008d	-	
SH-009	393.509	4.727.456	898,2	SH-009a	979	SH-009b	-	SH-009c	-	SH-009d	-	
SH-010	393.651	4.728.763	915,3	SH-010a	911	SH-010b	911	SH-010c	913			
SH-011	393.906	4.728.807	887,6	SH-011a	867,5	SH-011b	870,5	SH-011c	884,5			
SH-012	393.799	4.729.239	917,6	SH-012a	-	SH-012b	-	SH-012c	-			Las lecturas de los tres sensores dan 0.
SH-013	393.820	4.729.874	887	SH-013a	866	SH-013b	-	SH-013c	-			
SH-014	393.580	4.730.452	952,8	SH-014a	-	SH-014b	-	SH-014c	-			Las lecturas de los tres sensores dan 0.
SH-015	393.860	4.731.955	948,7	SH-015a	-	SH-015b	-	SH-015c	-			Las lecturas de los tres sensores dan 0.
SH-016	394.642	4.734.033	958,7	SH-016a	932	SH-016b	934	SH-016c	954	SH-005d	954	El sensor SH-016a muestra un importante descenso del NP durante el estiaje
SH-017	394.972	4.734.482	949	SH-017a	948	SH-017b	952	SH-017c	947	SH-006d	-	El sensor SH-017C muestra descenso del NP durante el estiaje
SH-018	393.083	4.727.958	955,6	SH-018a	948	SH-018b	948	SH-018c	948	SH-018d	-	
SH-019	393.751	4.732.075	943,2	SH-019a	-	SH-019b	-	SH-019c	-			Las lecturas de los tres sensores dan 0.

ESTUDIO Y SEGUIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LOS TÚNELES DEL TRAMO ALAR DEL REY – AGUILAR DE CAMPOO. LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA – SANTANDER. PRIMER INFORME DE SEGUIMIENTO (AECOM, 2019).						
Id	X (ETRS89)	Y (ETRS89)	Z (msnm)	Tipo de medida	Cota piezométrica. max.(m)	Cota piezométrica. min.(m)
Pz-125	394.963	4.734.159	948,9	Sensor	905	905
Pz-130	395.156	4.734.233	939,9	Sensor	909	908

Por otra parte, en la siguiente tabla, se sintetiza el seguimiento efectuado en el *Estudio Informativo del Proyecto de la Línea de Alta Velocidad Palencia-Santander. Tramo: Villaprovedo-Reinosa. Fase A 1:25.000. (Ineco, 2009).*

ESTUDIO INFORMATIVO DEL PROYECTO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA-SANTANDER. TRAMO: VILLAPROVEDO-REINOSA. FASE A 1:25.000. (INECO, 2009).																														
SONDEO	MEDIDA PROFUNDIDAD (m) NIVEL Y FECHA																													
	SAR 12+400	21/10/2009	22/10/2009																											19/11/2009
0		3,9	13,6																										10,64	11,96
SAR 14+350																													19/11/2009	26/11/2009
																													8,02	12,5
STC 8+000																													19/11/2009	26/11/2009
STC 8+900																													19/11/2009	26/11/2009
STC 11+400																													19/11/2009	26/11/2009
STO 6+670																														26/11/2009
																														11,15
STO 8+750																													19/11/2009	26/11/2009
STO 11+500																													19/11/2009	26/11/2009
STO 14+450																													19/11/2009	26/11/2009

Por su parte, en las tablas que se presentan a continuación se resumen las medidas obtenidas en los dos últimos proyectos referidos:

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)		COTA PIEZOM. (m.s.n.m.)	
	SD-3	SD-4	SD-3	SD-4
COTA	938	948	938	948
21/01/1999	-6	---	932	
25/01/1999	-6,9	---	931,1	
27/01/1999	-7,3	---	930,7	
05/02/1999	-8,4	---	929,6	
08/02/1999	-8,3	-3,8	929,7	944,2
10/02/1999	-8,5	-5,1	929,5	942,9

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)		COTA PIEZOM. (m.s.n.m.)	
	SD-3	SD-4	SD-3	SD-4
COTA	938	948	938	948
12/02/1999	-8,5	-6,2	929,5	941,8
19/02/1999	-8,3	-8	929,7	940
26/02/1999	-8,6	-9,2	929,4	938,8
12/03/1999	-8,5	-9,6	929,5	938,4
26/03/1999	-8,4	-10,2	929,6	937,8
26/04/1999	-9	-12,3	929	935,7
		<b>Máx.</b>	<b>932</b>	<b>944,2</b>
		<b>Mín.</b>	<b>929</b>	<b>935,7</b>

SONDEO	PROFUNDIDAD (m)			COTA PIEZOM. (m.s.n.m.)		
	ST-1	SD-1	SD-2	ST-1	SD-1	SD-2
<b>COTA</b>	<b>876</b>	<b>906,5</b>	<b>917,6</b>	<b>876</b>	<b>906,5</b>	<b>917,6</b>
26/11/1998	-2,9	-1,2		873,1	905,3	
28/11/1998	-2,9	-1,4	-2	873,1	905,1	915,6
30/11/1998	-2,7	-2	-2,3	873,3	904,5	915,3
02/12/1998	-2,5	-2,3	-3	873,5	904,2	914,6
09/12/1998	-2,1	-2,8	-3,4	873,9	903,7	914,2
17/12/1998	-2	-3,9	-4	874	902,6	913,6
28/12/1998	-1,8	-4,6	-4,8	874,2	901,9	912,8
19/01/1999	-1,9	-4,9	-5,8	874,1	901,6	911,8
21/01/1999	-1,8	-5,2	-6,1	874,2	901,3	911,5
25/01/1999	-1,8	-5	-6,5	874,2	901,5	911,1
27/01/1999	-1,9	-5	-6,5	874,1	901,5	911,1
05/02/1999	-1,9	-5,4	-6,8	874,1	901,1	910,8
08/02/1999	-1,7	-5,6	-6,9	874,3	900,9	910,7
10/02/1999	-1,8	-5,7	-6,9	874,2	900,8	910,7
12/02/1999	-1,8	-5,6	-7,2	874,2	900,9	910,4
19/02/1999	-1,6	-5,6	-7,3	874,4	900,9	910,3
26/02/1999	-1,5	-5,8	-8	874,5	900,7	909,6
12/03/1999	-1,6	-5,6	-8,2	874,4	900,9	909,4
26/03/1999	-1,6	-5,6	-8,3	874,4	900,9	909,3
26/04/1999	-1,7	-6,2	-12,1	874,3	900,3	905,5
			<b>Máx.</b>	<b>874,5</b>	<b>905,3</b>	<b>915,6</b>
			<b>Mín.</b>	<b>873,1</b>	<b>900,3</b>	<b>905,5</b>

3.4.2.3. Inventarios de Puntos de Agua, Captaciones y Zonas de Protección

Se ha realizado una exhaustiva recopilación de información, tanto cartográfica como alfanumérica, referente a puntos de agua existentes y perímetros de protección definidos en la zona. Al respecto, cabe llamar la atención sobre la ingente cantidad de inventarios efectuados por los Organismos de Cuenca, a propósito de los Planes Hidrológicos de Cuenca (en adelante, PHC) 2015 – 2021.

Se citan a continuación las capas cartográficas de inventario que se han considerado dentro de este estudio:

- ORGANISMOS CARTOGRÁFICOS:
  - Base de Datos Hidrogeológicos del IGME.
  - Base Cartográfica Nacional a escala 1:25.000. CNIG
- DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS DEL DUERO Y DEL EBRO:
  - Aprovechamientos y captaciones inscritas en el Registro de Aguas.

- Inventarios de extracciones para abastecimiento público.
- Inventarios de manantiales significativos.
- Inventario propio de puntos de agua de la cuenca (en general).
- Redes de Control Cuantitativo de Aguas Subterráneas.
- Perímetros de protección de captaciones subterráneas actuales destinadas al abastecimiento.
- Zonas de Protección para futuros abastecimientos.
- Perímetros de Protección para aguas Minerales y Termales.

En el Apéndice 3.4 se incluye la situación cartográfica de cada uno de los elementos aquí inventariados. Por su parte, en el Apéndice 3.5, se incluyen el listado completo de los puntos ubicados dentro de las siguientes hojas cartográficas a escala 1:50.000: 107, 108, 133 y 134.

Los inventarios obtenidos a través de Organismos oficiales se han completado con un inventario de puntos de agua propio, efectuado en campo a lo largo de varias visitas sobre el terreno entre mayo y septiembre de 2018, y en el otoño de 2019. Éste se enfocó hacia dos objetivos fundamentales:

- La revisión de determinados puntos próximos a los trazados, susceptibles de sufrir una probable afección. En este sentido se ha recabado información adicional sobre captaciones y/o elementos sensibles en sistemas de abastecimiento urbano o de regadío mancomunado.
- La identificación de puntos de agua (de cualquier índole) no inventariados hasta la fecha, en las cercanías de los tramos proyectados en túnel.

Al igual que se ha hecho con la Planta Geológica (Apéndice 4) se han seleccionado todos aquellos puntos de agua cuya localización se halla a menos de 800 m de los ejes de los trazados objeto de estudio. Dicha selección se resume en las tablas que se presentan a continuación. No todas las fuentes de información analizadas han ofrecido elementos dentro de la banda mencionada.

3.4.2.3.1. *Inscripciones del Registro de Aguas de la Confederación Hidrográfica del Ebro*

Procedentes del Registro de Aguas de la Confederación Hidrográfica del Ebro, se ha encontrado un solo abastecimiento inscrito dentro de la banda de 800 m, a cada lado de los trazados. Esta información ha sido recogida dentro del Plan Hidrológico de Cuenca en vigor.

ABASTECIMIENTOS INSCRITOS EN EL REGISTRO DE AGUAS – CH EBRO			
INSCRIPCION	FUENTE	X	Y
Sección A, Tomo 69, Hoja 97	Aprovechamientos Captaciones inscritos	406197,50	4757959,00

Asimismo, se han encontrado 12 captaciones inscritas, de las cuales 10 corresponden a pozos y únicamente 2, a tomas superficiales. Esta información ha sido recogida dentro del Plan Hidrológico de Cuenca en vigor.

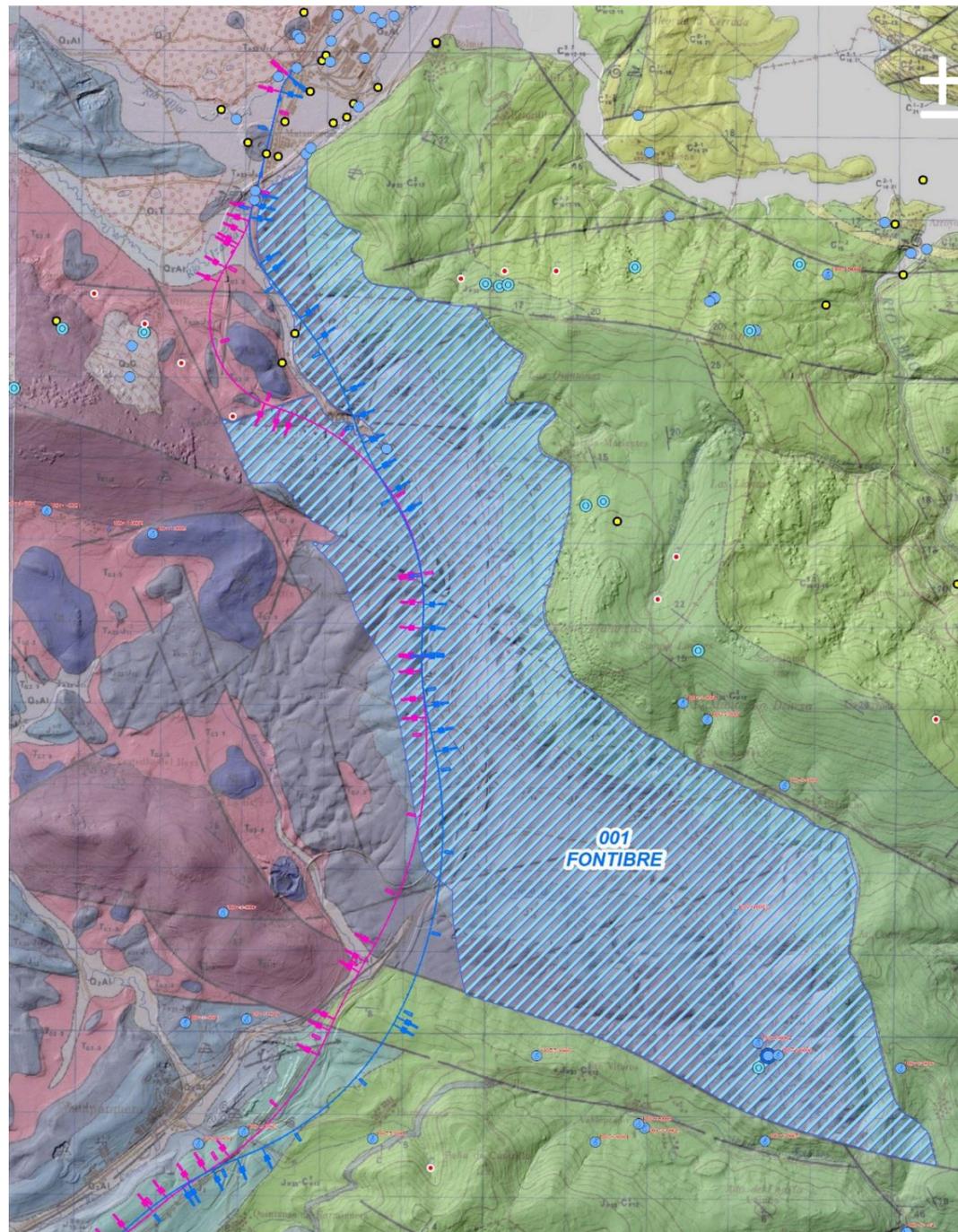
CAPTACIONES INSCRITAS EN EL REGISTRO DE AGUAS – CH EBRO				
INSCRIPCION	TIPO	FUENTE	X	Y
Sección B, Tomo 3, Hoja 147	Pozo	Aprovechamientos Captaciones inscritos	405843	4759593
Sección B, Tomo 52, Hoja 167	Pozo	Aprovechamientos Captaciones inscritos	406673	4760893
Sección D, Tomo 6, Hoja 100	Pozo	Aprovechamientos Captaciones inscritos	406895	4760303
Sección D, Tomo 6, Hoja 100	Pozo	Aprovechamientos Captaciones inscritos	406942	4760372
Sección B, Tomo 43, Hoja 35	Pozo	Aprovechamientos Captaciones inscritos	406752	4759928
Sección A, Tomo 43, Hoja 132	Toma de cauce	Aprovechamientos Captaciones inscritos	406563	4756970
Sección B, Tomo 67, Hoja 127	Pozo	Aprovechamientos Captaciones inscritos	406218	4759168
Sección B, Tomo 38, Hoja 125	Pozo	Aprovechamientos Captaciones inscritos	406357	4759135

CAPTACIONES INSCRITAS EN EL REGISTRO DE AGUAS – CH EBRO				
INSCRIPCION	TIPO	FUENTE	X	Y
Sección B, Tomo 73, Hoja 95	Pozo	Aprovechamientos Captaciones inscritos	407030	4759543
Sección A, Tomo 66, Hoja 141	Toma de cauce	Aprovechamientos Captaciones inscritos	405665	4759710
Sección B, Tomo 80, Hoja 28	Pozo	Aprovechamientos Captaciones inscritos	406440	4759563
Sección B, Tomo 38, Hoja 125	Pozo	Aprovechamientos Captaciones inscritos	406357	4759135

3.4.2.3.2. *Inventario de Puntos de Agua Propio de la Confederación Hidrográfica del Ebro*

Al margen de la información propia del Plan Hidrológico de Cuenca en vigor, la Confederación Hidrográfica del Ebro cuenta con un Inventario de Puntos de Agua propio a disposición del público. Incorpora en él parte de los puntos de agua de la Base de Datos Hidrogeológicos del IGME, así como otros no recogidos en ella. En la siguiente tabla se sintetizan las características de aquellos que se hallan a menos de 800 m de los ejes de trazado.

INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA (DEMARCAIONES) – CH EBRO										
ID INVENT	TOPONIMO	X	Y	Z	TIPO CAPTAC	PROF. MAX	MUNICIPIO	PROVINCIA	DOMINIO	MASb
1807-1-0027	Pozo huertas	406588	4760625	851,0	POZO	0,0	REINOSA	CANTABRIA	Vasco - Cant	001   FONTIBRE
1807-1-0004		405843	4759594	0,0	POZO	5,0	CAMPOO DE ENMEDIO	CANTABRIA	Vasco - CantMbrico	001   FONTIBRE
1807-1-0046	Reinosa - Híjar 1	406361	4760111	0,0	PUNTO DE CONTROL	0,0	CAMPOO DE ENMEDIO	CANTABRIA	Vasco - CantMbrico	001   FONTIBRE
1807-1-0002	LA VEGA	406993	4760294	0,0	POZO	8,0	REINOSA	CANTABRIA	Vasco - Cantcbrico	001   FONTIBRE
1807-1-0033	Pozo Pozmeo	406622	4760575	848,0	SURGENCIA	0,0	REINOSA	CANTABRIA	Vasco - Cantcbrico	001   FONTIBRE
1807-1-0047	Reinosa - Híjar 2	407003	4760548	0,0	PUNTO DE CONTROL	0,0	REINOSA	CANTABRIA	Vasco - CantTbrico	001   FONTIBRE
1807-1-0014	RIO MARLANTES A. ARRIBA DE MATAMOROSA	406067	4758609	880,0	PUNTO DE CONTROL	0,0	CAMPOO DE ENMEDIO	CANTABRIA	Vasco - CantMbrico	
1807-1-0010	RIO HÍJAR EN REINOSA	406583	4760220	850,0	PUNTO DE CONTROL	0,0	CAMPOO DE ENMEDIO	CANTABRIA	Vasco - CantMbrico	
1807-1-0006	MATAMOROSA E.A.	406703	4759169	0,0	PUNTO DE CONTROL	0,0	CAMPOO DE ENMEDIO	CANTABRIA	Desconocido	
1807-1-0011	RIO IZARILLA A. ARROBA MATAMOROSA	406075	4758717	890,0	PUNTO DE CONTROL	0,0	CAMPOO DE ENMEDIO	CANTABRIA	Vasco - CantMbrico	
1807-1-0013	RIO MARLANTES A. ARRIBA SOPEÑA	407680	4755566	890,0	PUNTO DE CONTROL	0,0	CAMPOO DE ENMEDIO	CANTABRIA	Vasco - CantMbrico	
1807-5-0004		405384	4747077	900,0	MANANTIAL	0,0	VALDEOLEA	CANTABRIA	Desconocido	
1807-5-0003		405935	4747224	900,0	MANANTIAL	0,0	VALDEOLEA	CANTABRIA	Desconocido	
1807-1-0012	RIO IZARILLA EN MATAMOROSA	406758	4759244	860,0	PUNTO DE CONTROL	0,0	CAMPOO DE ENMEDIO	CANTABRIA	Vasco - CantMbrico	
1807-5-0005		407509	4747138	950,0	MANANTIAL	0,0	VALDEPRADO DEL RIO	CANTABRIA	Desconocido	



- |   |   |                      |
|---|---|----------------------|
| <b>LEYENDA</b>                                  |   | <b>LEYENDA</b>       |
| ● Inventario de Puntos de Agua IGME             | ● Red de Control Cuantitativa                         | — Alternativa OESTE  |
| ● Aprovechamientos / Captaciones inscritos      | ■ Perímetros de Protección Captaciones subt. actuales | — Alternativa ESTE   |
| ● Inventario de Puntos de Agua (DEMARCACIONES)  | ■ Perímetros de Protección Aguas minerales y termales | — Alternativa CENTRO |
| ● Manantiales significativos                    | ■ Zonas de Protección para Futuros Abastecimientos    |                      |
| ● Extracciones Subterráneas para Abastecimiento |   |                      |

3.4.2.3.3. *Perímetros de Protección para futuros abastecimientos de la Confederación Hidrográfica del Ebro*

Entre las figuras de protección cabe destacar la presencia de un Perímetro de Protección para Futuros Abastecimientos, denominado 001 FONTIBRE y perteneciente a la Cuenca Hidrográfica del Ebro que, previsiblemente, será atravesado por el Tramo 3 de ambas alternativas, con especial mención del túnel proyectado en la alternativa Este. En la siguiente figura se presenta la geometría y distribución espacial de dicho perímetro de protección en relación a los trazados.

3.4.2.3.4. *Cartografía Geológica Serie MAGNA (Escala 1:50.000) y Base de Datos Hidrogeológicos del IGME*

A partir de las hojas de cartografía geológica de la Serie MAGNA (escala 1:50.000), 107, 108, 133 y 134, se han obtenido los siguientes puntos de agua, a menos de 800 m de los trazados.

PUNTOS DE AGUA INVENTARIADOS A PARTIR DE LA CARTOGRAFÍA GEOLÓGICA DE LA SERIE MAGNA (ESCALA 1:50.000) - IGME			
ID	POINT X	POINT Y	FUENTE
0	400209,90	4740254,90	IGME
1	405173,09	4756615,44	IGME
2	404728,59	4757091,70	IGME
3	405802,80	4755964,57	IGME

Éstos son complementarios a los existentes en la Base de Datos Hidrogeológicos que el IGME tiene a disposición del público a través de servidores WMS, y no se encuentran recogidos en ella. Por su parte, desde esta fuente de información se han detectado 3 puntos de agua, cuyo resumen se muestra en la siguiente tabla. Las fichas completas originales se encuentran en el Apéndice 3.7.

Figura 41. *Perímetro de Protección para Futuros Abastecimientos sobre cartografía geológica MAGNA (fuente: Cuenca Hidrográfica del Ebro e IGME).*

INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA PROCEDENTE DE LA BASE DE DATOS HIDROGEOLOGICOS - IGME																
ID	HOJA	OCTANTE	PUNTO	CUENCA HIDRO.	UNIDAD HIDROGEO.	SISTEMA ACUIFERO	PROVINCIA	MUNICIPIO	TOPONIMIA	COTA msnm	TIPO	USO	PERIMETRO	ESCALA	EXPR1_X	EXPR2_Y
1807-5-0004	1807	5	4	NORTE	Unidades aisladas	Cretácico de la Lora y sinclinal de Villarcayo	Cantabria	VALDEOLEA		900	Manantial	Abastecimiento (que no sea núcleo urbano)	No tiene perímetro de protección	1: 50.000	405492	4747283
1807-5-0003	1807	5	3	NORTE	Unidades aisladas	Cretácico de la Lora y sinclinal de Villarcayo	Cantabria	VALDEOLEA		900	Manantial	Abastecimiento (que no sea núcleo urbano)	No tiene perímetro de protección	1: 50.000	406043	4747430
1807-5-0005	1807	5	5	NORTE	Unidades aisladas	Cretácico de la Lora y sinclinal de Villarcayo	Cantabria	VALDEPRADO DEL RIO		950	Manantial	No se utiliza	No tiene perímetro de protección	1: 50.000	407617	4747344

3.4.2.3.5. Base Cartográfica Nacional a Escala 1:25.000 (CNIG)

En la tabla siguiente se resumen los puntos de surgencia (manantiales, fuentes, etc.) existentes en las hojas topográficas 107, 108, 133 y 134 de la Base Cartográfica Nacional, a escala 1:25.000, que se encuentran a menos de 800 m de los trazados.

SURGENCIAS DE LA BASE CARTOGRAFICA NACIONAL (ESCALA 1:25.000) - CNIG						
ID	ID HOJA	FECHA ALTA	ETIQUETA	POINT X	POINT Y	POINT Z
74676690	35013	2015/11/04		405137,54	4756629,95	916,10
74676692	35013	2015/11/04		405935,53	4756038,92	919,20
74676687	35013	2015/11/04		405166,35	4756667,95	899,70
81397948	34015	2015/12/16	Fuente el Pilón	400340,30	4740298,70	941,60

3.4.2.3.6. Inventario de Puntos de Agua e información sobre los abastecimientos urbanos procedente del Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los Túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo (AECOM, 2019. En ejecución)

Dentro de la memoria inicial del Estudio Hidrogeológico (AECOM, 2019), se incluye un exhaustivo inventario de puntos de agua, así como una detallada recopilación de los sistemas de abastecimiento urbano de las poblaciones incluidas en su ámbito. La información más relevante se reproduce a continuación, si bien, se recuerda que dicho Estudio Hidrogeológico se adjunta en los Apéndices 3.9 y 3.10.

• **INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA EXISTENTES.**

Se incluye primeramente el inventario de puntos de agua existente en el *Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los Túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo* llevado a cabo por AECOM en mayo de 2019. Este inventario no se realizó con el único fin de definir la hidrogeología del entorno del proyecto, sino también definir los puntos de

aprovechamiento de las poblaciones, las industrias, etc., y es por ello, que algunos puntos de agua se encuentran alejados de los trazados.

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO (AECOM, 2019. EN REALIZACIÓN)						
ID	X	Y	Z (m)	TIPO	USO	BREVE DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL PUNTO
PA-001	394678	4733228	887	Fuente	Público (diverso)	Pie de monte sobre Facies Utrillas
PA-002	393699	4735459	934	Depósito	Abastecimiento	Cretácico. Marga con niveles de arenisca y caliza.
PA-003	395582	4735765	892	Fuente	Público (diverso)	Pie de monte sobre depósito de fondo de valle. Y facies Utrillas.
PA-004	394780	4733337	889	Fuente	Público (diverso)	Facies Utrillas
PA-005	393280	4731576	927	Depósito	Abastecimiento	Jurásico. Facies Aguilar de Campoo. Caliza
PA-005a	392983	4731555	946	Manantial	Público (diverso)	Jurásico. Contacto mecánico de caliza tableada con caliza de la Facies Aguilar de Campoo
PA-006	393544	4729883	884	Fuente	Público (diverso)	Fondo de valle sobre Caliza tableada y carniola del Jurásico.
PA-007	392757	4730097	929	Depósito	Abastecimiento	Pie de monte sobre Facies Utrillas
PA-008	391974	4729855	926	Manantial	Desconocido	Cretácico. Contacto entre facies margosas con serie caliza y areniscosa invertida.
PA-009	391649	4729877	957	Manantial	Abastecimiento	Cretácico. Contacto entre facies margosa y caliza nodulosa.
PA-010	391670	4729787	956	Abrevadero	Abrevadero	Cretácico. Cabalgamiento. Contacto entre facies margosas y calizas tableadas.
PA-011	393315	4729538	906	Manantial	Público (diverso)	Zona e conjunción de cabalgamientos con fallas en materiales calizos del Cretácico.
PA-012	393666	4729002	921	Manantial	Riego	Cabalgamiento de Becerril. Contacto entre calizas/margas y Keuper
PA-013	393652	4728766	917	Manantial	Abrevadero	Cabalgamiento de Becerril. Contacto entre calizas/margas y Keuper
PA-014	393204	4727536	962	Manantial	Desconocido	Fondo de valle sobre Cretácico. Facies margosas.
PA-015	393198	4727999	938	Arroyo	Sin uso	Cretácico. Caliza tableada
PA-016	393212	4726923	943	Humedal	Sin uso	Cretácico. Contacto entre facies de caliza nodulosa con facies de transición (margosa)
PA-017	392498	4726621	917	Pozo artesano	Abastecimiento	Terciario. Arcilla con niveles de grava, localmente cementada.
PA-018	392386	4726242	904	Manantial	Abastecimiento	Fondo de valle sobre terciario formado por arcilla con grava, localmente niveles cementados.

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO (AECOM, 2019. EN REALIZACIÓN)						
ID	X	Y	Z (m)	TIPO	USO	BREVE DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL PUNTO
PA-018a	392370	4726244	904	Pozo barrena	Abastecimiento	Fondo de valle sobre terciario formado por arcilla con grava, localmente niveles cementados.
PA-019	392427	4725845	891	Depósito	Abastecimiento	Fondo de valle sobre terciario formado por arcilla con grava, localmente niveles cementados.
PA-020	393044	4724940	864	Fuente	Público (diverso)	Pie de monte sobre terraza aluvial del Pisuerga
PA-022	395944	4732562	904	Pozo artesano	Desconocido	Pie de monte sobre Facies Utrillas
PA-023	395164	4732210	874	Pozo artesano	Desconocido	Terraza aluvial del río Pisuerga
PA-024	395213	4732053	873	Pozo artesano	Desconocido	Terraza aluvial del río Pisuerga
PA-025	395247	4731893	879	Pozo artesano	Abastecimiento	Terraza aluvial del río Pisuerga
PA-026	395269	4731663	871	Pozo artesano	Desconocido	Terraza aluvial del río Pisuerga
PA-027	395686	4731942	878	Pozo artesano	Riego	Abanico aluvial sobre terraza aluvial del río Pisuerga
PA-028	395315	4731137	869	Balsa/embalse	Riego	Terraza aluvial del río Pisuerga
PA-029	396431	4731005	890	Balsa/embalse	Riego	Facies Utrillas
PA-030	396566	4731045	885	Balsa/embalse	Riego	Facies Utrillas
PA-031	395809	4730475	874	Depósito	Privado (diverso)	Terraza aluvial del río Pisuerga
PA-032	396695	4730165	902	Pozo artesano	Desconocido	Fondo de valle sobre marga cretácica.
PA-033	396658	4730141	901	Humedal	Desconocido	Fondo de valle sobre marga cretácica.
PA-034	396717	4730035	906	Humedal	Desconocido	Fondo de valle sobre marga cretácica.
PA-035	391922	4729410	1.037	Manantial	Sin uso	Cretácico. Calizas karstificadas tabulares sobre calizas nodulares.
PA-035a	391878	4729467	1.035	Manantial	Sin uso	Calizas karstificadas cretácicas.
PA-036	394967	4734150	949	Pozo barrena	Riego	Cretácico. Facies de transición (marga y arenisca) y Facies Utrillas.
PA-037	394611	4733357	889	Pozo barrena	Abastecimiento	Facies Utrillas
PA-038	394597	4733316	890	Pozo artesano	Abastecimiento	Facies Utrillas
PA-039	394605	4733141	890	Pozo barrena	Abastecimiento	Facies Utrillas
PA-040	392816	4733137	946	Pozo barrena	Abastecimiento	Jurásico. Facies Purbek. Calizas.
PA-040a	392822	4733136	945	Manantial	Abastecimiento	Formación Aguilar. Contacto entre caliza y margas. Niveles de arenisca.
PA-041	394655	4731938	871	Pozo artesano	Desconocido	Terraza aluvial del río Pisuerga
PA-042	395023	4730232	867	Pozo artesano	Riego	Abanico aluvial sobre terrazas del Pisuerga
PA-043	394204	4730113	881	Pozo artesano	Riego	Pie de monte sobre facies margosas del Jurásico.
PA-044	392376	4730230	917	Pozo artesano	Desconocido	Depósito coluvial sobre Cretácico (Facies Utrillas).
PA-045	394389	4729348	865	Pozo artesano	Desconocido	Abanico aluvial sobre terrazas del Pisuerga
PA-046	394765	4729363	867	Pozo artesano	Desconocido	Abanico aluvial sobre terrazas del Pisuerga
PA-047	394663	4729074	864	Pozo artesano	Riego	Abanico aluvial sobre terrazas del Pisuerga
PA-048	394377	4729118	864	Pozo artesano	Riego	Abanico aluvial sobre terrazas del Pisuerga
PA-049	393740	4728014	861	Pozo artesano	Riego	Terraza aluvial del río Pisuerga.

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO (AECOM, 2019. EN REALIZACIÓN)						
ID	X	Y	Z (m)	TIPO	USO	BREVE DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL PUNTO
PA-050	393663	4727833	861	Pozo artesano	Desconocido	Terraza aluvial del río Pisuerga.
PA-051	393670	4727551	861	Pozo artesano	Desconocido	Terraza aluvial del río Pisuerga.
PA-052	393793	4727268	863	Pozo artesano	Riego	Terrazas del Pisuerga y Facies Utrillas.
PA-053	393459	4725897	858	Pozo artesano	Riego	Llanura aluvial del río Pisuerga.
PA-054	393270	4725703	858	Pozo barrena	Industrial	Llanura aluvial del río Pisuerga.
PA-055	393205	4725637	857	Pozo artesano	Industrial	Llanura aluvial del río Pisuerga.
PA-056	393045	4725692	859	Pozo artesano	Riego	Llanura aluvial del río Pisuerga.
PA-057	393029	4725657	859	Pozo artesano	Riego	Llanura aluvial del río Pisuerga.
PA-058	393249	4725509	857	Pozo artesano	Industrial	Llanura aluvial del río Pisuerga.
PA-059	393239	4725461	857	Pozo artesano	Riego	Llanura aluvial del río Pisuerga.
PA-060	393069	4725421	857	Pozo artesano	Riego	Llanura aluvial del río Pisuerga.
PA-061	390114	4725575	893	Pozo artesano	Desconocido	Terciario. Arcillas con niveles de grava y arena.
PA-062	391054	4725267	888	Pozo artesano	Riego	Terciario. Arcillas con niveles de grava y arena.
PA-063	392875	4725342	865	Pozo artesano	Riego	Llanura aluvial del río Pisuerga.
PA-064	393125	4725358	869	Pozo artesano	Industrial	Llanura aluvial del río Pisuerga.
PA-065	393122	4725196	857	Pozo artesano	Abastecimiento	Llanura aluvial del río Pisuerga.
PA-066	392864	4725240	862	Pozo artesano	Abastecimiento	Llanura aluvial del río Pisuerga.
PA-067	392750	4725182	863	Pozo artesano	Riego	Pie de monte sobre llanura aluvial del río Pisuerga.
PA-068	392655	4725162	866	Pozo artesano	Riego	Pie de monte sobre llanura aluvial del río Pisuerga.
PA-069	389818	4726435	927	Manantial	Público (diverso)	Terciario. Arcillas con niveles de grava y arena.
PA-070	389234	4726382	924	Manantial	Abastecimiento	Terciario. Arcilla con niveles de grava y arena, en ocasiones cementados.
PA-070a	389234	4726366	928	Abrevadero	Público (diverso)	Depósito aluvial y terciario arcilloso.
PA-071	389251	4726363	925	Pozo barrena	Abastecimiento	Terciario. Arcilla con niveles de grava y arena, en ocasiones cementados.
PA-072	389202	4726169	921	Pozo barrena	Abastecimiento	Terciario. Arcilla con niveles de grava y arena, en ocasiones cementados.
PA-073	389071	4726048	913	Pozo artesano	Riego	Terciario. Arcilla con niveles de grava y arena, en ocasiones cementados.
PA-074	394060	4724680	856	Manantial	Desconocido	Pie de monte sobre terciario arcilloso localmente cementado.
PA-075	383546	4738829	1.025	Manantial	Desconocido	-
PA-076	392493	4728389	995	Dolina/sumidero	Sin uso	Brecha de falla y contacto entre unidades calcáreas nodulosas y margas cretácicas.
PA-077	394269	4728767	873	Manantial	Sin uso	Jurásico. Facies Aguilar. Arenisca y microconglomerado en niveles decimétricos.
PA-078	392280	4725618	887	Manantial	Sin uso	Terciario. Arcillas con niveles de grava y arena, cementada localmente.
PA-079	389584	4726495	953	Depósito	Abastecimiento	Terciario. Conglomerado con niveles de arcilla con grava menos cementadas.
PA-080	391840	4734254	948	Balsa/embalse	Público (diverso)	Jurásico. Caliza Facies Aguilar.
PA-081	394756	4738725	925	Balsa/embalse	Público (diverso)	-

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO (AECOM, 2019. EN REALIZACIÓN)						
ID	X	Y	Z (m)	TIPO	USO	BREVE DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL PUNTO
PA-082	394981	4734152	944	Balsa/embalse	Riego	Cretácico. Facies de transición entre serie detrítica continental y evaporítica marina.
PA-083	391371	4732601	1.021	Manantial	Desconocido	Contacto Keuper con caliza del Jurásico. Zona del Cabalgamiento de Becerril.
PA-084	391433	4732236	1.032	Manantial	Desconocido	Contacto caliza Jurásico con Keuper.
PA-085	391645	4731859	1.035	Manantial	Desconocido	Cretácico. Contacto unidad de transición (margas, areniscas) con Caliza y calcarenita.
PA-086	391120	4731510	1.080	Manantial	Desconocido	Cretácico. Unidad de transición continental - marino. Posible nivel de despegue no identificado.
PA-087	392217	4732028	974	Manantial	Desconocido	Cabalgamiento de Becerril. Contacto Keuper con Calcarenitas y calizas del Cretácico.
PA-088	392330	4731991	970	Manantial	Abastecimiento	Cabalgamiento de Becerril. Contacto Keuper con Calcarenitas y calizas del Cretácico.
PA-089	393621	4731603	918	Manantial	Desconocido	Jurásico. Facies Alar del Rey. Contacto entre paquetes tableados y carniolas.
PA-090	392810	4731052	988	Manantial	Desconocido	Cabalgamiento de Becerril. Contacto Calizas del Jurásico con calizas y facies de transición (margas) del Cretácico.
PA-091	392802	4730752	924	Manantial	Desconocido	Cabalgamiento de Becerril. Contacto entre Keuper y facies Utrillas (areniscas) del Cretácico.
PA-091a	392812	4730700	921	Balsa/embalse	Riego	Cabalgamiento Facies Keuper sobre Utrillas.
PA-092	392644	4730110	916	Manantial	Desconocido	Cretácico. Posible contacto entre Facies Utrillas y Facies de transición continental - marino (marga, arenisca, caliza) cretácica.
PA-093	393154	4729609	930	Manantial	Desconocido	Cretácico. Contacto entre unidad plegada tumbada y caliza tableada. Fallas normales compartimentando.
PA-094	392125	4728411	998	Manantial	Desconocido	Cretácico. Cabalgamiento de calcarenitas sobre caliza tableada.
PA-095	391847	4729045	1.020	Manantial	Desconocido	Zona replegada en materiales cretácicos y paleógenos.
PA-096	389609	4730816	1.081	Manantial	Desconocido	Cretácico. Facies margosas con niveles de arenisca y caliza.
PA-097	389671	4730826	1.073	Manantial	Desconocido	Cretácico. Facies margosas con niveles de arenisca y caliza.
PA-098	390038	4730431	1.050	Manantial	Desconocido	Cretácico. Facies margosas con niveles de arenisca y caliza.
PA-099	390577	4730527	1.068	Manantial	Desconocido	Cretácico. Contacto facies margosas con caliza tableada.
PA-100	390943	4730708	1.080	Manantial	Desconocido	Cretácico. Contacto facies margosas con caliza tableada.
PA-101	391126	4730732	1.084	Manantial	Desconocido	Cretácico. Contacto facies margosas con caliza tableada.
PA-102	389881	4729953	1.055	Manantial	Desconocido	Cretácico. Contacto caliza tableada y nodulosa con facie margosa. Cabalgamiento cercano
PA-103	390366	4729734	1.045	Manantial	Desconocido	Cretácico. Contacto caliza tableada y nodulosa con facie margosa. Cabalgamiento cercano
PA-104	390704	4729915	1.023	Manantial	Desconocido	Cretácico. Cabalgamiento calizo tableada sobre facies margosa.
PA-105	393660	4730630	929	Humedal	Sin uso	Calizas Jurásicas. Formación Aguilar de Campoo.
PA-106	394036	4730873	884	Arroyo	Riego	calizas jurásicas del Grupo Aguilar
PA-110	394324	4729024	866	Manantial	Sin uso	Calizas de Aguilar. Karstificación a favor de S0.
PA-111	394038	4729896	875	Arroyo	Sin uso	Jurásicos calizos y margosos.
PA-112	392380	4725862	887	Humedal	Sin uso	Terciario. Arcilla con niveles de grava, localmente cementada.

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO (AECOM, 2019. EN REALIZACIÓN)						
ID	X	Y	Z (m)	TIPO	USO	BREVE DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL PUNTO
PA-113	392522	4726586	917	Pozo artesano	Sin uso	Terciario. Arcilla con niveles de grava, localmente cementada.
PA-114	391604	4726197	910	Manantial	Abastecimiento	Terciario. Arcilla con niveles de grava, localmente cementada.
PA-115	391533	4726226	913	Manantial	Abastecimiento	Terciario. Arcilla con niveles de grava, localmente cementada.
PA-117	391911	4725482	883	Arroyo	Sin uso	Terciario. Arcilla con niveles de grava, localmente cementada.
PA-117a	392507	4726595	938	Pozo artesano	Abastecimiento	Terciario. Arcilla con niveles de grava, localmente cementada.
PA-118	392890	4725194	861	Pozo artesano	Riego	Terciario. Arcilla con niveles de grava, localmente cementada.
PA-119	392964	4725607	861	Pozo artesano	Riego	Piedemonte sobre Llanura aluvial del río Pisuerga.
PA-120	392978	4725601	859	Pozo artesano	Industrial	Piedemonte sobre Llanura aluvial del río Pisuerga.
PA-121	393197	4731543	938	Manantial	Sin uso	Travertino en contacto entre margas y calizas de la Formación Aguilar
PA-122	392156	4732019	981	Manantial	Sin uso	Calizas jurásicas. Contacto marga gris y caliza bien estratificada a masiva.
PA-123	393409	4732511	965	Manantial	Sin uso	Unidad detrítica inferior del Cretácico. Areniscas y conglomerados con niveles de lutita.
PA-123a	392032	4732085	991	Balsa/embalse	Riego	Calizas del Jurásico con niveles de marga menores.
PA-124	393170	4733351	927	Manantial	Sin uso	Areniscas, microconglomerados y calizas con oncolitos (Formación Aguilar) en contacto con conglomerados cretácicos (unidad detrítica de base)
PA-125	393197	4733361	927	Manantial	Sin uso	Unidad detrítica de base en contacto con caliza oncolítica de Aguilar.
PA-126	393572	4732185	954	Manantial	Sin uso	Unidad detrítica de base Albiense
PA-127	393815	4732102	935	Humedal	Sin uso	Conglomerados y areniscas bien cementadas con niveles de lutitas. Unidad detrítica de Base. Cretácico inferior.
PA-129	394158	4731596	971	Dolina/sumidero	Sin uso	Caliza Jurásica bien estratificada. Formación Aguilar de Campoo.
PA-130	394451	4732166	892	Manantial	Sin uso	Unidad detrítica inferior del Cretácico. Conglomerados y areniscas. Suelo de alteración y sustrato.
PA-131	394430	4732273	892	Manantial	Sin uso	Unidad detrítica inferior del Cretácico. Areniscas finas rojizas bien cementadas. Contacto nivel laminado y masivo.
PA-132	394466	4731301	896	Manantial	Sin uso	Unidad detrítica inferior del Cretácico. Conglomerados y areniscas. Areniscas finas tabulares bien cementadas con niveles de lutitas grises.
PA-133	394735	4731292	875	Humedal	Sin uso	Unidad detrítica inferior del Cretácico. Areniscas y conglomerados con niveles de lutita.
PA-134	393420	4732077	930	Humedal	Sin uso	Arenisca ocre con microconglomerado. Bien estratificada. Formación Aguilar de Campoo.
PA-135	392998	4733069	936	Abrevadero	Abrevadero	Areniscas Formación Aguilar
PA-136	394109	4733348	921	Depósito	Abastecimiento	Arenas Utrillas
PA-138	394667	4733792	946	Manantial	Sin uso	Contacto entre Areniscas de Utrillas y margas con lignitos.
PA-139	394518	4734100	959	Balsa/embalse	Riego	Margas con niveles arenosos. Facies con lignitos.
PA-140	395228	4734993	924	Humedal	Sin uso	Margas con lignitos. Niveles de arenisca.

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO (AECOM, 2019. EN REALIZACIÓN)						
ID	X	Y	Z (m)	TIPO	USO	BREVE DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL PUNTO
PA-141	392873	4730221	903	Fuente	Desconocido	F.Utrillas y depósitos cuaternarios.
PA-142	393577	4727713	867	Manantial	Sin uso	Pie de monte sobre Arenas Utrillas.
PA-143	390811	4727096	935	Manantial	Riego	Depósito cuaternario, asociado a sustrato carbonático cretácico.
PA-144	391060	4727558	952	Manantial	Riego	Cuaternario, fondo de vaguada, sobre sustrato calizo cretácico.
PA-145	390553	4727959	966	Manantial	Riego	Fondo de valle sobre sustrato calcáreo cretácico.
PA-146	390050	4728586	992	Manantial	Riego	Fondo de valle sobre sustrato cretácico calcáreo.
PA-147	392491	4725639	883	Arroyo	Sin uso	Terciario detrítico. Arcilla con niveles de grava. Escaso aluvial.
PA-148	392359	4726228	910	Arroyo	Sin uso	Depósito aluvial. Arcilla con algo de grava. Sobre Terciario detrítico.
PA-149	392361	4726255	907	Arroyo	Sin uso	Depósito aluvial. Arcilla con algo de grava. Sobre Terciario detrítico.
PA-150	393168	4727812	955	Manantial	Desconocido	Depósito de pie de monte/coluvial.
PA-151	393137	4727960	950	Arroyo	Desconocido	Depósito de pie de monte/coluvial.
PA-152	393110	4728024	947	Arroyo	Desconocido	Depósito de pie de monte/coluvial.
PA-153	393053	4728135	949	Humedal	Desconocido	Depósito de pie de monte/coluvial.
PA-154	392998	4728175	955	Arroyo	Desconocido	Depósito de pie de monte/coluvial.
PA-155	392685	4728456	977	Arroyo	Desconocido	Depósito de pie de monte/coluvial.
PA-156	392615	4728518	979	Humedal	Desconocido	Depósito de pie de monte/coluvial sobre margas
PA-157	392611	4728554	981	Arroyo	Desconocido	Depósito de pie de monte/coluvial sobre margas
PA-158	392631	4728825	994	Arroyo	Desconocido	Depósito de pie de monte/coluvial.
PA-159	392624	4728840	994	Arroyo	Desconocido	Depósito de pie de monte/coluvial.
PA-160	392696	4729232	970	Arroyo	Desconocido	Caliza muy tectonizada de aspecto masivo localmente.
PA-161	392736	4729177	963	Arroyo	Desconocido	Margas y calizas cretácicas.
PA-162	392732	4729190	964	Humedal	Desconocido	Margas cretácicas. Unidad Intermedia.
PA-163	393154	4728854	893	Arroyo	Desconocido	Depósito coluvial sobre Facies Utrillas.
PA-164	393655	4728168	873	Arroyo	Desconocido	Depósito coluvial sobre Facies Utrillas.
PA-165	394116	4728568	866	Arroyo	Desconocido	Depósito coluvial sobre facies arcillosas (Keuper)
PA-166	392940	4730259	896	Arroyo	Desconocido	Aluvial sobre arenas Facies Utrillas
PA-167	393040	4730271	908	Arroyo	Desconocido	Aluvial. Arcilla arenosa con abundante materia orgánica y restos vegetales.
PA-168	393459	4729884	884	Arroyo	Desconocido	Aluvial. Limo arcilloso.
PA-169	393142	4729639	932	Arroyo	Desconocido	Depósito coluvial sobre margas intermedias.
PA-170	393724	4731327	899	Arroyo	Desconocido	Depósito aluvial sobre calizas.
PA-171	393688	4731611	913	Arroyo	Desconocido	Depósito aluvial sobre margas
PA-172	393674	4731770	918	Arroyo	Desconocido	Depósito aluvial sobre margas
PA-173	393472	4731651	917	Arroyo	Desconocido	Depósito aluvial sobre calizas.
PA-174	392663	4731738	955	Arroyo	Desconocido	Depósito aluvial sobre calizas.

ESTUDIO HIDROGEOLOGICO (AECOM, 2019. EN REALIZACIÓN)						
ID	X	Y	Z (m)	TIPO	USO	BREVE DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL PUNTO
PA-175	393004	4732889	927	Arroyo	Desconocido	Aluvial sobre detríticos cretácicos
PA-176	392883	4733078	944	Arroyo	Desconocido	Jurásico. Calizas. Facies Purbek
PA-177	393375	4733315	913	Arroyo	Desconocido	Aluvial. Grava arenosa redondeada
PA-178	394211,	4733703	903	Arroyo	Desconocido	Aluvial. Limo arcilloso.
PA-179	392854	4727107	953	Arroyo	Riego	Depósito Coluvial sobre margas brecha de falla.
PA-180	392753	4726988	949	Arroyo	Desconocido	Calizas bien estratificadas con karstificación
PA-181	394202	4733092	891	Arroyo	Desconocido	Cretácico. Serie detrítica grosera. Conglomerados con niveles de argilita.
PA-182	395478	4733383	883	Humedal	Desconocido	Llanura aluvial del río Pisuerga
PA-183	395376	4733543	897	Arroyo	Desconocido	Fondo de valle sobre margas y calizas de las facies de transición.
PA-183b	395411	4733476	892	Arroyo	Desconocido	Fondo de valle sobre margas y calizas de las facies de transición.
PA-184	395240	4733680	912	Arroyo	Desconocido	Fondo de valle sobre margas y calizas de las facies de transición.
PA-184b	395125	4733615	925	Manantial	Desconocido	Cretácico. Niveles de caliza tableada entre margas. Unidad de transición
PA-185	395255	4733748	914	Arroyo	Desconocido	Fondo de valle sobre margas y calizas de las facies de transición.
PA-186	391061	4727558	929	Arroyo	Desconocido	Fondo de valle sobre margas y calizas de las facies de transición.
PA-187	390554	4734009	938	Arroyo	Desconocido	Fondo de valle sobre margas y calizas de las facies de transición.
PA-188	390050	4734658	940	Arroyo	Desconocido	Fondo de valle sobre margas y calizas de las facies de transición.
PA-189	392491	4734664	917	Arroyo	Desconocido	Fondo de valle sobre margas y calizas de las facies de transición.
PA-190	392360	4734932	897	Arroyo	Desconocido	Fondo de valle sobre margas y calizas de las facies de transición.
PA-191	392361	4735211	--	Arroyo	Desconocido	Pie de monte. Grava angulosa gruesa en matriz limosa
PA-192	393499	4728030	884	Arroyo	Desconocido	Fondo de valle sobre contacto entre Keuper y calizas jurásicas.
PA-193	394497	4731852	880	Arroyo	Desconocido	Cauce en la zona de los materiales detríticos del Cretácico
PA-194	395155	4734232	940	Pozo	Riego	Pozo perforado en materiales pertenecientes a la unidad de transición del Cretácico

• **CAPTACIONES DE PRÁDANOS DE OJEDA.**

El Municipio de Prádanos de Ojeda se abastece de agua potable a partir del manantial de la Fuente de Palacio (PA-070) y el pozo profundo (PA-071) realizado aledaño a la anterior. El agua del manantial y del pozo se recoge en un pequeño depósito aledaño a ambos. Desde aquí se bombea al depósito de agua municipal, que se encuentra al norte del municipio, donde es clorada para su posterior distribución a la población. Ambas captaciones se han realizado en materiales terciarios compuestos por arcillas con niveles de grava más o menos cementados. Estos niveles granulares son los conductos de flujo preferente, trayendo el agua desde los relieves calizos de al norte de la población.

La gestión del sistema se realiza directamente por el Ayuntamiento de Prádanos de Ojeda.

El agua contiene una alta cantidad de carbonatos, observándose precipitaciones en los manantiales y siendo esta la causante de las cementaciones en los niveles de grava.



Figura 42. Arriba, Pozo (PA-071) y Fuente de Palacio (PA-070) en Prádanos de Ojeda. Abajo, Caseta de bombeo junto a pozo y manantial y depósito municipal, donde se produce el tratamiento potabilizador del agua.

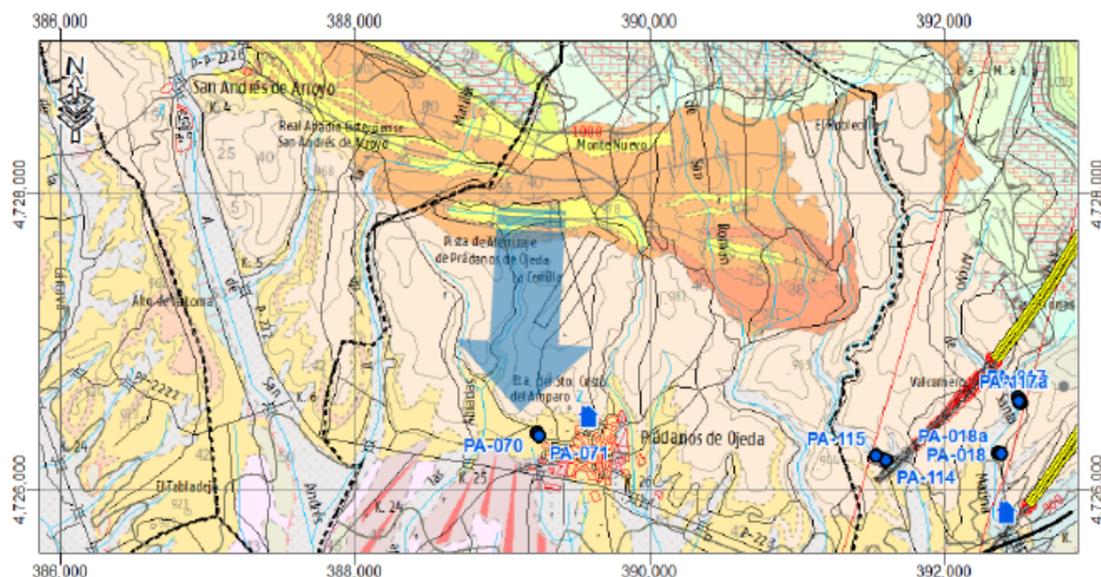


Figura 43. Dirección de flujo en el ámbito de las captaciones.

• **CAPTACIONES DE NOGALES DE PISUERGA.**

La población de Nogales de Pisuerga se abastece de agua a través de la captación de cuatro manantiales y un pozo profundo. Estos se distribuyen en dos ámbitos, el barranco de Valdeladama, al noroeste de la población y más alejado del ámbito de actuación del presente estudio, y el valle de Santa Marina, cercano a la ubicación de la zona inicial de todas las alternativas de trazado de la Línea de Alta Velocidad. Todas las captaciones se conducen al depósito situado en las inmediaciones del paso bajo la Autovía A-67, donde se produce la cloración del agua en un solo depósito, para su posterior distribución a la población.

En caso de existir escasez de agua, el Ayuntamiento de Alar del Rey suministra desde sus depósitos agua adicional, el cual es facturada a la pedanía de Nogales de Pisuerga según el consumo medido en un depósito intermedio.

La gestión del sistema la realiza directamente la Alcaldía Pedánea de Nogales de Pisuerga.



Figura 44. Arriba, aspecto de las captaciones en Valdeladama (PA-114 y PA-115). Abajo, Aspecto de los manantiales cercanos a los relieves de Santa Marina (PA-017, PA-113 y PA-117a).

Uno de ellos se mantiene como un pozo somero, a pesar de estar seco (foto derecha). El más antiguo tenía una pequeña edificación, actualmente derruida (primer plano de foto izquierda). El

manantial actualmente captado se encuentra tapado y tiene un carácter temporal (zona del árbol).



Figura 45. Arriba, Aspecto del pozo en Santa Marina (PA-018a). Centro, aspecto de la entrada de los tres puntos de agua en la caseta de santa Marina y localización del manantial (PA-018). Abajo, Depósito principal de Nogales de Pisuerga.

Los manantiales localizados en Valdeladama (PA-114 y PA-115) se producen en un afloramiento de materiales terciarios compuestos por arcilla con niveles de grava. El flujo de agua, a través de los niveles granulares, comunica con los materiales calizos existentes al norte de la zona.

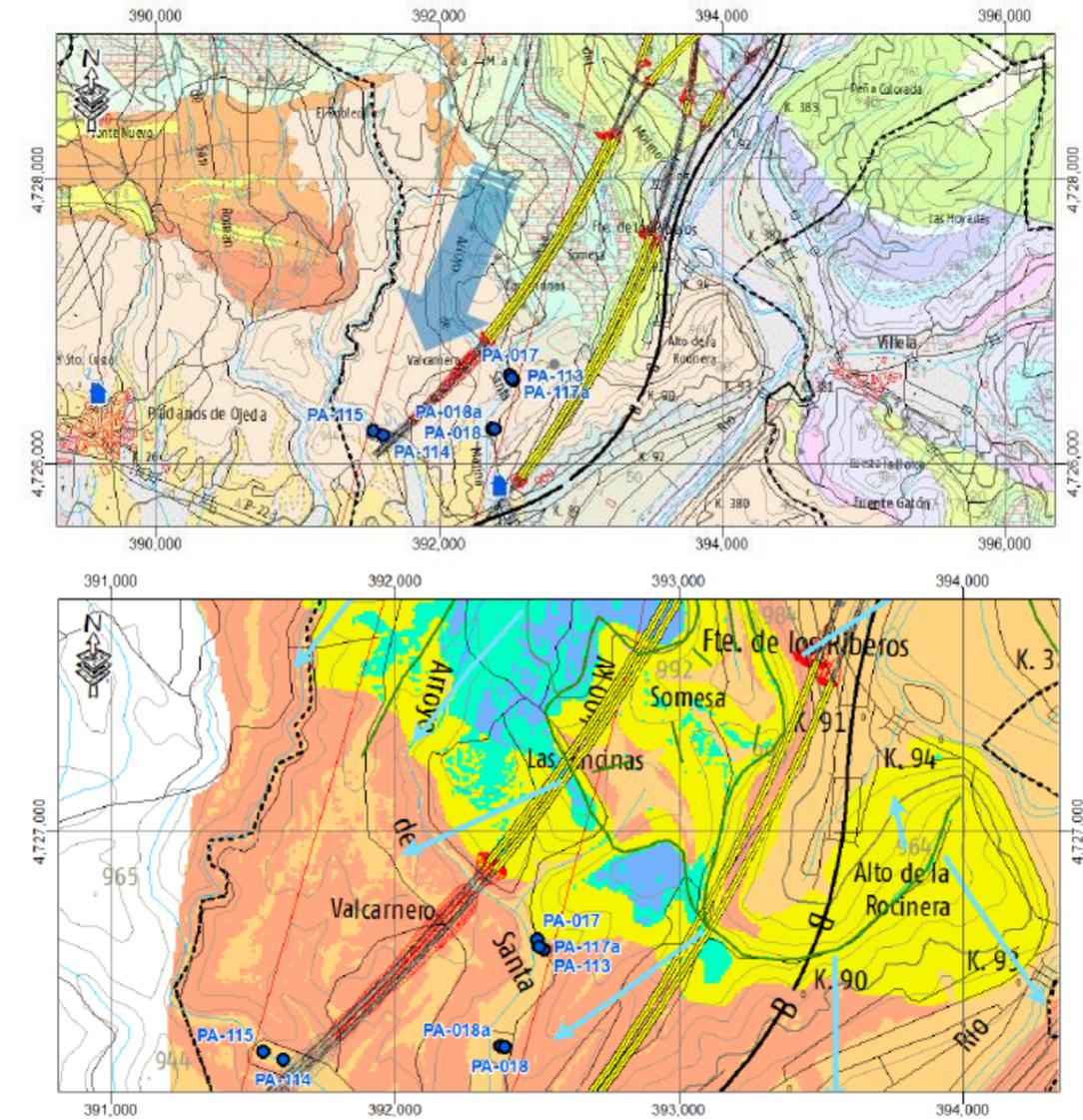


Figura 46. Arriba, dirección de flujo en el ámbito de las captaciones. Abajo, zonas de recarga definidas en el presente estudio y direcciones de flujo preferente en relación con los manantiales de Nogales de Pisuerga.

Los materiales de Santa Marina se pueden sectorizar en dos ámbitos, aquellos más cercanos a los relieves (PA-017, PA-113 y PA-117a), y aquellos en el centro de la vaguada (PA-018 y PA-018a).

Entre los manantiales más cercanos a los relieves sólo mana agua de uno de ellos, encontrándose abandonados los otros dos, que en su momento sirvieron como fuentes primero uno y luego el otro. El agua en los tres casos mana a favor de un nivel de gravas que conecta con los materiales cementados terciarios y estos con los relieves calizos cretácicos.

Posiblemente cada punto de afloramiento de agua esté relacionado con niveles granulares independizados por otros más arcillosos.

El manantial histórico de Nogales de Pisuerga es el situado en el centro de la vaguada de Santa Matina. En este lugar existe un afloramiento múltiple de agua (PA-018) en una convexidad en el terreno. Esta convexidad es debida a un relieve de materiales terciarios granulares, los cuales se encuentran cubiertos por un fondo de valle somero. En la zona de los manantiales se excavó y relleno de grava, conduciendo esta agua hasta una pequeña caseta receptora, donde se mezclan las aguas de este manantial con las de los manantiales más al norte. Con el fin de aportar agua adicional en periodos de sequía, se perforó un pozo de 250 mm de diámetro, el cual es surgente. El agua manante de este pozo se conduce a la caseta cercana. Tanto el agua del manantial como la del pozo parece provenir de los relieves calizos existentes al noreste, aunque existe un no desdeñable aporte de los depósitos cuaternarios superficiales.

Toda el agua recogida en la caseta es conducida al depósito de Principal, donde es tratada para su uso como agua potable.

- **CAPTACIONES DE BECERRIL DE CARPIO.**

La población de Becerril del Carpio dispone de dos manantiales captados para abastecimiento de agua potable. La más antigua de ellas (PA-009) abastece a los barrios de San Pedro y Santa María, y la más moderna (PA-088) abastece al barrio de Puebla de San Vicente. Las captaciones conducen el agua a sendos depósitos, donde se trata el agua para su posterior distribución a la población.

Fuente Costana (PA-009) se capta en una arqueta de dimensiones decimétricas localizada dentro de una pequeña caseta. En los alrededores de la caseta se observa la presencia de diversos afloramientos de agua de menor caudal, los cuales no son recogidos. El sobrante de la captación es conducido a un abrevadero de reciente construcción (Mayo 2018).

El manantial de Fuente Prado (PA-088) es recogido en una arqueta desde donde se conduce el agua al depósito situado en el valle tributario del Arroyo de La Sudria. En este depósito se clora el agua y se distribuye por dos vías conducciones, una que dirige el agua al depósito del barrio de San Pedro, y otra que lo distribuye al barrio de Puebla de San Vicente.



Figura 47. Abajo, aspecto de la caseta donde se capta el manantial (PA-009) y del abrevadero que recoge el sobrante. Abajo, Aspecto del manantial de Fuente Prado (PA-088) y depósito en el que se realiza la cloración del agua.

El manantial de Fuente Costana (PA-009) aflora en el contacto entre las calizas cretácicas CC1 y las facies margosas de transición (CMt). La cuenca de recepción se encuentra al oeste del afloramiento. geomorfológicamente es una zona escalonada formada por paquetes competentes predominantemente calizos (unidades CC1 y CC2) y niveles margosos y detríticos menos competentes (CMi).

Sin embargo, el manantial de Fuente Prado (PA-088) se produce en el pie de un afloramiento calizo en contacto contra la Falla de Becerril, cabalgamiento a favor de las arcillas con sales del Keuper, el cual actúa como barrera impermeable. La cuenca de recepción de este punto se encuentra al oeste y suroeste del mismo, actuando como barreras impermeables los afloramientos del Keuper al norte y al este.

El análisis espacial del ámbito para delimitar las zonas de recarga define un límite entre Fuente Costana y la zona de recarga al sur de esta. Visualmente es fácil comprender la falta de conexión entre las planicies al sur de este afloramiento de agua, ya que el valle del Arroyo de La Costana se encaja (formando un cluse) formando un límite espacial.

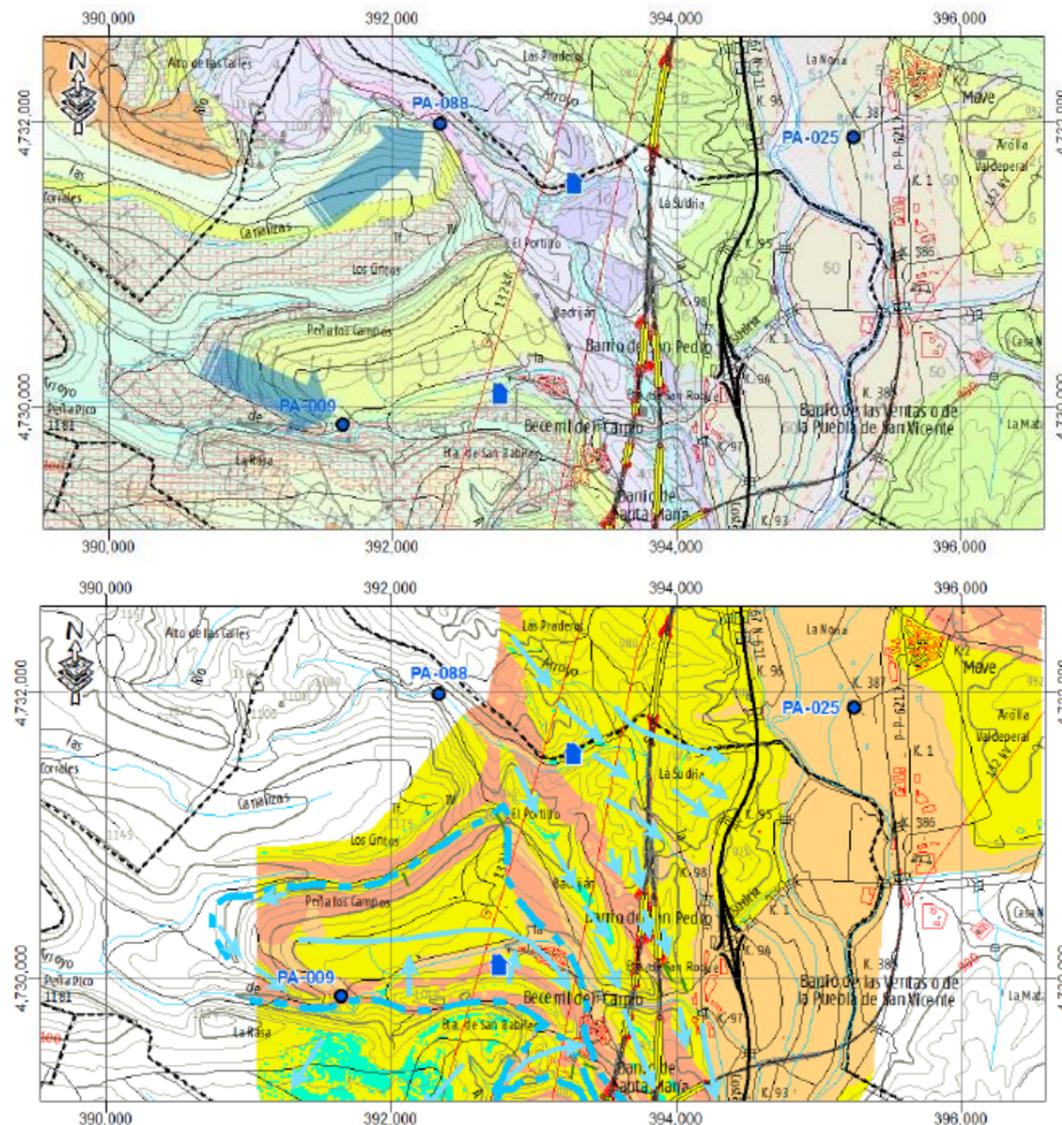


Figura 48. Arriba, dirección de flujo en el ámbito de las captaciones. Abajo, zonas de recarga definidas en el presente estudio y direcciones de flujo preferente en relación con los manantiales de Becerril de Carpio.

• **CAPTACIONES DE OLLEROS DE PISUERGA.**

La pedanía de Olleros de Pisuegra recoge las aguas del manantial PA-040a para su abastecimiento de agua potable. El agua del manantial se recoge en una arqueta desde la que se distribuye a un abrevadero cercano, al depósito de agua principal de Olleros de Pisuegra y el sobrante del manantial alimenta el arroyo inmediato, Bustillo.

La Confederación Hidrográfica del Duero tiene inventariado un pozo de 170 m de profundidad (Código CHD 10029093), dentro del plan ALBERCA (Código P. Alberca P:4836) del que se desconocen los datos de aprovechamiento y características fisicoquímicas. La inspección de la zona no permitió localizar con exactitud este pozo, pero parece que se localiza junto al manantial PA-040a. Los responsables del manantial, de la pedanía y del Ayuntamiento de Aguilar desconocen la existencia de este pozo. La conclusión de la inspección es que este pozo mana agua por su boca y ésta se recoge en la misma arqueta a la que vierte el manantial principal PA-040.

El agua recogida en la arqueta es conducida hasta el depósito principal de Olleros de Pisuegra, lugar donde se produce la cloración del agua. Antes de la entrada al depósito se encuentra una llave de paso que regula el caudal, para evitar exceso de aporte. Esta llave se encuentra bastante cerrada, ya que el caudal es muy abundante. A su vez hay un pequeño sobrante que se vierte libremente en las inmediaciones del depósito.

El manantial de olleros se encuentra junto a unos afloramientos de caliza de edad jurásica que yacen sobre estratos margosos también jurásicos. La cuenca de recepción de estas aguas parece encontrarse al norte y al oeste del afloramiento.



Figura 49. Arriba, detalle de la captación del manantial PA-040a para abastecimiento de Olleros de Pisuegra. Abajo, Aspecto del depósito de Olleros de Pisuegra.

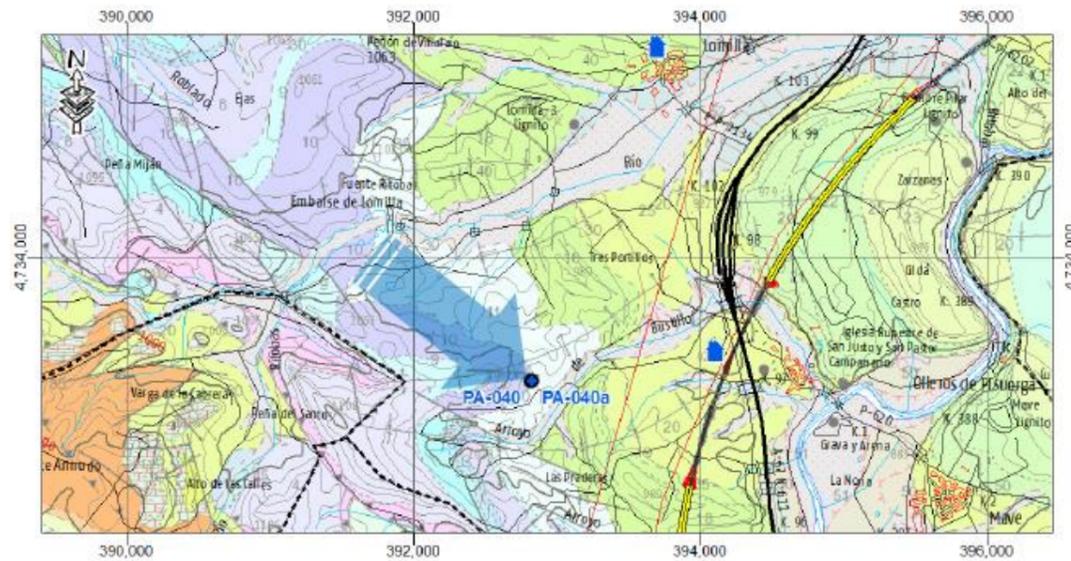


Figura 50. Dirección de flujo en el ámbito de las captaciones.

• **CAPTACIONES DE MAVE Y SANTA MARÍA DE MAVE.**

Las captaciones para abastecimiento de agua potable de Mave y Santa María de Mave se hallan en uno pozos someros sitios en la vega del Río Pisuerga.

El pozo principal se ubica dentro de una caseta, mientras que otro pozo aledaño sirve de porte adicional, así como otro más alejado.

El sistema de cloración se realiza en la propia conducción de salida del pozo principal, cuando se bombea el agua para su distribución.

El agua de aportación de estos pozos proviene del cauce principal y los aportes laterales (margen izquierda) al río Pisuerga.



Figura 51. Caseta con pozo (PA-025) y pozo de apoyo, así como instalación de cloración, bombeo y porte de pozos de apoyo en la captación de Mave.

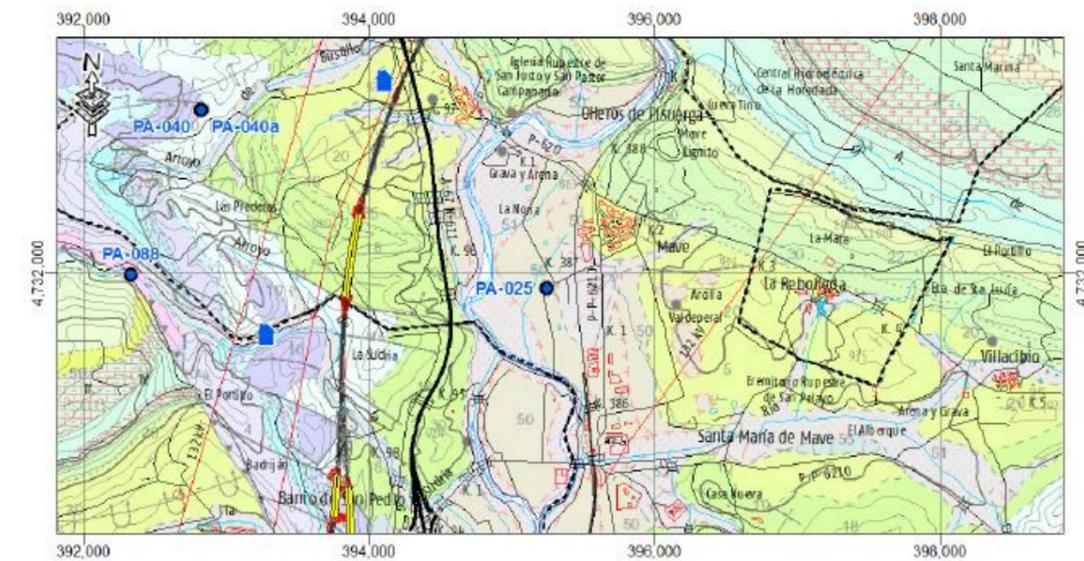


Figura 52. Localización del punto de agua de abastecimiento y depósito principal de Mave y Santa María de Mave sobre cartografía geológica de la serie MAGNA.

• **SUMINISTRO DE VALORIA DE AGUILAR Y LOMILLA DE AGUILAR.**

Las poblaciones de Lomilla de Aguilar y Valoria de Aguilar se surten del depósito situado en los relieves inmediatamente al norte de Lomilla de Aguilar. Este depósito recibe el agua potabilizada de Aguilar de Campoo. El agua es originaria del Embalse de Aguilar, pero es potabilizada en una planta al este del depósito, para su posterior distribución a los depósitos de Aguilar de Campoo y de Lomilla de Aguilar, entre otros.

3.4.2.3.7. *Inventario de Puntos de Agua del Estudio Informativo de la Línea de Alta Velocidad Aguilar - Reinosa. (Ineco, 2018) e información recabada sobre los sistemas de abastecimiento de la zona de los trazados*

Entre marzo y septiembre de 2018 se efectuaron varias campañas de campo encaminadas a revisar los inventarios de puntos de agua existentes (expuestos en apartados anteriores), completarlos con nuevos puntos de agua y recabar toda la información disponible sobre la organización de los sistemas de abastecimiento de regadío y agua potable a las poblaciones más próximas a la traza; en especial, a aquellas situadas en el entorno de los tres túneles previstos en el estudio.

A continuación, se refiere concisamente la información recopilada a partir de personal de ayuntamientos, empresas gestoras, miembros de comunidades de regantes, vecinos de las localidades, etc. Las fichas de inventario se incluyen en el Apéndice 3.6.

- **INFORMACIÓN SOBRE LOS SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE LAS LOCALIDADES DE PORQUERA DE LOS INFANTES, POMAR DE VALDIVIA, VILLARÉN DE VALDIVIA, REVILLA DE POMAR, BÁSCONES DE VALDIVIA, REBOLLEDO DE LA INERA, HELECHA DE VALDIVIA Y QUINTANILLA DE LAS TORRES.**

El abastecimiento de los citados núcleos de población se realiza actualmente a partir de una única captación subterránea situada en las inmediaciones de Pomar de Valdivia. Se ha inventariado dicho pozo en la siguiente localización:

SONDEO DE ABASTECIMIENTO SITUADO EN POMAR DE VALDIVIA					
ID	DENOMINACION	X (ETRS 89)	Y (ETRS 89)	Z (msnm) BARO. (GPS)	Z (msnm) MDT
P-31	Sondeos de Abastecimiento en Pomar de Valdivia	403125,00	4740697,00	947,00	941,82

Las siguientes fotografías ilustran dicha captación. No se ha tenido acceso al interior de la misma, por lo que se desconocen sus características.



Figura 53.. Vista del actual sondeo de abastecimiento situado en Pomar de Valdivia (P-31).



Figura 54. Vista del actual sondeo de abastecimiento situado en Pomar de Valdivia (P-31).

Se ha tenido acceso, in situ, al proyecto de la actual red de distribución de agua potable para abastecimiento. A través de él se ha tenido conocimiento de la procedencia original del agua potable a las localidades mencionadas, antes de que se acometiera la nueva red de abastecimiento:

- Pomar de Valdivia, Villarén de Valdivia, Revilla de Pomar, Báscones de Valdivia, Rebolledo de la friera, Helecha de Valdivia y Quintanilla de las Torres se abastecían del Manantial de Covalagua. Ello ocasionaba que los caudales de dicho flujo se vean seriamente disminuidos, con un fuerte impacto tanto ambiental como paisajístico, ya que dicho manantial surge a una zona de especial valor estético-paisajístico (cascada próxima a la Cueva de los Franceses).
- Además, el núcleo de Revilla de Pomar, el de mayor cota de todos, se nutría en invierno de una serie de manantiales que son recogidos en un depósito de reciente ejecución, resultandos insuficientes en verano. La acometida del manantial de Covalagua se utilizaba entonces como aportación complementaria.
- Quintanilla de las Torres se abastecía también de un manantial situado al noroeste del núcleo, que captaba a un depósito de superficie de capacidad suficiente para abastecer a toda la población.
- El abastecimiento a Porquera de los Infantes se realizaba desde Aguilar de Campoo.

- Por último, indicar que el núcleo de Rebolledo de la Inera cuenta con un pozo de extracción para su abastecimiento, sin depósito.

De entre ellos, el núcleo urbano de interés en el presente Estudio Informativo es, obviamente, el de Porquera de los Infantes. En él se han inventariado dos depósitos: el original de la localidad (P-6bis), que continúa almacenando agua procedente de Aguilar de Campoo, y otro de reciente construcción (P-6), que funciona como principal y recibe las aguas del nuevo sistema de abastecimiento desde Pomar de Valdivia.

Según el proyecto de la actual red de abastecimiento, el Ramal C-I va desde el depósito de rotura de carga (30 m<sup>3</sup>) de Quintanilla de las Torres hasta la conducción que va al depósito nuevo de Porquera de los Infantes (P-6). Este tramo consiste en 4.260 m de tubería de polietileno de diámetro 110 mm y PN-10. Por su parte, a Quintanilla de las Torres el agua llega desde el depósito regulador (100 m<sup>3</sup>) instalado en Pomar de Valdivia por medio del Ramal B-C. Adicionalmente, el Ramal I-J va hasta el depósito existente (P-6) de Porquera de los Infantes. Este último tramo consiste en 520 m de tubería de polietileno de diámetro 75 mm y PN-10.

De las informaciones procedentes de los vecinos de la localidad de Porquera de los Infantes, se desprende que el antiguo depósito (P 6bis) de la localidad sigue en uso, pero actualmente se utiliza para abastecer a varias pedanías pertenecientes a Aguilar de Campoo, municipio donde son captadas las aguas que lo alimentan.



Figura 55. Vista del actual depósito de abastecimiento de Porquera de los Infantes (P-6).



Figura 56. Vista del actual depósito de abastecimiento de Porquera de los Infantes (P-6).



Figura 57. Vista del pilón inventariado en las cercanías de los depósitos de Porquera de los Infantes (P-7bis).

Por último, cabe mencionar la existencia de un pilón cercano a ambos depósitos (P-7bis), que se abastece de agua de la red de distribución de agua potable de Porquera de los Infantes (no capta ninguna surgencia o manantial).

- **INFORMACIÓN SOBRE LOS SISTEMAS DE REGADÍO DE LAS LOCALIDADES DE PORQUERA DE LOS INFANTES, POMAR DE VALDIVIA, VILLARÉN DE VALDIVIA, REVILLA DE POMAR, BÁSCONES DE VALDIVIA, REBOLLEDO DE LA INERA, HELECHA DE VALDIVIA Y QUINTANILLA DE LAS TORRES.**

A lo largo de las campañas de revisión de inventarios de puntos de agua, se han observado una serie de registros o arquetas de gran tamaño (P-1 a P-5) al pie de la elevación en que se sitúa Porquera de los Infantes.

Puestos en contacto con la comunidad de regantes de la zona, se ha confirmado que se trata de Hidrantes de la Zona Regable Valdivia-Aguilar. Se ha tenido acceso al “Proyecto de Equipamiento de Sondeos. Red de Distribución y Balsa de Regulación de la Zona Regable de Valdivia-Aguilar (Palencia)” (2009). De él se han extraído las siguientes ubicaciones de sondeos destinados al riego:

SONDEOS EJECUTADOS Y SONDEOS PREVISTOS (2009)					
IPA	SONDEO	UTM_X	UTM_Y	CAUDAL (l/s)	PROF. BOMBA (m)
P-32	POMAR DE VALDIVIA	403948,14	4736309,52	19,1	150
P-33	VILLARÉN DE VALDIVIA	402648,16	4737580,57	34,1	155
P-34	PORQUERA DE LOS INFANTES	401394,18	4738445,60	39,1	140
P-35	QUINTANILLA DE LAS TORRES	403009,19	4740714,66	23,6	170
P-36	NESTAR	399342,25	4743373,77	34,1	60
P-32	SONDEO MENAZA (*)	---	---	---	---
P-33	SONDEO CARDUELA (*)	---	---	---	---

(\*) Contemplados en el proyecto original, pero, finalmente, no ejecutados.

Los sondeos en cuestión se hallarían captando el acuífero cretácico, con cotas piezométricas estáticas entre 891 m.s.n.m. y 908 m.s.n.m., según la tabla adjunta en el apdo. 3.4.2.2.

El sistema de riego de estas localidades se encuentra interconectado entre sí, por medio de canalizaciones reguladas por los hidrantes observados.

- **REVISIÓN DE LOS PUNTOS DE AGUA QUE DAN LUGAR AL PERÍMETRO DE PROTECCIÓN 001 FONTIBRE**

En las primeras campañas de la revisión de inventarios de puntos de agua, se procedió a la visita de la zona de surgencias que da lugar al nacimiento del río Polla. Resulta de interés

puesto que los acuíferos existentes en ella son los también los que se incluyen dentro del *Perímetro de Protección para futuros abastecimientos denominado 001 FONTIBRE*, perteneciente a la Cuenca Hidrográfica del Ebro.

Se ha prestado especial cuidado en revisar los puntos de agua existentes en inventarios anteriores y se ha procedido a completarlos con nuevos puntos observados (P-15 a P-29) a lo largo de toda la extensión de dicho perímetro. El detalle de los mismos se expone en la tabla incluida en el siguiente apdo.

- **REVISIÓN Y COMPLETADO DE INVENTARIOS DE PUNTOS DE AGUA EXISTENTES.**

Por último, se ha efectuado sobre el terreno la revisión de determinadas zonas de especial relevancia, bien por la existencia de una estructura en túnel proyectada, bien por la presencia de alguna figura de protección desde el punto de vista hidrogeológico. Durante estos trabajos, además de comprobación de puntos de existentes, ha sido posible el descubrimiento de nuevas surgencias, manantiales, fuentes, etc. Todo ello ha permitido confeccionar el siguiente inventario propio del Estudio.

Aunque en el Apéndice 3.6 se encuentran las fichas de inventario de los puntos revisados sobre el terreno, en la tabla que se presenta a continuación se resumen las características de los mismos. Se ha señalado en color naranja aquellos que se encuentran a menos de 800 m de los ejes de los trazados en estudio.

INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA DEL ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD AGUILAR - REINOSA. (INECO, 2018)								
ID	DENOMINACION	X (ETRS 89)	Y (ETRS 89)	Z (msnm) BAROM. (GPS)	Z (MSNM) MDT	AUTOR	FECHA INVENTARIO	OBSERVACIONES
P-1	Identificación Depósito VC6/VT10	399904,00	4739248,00	---	893,50	Jose Antonio Cerván (INECO)		Corresponde con una de las arquetas de los Hidrantes de la ZONA REGABLE VALDIVIA-AGUILAR
P-2	Identificación Depósito VT11	399831,00	4738241,00	---	924,40	Jose Antonio Cerván (INECO) // Graverde S. L.	07/09/2018	Corresponde con una de las arquetas de los Hidrantes de la ZONA REGABLE VALDIVIA-AGUILAR
P-3	Identificación Depósito D7	400166,00	4738241,00	---	910,20	Jose Antonio Cerván (INECO) // Graverde S. L.	07/09/2018	Corresponde con una de las arquetas de los Hidrantes de la ZONA REGABLE VALDIVIA-AGUILAR
P-4	Identificación Depósito VT9	400012,00	4738261,00	---	915,00	Jose Antonio Cerván (INECO) // Graverde S. L.	07/09/2018	Corresponde con una de las arquetas de los Hidrantes de la ZONA REGABLE VALDIVIA-AGUILAR
P-5	Identificación Depósito D8/031	399971,00	4738258,00	---	913,96	Jose Antonio Cerván (INECO) // Graverde S. L.	07/09/2018	Corresponde con una de las arquetas de los Hidrantes de la ZONA REGABLE VALDIVIA-AGUILAR
P-6	Depósito nuevo de Porquera de los Infantes	400235,00	4738836,00	---	928,90	Jose Antonio Cerván (INECO) // Graverde S. L.	07/09/2018	Depósito nuevo de Porquera de los Infantes. Sin captación. Sin uso actualmente.
P-6bis	Depósito antiguo de Porquera de los Infantes	400284,00	4738897,00	923,00	918,68	Graverde S. L.	07/09/2018	Depósito antiguo de Porquera de los Infantes. Actualmente recibe las aguas del sondeo situado en Pomar de Valdivia, de donde se abastece la localidad.
P-7	Surgencia estacional	400160,00	4738788,00	---	939,15	Jose Antonio Cerván (INECO)		En el momento del inventariado no había agua, sin embargo, la morfología del terreno parece verse afectada por surgencias estacionales de agua.
P-7bis	Pilón cercano al depósito antiguo	400311,00	4738850,00	924,00	918,68	Graverde S. L.	07/09/2018	Pilón situado en las proximidades del depósito antiguo de Porquera de los Infantes. Se desconoce si se abastece del sobrante de alguno de los depósitos.
P-7bis2	Surgencia estacional	400100,00	4738915,00	929,00		Graverde S. L.	16/09/2018	Surgencia estacional sin uso, en la localidad de porquera de los infantes. Ladera norte.
P-8	Fuente del Pilón	400318,00	4740295,00	945,00	942,15	Graverde S. L.	29/06/2018	Se corresponde con el punto procedente de la BCN 25.000 (CNIG). Captado para un abrevadero situado en una zona frondosa al sur, junto a la curva. No se observa el punto de captación. Existe un sondeo al norte (justo en el cambio de pendiente), equipado con placas solares.
P-8bis	Manantial bajo terraza	400393,00	4740286,00	---	934,60	Jose Antonio Cerván (INECO)		Da lugar a una fuente con abrevadero. Parece corresponden a un encauzamiento para pasar la carretera de las aguas de la Fuente del Pilón (P-8)
P-9	Manantial bajo terraza	400788,00	4740518,00	---	917,00	Jose Antonio Cerván (INECO)		Da lugar a una fuente con abrevadero.
P-10	Surgencia junto a la carretera	401210,00	4741362,00	---	928,70	Jose Antonio Cerván (INECO)		El agua se encuentra encharcada aunque existe una tubería de PVC que capta el agua.
P-11	Manantial bajo terraza	406803,00	4749279,00	---	961,30	Jose Antonio Cerván (INECO)		Se encuentra captado mediante tuberías bajo una caseta y da lugar a un abrevadero justo debajo, al lado del camino.
P-12	Corresponde a 1807-5-0002 (IGME)	406013,33	4748600,81	925,00	923,50	Graverde S. L.	13/05/2018	Manantial muy próximo a las coordenadas originales.
P-13	Corresponde a 1807-5-0004 (IGME)	405451,30	4746919,78	944,00	943,60	Graverde S. L.	13/05/2018	No se observan surgencias en las coordenadas originales. Afloramiento inventariado próximo con posible manantial estacional.
P-14	Corresponde a 1807-5-0005 (IGME)	407540,31	4747181,75	974,00	971,80	Graverde S. L.	20/05/2018	El pilón. Captado en Candenosa H: 1.150
P-15	Depósito de San Vitores (1807-5-0006 IGME)	409593,34	4748001,72	1004,00	1006,13	Graverde S. L.	20/05/2018	Depósito San Vitores.
P-16	Posible ubicación manantial (1807-6-0001)	410138,33	4747105,70	967,00	963,55	Graverde S. L.	23/06/2018	Posible manantial en afloramiento rocosos. Se localiza a unos 100 m de las coordenadas originales del IGME.
P-17	Corresponde a 1807-6-0002 (IGME)	410853,34	4747379,68		909,18	Graverde S. L.	20/05/2018	Muy próximo al 1807-6-0009 original (IGME).
P-18	Corresponde a 1807-6-0009 (IGME)	410853,34	4747379,68	909,00	909,18	Graverde S. L.	20/05/2018	Fuente del pueblo. Captada unos metros a mayor cota. Muy próxima al 1807-6-0002 original (IGME).
P-19	Corresponde a 1807-6-0004 (IGME)	412243,37	4748269,67	842,00	842,96	Graverde S. L.	03/06/2018	Surgencia de gran caudal relacionada con el Nacimiento del Río Polla. Próxima a las coordenadas originales (IGME).
P-20	Corresponde a 1807-6-0005 (IGME)	412308,35	4747108,65		879,00	Graverde S. L.	17/06/2018	Afloramiento calizo. Pequeños rezumes cercanos.
P-21	Corresponde a 1807-6-0006 (IGME)	412386,37	4748145,66	842,00	838,74	Graverde S. L.	03/06/2018	Surgencia de gran caudal relacionada con el Nacimiento del Río Polla. Características similares al 1807-6-0004 (IGME). Se localiza en emplazamiento distinto a las coordenadas originales procedentes del IGME.
P-22	Corresponde a 1807-6-0007 (IGME)	414011,39	4748049,62	974,00	966,33	Graverde S. L.	03/06/2018	Pilón en el pueblo. Fuente antigua alejada 30 metros al norte respecto de las coordenadas originales, donde está captado el manantial.
P-23	Corresponde a 1807-6-0008 (IGME)	412398,44	4751441,70	964,00	964,70	Graverde S. L.	03/06/2018	Pilón en el pueblo. No se ha logrado localizar el punto de surgencia o captación.
P-24	Sondeo SAR 12+400	409350,42	4751608,78	963,00	962,60	Graverde S. L.	23/06/2018	Posible localización del sondeo próxima a las coordenadas, que sitúan el punto en un sembrado.
P-25	Laguna Pozazal	408489,43	4752551,81	975,00	980,57	Graverde S. L.	23/06/2018	En captación. Posiblemente freática.
P-26	Fuente Cervatos	408362,23	4753827,35	---	935,17	Manuel Lombardero (INECO)		
P-27	Sondeo S'8	407055,51	4756633,89	953,00	951,20	Graverde S. L.	29/06/2018	Sondeo localizado con ayuda de un antiguo operario que tomó parte en el Estudio Informativo. Se informa de lodo en el fondo (seco). Se ha medido la profundidad del nivel piezométrico: 58,35 metros.

INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA DEL ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD AGUILAR - REINOSA. (INECO, 2018)								
ID	DENOMINACION	X (ETRS 89)	Y (ETRS 89)	Z (msnm) BAROM. (GPS)	Z (MSNM) MDT	AUTOR	FECHA INVENTARIO	OBSERVACIONES
P-28	Manantial	406902,52	4757091,90	902,00	899,58	Graverde S. L.	29/06/2018	Manantial en el entorno de emboquille norte del TUNEL 3.1. Captado para un abrevadero. No se recoge en ningún inventario hasta la fecha.
P-28bis	Posible surgencia asociada al manantial (P-28)	406872,52	4757101,90	900,00	897,70	Graverde S. L.	29/06/2018	Presumiblemente una surgencia del manantial anterior. No se recoge en ningún inventario hasta la fecha.
P-29	Fuente de San Pedro (Cervatos)	406339,00	4756569,00		887,70	Graverde S. L.	29/06/2018	Según un vecino está captada en el mismo punto de surgencia. Coordenadas tomadas con SIG.
P-30	Pilón en Monte Bernorio	403897,00	4739256,00	1054,00	1051,92	Graverde S. L.	07/09/2018	
P-31	Sondeos de Abastecimiento en Pomar de Valdivia	403125,00	4740697,00	947,00	941,82	Graverde S. L.	07/09/2018	Actual abastecimiento de las localidades de Pomar de Valdivia, Porquera de los Infantes, etc. Cota de la boca de la captación (superficie).
P-32	Sondeo regadío en POMAR DE VALDIVIA	403948,14	4736309,52	150,00	925,80	Graverde S. L.	07/09/2018	Sondeo para regadío en Pomar de Valdivia ejecutado dentro del marco del "PROYECTO DE EQUIPAMIENTO DE SONDEOS. RED DE DISTRIBUCIÓN Y Balsa de Regulación de la Zona Regable de Valdivia-Aguilar (Palencia)" (2009). Caudal: 19,1 L/s. Cota de la boca de la captación (superficie).
P-33	Sondeo regadío en VILLARÉN DE VALDIVIA	402648,16	4737580,57	155,00	1003,31	Graverde S. L.	07/09/2018	Sondeo para regadío en Villarén de Valdivia ejecutado dentro del marco del "PROYECTO DE EQUIPAMIENTO DE SONDEOS. RED DE DISTRIBUCIÓN Y Balsa de Regulación de la Zona Regable de Valdivia-Aguilar (Palencia)" (2009). Caudal: 34,1 L/s. Cota de la boca de la captación (superficie).
P-34	Sondeo regadío en PORQUERA DE LOS INFANTES	401394,18	4738445,60	140,00	947,55	Graverde S. L.	07/09/2018	Sondeo para regadío en Porquera de los Infantes ejecutado dentro del marco del "PROYECTO DE EQUIPAMIENTO DE SONDEOS. RED DE DISTRIBUCIÓN Y Balsa de Regulación de la Zona Regable de Valdivia-Aguilar (Palencia)" (2009). Caudal: 39,1 L/s. Cota de la boca de la captación (superficie).
P-35	Sondeo regadío en QUINTANILLA DE LAS TORRES	403009,19	4740714,66	170,00	939,59	Graverde S. L.	07/09/2018	Sondeo para regadío en Quintanilla de las Torres ejecutado dentro del marco del "PROYECTO DE EQUIPAMIENTO DE SONDEOS. RED DE DISTRIBUCIÓN Y Balsa de Regulación de la Zona Regable de Valdivia-Aguilar (Palencia)" (2009). Caudal: 23,6 L/s. Cota de la boca de la captación (superficie).
P-36	Sondeo regadío en NESTAR	399342,25	4743373,77	60,00	916,58	Graverde S. L.	07/09/2018	Sondeo para regadío en Nestar ejecutado dentro del marco del "PROYECTO DE EQUIPAMIENTO DE SONDEOS. RED DE DISTRIBUCIÓN Y Balsa de Regulación de la Zona Regable de Valdivia-Aguilar (Palencia)" (2009). Caudal: 34,1 L/s. Cota de la boca de la captación (superficie).

Por su parte, en la siguiente tabla se resumen aquellos emplazamientos revisados, en los que supuestamente debería existir algún punto de agua procedente de los inventarios de gabinete, no encontrado.

INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA DEL ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD AGUILAR - REINOSA. (INECO, 2018) – EMPLAZAMIENTOS DONDE SE HA CONSTATADO LA AUSENCIA DE PUNTOS DE AGUA								
ID	DENOMINACION	X (ETRS 89)	Y (ETRS 89)	Z (msnm) BAROMETRICA (GPS)	Z (MSNM) MDT	AUTOR	FECHA INVENTARIO	OBSERVACIONES
PR-1	Corresponde a 1807-5-0001 (IGME)	405223,33	4748555,82	963,00		Graverde S. L.	20/05/2018	Las coordenadas se sitúan en medio del campo. No se observan surgencias.
PR-2	Corresponde a 1807-5-0003 (IGME)	405909,31	4747273,78	925,00		Graverde S. L.	13/05/2018	No se observan surgencias en las coordenadas originales. El emplazamiento por coordenadas se halla junto a un arroyo y afloramiento.
PR-3	Corresponde a 1807-5-0006 (IGME)	409516,34	4748148,73	984,00		Graverde S. L.	20/05/2018	No se aprecia la captación ni surgencia alguna en las coordenadas originales. Emplazamiento próximo al depósito de San Vitores.
PR-4	Corresponde a 1807-6-0001 (IGME)	410234,33	4747090,69	957,00		Graverde S. L.	23/06/2018	Las coordenadas originales se hallan junto a un arroyo. No se localiza el manantial en dichas coordenadas del IGME.
PR-5	Corresponde a 1807-6-0003 (IGME)	411930,40	4749909,70	872,00		Graverde S. L.	03/06/2018	No se observan surgencias en las coordenadas originales. Existe un arroyo próximo canalizado en la cuneta.
PR-6	Sondeo SAR 12+400	409345,42	4751629,78	967,00		Graverde S. L.	23/06/2018	Otra posible localización para el sondeo, próxima a las coordenadas originales de éste.
PR-7	Laguna Pozazal	408536,43	4752576,81	976,00		Graverde S. L.	23/06/2018	Extremo opuesto a la captación. Afloramiento próximo.
PR-8	Corresponde a 1807-1-0013 (IGME)	407680,00	4755566,00	902,00		Graverde S. L.	29/06/2018	No se aprecian surgencias en el entorno, junto al río Marlantes, en las coordenadas originales. El río está encauzado y atraviesa la carretera N-611 para discurrir al pie del talud de la autovía.

3.4.2.3.8. *Inventario de Puntos de Agua propio del presente Estudio Informativo (Ineco, 2019)*

Durante las visitas de campo efectuadas para el presente Estudio informativo, entre octubre y noviembre de 2019, se han identificado dos puntos de agua en las inmediaciones de la localidad de Valoria de Aguilar. En la siguiente tabla se resumen sus características:

PUNTOS DE AGUA INVENTARIADOS DENTRO DEL PRESENTE ESTUDIO INFORMATIVO					
ID	DENOMINACION	X (ETRS 89)	Y (ETRS 89)	Z (m.s.n.m.)	INTERPRETACIÓN GEOLÓGICA
P-01	Encharcamiento	399389	4736845	---	---
P-02	Encharcamiento	399397	4736837	---	---
P-03	Depósito y posible captación de agua para abastecimiento de Valoria de Aguilar	395550	4736110	925	Ligado a las Areniscas y lutitas rojas de C5. Fuerte buzamiento 00/60. Acuífero multicapa alojado en los niveles de arenisca.
P-04	Surgencia de agua y abrevadero	395590	4736417	934	Ligado al contacto mecanizado entre la caliza jurásica J5 (permeabilidad baja a media) y el Triásico en Facies Keuper (impermeable). Posible estructura de cabalgamiento, implicando también a las carniolas jurásicas de J1 (alta permeabilidad). Surgencia captada mediante tubería y conducida a un abrevadero de ganado cercano.
P-05	Sondeo STO 6+670	393791	4732358	962	Proyecto INECO, 2010. Inventario Oct. 2019
P-064	Sondeo S 4+000	399397	4736838	921	Proyecto TECOPYSA, 2008. Inventario Nov. 2019

Las fichas de inventario se incluyen en el Apéndice 3.8. En las siguientes figuras se muestra tanto la ubicación como el contexto geológico de los puntos inventariados.



Figura 58. Ubicación del abrevadero P-02, en el contacto entre las calizas jurásicas J5 y las Facies Keuper T2.

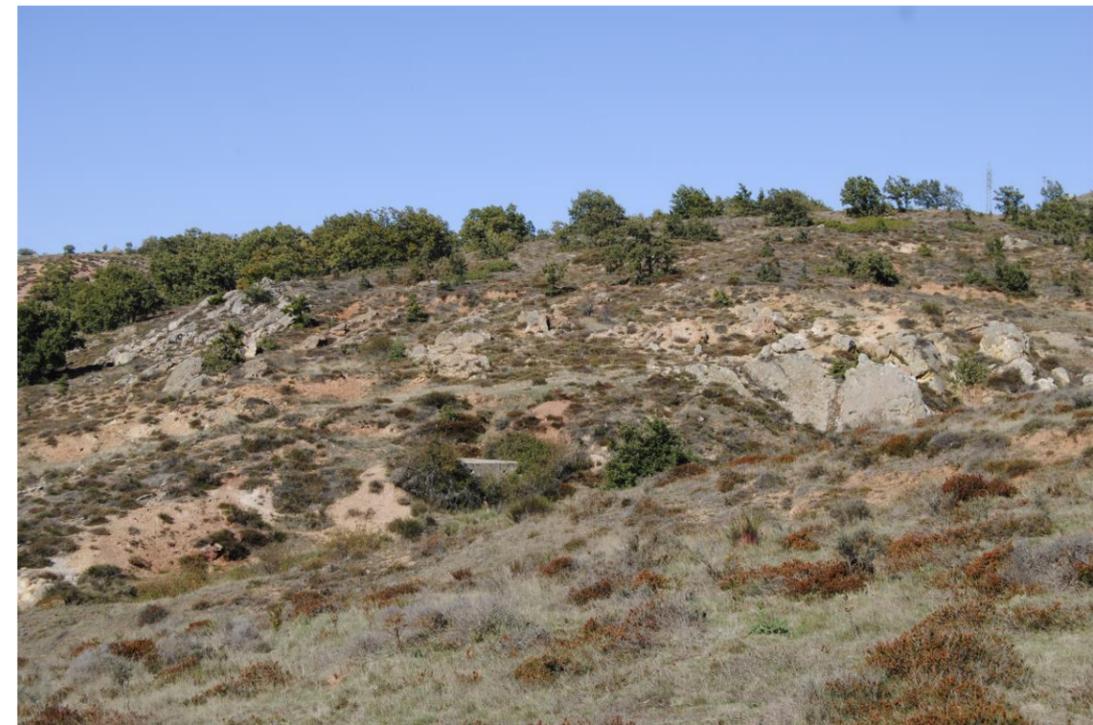


Figura 59. Ubicación del depósito P-01, ligado a las areniscas y lutitas rojas de C5.

### 3.5. GEOLOGÍA E HIDROGEOLOGÍA DE TÚNELES

Para la redacción del presente apartado, se ha utilizado fundamentalmente la información disponible procedente de:

- *Estudio Hidrogeológico. Integrado en el “Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los Túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo. Línea de Alta Velocidad Palencia – Santander”. AECOM, Mayo 2019.*
- *Primer Informe de Seguimiento. Integrado en el “Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los Túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo. Línea de Alta Velocidad Palencia – Santander”. AECOM, Octubre 2019.*

Asimismo, se ha utilizado la información procedente del “Estudio Informativo de la Línea de Alta Velocidad Aguilar de Campoo - Reinosa” (INECO, 2018) y del “Estudio Informativo de la Línea de Alta Velocidad Aguilar de Campoo - Reinosa” (INECO, 2018).

ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO (AECOM, 2019)		ESTUDIOS INFORMATIVOS PREVIOS		PRESENTE ESTUDIO INFORMATIVO							
DOMINIO	DENOM. TÚNEL	E. I. PREVIO	DENOM. TÚNEL	TRAMO	ALT. OESTE	ALT. CENTRO	ALT. ESTE	DENOM. TÚNEL	P.K INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)
ZONA MERIDIONAL	3.1	E. I. PALENCIA - ALAR	3.1	TRAMO 1 AMBITO NOGALES DE PISUERGA – MATAPORQUERA PK 100+000 - PK 125+500	X	X	X	1.1	101+285	103+215	1930
Z. CENTRO MERIDIONAL	3.2		3.2		X	X	X	1.2	104+115	104+205	90
ZONA CENTRAL	3.3		3.3		X	X	X	1.3	104+910	105+360	450
	3.4		3.4		X	X		1.4	105+800	106+160	360
Z. CENTRO SEPTENTRIONAL	3.5		3.5		X	X		1.5	107+500	108+070	570
ZONA SEPTENTRIONAL	3.6		3.6		X	X		1.6	109+610	111+230	1620
E. I. AGUILAR - REINOSA		1.1	X				1.7	117+019	117+584	565	
		1.2	X				1.8	119+609	120+439	830	
					X	1.9	105+758	106+193	435		
					X	1.10	107+537	108+272	735		
					X	1.11	113+387	113+752	365		
			X		1.12	115+344	116+098	754			
			X		1.13	116+149	116+732	583			
				TRAMO 2 AMBITO MATAPORQUERA PK 200+000 - PK 209+960.610				-	-	-	-
		E. I. AGUILAR - REINOSA	1.3	TRAMO 3 AMBITO MATAPORQUERA -REINOSA PK 300+000 - 307+500		X		3.1	303+400	303+840	440

En el Apéndice 3.9 y 3.10 se incluyen íntegramente ambos documentos, pertenecientes al Estudio Hidrogeológico (en adelante, EH). Cabe mencionar que, a fecha de la redacción del presente documento, aún prosigue la realización del Seguimiento hidrogeológico propio del EH, por lo que en el futuro se dispondrá de más y mejores datos que permitirán una caracterización hidrogeológica más detallada del medio.

#### 3.5.1. Túnel 1.1. Alternativas Este, Centro y Oeste.

Las consideraciones geológicas e hidrogeológicas de este túnel han sido extraídas (y parcialmente reproducidas) de los documentos disponibles procedentes del EH (AECOM, 2019).

Este túnel se emplaza en el Tramo Nogales de Pisuerga – Mataporquera y es común para las tres alternativas de trazado consideradas en el presente Estudio Informativo (Oeste, Este y Centro). Entre los PPKK 101+285 y 103+215 se tiene prevista la perforación de este primer túnel que, con una longitud de 1.930 m y una montera máxima de 92 m, discurre paralelo al Túnel de Nogales de la autovía A-67.

El túnel atraviesa materiales terciarios en los primeros 900 m aproximadamente, constituidos por niveles de gravas y areniscas (M1) o conglomerados (M2) intercalados de manera irregular entre arcillas. El contenido de niveles granulares aumenta hacia el norte, hasta el contacto con los materiales mesozoicos infrayacentes, hasta formar una brecha muy cementada de gravas, bolos e incluso bloques. Un cabalgamiento corta la unidad en el p.k. 102+000. A continuación, aparecen las calizas de la unidad C8 que junto con la unidad C6 son las que generan los dos resaltos predominantes en la zona. C8 a lo largo del túnel presenta una potencia aproximada de 150 m hasta el p.k. 102+165 donde afloran los materiales de la unidad C7 formados por margas y margocalizas a lo largo de unos 60 m. De nuevo la unidad se ve afectada por un cabalgamiento en torno al p.k. 103+215 que ocasiona que afloren materiales del cretácico de la unidad C5 formada por areniscas, calcarenitas, calizas y margas, hasta el emboquille final en el p.k. 103+215.

Los materiales se encuentran suavemente plegados, pero en las zonas de cabalgamientos es probable que estén fuertemente tectonizados y alterados, de forma que en ambas zonas será necesario emplear sostenimientos muy pesados y avances de excavación en pases cortos.

Los conglomerados de la unidad M1 son de tipo calcáreo y podrían estar karstificados, pudiendo constituir un acuífero libre. En cualquier caso, se desconocen la cota de nivel freático que pudiera presentar dicha unidad, aunque no es previsible que afecte al túnel. Las unidades cretácicas pueden estar fracturadas y karstificadas, y en torno al p.k. 102+370 se han observado diversos sumideros kársticos.

Dentro del EH, esta estructura se identifica como Túnel 3.1 y se localiza en el denominado “Dominio Meridional”. En la siguiente tabla se resumen las características de dicho túnel:

TÚNEL	PPKK		LONGITUD (m)	COTAS DE RASANTE			MONTERA MÁX. (m)	SECCIÓN (m)
	INICIO	FIN		ENTRADA	SALIDA	PENDIENTE		
1.1	101+285	103+215	1930	915.3	875.5	11%	92	85

Los materiales terciarios tienen una permeabilidad baja, en general, aunque, localmente, pueden presentar valores mayores debido a la porosidad primaria o por disolución del cemento carbonatado, en los niveles cementados. Los materiales cretácicos constituidos litológicamente por calizas dolomíticas, calizas y calcarenitas con unidades de carácter margoso. Los niveles calcáreos son los que tienen una permeabilidad mayor, por fisuración y karstificación dando lugar a acuíferos. Los materiales margosos tienen permeabilidades muy bajas, lo que proporciona barreras hidrogeológicas locales y condicionan los flujos. La estructura geológica es compleja, compartimentada en bloques separados por fallas y cabalgamientos, que ponen en contacto materiales de diferentes permeabilidades, lo cual genera saltos bruscos en los niveles piezométricos de la zona, aunque resulta positivo desde el punto de vista de la mitigación del impacto de los túneles.

Como regla general, puede señalarse que los materiales que presentan una permeabilidad elevada se encuentran bien drenados y con un nivel de base profundo, mientras que los materiales menos permeables drenan peor y presentan presiones intersticiales elevadas o niveles freáticos más altos que, en ocasiones se encuentran próximos a la superficie del terreno. Dada la escasa permeabilidad de estos terrenos, no supondrá un problema para los túneles proyectados, ya que aportarán volúmenes de agua escasos a la infraestructura.

La zona principal de recarga se encuentra asociada a los depósitos de calcarenitas y calizas bien estratificadas del Cretácico Superior, localizados en el ámbito noroeste de la zona. El agua infiltrada en esta zona, discurre y se distribuye en profundidad condicionada por la presencia de los planos de falla y cabalgamientos. De forma general, puede decirse que existen tres direcciones de flujo predominantes: NE a SW hacia el arroyo los Huertos (Santa Marina), N a NE hacia al Ayo del Molino y NW a SE hacia el Pisuerga. La llanura aluvial del río Pisuerga, que recoge las aguas subterráneas procedentes de las zonas altas del ámbito, constituye un acuífero detrítico libre de elevada permeabilidad. El aluvial del Pisuerga se puede considerar como el nivel de base de los flujos subterráneos en esta dirección.

Hacia el norte, se atraviesan las formaciones cretácicas de baja y media permeabilidad, formadas por margas, arcillas margosas y calizas margosas. En estos casos, los niveles freáticos se encuentran unos 20 - 30 m por encima de la traza de los túneles, si bien, se trata de un medio de baja permeabilidad que no facilita las filtraciones hacia el interior de la estructura.

La red de control en la zona está formada por 10 sondeos dotados de sensores de cuerda vibrante. Los resultados obtenidos indican que estos sensores se comportan de manera adecuada,

proporcionando un método eficiente de medición de la presión de poro a diferentes profundidades en cada piezómetro. Sus respectivas gráficas se recogen en los documentos del Estudio Hidrogeológico (Apéndices 3.9 y 3.10).

En las siguientes figuras se resumen los recursos hídricos inventariados en el ámbito. Asimismo, se incluye una tabla resumen con las características hidrogeológicas.

La mayor parte de los puntos de agua se alinean a lo largo del valle por el que discurre el arroyo de la Hormiga, habitualmente seco y asociado a la cascada del Murciélago. En color rojo, se han identificado los cinco puntos de agua que constituyen las captaciones del abastecimiento de Nogales de Pisuerga (121 habitantes, según CHD, 2018), los de mayor importancia y valor del ámbito.

La citada localidad se abastece de agua a través de cuatro manantiales y un pozo profundo. Dichas captaciones se distribuyen en dos ámbitos diferenciados, el barranco de Valdeladama, al noroeste de la población y más alejado del ámbito de actuación del presente estudio, y el valle de Santa Marina, cercano a la ubicación de la zona inicial de todas las alternativas de trazado de la Línea de Alta Velocidad. Todas las captaciones se conducen al depósito situado en las inmediaciones del paso bajo la Autovía A-67, donde se produce la cloración del agua en un solo depósito, para su posterior distribución a la población.

De los datos obtenidos en los piezómetros de control, en el entorno de las captaciones de Nogales de Pisuerga se ha identificado una componente vertical ascendente del flujo en los materiales detríticos terciarios explotados, además de un flujo lateral de recarga procedente del acuífero cretácico. Se concluye que las calizas cretácicas atravesadas constituirían la zona de recarga del acuífero terciario, captado por los pozos y manantiales de Nogales, por lo que son vulnerables a la contaminación por la construcción del túnel.

El túnel en cuestión presenta su emboquille de entrada a una cota superior a la del nivel potenciométrico de las captaciones de Nogales, ronda los 900-910 m.s.n.m. Asimismo, éste es paralelo a las líneas de flujo, lo que contribuye a minimizar la afección a las aguas subterráneas de la zona. También podría disminuir, aunque en magnitud probablemente poco significativa, el caudal subterráneo al arroyo del Molino.

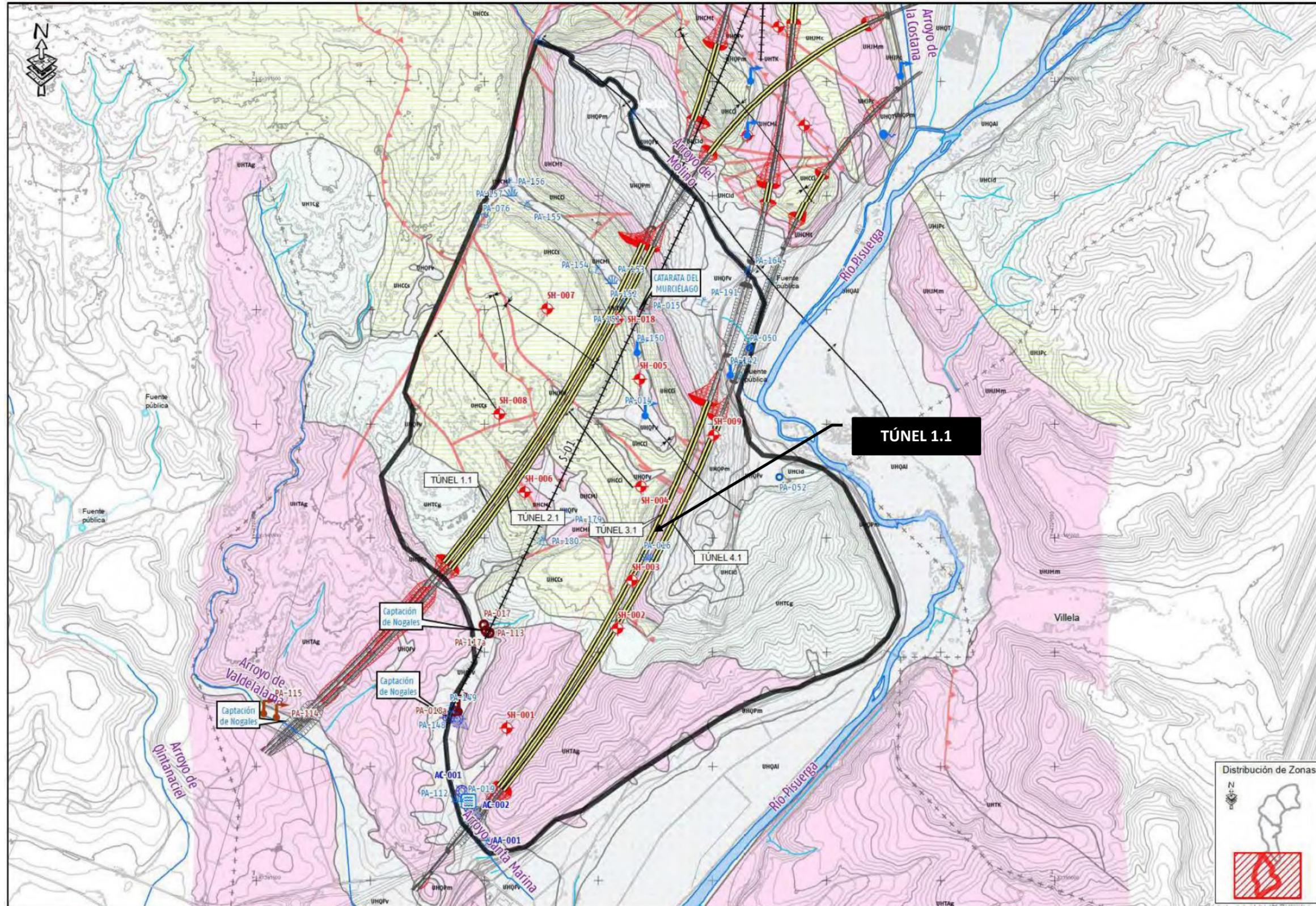


Figura 60. Mapa Hidrogeológico del Dominio Meridional (Fuente: Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los Túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo. Línea de Alta Velocidad Palencia – Santander. AECOM, 2019).

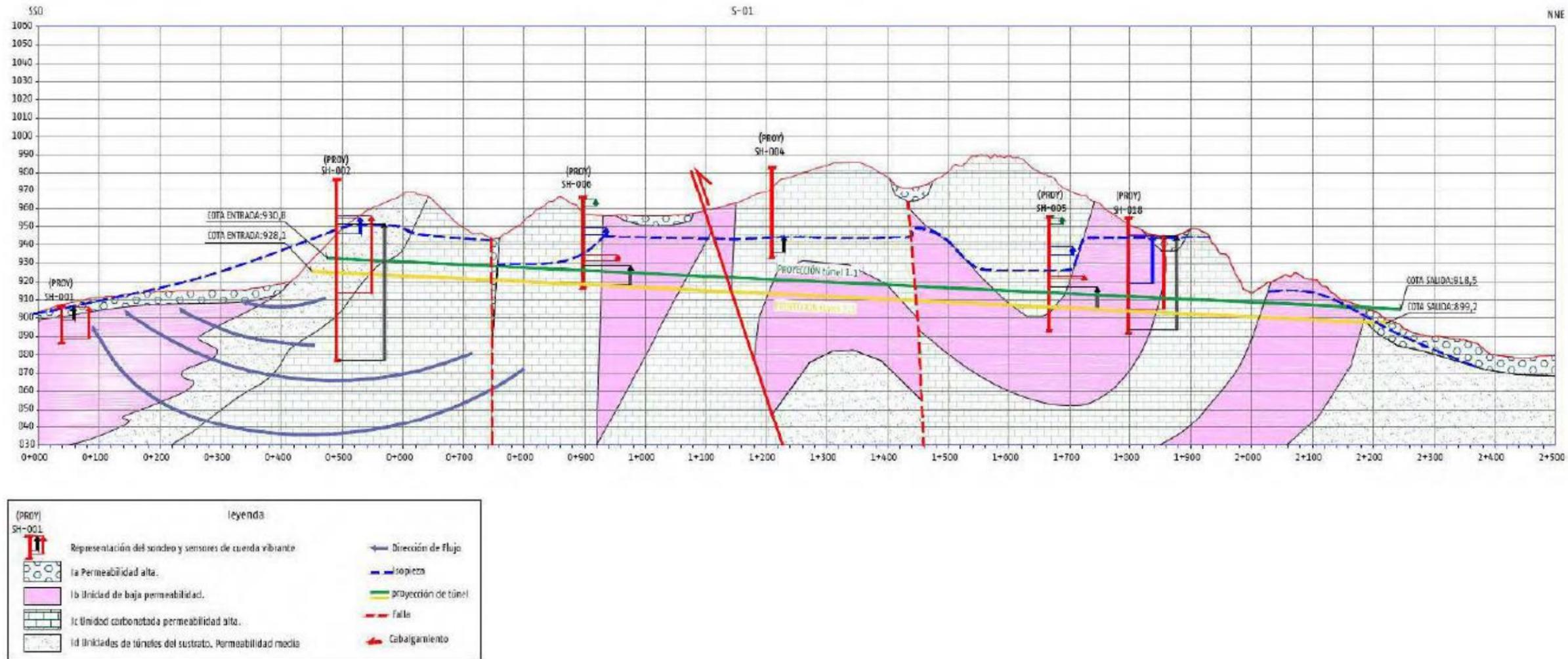


Figura 61. Perfil Hidrogeológico del Dominio Meridional (Fuente: Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los Túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo. Línea de Alta Velocidad Palencia – Santander. AECOM, 2019).

TÚNEL	P.K. INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	COTA RASANTE Entrada - Salida (m.s.n.m.)	COTA MÁX. PIEZ. aprox. (m.s.n.m.)	COLUMNA AGUA SOBRE RAS. (m)	LITOLÓGIA	P.K. INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	PERMEABILIDAD CUALITATIVA (+)	TIPO ACUIFAERO	EN ZONA SATURADA	PUNTOS DE AGUA ASOCIADOS A FM. TÚNEL (COTA m.s.n.m.)	CAPTACIONES ABAST. ASOCIADAS A FM. TÚNEL	POSIBLE AFECCIÓN A CAPTACIONES	ZONAS PROTEGIDAS PRÓXIMAS	
1.1	FALSO TÚNEL	101+285	101+335	50	915.3 - 875.5	Entre 58.5 y 87.5 m sobre rasante	M1	101+285	101+335	50.0	C-B	BAJA	---	Sí	994,00 m.s.n.m. (PA-158), 980,67 m.s.n.m. (PA-157), 938,38 m.s.n.m. (PA-015), 976,64 m.s.n.m. (PA-155), 954,52 m.s.n.m. (PA-154), 946,97 m.s.n.m. (PA-152), 949,91 m.s.n.m. (PA-151), 906,70 m.s.n.m. (PA-149), 890,88 m.s.n.m. (PA-019), 995,04 m.s.n.m. (PA-076), 867,07 m.s.n.m. (PA-142), 886,61 m.s.n.m. (PA-112), 949,36 m.s.n.m. (PA-153), 943,18 m.s.n.m. (PA-016), 979,39 m.s.n.m. (PA-156), 961,84 m.s.n.m. (PA-014), 955,36 m.s.n.m. (PA-150), 904,38 m.s.n.m. (PA-018), 938,33 m.s.n.m. (PA-117a), 917,43 m.s.n.m. (PA-113), 863,09 m.s.n.m. (PA-052), 860,62 m.s.n.m. (PA-050), 917,03 m.s.n.m. (PA-017), 904,06 m.s.n.m. (PA-018a)	Abast. NOGALES DE PISUERGA (PA-0118, PA-117a, PA-113, PA-017 y PA-018a)	Ninguna prevista	No
	M1	101+335	102+000	665.0			C-B	BAJA	---									
	FALLA (*) C10	102+000	102+010	10.0			C-MA	MUY ALTA	BUEN ACUIFERO									
	C10	102+010	102+165	155.0			C-MA	MUY ALTA	BUEN ACUIFERO									
	C9	102+165	102+225	60.0			C-B	BAJA	---									
	FALLA (*) C7	102+225	102+235	10.0			C-B	BAJA - MEDIA	ACUITARDO									
	C7	102+235	103+165	930.0			C-B	BAJA	---									
FALSO TÚNEL	103+165	103+215	50			C7	103+165	103+215	50.0	C-B	BAJA	---						

(+) Según clasificación del "Mapa de Permeabilidades a escala 1:200.000" (IGME, 2015)

(\*) Se asume una potencia de falla de 4-5 m.

(\*\*) Dada el escaso buzamiento de la falla, se asume una potencia de falla de 10-20 m.

No obstante, el túnel drenaría parte de los caudales subterráneos de la dirección W a E, que actualmente descargan al río Pisuerga. Sin embargo, dada la elevada transmisividad de este acuífero aluvial, la disminución de caudal en el aluvial o el cauce del Pisuerga sería un porcentaje mínimo del total y no supondría un efecto relevante.

Resulta recomendable analizar la posibilidad de reponer al medio los caudales drenados por los túneles durante la fase de construcción y de operación, si bien, en el caso del entorno de las captaciones de Nogales, las aguas infiltradas deben de mantener unas condiciones de potabilidad, dado el uso de dichas captaciones para abastecimiento de la población de Nogales de Pisuerga. Como medida adicional de protección de las captaciones frente a la contaminación de las aguas, se podrían instalar piezómetros de control ambiental, a una distancia intermedia entre las captaciones y las zonas de emboquille de los túneles. Mediante un programa de monitorización periódica sería posible detectar con antelación un evento de afección a las aguas subterráneas y activar un plan de contingencia que mantenga el suministro en la localidad de Nogales.

La presencia de los túneles propuestos en este Dominio no supone un efecto barrera sobre ninguna población o infraestructura.

Es preciso considerar también que, ocasionalmente, a través de la Zona No Saturada se da la existencia de flujos verticales descendentes, que obedecen a caudales de la recarga procedente de las precipitaciones. A través de los conductos kársticos interceptados por la estructura y/o de las discontinuidades atravesadas (fallas, fracturas, etc.), son previsibles caudales de entrada al túnel, que pueden llegar a ser cierta magnitud, ligados a estas zonas concretas (zonas de flujo preferente). Estos caudales estarán íntimamente asociados a las precipitaciones y pueden llegar a presentar una magnitud muy variable en el tiempo, dependiendo de las cuantías de las recargas. Por todo ello, se hace recomendable proceder con cierta impermeabilización al uso de estas zonas, según se detecten durante la perforación.

Los caudales interceptados, dada el área aflorante en superficie del acuífero, resultan ínfimos en comparación con la recarga total del mismo, por lo que, desde este punto de vista, tampoco se estima que se vean comprometidos los recursos subterráneos.



*Figura 62. Imágenes de la Cascada del Murciélago o El Canalón en época de aguas altas (arriba) y en estiaje (abajo).*

**3.5.2. Túnel 1.2. Alternativas Este, Centro y Oeste.**

Las consideraciones geológicas e hidrogeológicas de este túnel han sido extraídas (y parcialmente reproducidas) de los documentos disponibles procedentes del EH (AECOM, 2019).

Este túnel se emplaza en el Tramo Nogales de Pisuerga – Mataporquera y es común para las tres alternativas de trazado consideradas en el presente Estudio Informativo (Oeste, Este y Centro).

Geológicamente, el túnel atraviesa uno de los flancos de un sinclinal muy cerrado, integrado por materiales carbonatados y margosos del Cretácico, cuyo flanco norte se encuentra invertido por los esfuerzos que produce la escama cabalgante del Cabalgamiento de Becerril. Esta estructura se apoya mecánicamente sobre un anticlinal cuyo eje coincide con el valle del arroyo del Molino y que está conformado por los materiales detríticos y margocalizos del Cretácico, y recubierto por los sedimentos cuaternarios aluviales y coluviales, procedentes de la erosión de los cantiles carbonatados localizados en las partes altas de las laderas.

Este túnel, de escasa longitud (90 m) y montera (30 m), atraviesa los relieves calcáreos de la unidad carbonatada inferior del Cretácico (C8), correspondientes al flanco SE de la estructura sinclinal. Dentro del EH, esta estructura se identifica como Túnel 3.2 y se localiza en el denominado “Dominio Centro Meridional”. En la siguiente tabla se resumen las características de este túnel:

TÚNEL	PPKK		LONGITUD (m)	COTAS DE RASANTE			MONTERA MÁX. (m)	SECCIÓN (m)
	INICIO	FIN		ENTRADA	SALIDA	PENDIENTE		
1.2	104+115	104+205	90	884.5	887.1	30%	30	85

Los niveles calcáreos son los que tienen una permeabilidad mayor, por fisuración y karstificación dando lugar a acuíferos. Los materiales margosos tienen permeabilidades muy bajas, lo que proporciona barreras hidrogeológicas locales y condicionan los flujos.

Las unidades margosas, los cabalgamientos y la falla del límite noroeste actúan como unidades muy poco permeables, frente a la unidad de calizas cretácicas, más permeable. La unidad detrítica inferior, vierte sus aguas hacia el plano axial del anticlinal y las dirige hacia el río Pisuerga, al este. Las calizas que, a priori, actúan como acuífero de respuesta rápida, recogen el agua y lo vierten hacia el interior del sinclinal. En resumen, se trata de una zona de escasa entidad, que no recibe flujo general por la barrera formada por el Keuper y la falla NW. La mayor parte del drenaje se realiza hacia al Pisuerga. El arroyo del Molino recogería únicamente la escorrentía superficial durante la época húmeda, puesto que se seca con frecuencia. No estaría, por tanto, conectado hidráulicamente con el acuífero (el flujo subterráneo no es drenado por dicho arroyo).

El aluvial del Pisuerga se puede considerar como el nivel de base de salida del flujo subterráneo de las aguas subterráneas.

La red de control está formada por un sondeo (SH-010) instalado con sensores de cuerda vibrante, además de los sondeos cercanos SH-011 y SH-012. Sus respectivas gráficas se recogen en los documentos del Estudio Hidrogeológico (Apéndices 3.9 y 3.10).

Los niveles freáticos estimados se sitúan por lo general, bajo la traza del túnel; los que no, corresponden a niveles de saturación de medios poco permeables, con tendencia a presentar niveles colgados dado su escaso drenaje.

En las siguientes figuras se resumen los recursos hídricos inventariados en el ámbito. Asimismo, se incluye una tabla resumen con las características hidrogeológicas.

En el ámbito no se localizan captaciones de abastecimiento a poblaciones, ni otro aprovechamiento de aguas subterráneas. Siguiendo figura identifica y resume los recursos hídricos inventariados. Los manantiales observados están asociados estructuralmente al cabalgamiento de Becerril, que pone en contacto mecánico calizas permeables con yesos y margas de baja permeabilidad del Keuper, lo que favorece el afloramiento de las aguas subterráneas y la generación de una orla de manantiales de poca importancia que afloran al pie del camino de los Pilonos.

No se considera que las obras proyectadas puedan producir efecto barrera sobre ninguna población o infraestructura

A la vista de lo anterior, no se han identificado interacciones significativas entre las obras proyectadas y el sistema hidrogeológico de la zona, por lo que la posible afección de éstas sobre el medio acuífero del ámbito se puede estimar como no significativa.

Sin embargo, la no afección al medio acuífero por parte de la estructura proyectada no implica que éste primero no afecte al desarrollo de las obras y a la explotación del túnel. Ocasionalmente, a través de la Zona No Saturada se da la existencia de flujos verticales descendentes, que obedecen a caudales de la recarga procedente de las precipitaciones. A través de los conductos kársticos interceptados por la estructura y/o de las discontinuidades atravesadas (fallas, fracturas, etc.), son previsibles caudales de entrada al túnel, que pueden llegar a ser cierta magnitud, ligados a estas zonas concretas (zonas de flujo preferente). Estos caudales estarán íntimamente asociados a las precipitaciones y pueden llegar a presentar una magnitud muy variable en el tiempo, dependiendo de las cuantías de las recargas. Por todo ello, se hace recomendable proceder con cierta impermeabilización al uso de estas zonas, según se detecten durante la perforación.

Los caudales interceptados, dada el área aflorante en superficie del acuífero, resultan ínfimos en comparación con la recarga total del mismo, por lo que, desde este punto de vista, tampoco se estima que se vean comprometidos los recursos subterráneos.

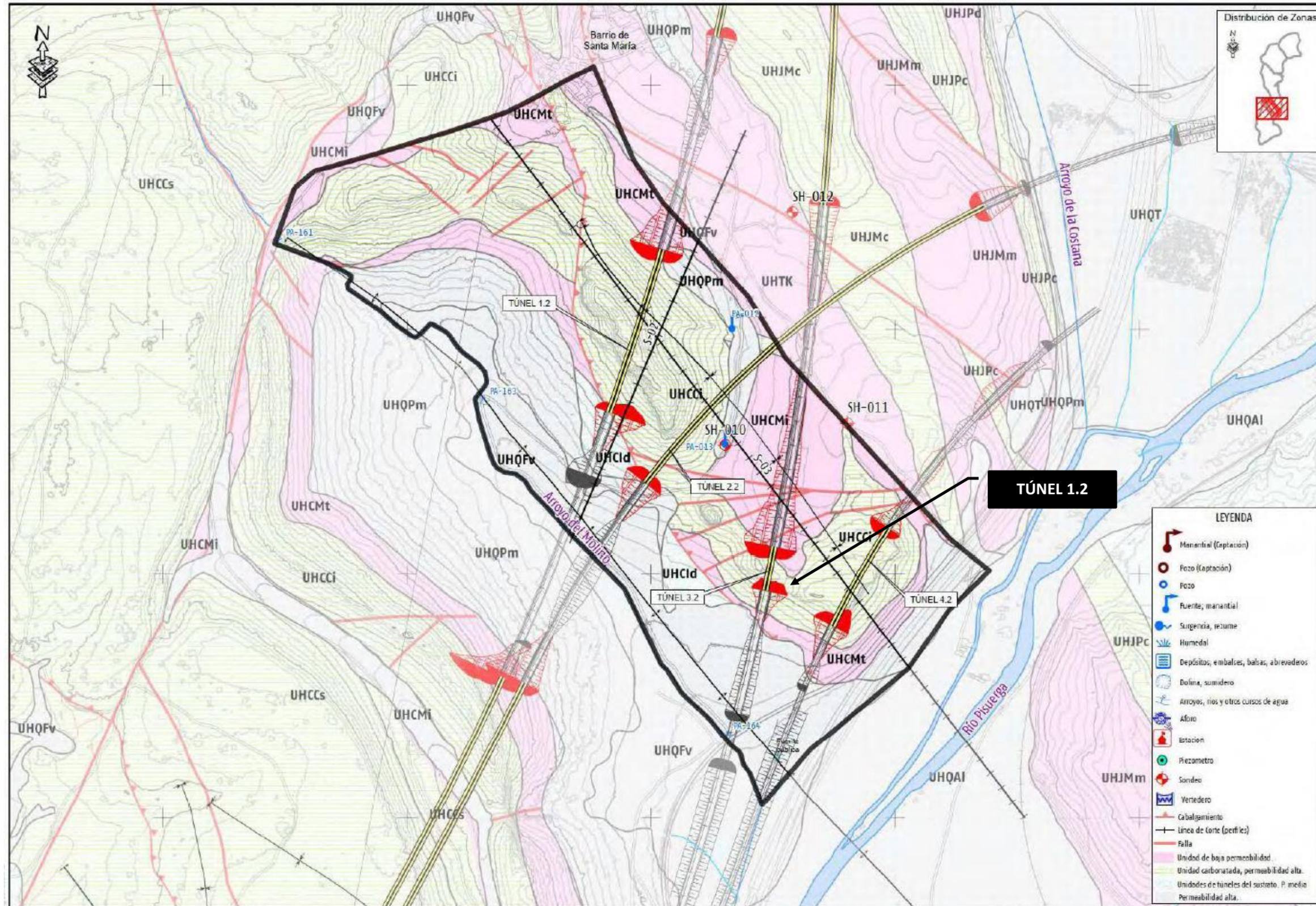


Figura 63. Mapa Hidrogeológico del Dominio Centromeridional (Fuente: Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los Túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo. Línea de Alta Velocidad Palencia – Santander. AECOM, 2019).

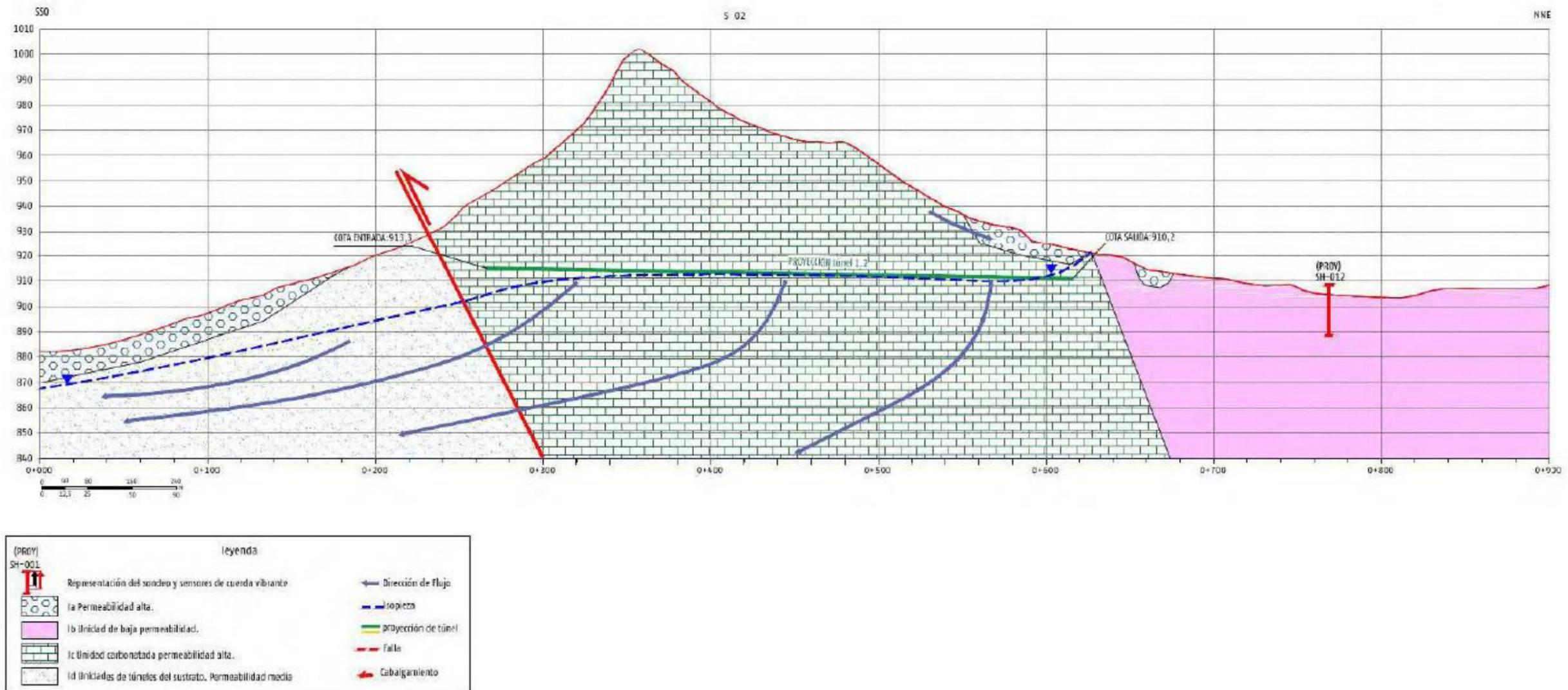


Figura 64. Perfil Hidrogeológico del Dominio Centromeridional (Fuente: Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los Túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo. Línea de Alta Velocidad Palencia – Santander. AECOM, 2019).

TÚNEL	P.K. INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)		COTA RASANTE Entrada - Salida (m.s.n.m.)	COTA MÁX. PIEZ. aprox. (m.s.n.m.)	COLUMNA AGUA SOBRE RAS. (m)	LITOLÓGIA	P.K. INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	PERMEABILIDAD CUALITATIVA (+)		TIPO ACUIFERO	EN ZONA SATURADA	PUNTOS DE AGUA ASOCIADOS A FM. TÚNEL (COTA m.s.n.m.)	CAPTACIONES ABAST. ASOCIADAS A FM. TÚNEL	POSIBLE AFECCIÓN A CAPTACIONES	ZONAS PROTEGIDAS PRÓXIMAS
1.2	FALSO TÚNEL	104+115	104+140	25	884.5 - 887.1	913 (SH-010), 884.5 (SH-011) No son representativas del túnel.	---	C8	104+115	104+140	25.0	C-MA	MUY ALTA	BUEN ACUIFERO	Prob. No	916,56 m.s.n.m. (PA-013), 920,92 m.s.n.m. (PA-012)	---	Ninguna prevista	No
	MINA	104+140	104+180	40				C8	104+140	104+180	40.0	C-MA	MUY ALTA	BUEN ACUIFERO					
	FALSO TÚNEL	104+180	104+205	25				C8	104+180	104+205	25.0	C-MA	MUY ALTA	BUEN ACUIFERO					

(+) Según clasificación del "Mapa de Permeabilidades a escala 1:200.000" (IGME, 2015)

(\*) Se asume una potencia de falla de 4-5 m.

(\*\*) Dada el escaso buzamiento de la falla, se asume una potencia de falla de 10-20 m.

### 3.5.3. Túnel 1.3. Alternativas Este, Centro y Oeste.

Las consideraciones geológicas e hidrogeológicas de este túnel han sido extraídas (y parcialmente reproducidas) de los documentos disponibles procedentes del EH (AECOM, 2019).

Este túnel se emplaza en el Tramo Nogales de Pisuerga – Mataporquera y es común para las tres alternativas de trazado consideradas en el presente Estudio Informativo (Oeste, Este y Centro). El túnel en cuestión, de 450 m de longitud y montera máxima aproximada de 36 m, salva un acusado relieve en forma de crestón, entre los barrios de Becerril del Carpio y La Puebla de San Vicente. Dentro del EH, esta estructura se identifica como Túnel 3.3 y se localiza en el denominado “Dominio Central”. En la siguiente tabla se resumen las características de este túnel:

TÚNEL	PPKK		LONGITUD (m)	COTAS DE RASANTE			MONTERA MÁX. (m)	SECCIÓN (m)
	INICIO	FIN		ENTRADA	SALIDA	PENDIENTE		
1.3	104+910	105+360	450	905.5	909.0	2.5%	36	85

En el ámbito del mismo, es de destacar la presencia de materiales Trásicos y Jurásicos. Los materiales Trásicos, constituidos por arcillas y sales en facies Keuper, aparecen localizados en la franja occidental con dirección noroeste-sureste, constituyendo la unidad de muro de la serie litológica de esta zona. Sobre esta unidad descansa la sucesión jurásica, constituida por materiales calizos y dolomíticos, con conductos kársticos bien desarrollados. Intercalados con las calizas y dolomías, aparecen intercalaciones de niveles margosos, en facies Purbeck. La estructura de los materiales jurásicos es eminentemente monocinal, con buzamientos generalizados hacia el este y una dirección paralela, a grandes rasgos, al denominado Cabalgamiento de Becerril, en dirección NNO-SSE, y con una densa red de fracturas. Los triásicos, a su vez, se emplazan mecánicamente sobre los materiales cretácicos mediante dicho cabalgamiento. Éstos últimos afloran al oeste y conforman un gran pliegue anticlinal tumbado.

Este túnel atraviesa prácticamente en su totalidad la formación jurásica marina inferior constituida por dolomías, calizas y carniolas. Además, en la parte final (aprox. 100 m finales) atraviesa una pequeña proporción de la formación margosa superior, condicionada por la presencia de algunas fracturas.

Desde el punto de vista hidrogeológico, destaca la presencia de una barrera muy poco permeable formada por la unidad triásica en facies Keuper. Las unidades carbonatadas del Jurásico, de naturaleza caliza y dolomítica, son las unidades de mayor permeabilidad (en especial la correspondiente a los materiales del Jurásico inferior, que se puede definir como el acuífero más destacado del ámbito), mientras que las unidades margosas intercaladas en estas últimas, actúan como compartimentadoras del sistema, distribuyendo el flujo de agua subterránea. también hay que destacar las intercalaciones carbonatadas de las facies Purbeck, como materiales permeables, entre los términos detríticos de menor permeabilidad.

La presencia de áreas con menor pendiente en lo alto de las unidades calizas del Jurásico, actúan como zonas de recarga. El agua infiltrada, discurre a través de las oquedades kársticas de dichas unidades, con una dirección de flujo inferida para el sistema acuífero hacia el S-SE, a favor del gradiente regional, hacia el Río Pisuerga.

En el ámbito se localizan los arroyos de la Costana y la Sudría, que presentan caudal casi todo el año, lo que apuntaría a su conexión con el sistema regional de flujo de las aguas subterráneas. La barrera impermeable del Keuper recoge y desvía el flujo regional hacia el sur, a la Costana y hacia el norte, a la Sudría. Ambos arroyos podrían constituir un nivel de base local del flujo subterráneo, aunque es probable que sólo capten los flujos subterráneos más superficiales.

La red de control en este acuífero se compone de 4 sondeos dotados de sensores de cuerda vibrante a diferentes niveles. Además, se realiza un control manual del cauce de los arroyos de la Costana (PA-192 y PA-111) y la Sudría (PA-106). Los resultados obtenidos indican que los piezómetros de cuerda vibrante instalados en el proyecto se comportan de manera adecuada, proporcionando un método eficiente de medición de la presión de poro a diferentes profundidades en cada piezómetro. Sus respectivas gráficas se recogen en los documentos del Estudio Hidrogeológico (Apéndices 3.9 y 3.10).

Los niveles freáticos se encuentran bajo la traza del túnel. Asimismo, gran parte de su trazado discurre por materiales de baja permeabilidad, por tanto, no hay interacciones significativas con la hidrogeología. Tampoco se produce efecto barrera sobre ninguna población o infraestructura.

En las siguientes figuras se resumen los recursos hídricos inventariados en el ámbito. Asimismo, se incluye una tabla resumen con las características hidrogeológicas.

Se han inventariado varios manantiales y surgencias de aguas subterráneas, en coincidencia con la presencia de zonas topográficamente más deprimidas y por lo general, asociados a contactos entre los materiales triásicos y jurásicos. Éstos supondrían el drenaje de los niveles jurásicos, en las zonas de contacto con el impermeable.

La población de Becerril del Carpio dispone de dos manantiales captados para abastecimiento de agua potable. La captación más antigua (PA-009) abastece a los barrios de San Pedro y Santa Maña, y la más moderna (PA-088) abastece al barrio de Puebla de San Vicente. Las captaciones conducen el agua a sendos depósitos, PA-007, en el primer caso, PA-005, en el segundo.

No se han identificado interacciones significativas de los túneles sobre captaciones de agua subterráneas (públicas o privadas) o instalaciones dependientes de ellas. No se han detectado manantiales o pozos para abastecimiento ni otros usos potencialmente afectados por los túneles.

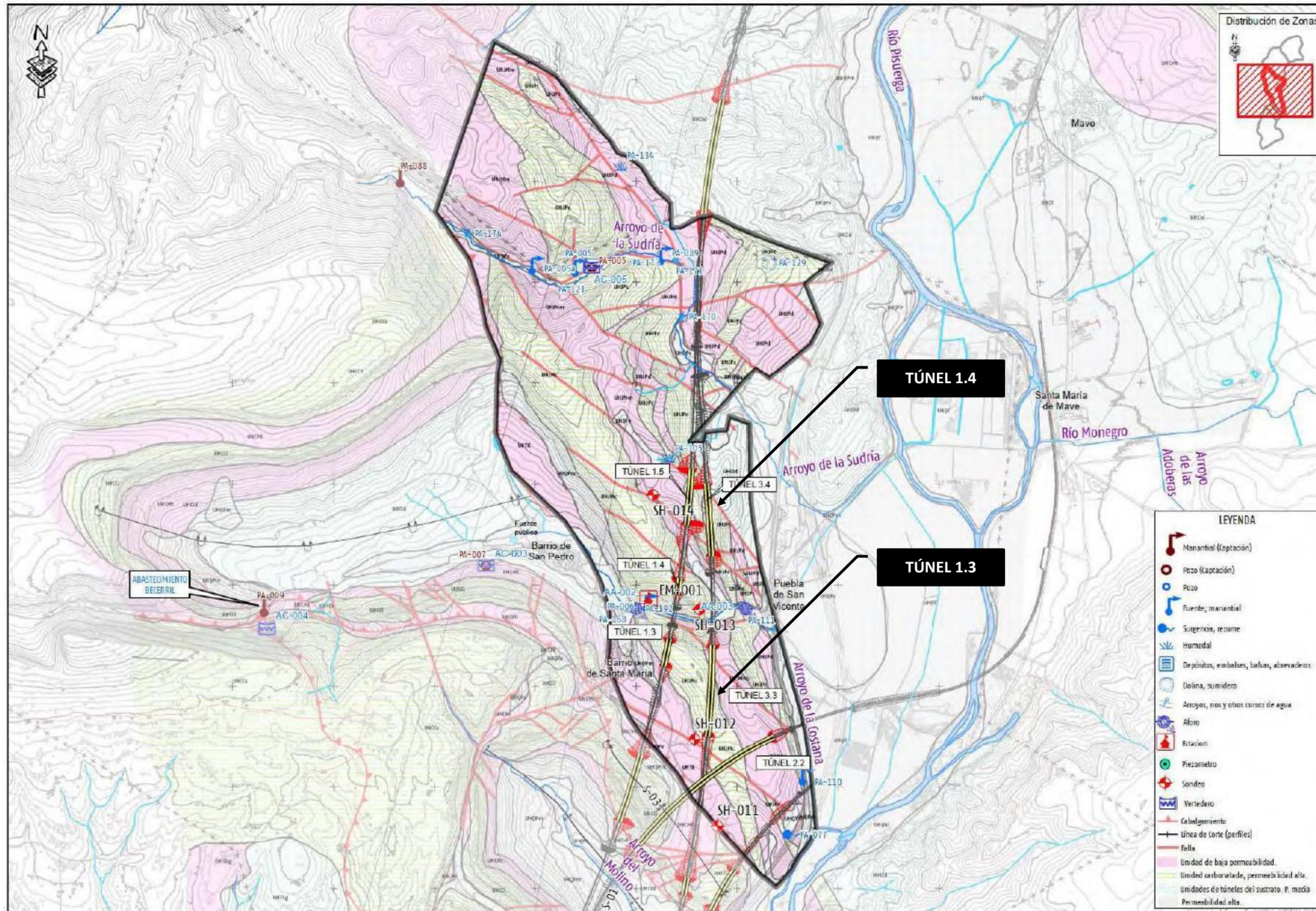


Figura 65. Mapa Hidrogeológico del Dominio Central (Fuente: Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los Túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo. Línea de Alta Velocidad Palencia – Santander. AECOM, 2019).

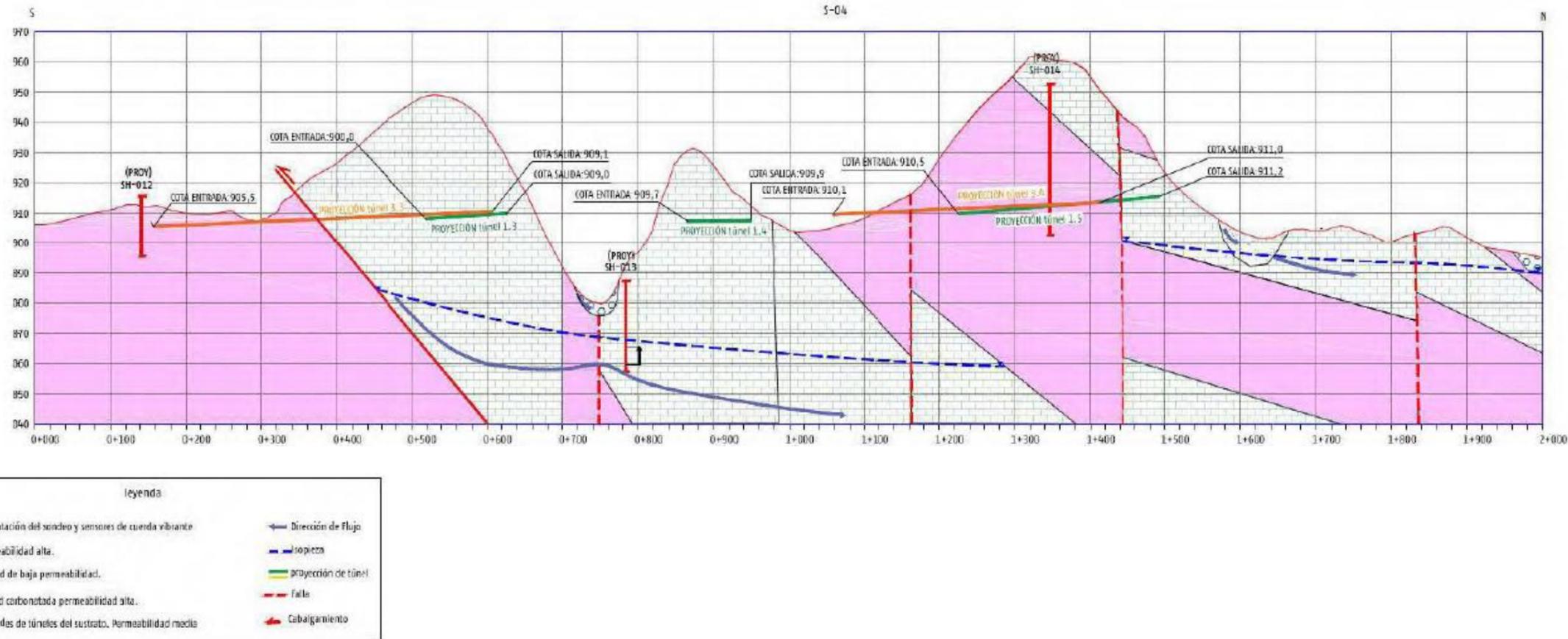


Figura 66. Perfil Hidrogeológico del Dominio Central (Fuente: Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los Túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo. Línea de Alta Velocidad Palencia – Santander. AECOM, 2019).

TÚNEL	P.K. INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	COTA RASANTE Entrada - Salida (m.s.n.m.)	COTA MÁX. PIEZ. aprox. (m.s.n.m.)	COLUMNA AGUA SOBRE RAS. (m)	LITOLOGÍA	P.K. INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	PERMEABILIDAD CUALITATIVA (+)	TIPO ACUIFERO	EN ZONA SATURADA	PUNTOS DE AGUA ASOCIADOS A FM. TÚNEL (COTA m.s.n.m.)	CAPTACIONES ABAST. ASOCIADAS A FM. TÚNEL	POSIBLE AFECCIÓN A CAPTACIONES	ZONAS PROTEGIDAS PRÓXIMAS	
1.3	FALSO TÚNEL	104+910	104+960	50	905.5 - 909.0	---	J1	104+910	104+960	50.0	C-A	ALTA	BUEN ACUÍFERO	No	927 03 m.s.n.m. (PA-005), 97125 m.s.n.m. (PA-129), 883,98 m.s.n.m. (PA-006), 929,80 m.s.n.m. (PA-134), 929,05 m.s.n.m. (PA-105), 866,17 m.s.n.m. (PA-110), 923 61 m.s.n.m. (PA-091), 988 39 m.s.n.m. (PA-090), 917,85 m.s.n.m. (PA-089), 946 33 m.s.n.m. (PA-005a), 938,27 m.s.n.m. (PA-121), 873,01 m.s.n.m. (PA-077), 957,23 m.s.n.m. (PA-009), 969,90 m.s.n.m. (PA-088), 929,48 m.s.n.m. (PA-007), 927 03 m.s.n.m. (PA-005)	Abast. BECERRIL DEL CARPIO. Bº San Pedro y Bº Sta. María (manantial PA-009). Bº Puebla de San Vicente (PA-088). Depósitos (PA-007 y PA-005)	Ninguna prevista	No
	MINA	104+960	105+310	350			J1	104+960	105+110	150.0	C-A	ALTA	BUEN ACUÍFERO					
	FALSO TÚNEL	105+310	105+360	50			J2	105+110	105+310	200.0	C-A	ALTA	BUEN ACUÍFERO					
1.4	FALSO TÚNEL	105+800	105+850	50	910.1 - 911.0	---	FALLA (**) J4	105+800	105+805	5.0	C-B	BAJA - MEDIA	ACUITARDO	No				
							J4	105+805	105+812	7.0	C-B	BAJA	---					
							FALLA (**) J4	105+812	105+817	5.0	C-B	BAJA - MEDIA	ACUITARDO					
							J4	105+817	105+822	5.0	C-B	BAJA	---					
	FALLA (**) J4	105+822	105+827	5.0			C-B	BAJA - MEDIA	ACUITARDO									
	J4	105+827	105+850	23.0			C-B	BAJA	---									
	MINA	105+850	106+115	265			J4	105+850	106+115	265.0	C-B	BAJA	---					
	FALSO TÚNEL	106+115	106+160	45			J4	106+115	106+140	25.0	C-B	BAJA	---					
FALLA (*) J5	106+140	106+150	10.0	D - M	MEDIA	ACUITARDO												
J5	106+150	106+160	10.0	D - B	BAJA	---												

(+) Según clasificación del "Mapa de Permeabilidades a escala 1:200.000" (IGME, 2015)

(\*) Se asume una potencia de falla de 4-5 m.

(\*\*) Dada el escaso buzamiento de la falla, se asume una potencia de falla de 10-20 m.

Sin embargo, la no afección al medio acuífero por parte de la estructura proyectada no implica que éste primero no afecte al desarrollo de las obras y a la explotación del túnel. Ocasionalmente, a través de la Zona No Saturada se da la existencia de flujos verticales descendentes, que obedecen a caudales de la recarga procedente de las precipitaciones. A través de los conductos kársticos interceptados por la estructura y/o de las discontinuidades atravesadas (fallas, fracturas, etc.), son previsibles caudales de entrada al túnel, que pueden llegar a ser cierta magnitud, ligados a estas zonas concretas (zonas de flujo preferente). Estos caudales estarán íntimamente asociados a las precipitaciones y pueden llegar a presentar una magnitud muy variable en el tiempo, dependiendo de las cuantías de las recargas. Por todo ello, se hace recomendable proceder con cierta impermeabilización al uso de estas zonas, según se detecten durante la perforación.

Los caudales interceptados, dada el área aflorante en superficie del acuífero, resultan ínfimos en comparación con la recarga total del mismo, por lo que, desde este punto de vista, tampoco se estima que se vean comprometidos los recursos subterráneos.

### 3.5.4. Túnel 1.4. Alternativas Centro y Oeste.

Las consideraciones geológicas e hidrogeológicas de este túnel han sido extraídas (y parcialmente reproducidas) de los documentos disponibles procedentes del EH (AECOM, 2019). Dentro del EH, esta estructura se identifica como Túnel 3.4 y se localiza en el denominado “Dominio Central”. En la siguiente tabla se resumen las características de este túnel:

TÚNEL	PPKK		LONGITUD (m)	COTAS DE RASANTE			MONTERA MÁX. (m)	SECCIÓN (m)
	INICIO	FIN		ENTRADA	SALIDA	PENDIENTE		
1.4	105+800	106+160	360	910.1	911.0	2.5%	37	85

Su contexto geológico e hidrogeológico resulta similar al del túnel anterior, el Túnel 1.3, por lo que, a continuación, se recogen gran parte de las consideraciones efectuadas para éste. Su tramificación específica se ha incluido en la tabla adjunta en el apdo. anterior (junto a la del Túnel 1.3). Este túnel se emplaza en el Tramo Nogales de Pisuerga – Mataporquera y es común para las alternativas de trazado Oeste y Centro. Se trata de un túnel de 360 m de longitud con una montera de 37 m. La práctica totalidad del mismo se desarrolla en la alternancia de calizas, margas y lutitas jurásicas. El túnel atraviesa en casi toda su longitud los materiales jurásicos de la formación J4 (calizas, margas y lutitas). El emboquille de salida se excavará sobre los conglomerados y areniscas de la unidad J5 que aparecen solo en la parte final del túnel. En ambos emboquilles hay fallas inversas que los afectan, sobre todo en el de entrada ubicado en el p.k. 105+805. En esta zona se ubica un tren de fallas inversas que hace que los materiales se encuentren fuertemente alterados, lo cual, añadido a la karstificación, puede producir aportes de agua al túnel en caso de que la formación esté saturada.

En el ámbito del mismo, es de destacar la presencia de materiales Tríasicos (no atravesados por el túnel) y Jurásicos. Los materiales Tríasicos, constituidos por arcillas y sales en facies Keuper, aparecen localizados en la franja occidental con dirección noroeste-sureste, constituyendo la unidad de muro de la serie litológica de esta zona. Sobre esta unidad descansa la sucesión jurásica, constituida por materiales calizos y dolomíticos, con conductos kársticos bien desarrollados. Intercalados con las calizas y dolomías, aparecen intercalaciones de niveles margosos, en facies Purbeck. La estructura de los materiales jurásicos es eminentemente monoclin, con buzamientos generalizados hacia el este y una dirección paralela, a grandes rasgos, al denominado Cabalgamiento de Becerril, en dirección NNO-SSE, y con una densa red de fracturas. Los triásicos, a su vez, se emplazan mecánicamente sobre los materiales cretácicos mediante dicho cabalgamiento. Éstos últimos afloran al oeste y conforman un gran pliegue anticlinal tumbado.

Desde el punto de vista hidrogeológico, destaca la presencia de una barrera muy poco permeable formada por la unidad triásica en facies Keuper. Las unidades carbonatadas del Jurásico, de naturaleza caliza y dolomítica, son las unidades de mayor permeabilidad (en especial la correspondiente a los materiales del Jurásico inferior, que se puede definir como el acuífero más destacado del ámbito), mientras que las unidades margosas intercaladas en estas últimas, actúan como compartimentadoras del sistema, distribuyendo el flujo de agua subterránea. también hay que destacar las intercalaciones carbonatadas de las facies Purbeck, como materiales permeables, entre los términos detríticos de menor permeabilidad. La presencia de áreas con menor pendiente en lo alto de las unidades calizas del Jurásico, actúan como zonas de recarga. El agua infiltrada, discurre a través de las oquedades kársticas de dichas unidades, con una dirección de flujo inferida para el sistema acuífero hacia el S-SE, a favor del gradiente regional, hacia el Río Pisuerga.

En el ámbito se localizan los arroyos de la Costana y la Sudría, que presentan caudal casi todo el año, lo que apuntaría a su conexión con el sistema regional de flujo de las aguas subterráneas. La barrera impermeable del Keuper recoge y desvía el flujo regional hacia el sur, a la Costana y hacia el norte, a la Sudría. Ambos arroyos podrían constituir un nivel de base local del flujo subterráneo, aunque es probable que sólo capten los flujos subterráneos más superficiales.

La red de control en este acuífero se compone de 4 sondeos dotados de sensores de cuerda vibrante a diferentes niveles. Además, se realiza un control manual del cauce de los arroyos de la Costana (PA-192 y PA-111) y la Sudría (PA-106). Los resultados obtenidos indican que los piezómetros de cuerda vibrante instalados en el proyecto se comportan de manera adecuada, proporcionando un método eficiente de medición de la presión de poro a diferentes profundidades en cada piezómetro. Sus respectivas gráficas se recogen en los documentos del Estudio Hidrogeológico (Apéndices 3.9 y 3.10). Los niveles freáticos del sondeo SH-13 revelan una cota piezométrica máxima en torno a 866 m.s.n.m. El sondeo SH-14, no registra niveles en ninguno de sus sensores. Los niveles freáticos se encuentran bajo la traza del túnel. Asimismo, gran parte de su trazado discurre por materiales de baja permeabilidad, por tanto, no hay

interacciones significativas con la hidrogeología. Tampoco se produce efecto barrera sobre ninguna población o infraestructura.

Los recursos hídricos inventariados en el ámbito son coincidentes con los del Túnel 1.3 (apdo. 3.5.3.), por lo que se remite a las figuras incluidas en él. Se han inventariado varios manantiales y surgencias de aguas subterráneas, en coincidencia con la presencia de zonas topográficamente más deprimidas y por lo general, asociados a contactos entre los materiales triásicos y jurásicos. Éstos supondrían el drenaje de los niveles jurásicos, en las zonas de contacto con el impermeable. La población de Becerril del Carpio dispone de dos manantiales captados para abastecimiento de agua potable. La captación más antigua (PA-009) abastece a los barrios de San Pedro y Santa Maña, y la más moderna (PA-088) abastece al barrio de Puebla de San Vicente. Las captaciones conducen el agua a sendos depósitos, PA-007, en el primer caso, PA-005, en el segundo.

Tampoco se han identificado interacciones significativas de los túneles sobre captaciones de agua subterráneas (públicas o privadas) o instalaciones dependientes de ellas. No se han detectado manantiales o pozos para abastecimiento ni otros usos potencialmente afectados por los túneles.

### 3.5.5. Túnel 1.5. Alternativas Centro y Oeste.

Las consideraciones geológicas e hidrogeológicas de este túnel han sido extraídas (y parcialmente reproducidas) de los documentos disponibles procedentes del EH (AECOM, 2019).

Este túnel se emplaza en el Tramo Nogales de Pisuerga – Mataporquera y es común para las alternativas de trazado Oeste y Centro. Se trata de un túnel de 570 m de longitud, con una montera máxima de 42 m, que se desarrolla casi en su totalidad en los conglomerados y areniscas con lutitas de la unidad C7, a excepción de un pequeño tramo en el emboquille sur integrado por la alternancia de lutitas, calizas y margas en “Facies Purbeck” de la unidad J5.

Dentro del EH, esta estructura se identifica como Túnel 3.5 y se localiza en el denominado “Dominio Centro Septentrional”. El Túnel 3.5, así como la autovía A67 y la carretera N-611, discurren por el límite oriental del ámbito. En la siguiente tabla se resumen las características de este túnel:

TÚNEL	PPKK		LONGITUD (m)	COTAS DE RASANTE			MONTERA MÁX. (m)	SECCIÓN (m)
	INICIO	FIN		ENTRADA	SALIDA	PENDIENTE		
1.5	107+500	108+070	570	914.4	915.9	2.5%	42	85

El ámbito se define por la presencia de los materiales detríticos del Cretácico Inferior, conformados por conglomerados, areniscas y capas de lutitas y limos, fundamentalmente. No obstante, en el límite occidental aflora la sucesión jurásica en facies “Purbeck”, sobre la que se

apoya, de manera discordante y erosiva, los materiales cretáceos. La estructura general es la de un monoclinal, con buzamientos suaves hacia el NE.

Los materiales detríticos del cretácico inferior se pueden clasificar como un medio de baja-media permeabilidad. No obstante, existen zonas, relacionadas con la fracturación y/o alteración, donde la permeabilidad aumenta, dando lugar a flujos preferentes. En estos tramos, las areniscas y conglomerados se encuentran más sueltos, comportándose como un acuífero.

La llanura aluvial del río Pisuerga recoge las aguas subterráneas procedentes de parte del ámbito, constituyendo un acuífero libre de elevada permeabilidad. El aluvial del Pisuerga se puede considerar como el nivel de base de salida del flujo de las aguas subterráneas en esta dirección.

Asimismo, la hidrogeología está condicionada por los arroyos de Bustillo y Udrías, que probablemente constituyan también un nivel de base local del flujo, equivalente al del Pisuerga, aunque sólo capten el flujo subterráneo más superficial de las aguas subterráneas (objeto de investigación en el EH).

La red de control en este acuífero se compone de 2 sondeos dotados de sensores de cuerda vibrante a diferentes niveles. Además de éstos, también se está realizando un control manual del cauce del arroyo Bustillo (PA-178). Según el Estudio Hidrogeológico (AECOM, 2019) los resultados obtenidos indican que los piezómetros de cuerda vibrante instalados en el proyecto se comportan de manera adecuada, proporcionando un método eficiente de medición de la presión de poro a diferentes profundidades en cada piezómetro. Sus respectivas gráficas se recogen en los documentos del Estudio Hidrogeológico (Apéndices 3.9 y 3.10).

No obstante, en la reciente visita sobre el terreno, efectuada por INECO en octubre de 2019, se ha conseguido localizar y medir el sondeo STO 6+670, perforado para el Estudio Informativo del tramo Villaprovedo-Reinosa en 2009, con cota de boca 960 m.s.n.m. La profundidad del agua subterránea se situaba a 12 m de la superficie, lo que arroja una cota piezométrica de 950 m.s.n.m. Esto situaría el límite de la zona saturada unos 35 m por encima de la rasante del túnel. A efectos de estar del lado de la seguridad, para el presente estudio se va a considerar este dato, en lugar de los datos del Estudio Hidrogeológico. En el Estudio Hidrogeológico, los sensores de estos piezómetros aparecen todos como “secos”. Esta aparente contradicción habrá de aclararse y valorarse en fases posteriores del propio Estudio Hidrogeológico.

En las siguientes figuras se resumen los recursos hídricos inventariados en el ámbito. Asimismo, se incluye una tabla resumen con las características hidrogeológicas.

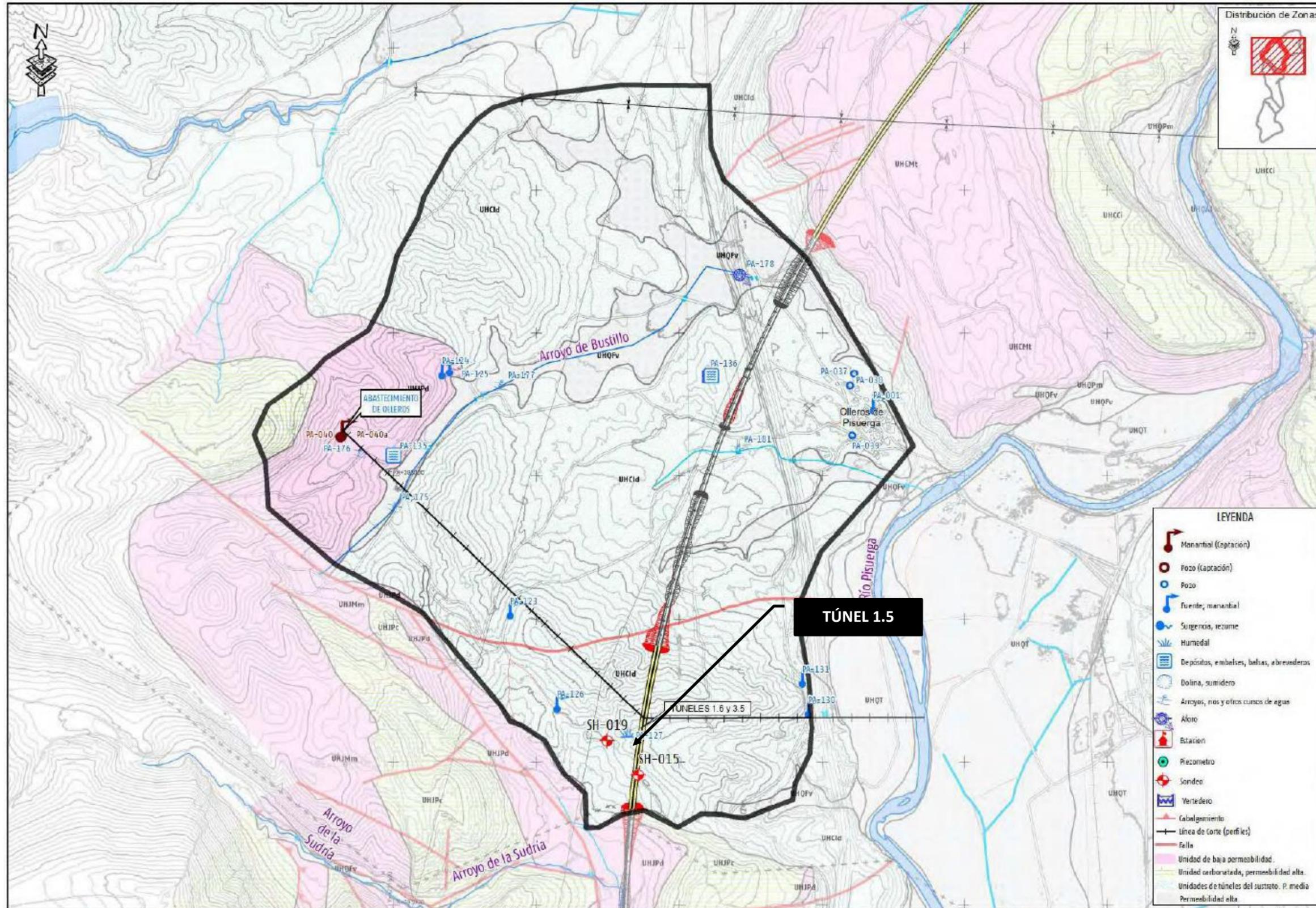


Figura 67. Mapa Hidrogeológico del Centroseptentrional (Fuente: Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los Túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo. Línea de Alta Velocidad Palencia – Santander. AECOM, 2019).

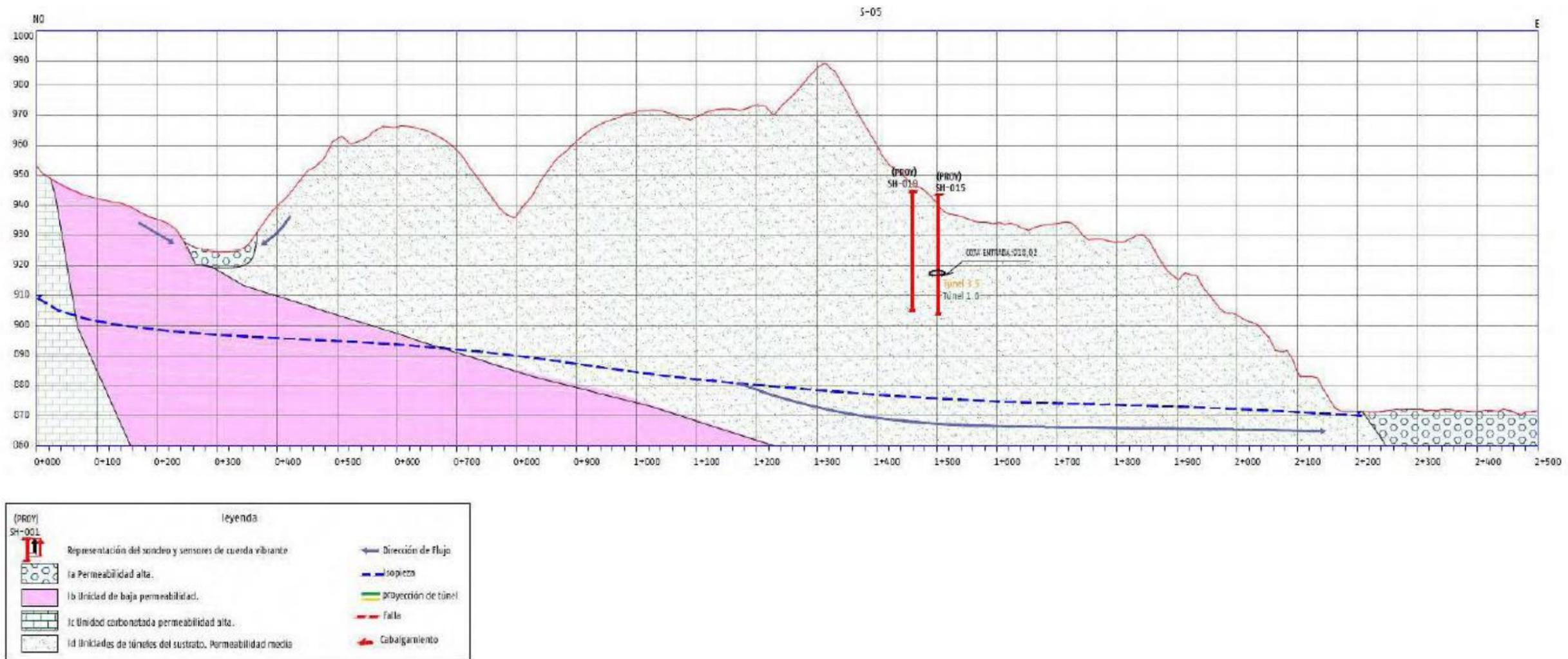


Figura 68. Perfil Hidrogeológico del Dominio Centroseptentrional (Fuente: Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los Túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo. Línea de Alta Velocidad Palencia – Santander. AECOM, 2019).

DENOM. E. I. TÚNEL	P.K INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)		COTA RASANTE Entrada - Salida (m.s.n.m.)	COTA MÁX. PIEZ. aprox. (m.s.n.m.)	COLUMNA AGUA SOBRE RAS. (m)	LITOLÓGÍA	P.K INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	PERMEABILIDAD CUALITATIVA (+)	TIPO ACUIFAERO	EN ZONA SATURADA	PUNTOS DE AGUA ASOCIADOS A FM. TÚNEL (COTA m.s.n.m.)	CAPTACIONES ABAST. ASOCIADAS A FM. TÚNEL	POSIBLE AFECCIÓN A CAPTACIONES	ZONAS PROTEGIDAS PRÓXIMAS	
1.5	FALSO TÚNEL	107+500	107+550	50	914.4 - 915.4	950.0 (STO-6+670) medida reciente en campo	36.4 m sobre rasante	C5	107+500	107+550	50.0	D - M	MEDIA	Sí	920,86 m.s.n.m. (PA-136), 886 86 m.s.n.m. (PA-001), 934 50 m.s.n.m. (PA-127), 954,08 m.s.n.m. (PA-126), 892 31 m.s.n.m. (PA-131), 89197 m.s.n.m. (PA-130), 927,43 m.s.n.m. (PA-125), 965 40 m.s.n.m. (PA-123), 944,65 m.s.n.m. (PA-040a), 927,16 m.s.n.m. (PA-124), 890,45 m.s.n.m. (PA-038), 945,73 m.s.n.m. (PA-040), 889,72 m.s.n.m. (PA-039), 889,49 m.s.n.m. (PA-037)	Abast. OLLEROS DEL PISUERGA. Pozo en barrena (PA-040) y depósito (PA-136)	Ninguna prevista	No	
								C5	107+550	107+725	175.0	D - M	MEDIA						ACUITARDO
								FALLA (*)	107+725	107+735	10.0	D - M	MEDIA						ACUITARDO
								J5	107+735	107+777	42.0	D-B	BAJA						---
	MINA	107+550	108+025	475				C5	107+777	108+030	253.0	D - M	MEDIA	ACUITARDO					
	FALSO TÚNEL	108+025	108+070	45				C5	108+030	108+070	40.0	D - M	MEDIA	ACUITARDO					

(+) Según clasificación del "Mapa de Permeabilidades a escala 1:200.000" (IGME, 2015)

(\*) Se asume una potencia de falla de 4-5 m.

(\*\*) Dada el escaso buzamiento de la falla, se asume una potencia de falla de 10-20 m.

Dentro del ámbito se localiza la captación de abastecimiento a la población de Olleros de Pisuerga, correspondiente al punto PA-040 del inventario de puntos de agua. Éste presenta un caudal de 2 L/s y se sitúa en el borde NW del ámbito. El agua recogida en dicho punto es transportada hasta el depósito localizado en el punto PA-136 y de aquí a la localidad de Olleros de Pisuerga, al otro lado de la Autovía A-67.

El manantial donde capta el agua Olleros, PA-040, se encuentra localizado en el extremo occidental del ámbito y está relacionado con los materiales carbonatados del Purbeck jurásico.

Según el Estudio Hidrogeológico (AECOM, 20189), ninguno de los dos sondeos que integran la red de control ha registrado nivel saturado de agua en los meses que han estado instalados, por lo que la traza del túnel 3.5 se encontrará por encima del nivel piezométrico, en zona no saturada. Por tanto, no hay interacciones significativas con la hidrogeología ni, por ende, con la captación de Olleros de Pisuerga. En cambio, si nos atenemos a la medida en el STO 6+670, en túnel se halla en zona saturada, si bien las formaciones atravesadas presentan permeabilidad media, comportándose como acuitardos.

No es esperable un efecto barrera sobre ninguna población o infraestructura.

### 3.5.6. Túnel 1.6. Alternativas Centro y Oeste.

Las consideraciones geológicas e hidrogeológicas de este túnel han sido extraídas (y parcialmente reproducidas) de los documentos disponibles procedentes del EH (AECOM, 2019).

Este túnel se emplaza en el Tramo Nogales de Pisuerga – Mataporquera y es común para las alternativas de trazado Oeste y Centro. La mayor parte del mismo discurre por un acuitardo formado por los materiales de la unidad C7. Dentro del EH, esta estructura se identifica como Túnel 3.6 y se localiza en el denominado “Dominio Septentrional”. En la siguiente tabla se resumen las características de este túnel:

TÚNEL	PPKK		LONGITUD (m)	COTAS DE RASANTE			MONTERA MÁX. (m)	SECCIÓN (m)
	INICIO	FIN		ENTRADA	SALIDA	PENDIENTE		
1.5	109+610	111+230	1.620	907.1	895.8	9.0%	61	85

El ámbito coincide con el relieve que constituye la mesa de Monte Cildá-Las Tuerces, cuyos límites coinciden, prácticamente, con la red de drenaje: constituida al oeste y sur por el Pisuerga, al este por el arroyo Bustillo y al norte por el río Ritobas.

Desde el punto de vista geológico, las formaciones o unidades geológicas presentes en este ámbito pertenecen a la unidad detrítica del Cretácico C6, constituida por arenas y areniscas con niveles de conglomerados y limos y arcillas, sobre la que se apoya la unidad C9, conformada por

niveles de lignitos, limos y areniscas. Sobre ésta, a su vez, se encuentra la unidad C7, que está constituida por niveles de calcarenitas, margas y calizas. La estructura del conjunto de estas unidades describe un sinclinal suave, con buzamientos de 10-20°hacia el este, que pueden alcanzar hasta los 30- 40º.

La boquilla de entrada (emboquille meridional) del túnel se encuentra sobre los materiales detríticos cretácicos en facies “Utrillas” para, a continuación, atravesar los materiales de la Unidad detrítica C9 de lignitos e instalarse en la Unidad de calcarenitas y margas C7, prácticamente hasta el final de la estructura, donde vuelve a atravesar la Unidad C9 de lignitos, hasta la boquilla de salida (emboquille septentrional).

Las unidades conformadas por margas, calcarenitas, limos, lignitos y niveles de arenisca (Unidades C9 y C7) están constituidas por litologías de baja permeabilidad, a excepción de la parte inicial, donde atraviesan la unidad detrítica del Cretácico Inferior, en facies “Utrillas”, de permeabilidad algo mayor. Localmente, pueden aparecer niveles de permeabilidad superior, dentro de cualquiera de las unidades identificadas, que dan lugar a zonas de flujos y rezumes de agua.

La llanura aluvial del río Pisuerga recoge las aguas subterráneas procedentes de parte del ámbito, constituyendo un acuífero libre de elevada permeabilidad. El aluvial del Pisuerga se puede considerar como el nivel de base de salida del flujo de las aguas subterráneas en esta dirección.

Asimismo, por el norte fluye el río Ritobas, afluente del Pisuerga por su margen derecha. Este río se encuentra regulado por la presa de Lomilla, creada para el control de sus avenidas y usada para riego. Esta situación oscurece la observación de las posibles relaciones entre los caudales del río Ritobas y las aguas subterráneas de la zona. Sí se puede señalar que el río Ritobas fluye sobre materiales de baja permeabilidad de la unidad C7, lo que dificulta los flujos potenciales entre cauce y acuífero, en uno u otro sentido. El río Ritobas recibe las aguas de un arroyo menor, el arroyo Monte Cildá.

La red de control en este acuífero se compone de 2 sondeos dotados de sensores de cuerda vibrante a diferentes niveles. Los resultados obtenidos indican que los piezómetros de cuerda vibrante instalados en el proyecto se comportan de manera adecuada, proporcionando un método eficiente de medición de la presión de poro a diferentes profundidades en cada piezómetro. Además de los sensores de cuerda vibrante, se ha contado con el apoyo de los datos procedentes de dos pozos de abastecimiento agrícola (sin uso), identificados como Pz-125 y Pz-130. Sus respectivas gráficas se recogen en los documentos del Estudio Hidrogeológico (Apéndices 3.9 y 3.10).

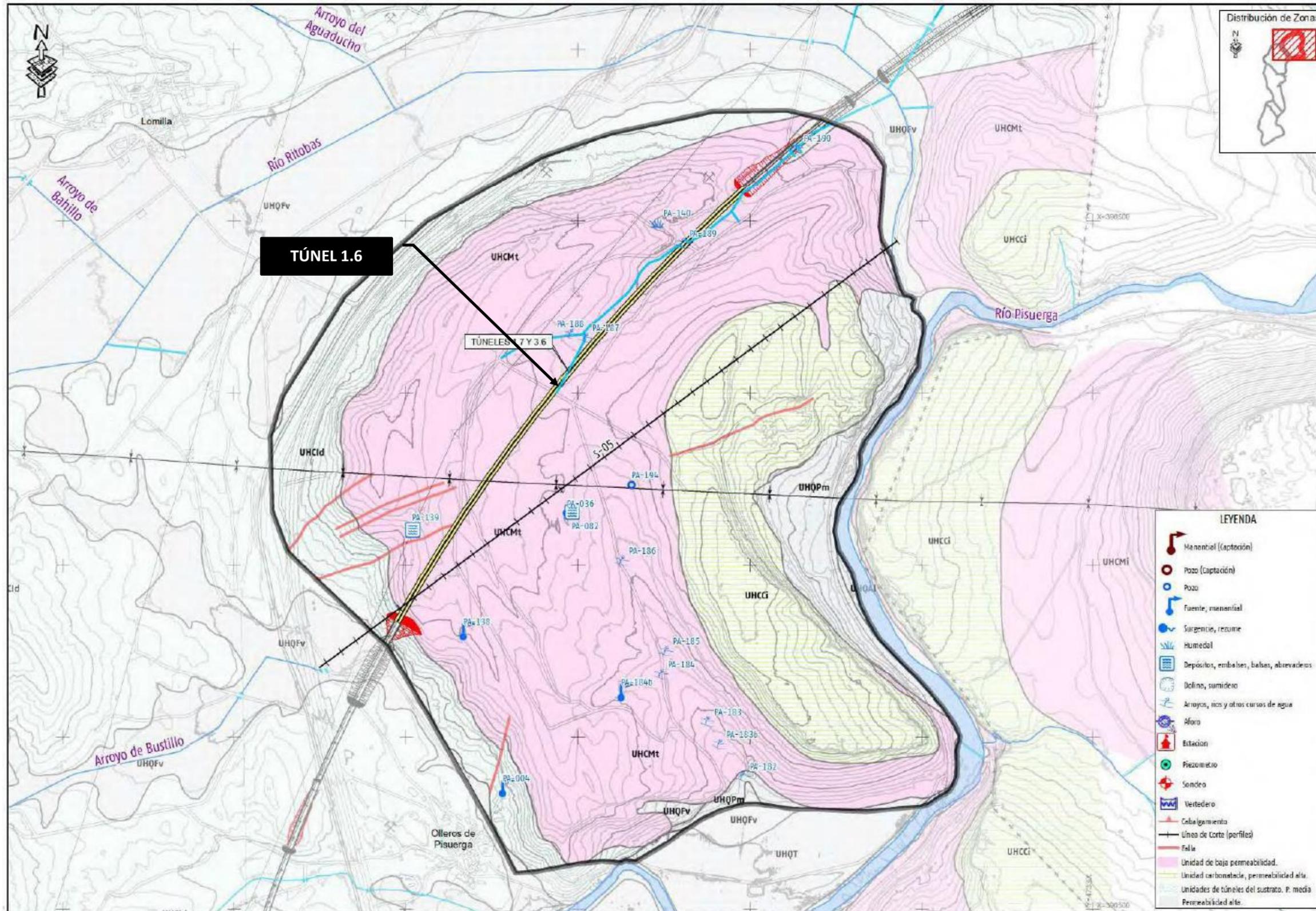


Figura 69. Mapa Hidrogeológico del Dominio Septentrional (Fuente: Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los Túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo. Línea de Alta Velocidad Palencia – Santander. AECOM, 2019).

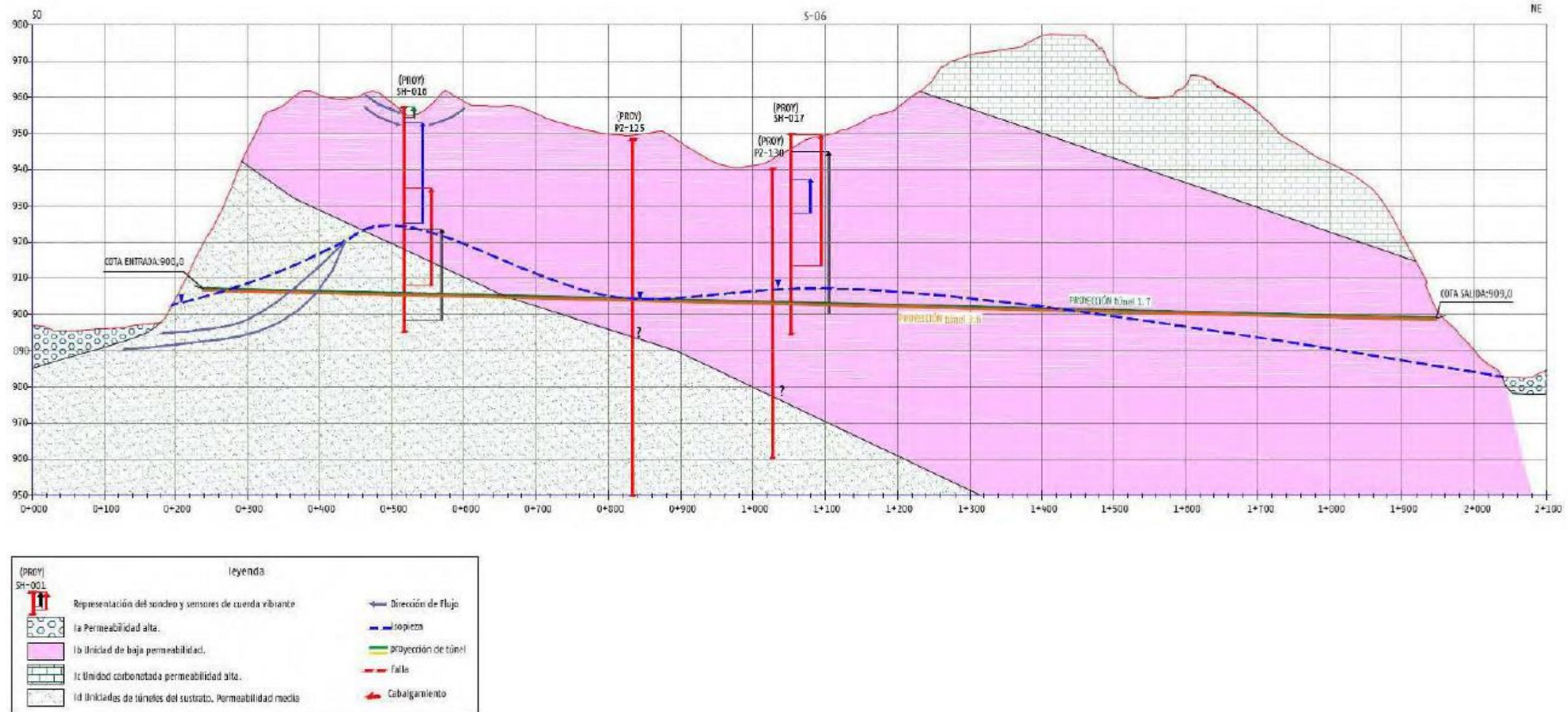


Figura 70. Perfil Hidrogeológico del Dominio Septentrional (Fuente: Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los Túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo. Línea de Alta Velocidad Palencia – Santander. AECOM, 2019).

TÚNEL	P.K. INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)		COTA RASANTE Entrada - Salida (m.s.n.m.)	COTA MÁX. PIEZ. aprox. (m.s.n.m.)	COLUMNA AGUA SOBRE RAS. (m)	LITOLÓGÍA	P.K. INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	PERMEABILIDAD CUALITATIVA (+)	TIPO ACUIFAERO	EN ZONA SATURADA	PUNTOS DE AGUA ASOCIADOS A FM. TÚNEL (COTA m.s.n.m.)	CAPTACIONES ABAST. ASOCIADAS A FM. TÚNEL	POSIBLE AFECCIÓN A CAPTACIONES	ZONAS PROTEGIDAS PRÓXIMAS	
1.6	FALSO TÚNEL	109+610	109+660	50	907.1 - 895.8	954 (SH-016), 952 (SH-017), 951.7 (19/11/09 STO 8+750), 952.3 (26/11/09 STO 8+750)	58.2 m sobre rasante	C6	109+610	109+660	50	D-M	MEDIA	ACUITARDO	Sí	959,32 m.s.n.m. (PA-139), 944,49 m.s.n.m. (PA-082), 888,82 m.s.n.m. (PA-004), 924,39 m.s.n.m. (PA-140), 925,64 m.s.n.m. (PA-184b), 946,23 m.s.n.m. (PA-138), 939,90 m.s.n.m. (PA-194), 949,00 m.s.n.m. (PA-036)	---	Ninguna prevista	No
	MINA	109+660	111+180	1520				C7	110+215	111+180	965.0	C-B	BAJA	---					
	FALSO TÚNEL	111+180	111+230	50				C7	111+180	111+230	50	C-B	BAJA	---					

(+) Según clasificación del "Mapa de Permeabilidades a escala 1:200.000" (IGME, 2015)

(\*) Se asume una potencia de falla de 4-5 m.

(\*\*) Dada el escaso buzamiento de la falla, se asume una potencia de falla de 10-20 m.

Existe una fuerte discrepancia entre los niveles reflejados por los sensores de cuerda vibrante y los pozos PI-125 y Pz-130, instalados con registradores de nivel; cosa que se hace evidente en los registros del SH-017 y el PI-130, situados próximos entre sí, pero cuyos niveles piezométricos difieren más de 30 m. Este hecho se podría deber a que estos medios de baja permeabilidad responden lentamente a los cambios de presión de poro, lo que se verificará en futuras mediciones de seguimiento dentro del EH. Actualmente se desconoce en qué unidades hidrogeológicas están instalados los dos pozos mencionados, no pudiendo descartar que lleguen captar los niveles de las unidades detríticas del Cretácico inferior (C6), de permeabilidad algo mayor a la de las unidades suprayacentes.

En las siguientes anteriores se resumen los recursos hídricos inventariados en el ámbito. Asimismo, se incluye una tabla resumen con las características hidrogeológicas. En el ámbito no se ha identificado ninguna población, aunque linda con Olleros de Pisuerga por el extremo SW, ni ningún otro aprovechamiento de aguas subterráneas. Los puntos de agua identificados se asocian a arroyos, en su mayor parte, así como una importante presencia de fuentes, humedales, manantiales, balsas/embalses y pozos.

No hay interacciones significativas entre el túnel propuesto y el medio hidrogeológico, ya que discurre en su mayor parte por una unidad calificada de acuitardo. No se han identificado manantiales, captaciones o núcleos de población cercanos, que pudieran ser sensibles a la obra proyectada. Tampoco se produce efecto barrera sobre ninguna población o infraestructura. El túnel presenta una cota cercana a los 900-910 m, por lo tanto, pueden tener una carga de agua de hasta 50 m que, sin embargo, no debería ser un problema para el proyecto dado que (como ya se ha mencionado) se trata de un medio de baja permeabilidad y no se prevén interacciones.

### 3.5.7. Túnel 1.7. Alternativa Oeste.

Las consideraciones geológicas e hidrogeológicas de este túnel han sido extraídas (y parcialmente reproducidas) del “Estudio Informativo de la Línea de Alta Velocidad Aguilar – Reinos”. (Ineco, 2018).

El túnel 1.7 se emplaza en el Tramo Nogales de Pisuerga – Mataporquera y únicamente está definido en la alternativa de trazado Oeste. Este túnel, de 565 m de longitud, está situado entre los PK 117+019 y PK 117+584 y atraviesa las unidades cretácicas C2 y C5. Dicho túnel salva un relieve aislado en cuya falda se asienta la población de Porquera de los Infantes. La rasante de dicho túnel presenta cotas entre 909,6 m.s.n.m. y 906,6 m.s.n.m. En la siguiente tabla se resumen las características de este túnel:

TÚNEL	PPKK		LONGITUD (m)	COTAS DE RASANTE			MONTERA MÁX. (m)	SECCIÓN (m)
	INICIO	FIN		ENTRADA	SALIDA	PENDIENTE		
1.7	117+019	117+584	565	909.6	906.6	---	25	---

El primer tramo del túnel, desde el emboquille de entrada hasta el PK 117+459 discurre a lo largo de los conglomerados, areniscas, lutitas y arcillas (facies Purbeck superior) de la unidad C2. El segundo tramo del túnel, desde el PK 117+459 hasta el final del mismo, atraviesa las areniscas pardo-rojizas y los conglomerados de la unidad C5. Presenta una permeabilidad media y también se estima que el nivel freático se encuentre por encima de la cota de túnel.

En este túnel, se ha comprobado que no hay captaciones subterráneas. El abastecimiento a Porquera de los Infantes procede de un sondeo cercano a Pomar de Valdivia. Tampoco existen captaciones para regadío. Sólo se han identificado dos manantiales (uno de ellos destinado a un abrevadero para ganado) ligados al nivel de *raña* que corona el cerro, probablemente estacionales y colgados. El túnel discurre por debajo de él, probablemente en zona no saturada. En cualquier caso, en el cerro no hay ninguna captación que pueda explotarlo, por lo que no habría afecciones.

La unidad C2 presenta una permeabilidad en general baja que, localmente, puede llegar a ser media en niveles más gruesos (areniscas y conglomerados), si bien de escaso desarrollo. Por su parte, la unidad C5 presenta una permeabilidad general media, ligada a las fracciones granulométricas más gruesas. Constituiría, a priori, un acuífero pobre o acuitardo a partir de porosidad fundamentalmente primaria que, probablemente, funcionaría en régimen libre.

Cabe llamar la atención sobre la existencia de un aluvial antiguo (“raña”) que corona el cerro, aunque esta litología, a priori, no se verá afectada por el túnel. Éste constituiría un acuífero colgado sobre el posible acuífero cretácico sin conexión hidráulica necesariamente. Para esta hipótesis se ha tomado como referencia la existencia de varias surgencias de agua cercanas cuyos orígenes se asimilan a esta unidad. Sin embargo, es muy probable la recarga del acuífero cretácico a partir del agua infiltrada procedente del aluvial. Los recursos de este último resultarían finitos, dada la escasa extensión del afloramiento, por lo que, probablemente, sólo gozaría de saturación en periodos de aguas altas.

El nivel de base local viene dado por las cotas del Río Camesa, que en la zona del relieve oscilan entre 889 m.s.n.m. y 893 m.s.n.m., que resultan estar muy por debajo de la rasante de la estructura. Cabe mencionar también las cotas de las depresiones que flanquean el relieve (sin denominación): en el emboquille de entrada las cotas topográficas se hallan en torno a 905 m.s.n.m., si bien, flanqueando los relieves previos al salvado por el túnel, se encuentra un arroyo cuyas cotas en la zona oscilan entre 891,5 m.s.n.m. y 893 m.s.n.m. (confluencia del Ayo. de Praita y Ayo de la Torca, en el Ayo del Campo).

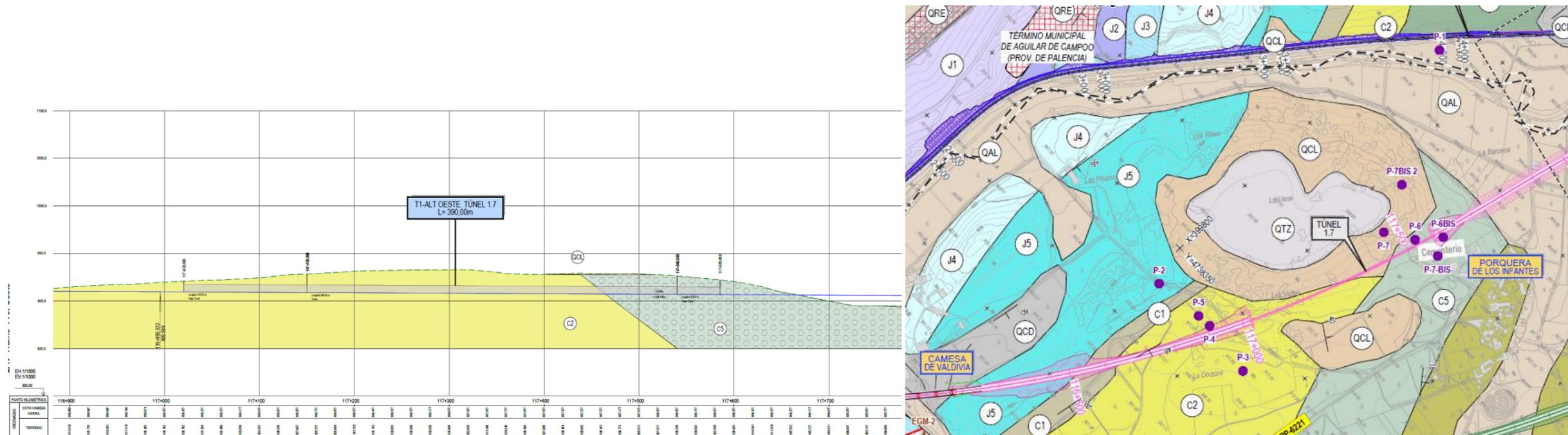


Figura 71. Derecha, mapa geológico del ámbito del túnel (elaboración propia). Izquierda, perfil geológico del ámbito del túnel (elaboración propia).

TÚNEL	P.K INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	COTA RASANTE Entrada - Salida (m.s.n.m.)	COTA MÁX. PIEZ. aprox. (m.s.n.m.)	COLUMNA AGUA SOBRE RAS. (m)	LITOLOGÍA	P.K INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	PERMEABILIDAD CUALITATIVA (+)	TIPO ACUIFAERO	EN ZONA SATURADA	PUNTOS DE AGUA ASOCIADOS A FM. TÚNEL (COTA m.s.n.m.)	CAPTACIONES ABAST. ASOCIADAS A FM. TÚNEL	POSIBLE AFECCIÓN A CAPTACIONES	ZONAS PROTEGIDAS PRÓXIMAS		
1.7	FALSO TÚNEL	117+019	117+149	130	909.6 - 906.6	Entre 891 m.s.n.m. y 908 m.s.n.m. (Sondeos ITACyL)	En rasante (a. altas) o por debajo	C2	117+019	117+149	130.0	D - B	BAJA	Prob. No	Surgencia estacional (P-7): 939,2 m.s.n.m. Pilón cercano al depósito antiguo (P-7bis): 924,0 m.s.n.m.	Abast. PORQUERA DE LOS INFANTES (P-6)	Ninguna prevista	No	
	MINA	117+149	117+541	392				C2	117+149	117+459	310.0	D - B	BAJA						---
	FALSO TÚNEL	117+541	117+584	43				C5	117+459	117+541	82.0	D - M	MEDIA						ACUITARDO
							C5	117+541	117+584	43.0	D - M	MEDIA	ACUITARDO						

(+) Según clasificación del "Mapa de Permeabilidades a escala 1:200.000" (IGME, 2015)

(\*) Se asume una potencia de falla de 4-5 m.

(\*\*) Dada el escaso buzamiento de la falla, se asume una potencia de falla de 10-20 m.

A través de varias visitas sobre el terreno y de diversas entrevistas con vecinos y personal del Ayuntamiento de Porquera de los Infantes (efectuadas para el E. I. de la Línea de Alta Velocidad Aguilar – Reinoso. Ineco, 2018), así como de la Comunidad de Regantes de la zona, se ha comprobado que no existen captaciones de aguas subterráneas dentro del relieve en cuestión, ni para abastecimiento urbanos, ni para regadío. Tan sólo cabe destacar la existencia de dos depósitos y de algunas surgencias estacionales. Como ya se refería en apartados anteriores, el abastecimiento a Porquera de los Infantes procede de un sondeo cercano a Pomar de Valdivia, cuyas aguas son conducidas al depósito nuevo (P-6 del citado E. I.). El depósito antiguo (P-6bis), por su parte, aún recoge aguas procedentes de Aguilar de Campoo, como apoyo al abastecimiento. Únicamente se han identificado dos manantiales, P-7 y P-7bis2, que parecen ligados al nivel de terraza que corona el cerro, probablemente estacionales. Parece que alguno de

ellos (o el sobrante de alguno de los depósitos se encuentra destinado a un abrevadero para ganado (P-7bis), por lo que la cota de este último no resulta relevante para el análisis.

No se dispone de prospecciones o captaciones que penetren en el relieve, por lo que no se tiene seguridad sobre si la estructura proyectada discurrirá en Zona Saturada o No Saturada. Sin embargo, a juzgar por la cota piezométrica estática de los sondeos para regadío de la ITACyL, que se situaría a la altura de la base del cerro (por debajo de la rasante), resulta probable que lo haga en Zona No Saturada. A efectos de análisis, la situación más pésima corresponde a suponer la saturación total del conjunto cretácico en el cerro completo (y en conexión hidráulica con el acuífero de la terraza aluvial). Sin embargo, de ser así, las reducidas dimensiones y el aislamiento del relieve resultarían una barrera natural a una posible afección hidrogeológica del acuífero cretácico (debida al drenaje del túnel). Asimismo, dada la ausencia de captaciones de tipo alguno,

en ningún caso se verían afectadas captaciones o aprovechamientos de importancia. No obstante, esta no parece ser la situación más probable.

En cuanto a la afección a la obra por parte del medio acuífero, a priori y en el caso más desfavorable, cabría esperar sólo caudales de infiltración de cierto interés en el tramo de la formación C5, si bien no presentarían magnitudes importantes, dada la permeabilidad media de la formación.

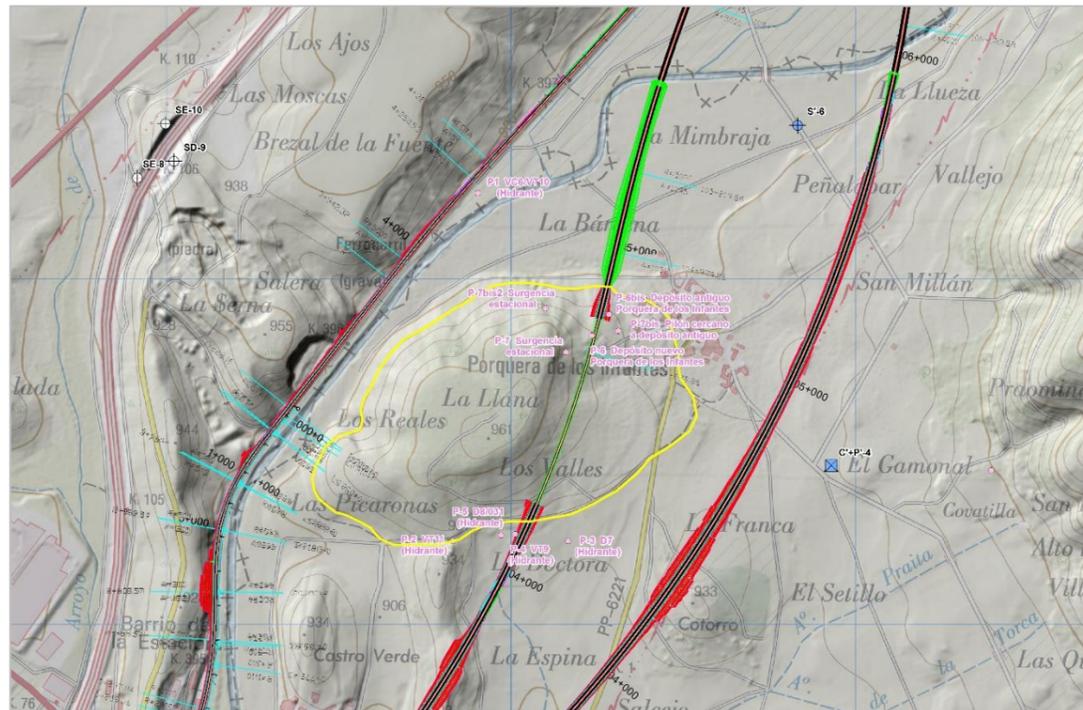


Figura 72. Aproximación al área de influencia del posible drenaje ocasionado por el Túnel 1.1 de la Alternativa Oeste (Tramo 1).

### 3.5.8. Túnel 1.8. Alternativa Oeste.

Las consideraciones geológicas e hidrogeológicas de este túnel han sido extraídas (y parcialmente reproducidas) del “Estudio Informativo de la Línea de Alta Velocidad Aguilar – Reinosa”. (Ineco, 2018).

Este túnel se emplaza en el Tramo Nogales de Pisuerga – Mataporquera y únicamente está definido en la alternativa de trazado Oeste. Se encuentra proyectado entre los p.k. 119+609 y p.k. 120+439 y atraviesa las unidades cretácicas C5, C4, C3 y C2. En la siguiente tabla se resumen las características de este túnel:

TÚNEL	PPKK		LONGITUD (m)	COTAS DE RASANTE			MONTERA MÁX. (m)	SECCIÓN (m)
	INICIO	FIN		ENTRADA	SALIDA	PENDIENTE		
1.8	119+609	120+439	830	916.9	923.6	---	27	---

Desde el emboquille de entrada hasta aproximadamente el PK120+029, el túnel atraviesa las areniscas pardo-rojizas y los conglomerados de la unidad C5, las cuales presentan una permeabilidad media y también se estima que el nivel freático se encuentre por encima de la cota de túnel. A continuación, y hasta el PK 120+254 aproximadamente, el túnel atraviesa las lutitas rojas y verdes y las areniscas de la unidad C4. Como ya se comentaba anteriormente, esta unidad presentaría un comportamiento de acuífero pobre o acuitardo con porosidad primaria y, probablemente, comportamiento libre (aunque podría estar confinado en algunas zonas por la terraza aluvial suprayacente).

A partir del PK 120+254 el túnel atraviesa las lutitas y limos rojos y verdes con intercalaciones de lignitos de la unidad C3, la cual está constituida por arcillas rojas y verdosas a techo con intercalaciones de areniscas y niveles carbonosos pasando a términos eminentemente arenosos y conglomeráticos en el tramo inferior, hasta el PK 120+349 aproximadamente, de permeabilidad mayoritariamente baja .

Desde el final de la unidad C3 y hasta el final del túnel en el PK 120+439 se encuentra la unidad cretácica en facies Purbeck superior C2, constituida por intercalaciones de arcillas, lutitas, areniscas, conglomerados y margas fosilíferas. La permeabilidad de esta unidad se considera media, ligada fundamentalmente a los niveles de granulometría más gruesa (areniscas y conglomerados). En cierta medida, presentaría un comportamiento multicapa, sin descartar el confinamiento de algunos niveles. El túnel discurre nuevamente por debajo de una terraza, en esta ocasión mucho más extensa que en caso anterior. Las cotas de los manantiales que hay ligados a ella (P-8: 942,2 m.s.n.m., P-8bis: 934,6 m.s.n.m.), así como otros que se sospecha ligados a los afloramientos cretácicos subyacentes (P-9: 917,0 m.s.n.m., P-10: 928,7 m.s.n.m.), hacen pensar que el cerro esté saturado en agua hasta dicha terraza, por lo que el túnel, probablemente, discurra en zona saturada. En esta ocasión (y a diferencia del Túnel 1.7), el acuífero cretácico sí parece saturado en todo su espesor y en conexión hidráulica con el de la terraza. No obstante, no se prevé más de 5 a 15 m de columna de agua y existe una alternancia de formaciones de permeabilidad baja y media. Sólo estas últimas son susceptibles de generar caudales de infiltración y posibles afecciones de alguna relevancia. Salvo manantiales permanentes y algún abrevadero, no se han identificado captaciones de importancia que puedan ser afectadas.

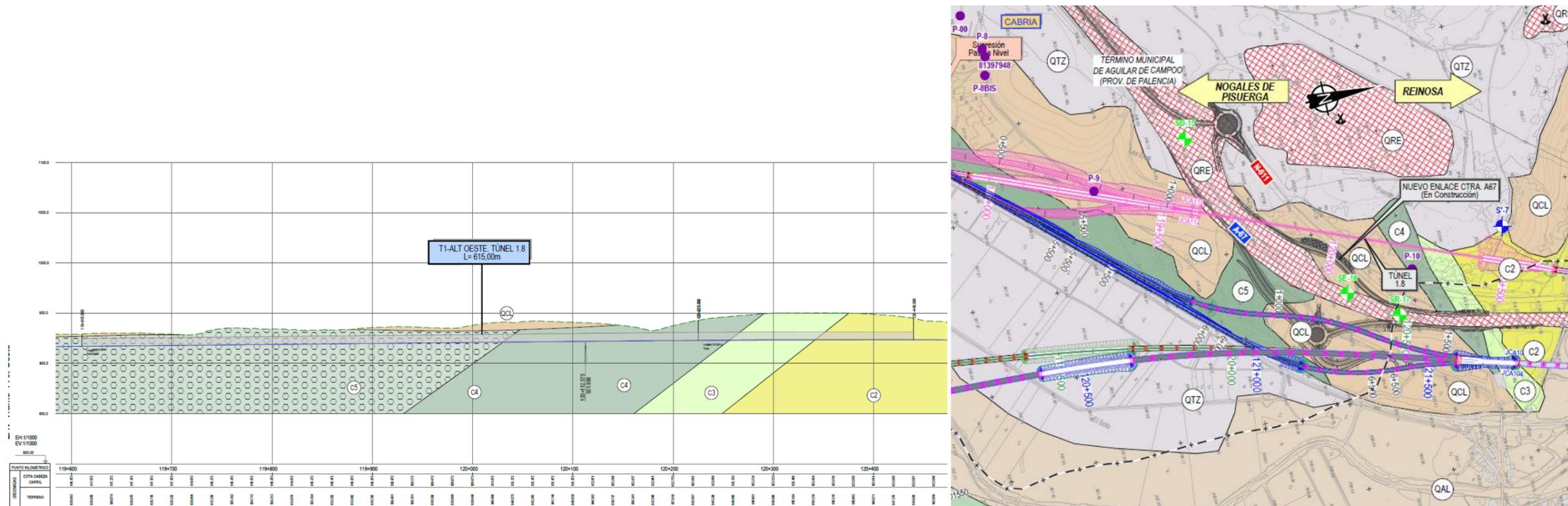


Figura 73. Derecha, mapa geológico del ámbito del túnel (elaboración propia). Izquierda, perfil geológico del ámbito del túnel (elaboración propia).

TÚNEL	P.K. INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	COTA RASANTE Entrada - Salida (m.s.n.m.)	COTA MÁX. PIEZ. aprox. (m.s.n.m.)	COLUMNA AGUA SOBRE RAS. (m)	LITOLÓGIA	P.K. INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	PERMEABILIDAD CUALITATIVA (+)	TIPO ACUIFAERO	EN ZONA SATURADA	PUNTOS DE AGUA ASOCIADOS A FM. TÚNEL (COTA m.s.n.m.)	CAPTACIONES ABAST. ASOCIADAS A FM. TÚNEL	POSIBLE AFECCIÓN A CAPTACIONES	ZONAS PROTEGIDAS PRÓXIMAS	
1.8	FALSO TÚNEL	119+609	120+227	618	928,7 m.s.n.m. (Surgencia junto a la carretera. P-10)	12 m sobre rasante	C5	119+609	120+029	420.0	D - M	MEDIA	ACUITARDO	Sí	Fuente del Pilón (P-8): 942,2 m.s.n.m., Manantial bajo terracea (P-8bis): 934,6 m.s.n.m., Manantial bajo terracea (P-9): 917,0 m.s.n.m., Surgencia junto a la carretera (P-10): 928,7 m.s.n.m.	NINGUNA	Ninguna prevista	No
							C4	120+029	120+227	198.0	D - B	BAJA						
	C4	120+227	120+254	27.0			D - B	BAJA										
	C3	120+254	120+349	95.0			D - M	MEDIA	ACUITARDO									
MINA	120+227	120+439	212	830	916.9 - 923.6		C2	120+349	120+439	90.0	D - B	BAJA	---					

(+) Según clasificación del "Mapa de Permeabilidades a escala 1:200.000" (IGME, 2015)

(\*) Se asume una potencia de falla de 4-5 m.

(\*\*) Dada el escaso buzamiento de la falla, se asume una potencia de falla de 10-20 m.

El nivel de base local viene dado por las cotas del Río Camesa, que en la zona del relieve oscilan entre 895 m.s.n.m. y 900 m.s.n.m., que resultan estar muy por debajo de la rasante de la estructura. Cabe mencionar el cauce de cabecera Río Rubagón, cuyas cotas en la zona del emboquille de salida oscilan entre los 901,2 y 903,5 m.s.n.m.

Se cuenta con una serie de prospecciones próximas (SE-13, SD-14, SD-15, SE-16 y SR-17, todas procedentes del E.I. del tramo Vilaprovedo – Reinos, y S’-7 del E.I. Alar del Rey - Santander), si bien no se cuenta con lecturas en ninguna de ellas.

Dado que la permeabilidad no es alta y que la saturación en agua probablemente esté restringida a determinados niveles (C5 y C3), cabe la posibilidad de que la banda de afección a los niveles no presente una propagación de relevancia, afectando sólo a los puntos de agua inmediatos a la estructura. Al respecto, no se ha inventariado ninguna captación para abastecimiento urbano o regadío; únicamente surgencias no aprovechadas (probablemente estacionales) o, en todo caso, captadas en abrevaderos para ganado. Hacia el sur-sureste se encuentra inmediatamente el cauce de base del Río Camesa, por lo que una hipotética afección quedaría acotada por dicho cauce. Por su parte, hacia el Norte la supuesta afección quedaría acotada por el cauce del río Rubagón. Únicamente cabría considerar cierta afección hacia el oeste (donde el relieve salvado por el túnel

presenta su prolongación), aunque los cauces de los arroyos Mayor y de la Calzada, podrían igualmente acotarla.

En cuanto a la infiltración hacia el interior del túnel, en caso de confirmarse la intercepción de niveles saturados, son de esperar caudales bajos o, puntualmente, medios (como máximo), fundamentalmente ligados a las formaciones más permeables (C5 y C3) y/o a algunos niveles más gruesos (arenas y conglomerados) de las restantes unidades.

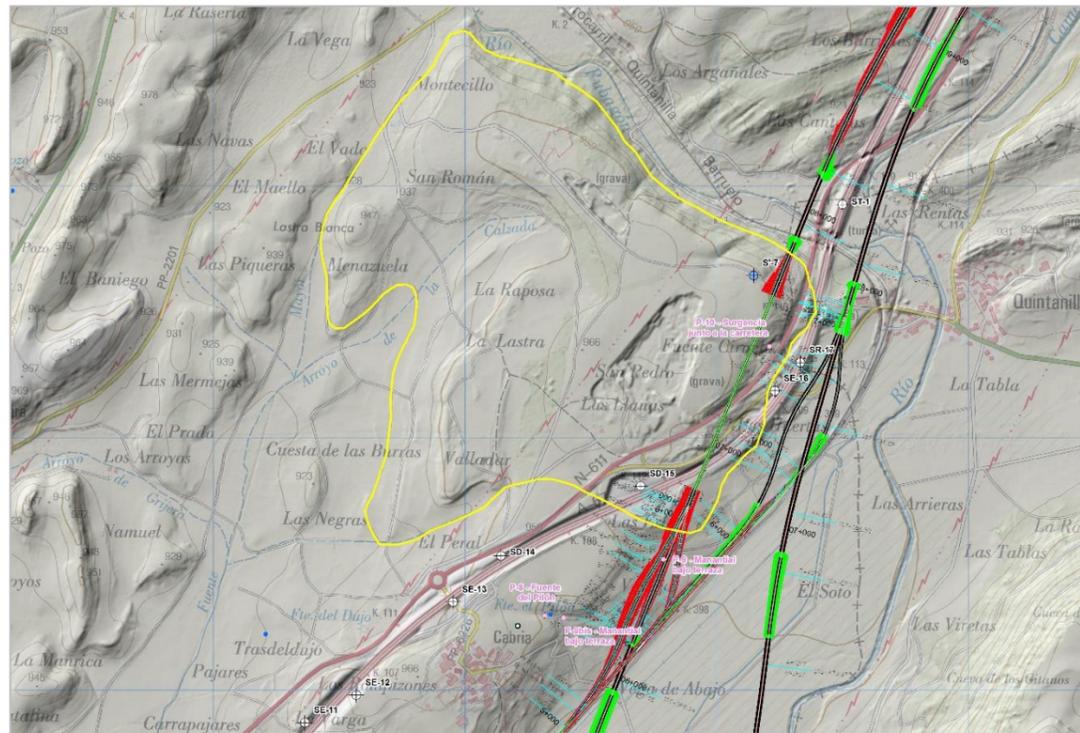


Figura 74. Aproximación al área de influencia del posible drenaje ocasionado por el Túnel 1.2 de la Alternativa Oeste (Tramo 1).

**3.5.9. Túnel 1.9 Alternativa Este.**

Este túnel se emplaza en el Tramo Nogales de Pisuerga – Mataporquera y únicamente está definido en la alternativa de trazado Este. Se trata de un túnel de 435 m de longitud con una montera de 39 m. Su contexto geológico e hidrogeológico resulta similar al del Túnel 1.4, por lo que, a continuación, se recogen gran parte de las consideraciones efectuadas para éste. Éstas, a su vez, han sido extraídas de los documentos disponibles procedentes del EH (AECOM, 2019). En la siguiente tabla se resumen las características de este túnel:

TÚNEL	PPKK		LONGITUD (m)	COTAS DE RASANTE			MONTERA MÁX. (m)	SECCIÓN (m)
	INICIO	FIN		ENTRADA	SALIDA	PENDIENTE		
1.9	105+758	106+193	435	906.91	906.70	---	39	---

Este túnel se perforará íntegramente en unidades litológicas calcáreas y detríticas del Jurásico: Unidad J4, de calizas y margas alternantes en bancos de espesor decimétrico a métrico; y Unidad J5, de areniscas, lutitas y calizas de la facies Purbeck. Discurre muy próximo al Túnel 1.4.

El túnel presenta una cobertera máxima de unos 30 metros, y sus primeros 330 m atraviesan los materiales jurásicos de la formación J4 formada por calizas, margocalizas y lutitas margosas. El tramo final, de unos 60 m, y el emboquille de salida se excavarán sobre los conglomerados y areniscas de la unidad J5, que afloran solo en esta parte final. Se han identificado varias fallas en la cartografía geológica. Una de estas zonas de falla está muy próxima al emboquille de entrada.

La Unidad J4 está compuesta por una alternancia de bancos de calizas y margas de espesor decamétrico a métrico. La presencia de los planos de estratificación y la alternancia de capas con diferentes permeabilidades y comportamiento geomecánico son la característica principal de la geología de este túnel. En su conjunto, la permeabilidad de esta formación es baja debido a las ubicuas capas de marga. Solamente en las zonas de fractura se predice que la permeabilidad es media.

A partir de la primera falla encontrada, en el pk 105+790, las capas se disponen buzando al E, con su dirección casi paralela al eje del túnel por lo que, hacia pk creciente, el frente de avance será con las capas buzando de la hombrera izquierda hacia el hastial derecho. En la primera parte de este tramo predominan las capas de marga sobre las de caliza, hasta el pk 106+000 aproximadamente, y de ahí en adelante ocurre lo contrario. Se atravesaran dos zonas de falla con roca fracturada hacia los pk. 106+045 y 106+90.

A partir de la última de las fallas citadas, el túnel se adentra en la formación J5 (Purbeck Inferior), mucho menos permeable y con características geotécnicas algo pereros. Es una alternancia de capas de lutitas amarillenta, rojizas y negras con areniscas y algunos conglomerados. En superficie, aflora muy mal ya que da profundos suelos de alteración. Habrá que tener en cuenta este hecho al diseñar la boca de salida, que se construirá en esta unidad.

En las zonas de falla los materiales se encuentran fuertemente alterados, lo cual añadido a la karstificación, puede producir aportes de agua al túnel en caso de que la formación esté saturada. Se asume, por tanto, para ellos una permeabilidad baja a media. En este sentido, podría considerarse el conjunto como un acuitardo (comportamiento hidrogeológico pobre) con porosidad por fisuración y kastificación.

Las áreas más elevadas junto a la traza del túnel, en lo alto de las unidades calizas del Jurásico, actúan como zonas de recarga. El agua infiltrada, discurre a través de las oquedades kársticas de

dichas unidades, con una dirección de flujo inferida para el sistema acuífero hacia el S-SE, a favor del gradiente regional, hacia el Río Pisuerga. En época de recargas (aguas altas), esta disposición de capas puede introducir ciertos caudales estacionales al interior del túnel, por lo que habrían de considerarse ciertos caudales (de poca entidad) ocasionalmente.

En el ámbito se localizan los arroyos de la Costana y la Sudría, que presentan caudal casi todo el año, lo que apuntaría a su conexión con el sistema regional de flujo de las aguas subterráneas. La barrera impermeable del Keuper recoge y desvía el flujo regional hacia el sur, a la Costana y hacia

el norte, a la Sudría. Ambos arroyos podrían constituir un nivel de base local del flujo subterráneo, aunque es probable que sólo capten los flujos subterráneos más superficiales.

Se han inventariado varios manantiales y surgencias de aguas subterráneas, en coincidencia con la presencia de zonas topográficamente más deprimidas y por lo general, asociados a contactos entre los materiales triásicos y jurásicos. Éstos supondrían el drenaje de los niveles jurásicos, en las zonas de contacto con el impermeable. Su disposición puede consultarse en las figuras incluidas en el apdo. 3.5.4. (Túnel 1.4).

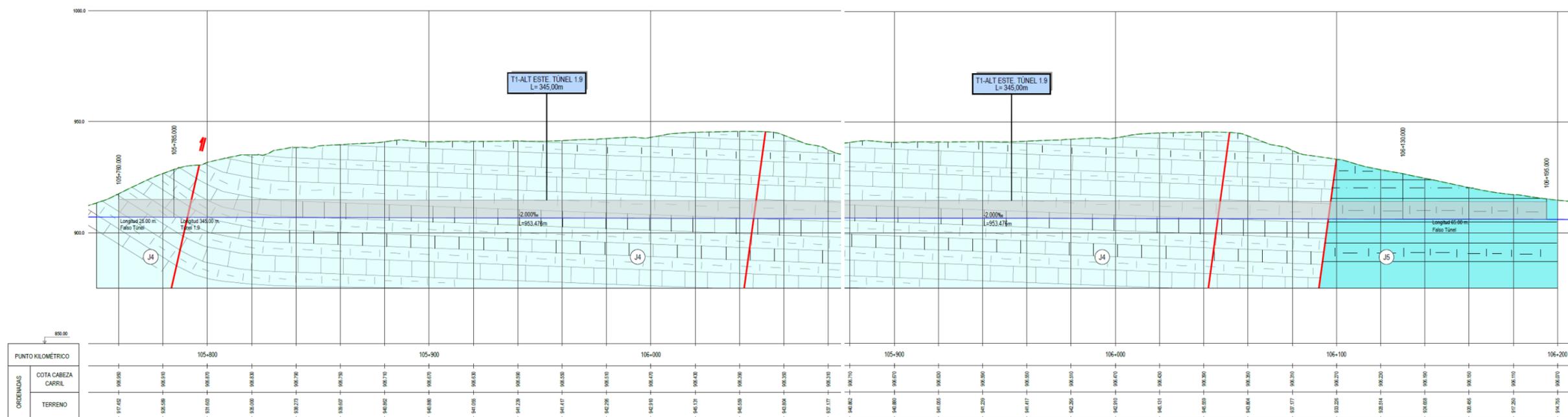
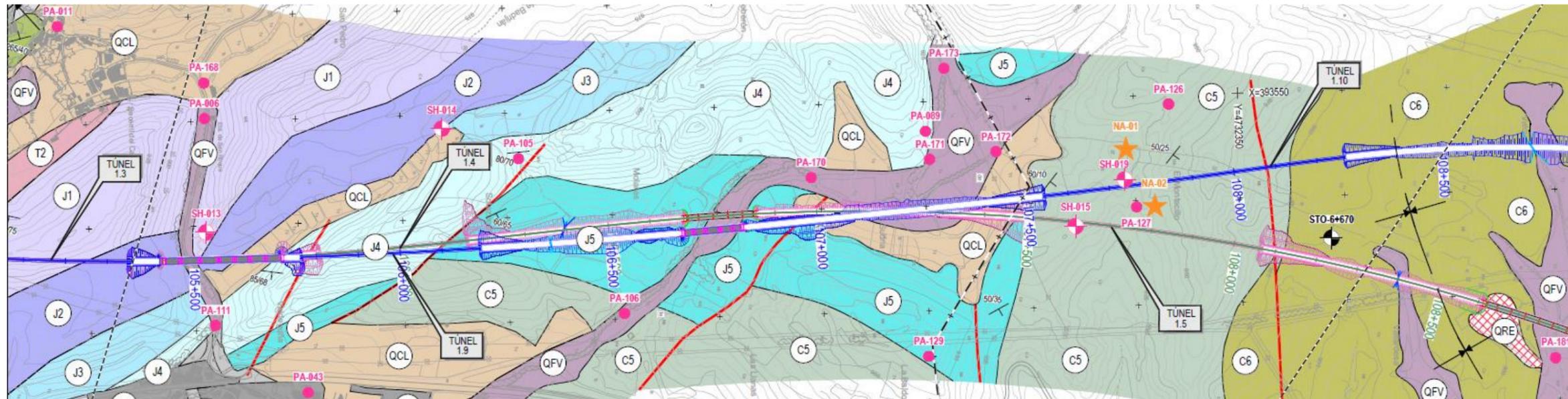


Figura 75. Arriba, mapa geológico del ámbito del túnel (elaboración propia). Abajo, perfil geológico del ámbito del túnel (elaboración propia).

TÚNEL	P.K INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)		COTA RASANTE Entrada - Salida (m.s.n.m.)	COTA MÁX. PIEZ. aprox. (m.s.n.m.)	COLUMNA AGUA SOBRE RAS. (m)	LITOLOGÍA	P.K INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	PERMEABILIDAD CUALITATIVA (+)		TIPO ACUIFAERO	EN ZONA SATURADA	PUNTOS DE AGUA ASOCIADOS A FM. TÚNEL (COTA m.s.n.m.)	CAPTACIONES ABAST. ASOCIADAS A FM. TÚNEL	POSIBLE AFECCIÓN A CAPTACIONES	ZONAS PROTEGIDAS PRÓXIMAS	
1.9	FALSO TÚNEL	105+758	105+784	26.0	906.91 - 906.70	SECO (SH-014)	---	J4	105+758	105+784	26.0	C-B	BAJA	---	No	927 03 m.s.n.m. (PA-005), 971,25 m.s.n.m. (PA-129), 883,98 m.s.n.m. (PA-006), 929,80 m.s.n.m. (PA-134), 929,05 m.s.n.m. (PA-105), 866,17 m.s.n.m. (PA-110), 923 61 m.s.n.m. (PA-091), 988 39 m.s.n.m. (PA-090), 917,85 m.s.n.m. (PA-089), 946 33 m.s.n.m. (PA-005a), 938,27 m.s.n.m. (PA-121), 873,01 m.s.n.m. (PA-077), 957,23 m.s.n.m. (PA-009), 969,90 m.s.n.m. (PA-088), 929,48 m.s.n.m. (PA-007), 927 03 m.s.n.m. (PA-005)	Abast. BECERRIL DEL CARPIO. Bº San Pedro y Bº Sta. María (manantial PA- 009). Bº Puebla de San Vicente (PA-088). Depósitos (PA- 007 y PA-005)	Ninguna prevista	No	
	MINA	105+784	106+127	343.0				435.0	FALLA (*) J4	105+784	105+808	24.0	C-B	BAJA - MEDIA						ACUITARDO
									J4	105+808	106+042	234.0	C-B	BAJA						---
									FALLA (*) J4	106+042	106+050	8.0	C-B	BAJA - MEDIA						ACUITARDO
									J4	106+050	106+092	42.0	C-B	BAJA						---
									FALLA (*) J4	106+092	106+100	8.0	D-B	BAJA - MEDIA						ACUITARDO
									J5	106+100	106+127	27.0	D-B	BAJA						---
	FALSO TÚNEL	106+127	106+193	66.0				J5	106+127	106+193	66.0	D-B	BAJA	---						

(+) Según clasificación del "Mapa de Permeabilidades a escala 1:200.000" (IGME, 2015)

(\*) Se asume una potencia de falla de 4-5 m.

(\*\*) Dada el escaso buzamiento de la falla, se asume una potencia de falla de 10-20 m.

La población de Becerril del Carpio dispone de dos manantiales captados para abastecimiento de agua potable. La captación más antigua (PA-009) abastece a los barrios de San Pedro y Santa Maña, y la más moderna {PA-088) abastece al barrio de Puebla de San Vicente. Las captaciones conducen el agua a sendos depósitos, PA-007, en el primer caso, PA-005, en el segundo.

La red de control en este acuífero, coincidente con la del Túnel 1.4, se compone de 4 sondeos dotados de sensores de cuerda vibrante a diferentes niveles. Además, se realiza un control manual del cauce de los arroyos de la Costana (PA-192 y PA-111) y la Sudría (PA-106). Sus respectivas gráficas se recogen en los documentos del Estudio Hidrogeológico (Apéndices 3.9 y 3.10).

Los niveles freáticos del sondeo SH-13 revelan una cota piezométrica máxima en torno a 866 m.s.n.m. El sondeo SH-14, no registra niveles piezométricos en ninguno de sus sensores. Se concluye por tanto que la zona saturada se encuentra bajo la rasante del túnel. Asimismo, gran parte de su trazado discurre por materiales de baja permeabilidad, por tanto, no hay interacciones significativas con la hidrogeología. Tampoco se produce efecto barrera sobre ninguna población o infraestructura.

Tampoco se han identificado interacciones significativas de los túneles sobre captaciones de agua subterráneas (públicas o privadas) o instalaciones dependientes de ellas. No se han detectado manantiales o pozos para abastecimiento ni otros usos potencialmente afectados por los túneles.

### 3.5.10. Túnel 1.10. Alternativa Este.

Este túnel se emplaza en el Tramo Nogales de Pisuerga – Mataporquera y únicamente está definido en la alternativa de trazado Este. Se trata de un túnel de 735 m de longitud, con una montera máxima de 60 m. Su contexto geológico e hidrogeológico resulta similar al del Túnel 1.5, por lo que, a continuación, se recogen gran parte de las consideraciones efectuadas para éste. Éstas, a su vez, han sido extraídas de los documentos disponibles procedentes del EH (AECOM, 2019). En la siguiente tabla se resumen las características de este túnel:

TÚNEL	PPKK		LONGITUD (m)	COTAS DE RASANTE			MONTERA MÁX. (m)	SECCIÓN (m)
	INICIO	FIN		ENTRADA	SALIDA	PENDIENTE		
1.10	107+537	108+272	735	925.0	924.8	---	60	---

Dentro del EH, esta estructura se identifica como Túnel 3.5 y se localiza en el denominado "Dominio Centro Septentrional". El Túnel 3.5, así como la autovía A67 y la carretera N-611, discurren por el límite oriental del ámbito.

Como se comentaba, este túnel de la alternativa Este es equivalente al Túnel 1.5 de la alternativa Oeste, en el sentido de que atraviesa el mismo macizo rocoso, aunque con menos longitud y a mayor cota. Esto favorece la reducción del impacto hidrogeológico, al estar el nivel piezométrico a menor altura sobre el túnel.

La boca de entrada, en el pk 107+537, se excavará en un macizo rocoso competente de la unidad C5, compuesta por conglomerados y arenisca silíceos, cementados, abrasivos, con porosidad

secundaria por fracturación. Las capas buzcan hacia pk creciente unos 20º-30º. Se atravesará una zona de fractura hacia el pk 108+075, donde es posible que la afluencia de agua sea importante.

Esta litología y disposición estructural se mantienen hasta el pk aproximado 108+130, donde se pasa a la formación C6 (Facies Utrillas), situada encima de la C5. También corresponde a arenas, areniscas, lutitas rojizas y blancas y conglomerados poco cementados, que tienen las características geotécnicas de un suelo. Las arenas pueden ser finas por lo que la afluencia de agua al túnel podría producir sifonamiento.

Los materiales detríticos cretácicos se pueden clasificar como un medio de baja-media permeabilidad. No obstante, existen zonas, relacionadas con la fracturación y/o alteración, donde la permeabilidad aumenta, dando lugar a flujos preferentes. En estos tramos, las areniscas y

conglomerados se encuentran más sueltos, comportándose como un acuífero pobre (en el mejor de los casos) o un acuitardo.

La llanura aluvial del río Pisuerga recoge las aguas subterráneas procedentes de parte del ámbito, constituyendo un acuífero libre de elevada permeabilidad. El aluvial del Pisuerga se puede considerar como el nivel de base de salida del flujo de las aguas subterráneas en esta dirección.

Asimismo, la hidrogeología está condicionada por los arroyos de Bustillo y Udrías, que probablemente constituyan también un nivel de base local del flujo, equivalente al del Pisuerga, aunque sólo capten el flujo subterráneo más superficial de las aguas subterráneas (objeto de investigación en el EH).

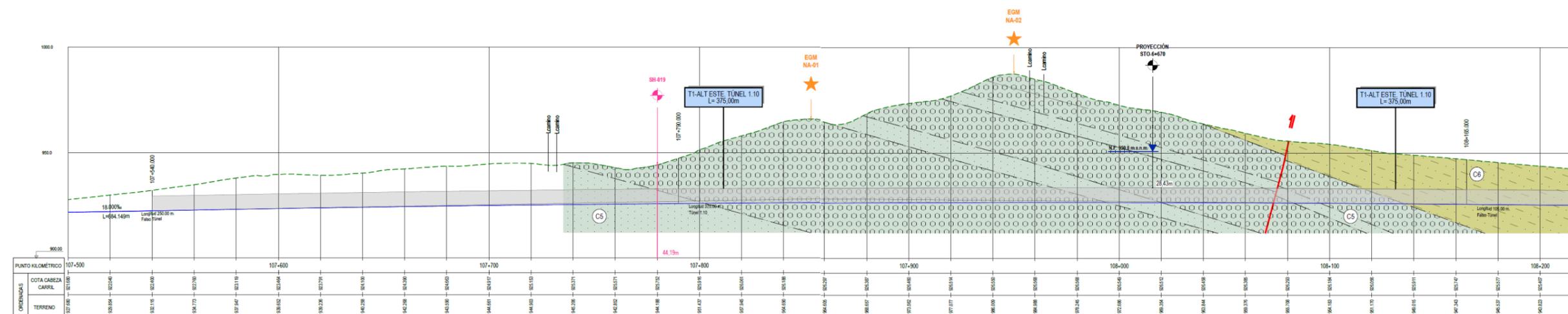
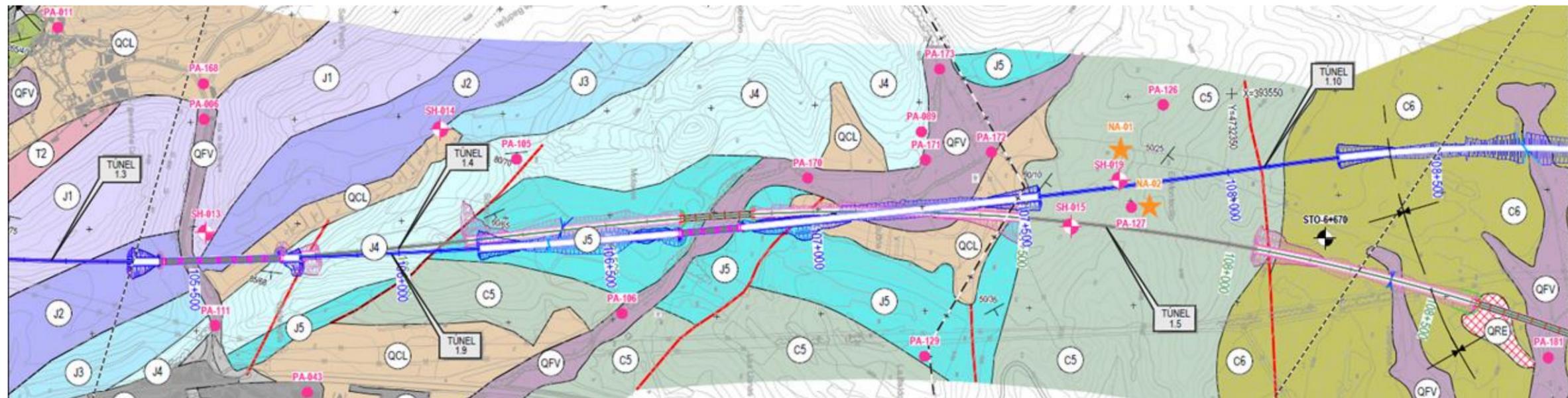


Figura 76. Arriba, mapa geológico del ámbito del túnel (elaboración propia). Abajo, perfil geológico del ámbito del túnel (elaboración propia).

TÚNEL	P.K INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	COTA RASANTE Entrada - Salida (m.s.n.m.)	COTA MÁX. PIEZ. aprox. (m.s.n.m.)	COLUMNA AGUA SOBRE RAS. (m)	LITOLÓGÍA	P.K INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	PERMEABILIDAD CUALITATIVA (+)	TIPO ACUIFAERO	EN ZONA SATURADA	PUNTOS DE AGUA ASOCIADOS A FM. TÚNEL (COTA m.s.n.m.)	CAPTACIONES ABAST. ASOCIADAS A FM. TÚNEL	POSIBLE AFECCIÓN A CAPTACIONES	ZONAS PROTEGIDAS PRÓXIMAS		
1.10	FALSO TÚNEL	107+537	107+788	251.0	925.0 - 924.8	26 m sobre rasante	C5	107+537	107+788	251.0	D-M	MEDIA	ACUITARDO	920,86 m.s.n.m. (PA-136), 886 86 m.s.n.m. (PA-001), 934 50 m.s.n.m. (PA-127), 954,08 m.s.n.m. (PA-126), 892 31 m.s.n.m. (PA-131), 89197 m.s.n.m. (PA-130), 927,43 m.s.n.m. (PA-125), 965 40 m.s.n.m. (PA-123), 944,65 m.s.n.m. (PA-040a), 927,16 m.s.n.m. (PA-124), 890,45 m.s.n.m. (PA-038), 945,73 m.s.n.m. (PA-040), 889,72 m.s.n.m. (PA-039), 889,49 m.s.n.m. (PA-037)	Abast. OLLEROS DEL PISUERGA. Pozo en barrena (PA-040) y depósito (PA- 136)	Ninguna prevista	No		
	MINA	107+788	108+167	379.0					FALLA (*) C5	108+070	108+074	4.0	D-M					MEDIA	ACUITARDO
									C5	108+074	108+136	62.0	D-M					MEDIA	ACUITARDO
									C6	108+136	108+167	31.0	D-M					MEDIA	ACUITARDO
	FALSO TÚNEL	108+167	108+272	105.0					C6	108+167	108+272	105.0	D-M					MEDIA	ACUITARDO

(+) Según clasificación del "Mapa de Permeabilidades a escala 1:200.000" (IGME, 2015)

(\*) Se asume una potencia de falla de 4-5 m.

(\*\*) Dada el escaso buzamiento de la falla, se asume una potencia de falla de 10-20 m.

La red de control en este acuífero, coincidente con la del Túnel 1.5, se compone de 2 sondeos dotados de sensores de cuerda vibrante a diferentes niveles. Además de éstos, también se está realizando un control manual del cauce del arroyo Bustillo (PA-178). Los resultados obtenidos indican que los piezómetros de cuerda vibrante instalados en el proyecto se comportan de manera adecuada, proporcionando un método eficiente de medición de la presión de poro a diferentes profundidades en cada piezómetro. Sus respectivas gráficas se recogen en los documentos del Estudio Hidrogeológico (Apéndices 3.9 y 3.10).

No obstante, en la reciente visita sobre el terreno, efectuada por INECO en octubre de 2019, se ha conseguido localizar y medir el sondeo STO 6+670, perforado para el Estudio Informativo del tramo Villaprovedo-Reinosa en 2009, con cota de boca 962 m.s.n.m. La profundidad del agua subterránea se situaba a 12 m de la superficie, lo que arroja una cota piezométrica de 950 m.s.n.m. Esto situaría el límite de la zona saturada unos 35 m por encima de la rasante del túnel. A efectos de estar del lado de la seguridad, para el presente estudio se va a considerar este dato, en lugar de los datos del Estudio Hidrogeológico. En el Estudio Hidrogeológico, los sensores de estos piezómetros aparecen todos como "secos". Esta aparente contradicción habrá de aclararse y valorarse en fases posteriores del propio Estudio Hidrogeológico.

Dentro del ámbito se localiza la captación de abastecimiento a la población de Olleros de Pisuerga, correspondiente al punto PA-040 del inventario de puntos de agua. Éste presenta un caudal de 2 L/s y se sitúa en el borde NW del ámbito. El agua recogida en dicho punto es transportada hasta el depósito localizado en el punto PA-136 y de aquí a la localidad de Olleros de Pisuerga, al otro lado de la Autovía A-67. El manantial donde capta el agua Olleros, PA-040, se encuentra localizado en el extremo occidental del ámbito y está relacionado con los materiales carbonatados del Purbeck jurásico. La disposición de estos puntos puede consultarse en las figuras incluidas en el apdo. 3.5.5. (Túnel 1.5).

Según el Estudio Hidrogeológico (AECOM, 20189), ninguno de los dos sondeos que integran la red de control ha registrado nivel saturado de agua en los meses que han estado instalados, por lo que la traza del túnel 3.5 se encontraría por encima del nivel piezométrico, en zona no saturada. Por tanto, no hay interacciones significativas con la hidrogeología ni, por ende, con la captación de Olleros de Pisuerga. En cambio, si nos atenemos a la medida en el STO 6+670, en túnel se hallaría en zona saturada, si bien las formaciones atravesadas presentan baja o media permeabilidad, comportándose como acuitardos.

No es esperable un efecto barrera sobre ninguna población o infraestructura.

### 3.5.11. Túnel 1.11. Alternativa Este.

Este túnel atraviesa un pequeño sinclinal en caliza del Jurásico (unidad J1), situado al oeste de la localidad de Valoria de Aguilar. En la siguiente tabla se resumen las características de este túnel:

TÚNEL	PPKK		LONGITUD (m)	COTAS DE RASANTE			MONTERA MÁX. (m)	SECCIÓN (m)
	INICIO	FIN		ENTRADA	SALIDA	PENDIENTE		
1.11	113+387	113+752	365	914.3	907.94	---	39	---

Las litologías atravesadas son competentes: calizas color crema bien estratificadas, calizas negras en bancos de potencia métrica y, en muy poca longitud, dolomías oquerosas (carniolas). Estas últimas, pese a su aspecto oqueroso, constituyen una roca con aceptables propiedades geomecánicas, aunque con alta permeabilidad. Afortunadamente, la rasante alta, que atraviesa un cerro aislado con el nivel de base del cercano río Pisuerga a cota mucho más baja, hace que la

cota piezométrica se sitúe por debajo de la contrabóveda del túnel. Esto ha sido corroborado por el inventario de puntos de agua realizado.

El emboquille del pk 113+387 se excavará en una zona de escaso relieve, en la base de las calizas tableadas color crema que, a su vez, yacen sobre las lutitas rojas y verdes del Keuper (T2). En este sector, las lutitas se reconocen bien por contener cristales milimétricos bipiramidales de cuarzo transparente, que son típicos de las Facies Keuper. No se ha encontrado yeso, posiblemente por haberse disuelto en superficie. El Keuper posiblemente no afecte al túnel aunque si al desmonte anterior al emboquille de entrada.

Una vez atravesadas las calizas tableadas, que buzan escasamente (10°-15°) hacia pk creciente, se pasa a las calizas grises y negras en bancos más gruesos, hacia el pk 113+570. A partir de ahí, las capas se encuentran prácticamente horizontales por estar en la zona de charnela del sinclinal. Hacia el PK 113 +700 es posible que en un tramo corto aparezca en la clave del túnel la dolomía oquerosa (carniola). La parte final del túnel y la boca de salida están en las calizas tableadas, que buzán ya hacia pk decreciente debido a que están en el otro flanco del sinclinal.

Se atraviesan fallas en los pk aproximados 113+465, 113+540 y 113+715.

Las Facies Keuper de la Unidad T2, se consideran, en general, impermeables. Únicamente cabe cierta permeabilidad (baja) a través de fracturas o discontinuidades que puedan favorecer la entrada de agua a terreno y producir cierta disolución de los yesos en el entorno de las mismas. Como en casos anteriores, esta formación constituiría una barrera impermeable al flujo subterráneo

Por el contrario, la Unidad J1, de naturaleza calco-dolomítica, presentaría una permeabilidad alta por fisuración y karstificación. Las zonas fracturadas favorecerían el desarrollo kárstico, aumentando más si cabe la permeabilidad y constituyéndose como vías preferentes de flujo subterráneo.

Sus niveles de base están constituidos por los cauces del Río Pisuerga (hacia el Este), con cotas entre 897 y 892 m.s.n.m. en la zona y la depresión paralela a la Autovía A-67. Con cotas que oscilan entre 909 y 892 m.s.n.m.

No se dispone de prospecciones o captaciones que penetren en el relieve, por lo que no se tiene seguridad sobre si la estructura proyectada discurrirá en Zona Saturada o No Saturada. No obstante, en las visitas a la zona efectuada ex profeso para el presente Estudio Informativo, entre octubre y noviembre de 2019, se ha procedido a realizar un inventario de puntos de agua en el ámbito del túnel. No se localizó ninguna surgencia asociada al relieve salvado por el mismo, ni en cotas superiores a las de los emboquilles ni en cotas similares a las de los niveles de base. Dado que las observaciones se realizaron en época de recarga (aguas altas), resulta muy probable que

el relieve en cuestión no se encuentre saturado en agua subterránea, al menos, hasta la cota de la rasante, por lo que se estima que el túnel se encuentra en Zona No Saturada.

Por tanto, no se consideran probables afecciones al medio acuífero ni a posibles aprovechamientos ligados a él.

Sin embargo, la no afección al medio acuífero por parte de la estructura proyectada no implica que éste primero no afecte al desarrollo de las obras y a la explotación del túnel. Ocasionalmente, a través de la Zona No Saturada se da la existencia de flujos verticales descendentes, que obedecen a caudales de la recarga procedente de las precipitaciones. A través de los conductos kársticos interceptados por la estructura y/o de las discontinuidades atravesadas (fallas, fracturas, etc.), son previsibles caudales de entrada al túnel, que pueden llegar a ser cierta magnitud, ligados a estas zonas concretas (zonas de flujo preferente). Estos caudales estarán íntimamente asociados a las precipitaciones y pueden llegar a presentar una magnitud muy variable en el tiempo, dependiendo de las cuantías de las recargas. Por todo ello, se hace recomendable proceder con cierta impermeabilización al uso de estas zonas, según se detecten durante la perforación.

Los caudales interceptados, dada el área aflorante en superficie del acuífero, resultan ínfimos en comparación con la recarga total del mismo, por lo que, desde este punto de vista, tampoco se estima que se vean comprometidos los recursos subterráneos.

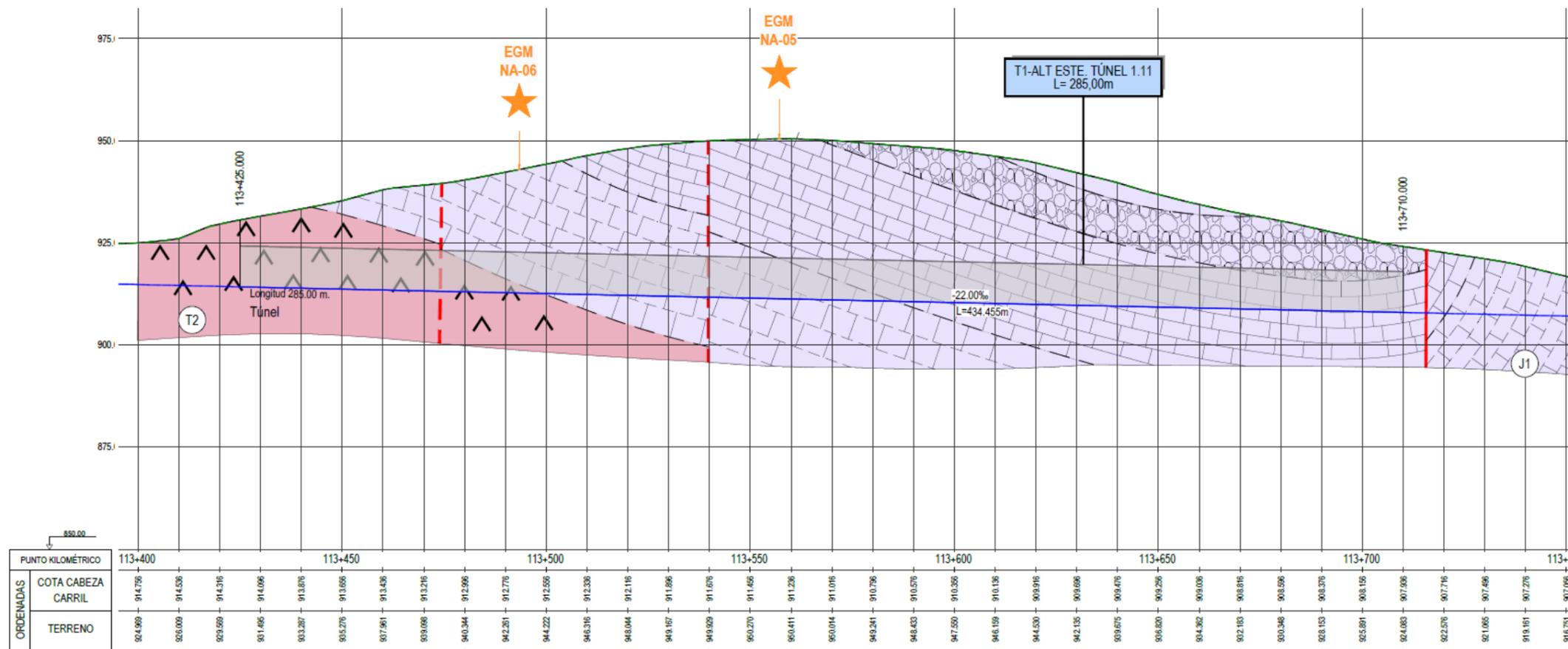
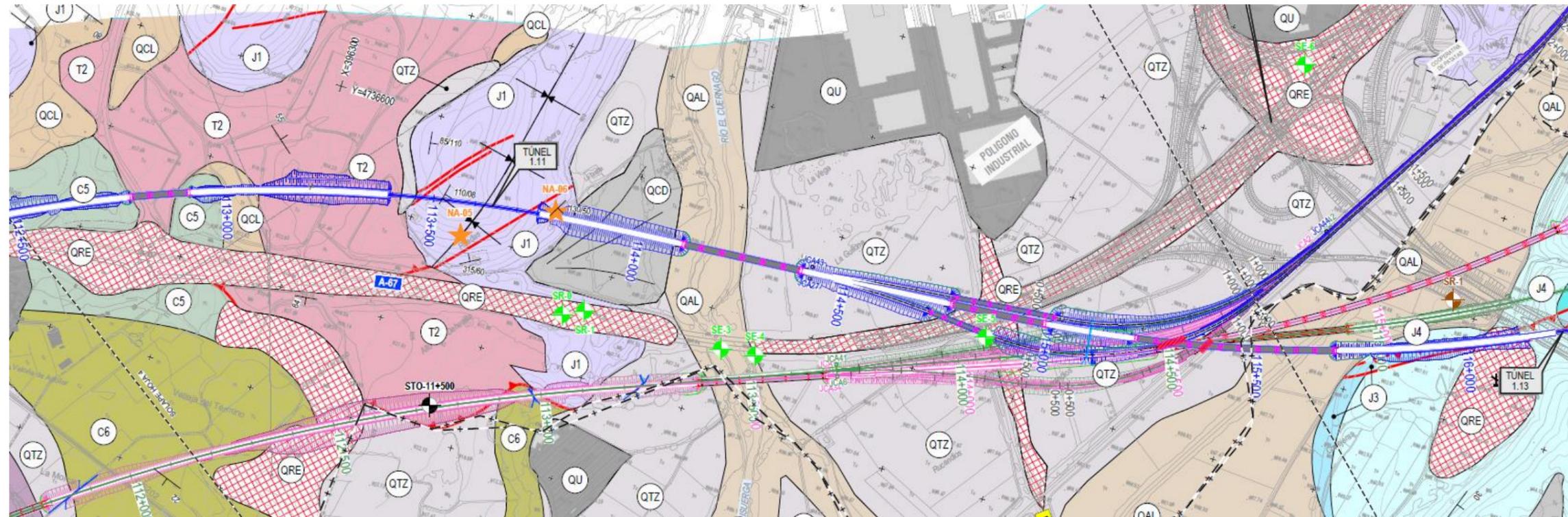


Figura 77. Arriba, mapa geológico del ámbito del túnel (elaboración propia). Abajo, perfil geológico del ámbito del túnel (elaboración propia).

TÚNEL	P.K INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	COTA RASANTE Entrada - Salida (m.s.n.m.)	COTA MÁX. PIEZ. aprox. (m.s.n.m.)	COLUMNA AGUA SOBRE RAS. (m)	LITOLÓGIA	P.K INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	PERMEABILIDAD CUALITATIVA (+)	TIPO ACUIFAERO	EN ZONA SATURADA	PUNTOS DE AGUA ASOCIADOS A FM. TÚNEL (COTA m.s.n.m.)	CAPTACIONES ABAST. ASOCIADAS A FM. TÚNEL	POSIBLE AFECCIÓN A CAPTACIONES	ZONAS PROTEGIDAS PRÓXIMAS	
1.11	FALSO TÚNEL	113+387	113+448	61.0	914.3 - 907.94	---	T2	113+387	113+448	61.0	D-B	BAJA - MUY BAJA	---	Probablemente No	No se han observado puntos de agua en campo en las inmediaciones del relieve (observaciones en campo NOV. 2019).	NINGUNA	Ninguna prevista	No
							FALLA (*) T2	113+448	113+479	31.0	D-B	BAJA	---					
							T2	113+479	113+492	13.0	D-B	BAJA - MUY BAJA	---					
	MINA	113+448	113+685	237.0			J1	113+492	113+540	48.0	C-A	ALTA - MUY ALTA	BUEN ACUIFERO					
							FALLA (*) J1	113+540	113+544	4.0	C-A	ALTA - MUY ALTA	BUEN ACUIFERO					
							J1	113+544	113+685	141.0	C-A	ALTA	BUEN ACUIFERO					
							J1	113+685	113+715	30.0	C-A	ALTA	BUEN ACUIFERO					
	FALSO TÚNEL	113+685	113+752	67.0			FALLA (*) J1	113+715	113+719	4.0	C-A	ALTA - MUY ALTA	BUEN ACUIFERO					
							J1	113+719	113+752	33.0	C-A	ALTA	BUEN ACUIFERO					

(+) Según clasificación del "Mapa de Permeabilidades a escala 1:200.000" (IGME, 2015)

(\*) Se asume una potencia de falla de 4-5 m.

(\*\*) Dada el escaso buzamiento de la falla, se asume una potencia de falla de 10-20 m.

### 3.5.12. Túnel 1.12. Alternativa Centro.

Este túnel atraviesa una estructura geológica relativamente complicada que implica, al menos, a dos fallas inversas y/o cabalgamientos. En la siguiente tabla se resumen las características de este túnel:

TÚNEL	PPKK		LONGITUD (m)	COTAS DE RASANTE			MONTERA MÁX. (m)	SECCIÓN (m)
	INICIO	FIN		ENTRADA	SALIDA	PENDIENTE		
1.12	115+344	116+098	754	890.8	901.6	---	48	---

Aunque a primera vista se podría pensar que se trata de una serie monoclinial del Jurásico buzando uniformemente al E, el sondeo STO 14+450 (perforado durante el Estudio Informativo del Proyecto de la Línea de Alta Velocidad Palencia-Santander. Tramo: Villaprovedo-Reinosa. Fase A 1:25.000. Ineco, 2009) atravesó la unidad J5 (Purbeck Inferior) aparentemente intercalada entre las unidades J3 y J4, lo cual es imposible por razones estratigráficas. Se ha interpretado que la unidad J3 cabalga a la unidad J4 por despegue, a favor de las lutitas y arenisca de J5, mucho menos competentes que las calzas de J3 y J4.

Respecto de la permeabilidad, si bien no se descarta que las calizas estén puntualmente karstificadas, no se observan en superficie un exokarst bien desarrollado ni se han localizado cavidades kársticas en los sondeos perforados en la zona (tanto para el citado Estudio Informativo como para el P. C. de la autovía A-73).

La boca de entrada del túnel se localiza en roca competente, de la unidad J4, que es una alternancia de bancos de calizas y margas de espesor decamétrico a métrico. El buzamiento es moderado (unos 30º) hacia PK creciente. La presencia de los planos de estratificación y la

alternancia de capas con diferentes permeabilidades y comportamiento geomecánico son el rasgo principal de la primera parte de este túnel. En su conjunto, la permeabilidad de esta formación es baja debido a las ubicuas capas de margas. Solamente en las zonas de fractura puede considerarse cierto aumento de la permeabilidad a media.

A partir del pk 115+440 el túnel se interna en la menos competente unida J5, compuesta aquí por arcillas amarillentas y negras, con areniscas y algunos conglomerados. La testificación del citado sondeo STO 14+450 proporciona una completa columna litológica, así como algún o datos reveladores, como que la estratificación presenta buzamiento muy variable (39º a 80º) y tramos de varios metros de potencia de brecha de falla. Todo ello apoya la hipótesis anterior sobre la existencia de un despegue tectónico a favor de esta litología poco competente.

Existe además otra falla detectada por fotogeología, que se ha interpretado como como falla inversa con vergencia contraria al cabalgamiento, si bien podría tratarse también de otro cabalgamiento, que es travesado por el túnel poco después, hacia el PK 115+630. Entre ambas fracturas aparece brevemente la unidad J3, en unos 40 m de túnel, probablemente bastante fracturada.

A partir del último PK citado, el túnel atravesará de nuevo la unidad J4, con un buzamiento suave hacia PK creciente que se va incrementando paulatinamente hasta el 116+030, donde el contacto de J4 con la suprayacente J5 buza unos 30º. La boca de salida (116+098) se ubica en esta última unidad.

El nivel de base local está constituido por el cauce del Río Camesa, con cotas en la zona de entre 888 y 893 m.s.n.m.

Durante las visitas de campo efectuadas para el presente Estudio informativo, entre octubre y noviembre de 2019, ha sido posible la localización y medida del sondeo S-4+000 (perforado durante el P. C. de Plataforma de la Línea de Alta Velocidad Palencia-Santander, arrojando una cota piezométrica de 907,4 m; es decir, ligeramente por encima de la clave del túnel (entre 15-20 m), al menos en la parte central del mismo.

En las mencionadas visitas se ha procedido a realizar un inventario de puntos de agua en el ámbito del túnel, sin encontrar ninguna surgencia asociada al relieve salvado por el túnel, ni en cotas superiores a las de los emboquilles ni en cotas similares a las de los niveles de base.

Si bien ha de considerarse que la estructura se encuentra en Zona Saturada, no resultan probables afecciones a posibles aprovechamientos ligados al medio acuífero. Asimismo, la propia afección a éste resultaría acotada por los propios límites del relieve y sus niveles de base locales.

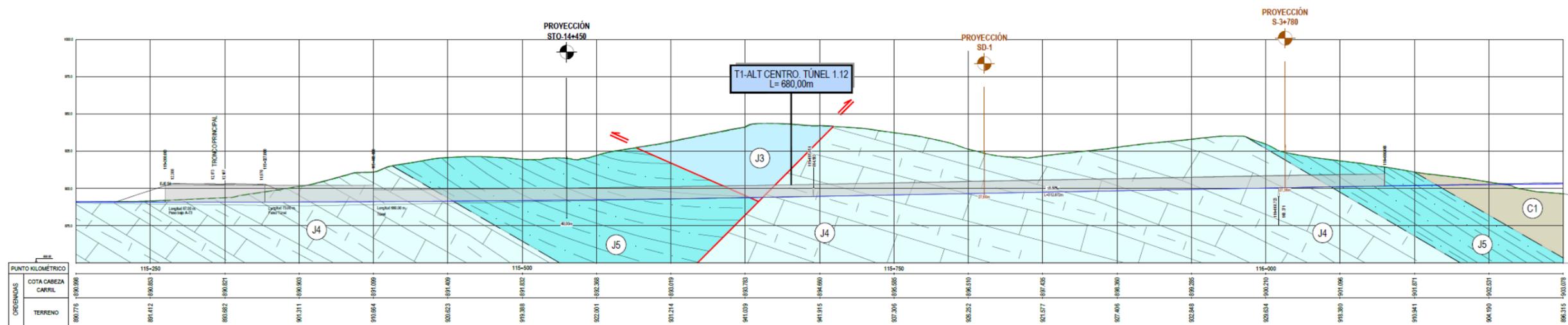
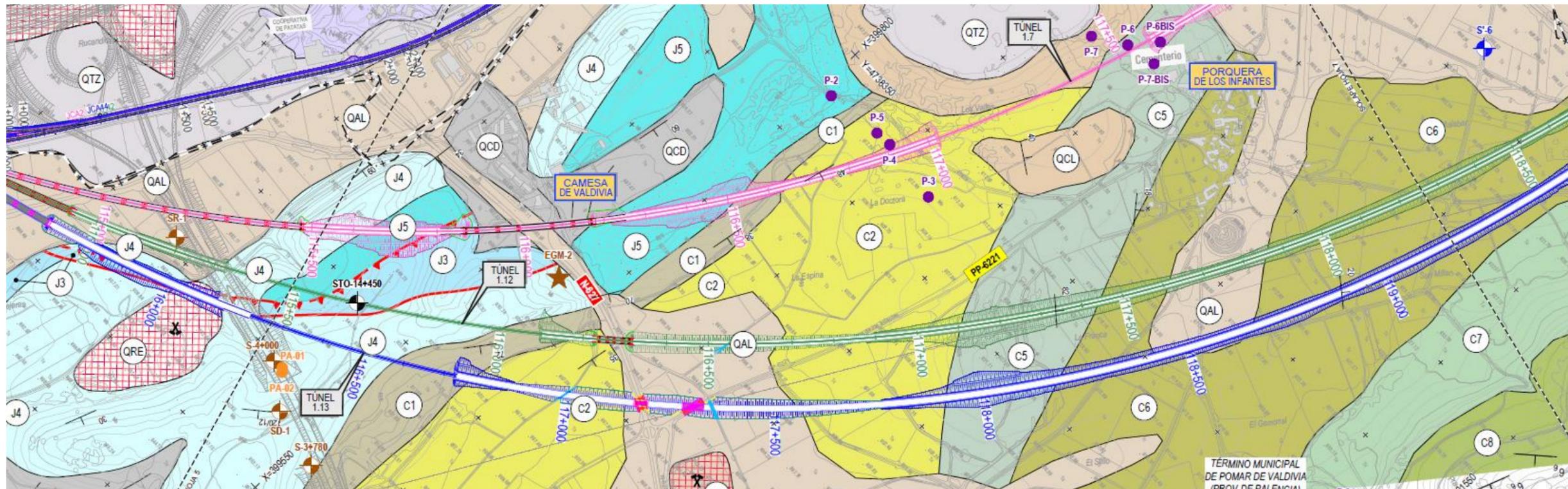


Figura 78. Arriba, mapa geológico del ámbito del túnel (elaboración propia). Abajo, perfil geológico del ámbito del túnel (elaboración propia).

TÚNEL	P.K. INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	COTA RASANTE Entrada - Salida (m.s.n.m.)	COTA MÁX. PIEZ. aprox. (m.s.n.m.)	COLUMNA AGUA SOBRE RAS. (m)	LITOLÓGIA	P.K. INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	PERMEABILIDAD CUALITATIVA (+)		TIPO ACUIFAERO	EN ZONA SATURADA	PUNTOS DE AGUA ASOCIADOS A FM. TÚNEL (COTA m.s.n.m.)	CAPTACIONES ABAST. ASOCIADAS A FM. TÚNEL	POSIBLE AFECCIÓN A CAPTACIONES	ZONAS PROTEGIDAS PRÓXIMAS
1.12	FALSO TÚNEL	115+344	115+404	60.0	890.8 - 901.6	16.6 m sobre rasante	J4	115+344	115+404	60.0	C-B	BAJA	---	Sí	---	NINGUNA	Ninguna prevista	No
							J4	115+404	115+440	36.0	C-B	BAJA	---					
							J5	115+440	115+635	195.0	D-B	BAJA	---					
	MINA	115+404	116+025	621.0			FALLA (*) J3	115+635	115+675	40.0	C-B	BAJA - MEDIA	ACUITARDO					
							J4	115+675	116+025	350.0	C-B	BAJA	---					
							J4	116+025	116+040	15.0	C-B	BAJA	---					
	FALSO TÚNEL	116+025	116+098	73.0			J5	116+040	116+098	58.0	D-B	BAJA	---					

(+) Según clasificación del "Mapa de Permeabilidades a escala 1:200.000" (IGME, 2015)

(\*) Se asume una potencia de falla de 4-5 m.

(\*\*) Dada el escaso buzamiento de la falla, se asume una potencia de falla de 10-20 m.

### 3.5.13. Túnel 1.13 Alternativa Este

Este túnel atraviesa la misma estructura geológica que el túnel 1.12, un aparente monoclin de capas del Jurásico buzando hacia el E. Son de aplicación las consideraciones hechas anteriormente sobre la existencia de un cabalgamiento y/o una falla inversa, por lo que no se insiste en ello. En la siguiente tabla se resumen las características de este túnel:

TÚNEL	PPKK		LONGITUD (m)	COTAS DE RASANTE			MONTERA MÁX. (m)	SECCIÓN (m)
	INICIO	FIN		ENTRADA	SALIDA	PENDIENTE		
1.13	116+149	116+732	583	894.5	894.5	---	44	---

El túnel comienza en el PK 116+149 en un macizo rocoso competente de la unidad J4, para atravesar casi inmediatamente una zona de falla en el pk aproximado 116+170. A continuación, se pasa a la unidad J3, durante apenas 10 m de túnel (sobre el pk 116+165), para inmediatamente entrar en la suprayacente J4, ya que la estatificación buza suavemente hacia pk creciente. Continúa en esta formación hasta el PK 116+670, donde se corta el contacto con la formación J5, descrita anteriormente: arcillas amarillentas y negras, con areniscas y algunos conglomerados.

El nivel de base local está constituido por el cauce del Río Camesa, con cotas en la zona de entre 888 y 893 m.s.n.m.

Durante las visitas de campo efectuadas para el presente Estudio informativo, entre octubre y noviembre de 2019, ha sido posible la localización y medida del sondeo S 4+000 (perforado durante el P. C. de Plataforma de la Línea de Alta Velocidad Palencia-Santander), arrojando una cota piezométrica de 907,4 m; es decir, ligeramente por encima de la clave del túnel (entre 10-15 m), al menos en la parte central del mismo.

En las mencionadas visitas se ha procedido a realizar un inventario de puntos de agua en el ámbito del túnel, sin encontrar ninguna surgencia asociada al relieve salvado por el túnel, ni en cotas superiores a las de los emboquilles ni en cotas similares a las de los niveles de base.

Si bien ha de considerarse que la estructura se encuentra en Zona Saturada, no resultan probables afecciones a posibles aprovechamientos ligados al medio acuífero. Asimismo, la propia afección a éste resultaría acotada por los propios límites del relieve y sus niveles de base locales.

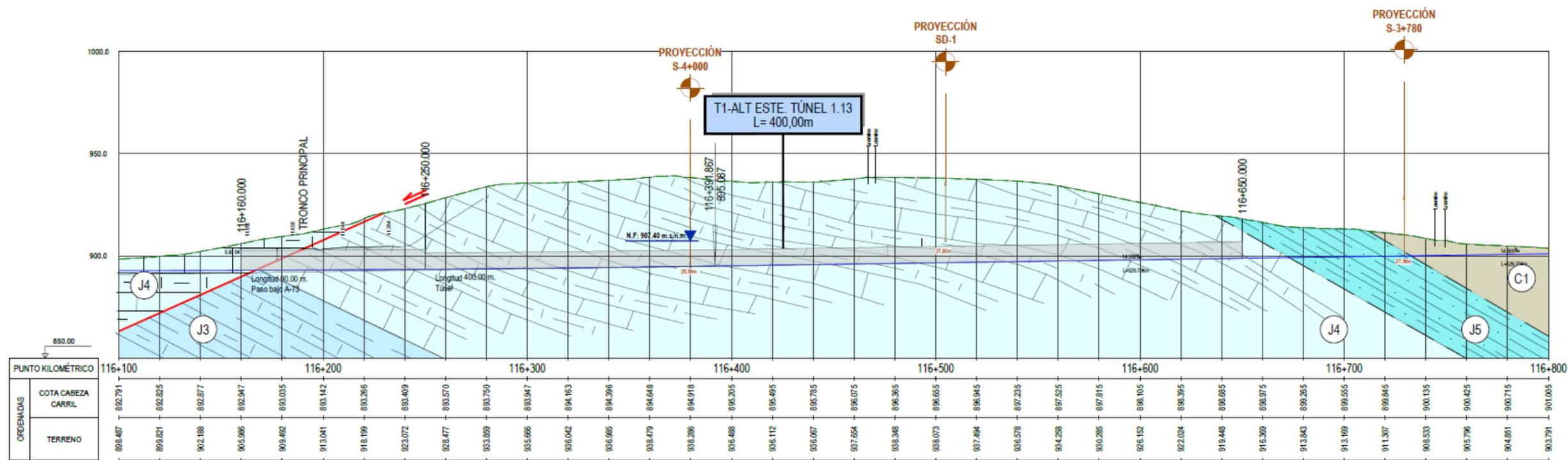
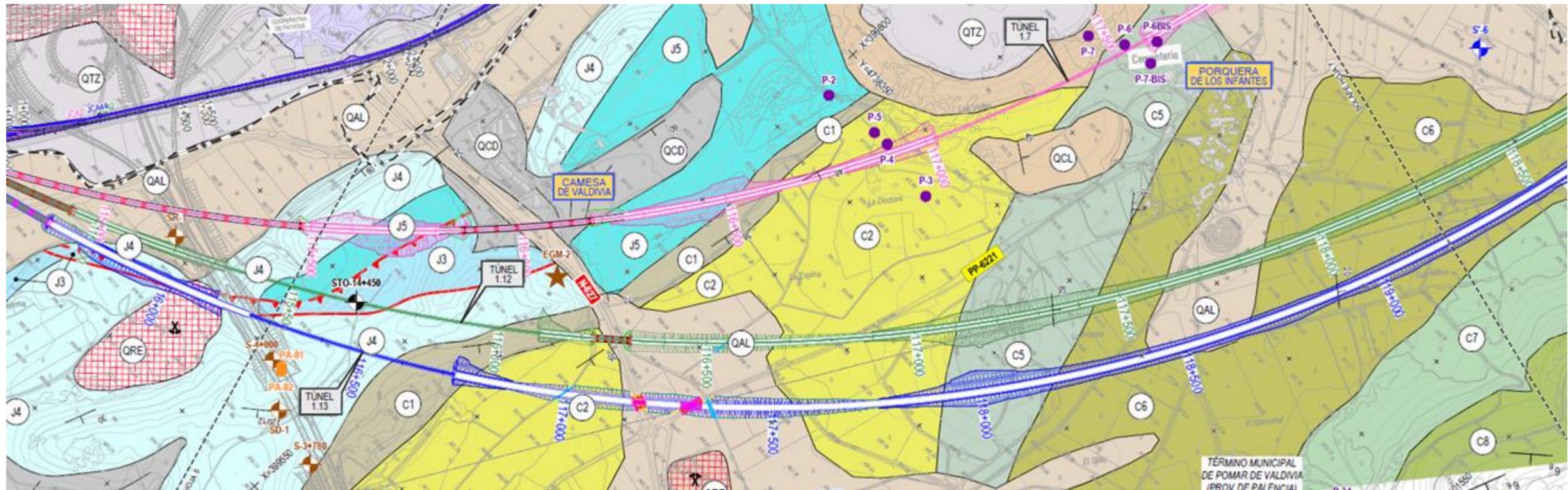


Figura 79. Arriba, mapa geológico del ámbito del túnel (elaboración propia). Abajo, perfil geológico del ámbito del túnel (elaboración propia).

TÚNEL	P.K INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)		COTA RASANTE Entrada - Salida (m.s.n.m.)	COTA MÁX. PIEZ. aprox. (m.s.n.m.)	COLUMNA AGUA SOBRE RAS. (m)	LITOLOGÍA	P.K INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	PERMEABILIDAD CUALITATIVA (+)		TIPO ACUIFAERO	EN ZONA SATURADA	PUNTOS DE AGUA ASOCIADOS A FM. TÚNEL (COTA m.s.n.m.)	CAPTACIONES ABAST. ASOCIADAS A FM. TÚNEL	POSIBLE AFECCIÓN A CAPTACIONES	ZONAS PROTEGIDAS PRÓXIMAS
1.13	FALSO TÚNEL	116+149	116+214	65.0	894.5 - 899.5	907.4 (S-4+000) medida reciente en campo	13 m sobre rasante	J4	116+149	116+180	31.0	C-B	BAJA	---	Sí	---	NINGUNA	Ninguna prevista	No
				FALLA (*) J3				116+180	116+200	20.0	D-B	BAJA - MEDIA	ACUITARDO						
	J4	116+200	116+214	14.0				C-B	BAJA	---									
	J4	116+214	116+631	417.0				C-B	BAJA	---									
	J4	116+631	116+700	69.0				C-B	BAJA	---									
	J5	116+700	116+732	32.0				D-B	BAJA	---									

(+) Según clasificación del "Mapa de Permeabilidades a escala 1:200.000" (IGME, 2015)

(\*) Se asume una potencia de falla de 4-5 m.

(\*\*) Dada el escaso buzamiento de la falla, se asume una potencia de falla de 10-20 m.

### 3.5.14. Túnel 3.1 Alternativa Este

Las consideraciones geológicas e hidrogeológicas de este túnel han sido extraídas (y parcialmente reproducidas) del "Estudio Informativo de la Línea de Alta Velocidad Aguilar – Reinos". (Ineco, 2018).

Este túnel se emplaza en el Tramo Mataporquera - Reinos y únicamente está definido en la alternativa de trazado Este. Discurre entre el PK 303+400 y el PK 303+840. La mínima cota de la rasante, 920,4 m.s.n.m., coincide con el emboquille de salida, en el PK 303+840.

Se encuentra en su totalidad atravesando las calizas estratificadas de la unidad J2, de color gris claro. Entre los planos de estratificación aparecen intercalaciones margosas que se hacen más abundantes hacia el techo, constituyendo la zona de transición a la unidad J3.

Estas calizas son objeto de una intensa karstificación, apareciendo formas tanto exokársticas como endokársticas, de gran desarrollo y dando lugar a una alta permeabilidad. Además, el túnel atraviesa transversalmente una falla subvertical, con orientación N-S, que favorece también el desarrollo de la karstificación y la circulación preferente de agua a su través. En conjunto estas propiedades confieren a la unidad J2 un carácter de buen acuífero por permeabilidad secundaria y terciaria (fracturación y karstificación), con funcionamiento en régimen libre.

El nivel de base local viene dado por las cotas del Río Marlantes, hacia el oeste de la Estructura, que en la zona oscilan entre 887 m.s.n.m. y 872 m.s.n.m. Dichas cotas resultan estar muy por debajo de la rasante de la estructura. El relieve salvado por el túnel queda limitado al sur por este mismo cauce, con una cota en torno a 903,2 m.s.n.m.

En una visita sobre el terreno (efectuado para el citado Estudio Informativo en 2018), fue posible la identificación de un manantial cercano al emboquille de salida (P-28 según el inventario realizado para dicho E. I.), así como otra posible surgencia cercana a la anterior (P-28bis). Las cotas topográficas de descarga de estos puntos son, respectivamente, 899,6 m.s.n.m. y 897,7 m.s.n.m.; resultan considerablemente más bajas que la mínima cota de la rasante del túnel, lo que hace pensar que dicha estructura discurre en todo momento en Zona No Saturada.

Asimismo, como se comentó anteriormente, se ha conseguido localizar el antiguo sondeo S'-8, perforado para el Estudio Informativo de Alar del Rey – Santander (2003), comprobando que se encuentra en relativas buenas condiciones (al menos para efectuar mediciones del nivel de agua subterránea en su interior). La cota piezométrica obtenida es de 894,65 m.s.n.m., apoya también la hipótesis de que la Zona Saturada se encuentra varios metros por debajo de la rasante (esta vez, en la zona central del túnel).

Esto supone una ventaja, puesto que pueden descartarse afecciones cuantitativas al medio hidrogeológico, no obstante, en fase de obra resultará necesario extremar las precauciones en cuanto a vertidos accidentales de sustancias y materiales a emplear, a fin de evitar una posible contaminación del acuífero, máxime cuando se trata de un acuífero kárstico en el que las vías de flujo preferente suponen también zonas donde se favorece la entrada de contaminantes al sistema. Recordemos, llegados a este punto, que el túnel en cuestión se encuentra dentro de un perímetro de protección para la futura captación de agua para abastecimiento. Si bien la cantidad del recurso no se prevé que se encuentre comprometida, la calidad del mismo sí puede llegar a alterarse, en caso de que no se sigan las recomendaciones al respecto recogidas en el apartado 7.2.9. "Medidas para la protección de la hidrología e hidrogeología" del Anejo de Integración Ambiental.

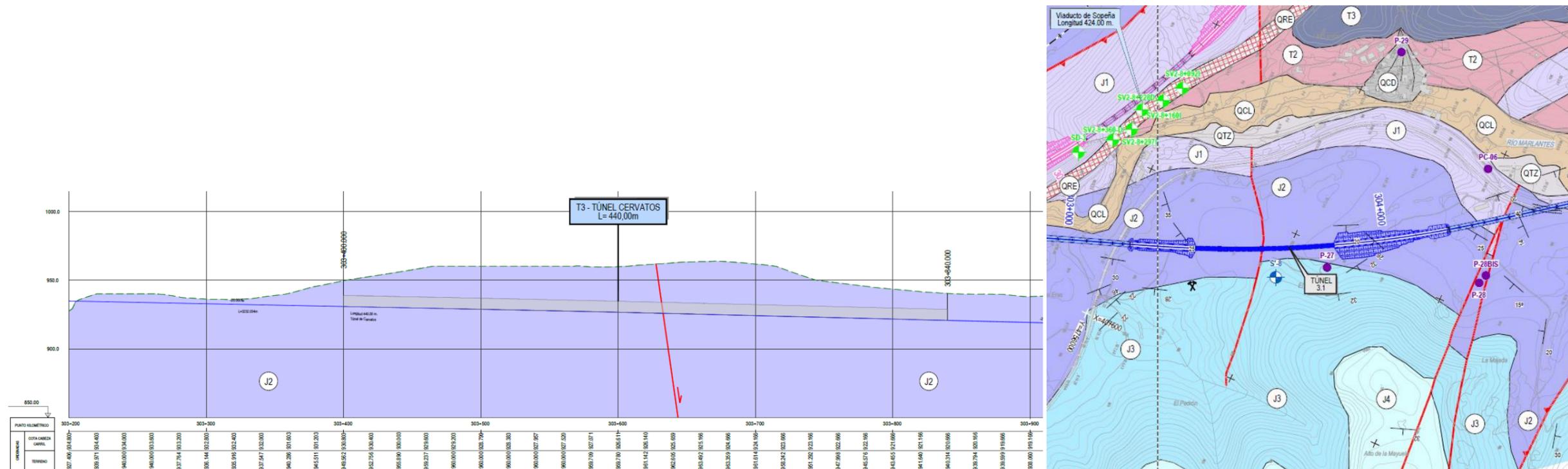


Figura 80. Derecha, mapa geológico del ámbito del túnel (elaboración propia). Izquierda, perfil geológico del ámbito del túnel (elaboración propia).

TÚNEL	P.K INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	COTA RASANTE Entrada - Salida (m.s.n.m.)	COTA MÁX. PIEZ. aprox. (m.s.n.m.)	COLUMNA AGUA SOBRE RAS. (m)	LITOLÓGÍA	P.K INICIO	P.K. FIN	LONG. (m)	PERMEABILIDAD CUALITATIVA (+)	TIPO ACUIFAERO	EN ZONA SATURADA	PUNTOS DE AGUA ASOCIADOS A FM. TÚNEL (COTA m.s.n.m.)	CAPTACIONES ABAST. ASOCIADAS A FM. TÚNEL	POSIBLE AFECCIÓN A CAPTACIONES	ZONAS PROTEGIDAS PRÓXIMAS	
3.1	FALSO TÚNEL	303+400	303+433	33	930.8 - 920.4	---	J2	303+400	303+433	33.0	C-A	ALTA	No	Sondeo S'8 (P-27): 894,65 m.s.n.m., Manantial (P-28): 899,6 m.s.n.m., Posible surgencia asociada al manantial P-28 (P-28bis): 897,7 m.s.n.m.	NINGUNA	Ninguna prevista	Sí. Perímetro de Protección (001 FONTIBRE)	
	MINA	303+433	303+840	407			J2	303+433	303+630	197.0	C-A	ALTA						BUEN ACUIFERO
							FALLA (*) J2	303+630	303+635	5.0	C-A	ALTA						BUEN ACUIFERO
							J2	303+635	303+840	205.0	C-A	ALTA						BUEN ACUIFERO

(+) Según clasificación del "Mapa de Permeabilidades a escala 1:200.000" (IGME, 2015)

(\*) Se asume una potencia de falla de 4-5 m.

(\*\*) Dada el escaso buzamiento de la falla, se asume una potencia de falla de 10-20 m.

Sin embargo, la no afectación al medio acuífero por parte de la estructura proyectada no implica que éste primero no afecte al desarrollo de las obras y a la explotación del túnel. Ocasionalmente, a través de la Zona No Saturada se da la existencia de flujos verticales descendentes, que obedecen a caudales de la recarga procedente de las precipitaciones. A través de los conductos kársticos interceptados por la estructura y/o de las discontinuidades atravesadas (fallas, fracturas, etc.), son previsible caudales de entrada al túnel, que pueden llegar a ser cierta magnitud, ligados a estas zonas concretas (zonas de flujo preferente). Estos caudales estarán íntimamente asociados a las precipitaciones y pueden llegar a presentar una magnitud muy variable en el tiempo, dependiendo de las cuantías de las recargas. Por todo ello, se hace recomendable proceder con cierta impermeabilización al uso de estas zonas, según se detecten durante la perforación.

Al respecto, cabe mencionar la existencia de una falla inversa en el entorno del PK 303+630 que, según el perfil elaborado, separa dos bloques de la misma formación J2. Se desconoce el grado de karstificación que puede presentar o si, por el contrario, se encuentra rellena de materiales detríticos más finos que puedan rebajar la permeabilidad y aislar hidráulicamente un bloque del otro (compartimentación del acuífero jurásico). Esto constituiría, por tanto, un aspecto a investigar en fases más avanzadas (en caso de ser ésta la alternativa elegida). A priori, y para estar del lado de la seguridad, se ha optado por asimilar a la zona de falla una permeabilidad similar a la del macizo rocos J2.

Los caudales interceptados, dada el área aflorante en superficie del acuífero, resultan ínfimos en comparación con la recarga total del mismo, por lo que, desde este punto de vista, tampoco se estima que se vean comprometidos los recursos subterráneos.

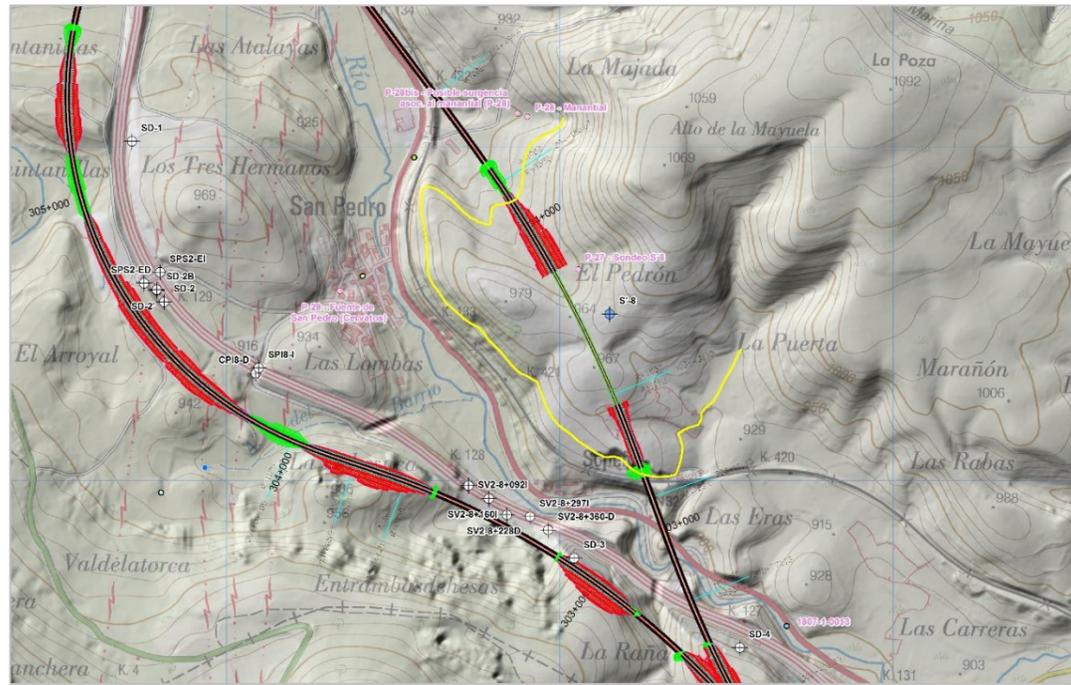


Figura 81. Aproximación al área de influencia del posible drenaje ocasionado por el Túnel 3.1 de la Alternativa Este (Tramo 3)

### 3.5.15. Recomendaciones

Tal y como se recomendó en su momento, dentro del “Estudio Informativo del Proyecto de la Línea de Alta Velocidad Palencia – Alar del Rey” (INECO, 2018), el pasado año la empresa AECOM comenzó para ADIF los trabajos del “Estudio y Seguimiento Hidrogeológico de los túneles del Tramo Alar del Rey – Aguilar de Campoo. Línea de Alta Velocidad Palencia – Santander”, incluyendo una exhaustiva campaña de construcción de piezómetros específicamente en zonas de túnel. De dicho estudio se ha tenido acceso a la *Memoria inicial (mayo de 2019)* y al *Primer Informe de Seguimiento (octubre de 2019)* para la redacción del presente documento. A la vista de los trabajos llevados a cabo en él, se encuentra que éstos satisfacen las recomendaciones efectuadas en el E. I. de Palencia – Alar del Rey. Así pues, se recomienda que se continúe el seguimiento hidrogeológico que se viene efectuando en dicho Estudio Hidrogeológico, en las condiciones en que se ha realizando hasta la fecha.

En todo caso, se recomienda hacerlo extensible a los nuevos túneles, más septentrionales, recogidos en el presente Estudio Informativo (al norte del antiguo ámbito del E. I. Palencia – Alar del Rey), en los que se ha detectado intercepción del nivel piezométrico. Cabe también la

posibilidad de abordar un seguimiento hidrogeológico en fases posteriores, como pueden ser la redacción de los Proyectos Básicos y/o Constructivos. En este sentido, se pueden realizar las siguientes precisiones:

- El Túnel 1.8 (del presente E. I.) se corresponde con el Túnel 1.2 recogido en el E. I. Aguilar de Campoo – Reinosa. Tanto en éste estudio como en el presente documento ya se mencionaba la probabilidad de que interceptara la zona saturada ligada a los acuitardos cretácicos (C5 y C3), si bien se prevé una escasa columna de agua sobre rasante; no resulta previsible afectar al acuífero alojado en la terraza (raña) cuaternaria superior. Dada su longitud, resultaría conveniente monitorizar la piezometría de las capas cretácicas y realizar un seguimiento hidrogeológico de los caudales drenados por el acuífero cuaternario. Se considera suficiente que estos trabajos se aborden durante fases posteriores, en la redacción de los Proyectos Básicos y Constructivos.
- El Túnel 1.10 (del presente E. I.) comparte ámbito aproximadamente con el Túnel 1.5 (Túnel 3.5 en Dominio Centro-Septentrional, dentro del Estudio Hidrogeológico), aunque las características constructivas del mismo difieren (longitud, cotas de rasante, etc.). Se considera que las prospecciones utilizadas en el Túnel 3.5 del Dominio Centro-Septentrional resultan también suficientes para el estudio de detalle del Túnel 1.10, si bien, habría que comparar los aspectos hidrogeológicos con las características específicas de este túnel. Se hace cierto hincapié en esta recomendación puesto que, con los datos disponibles, se ha encontrado que dicho túnel intercepta zona saturada.
- Los Túneles 1.12 y 1.13 (del presente E. I.), comparten ámbito hidrogeológico entre ellos. Se ha llegado a localizar el sondeo S 4+000, perforado durante el P. C. de Plataforma de la Línea de Alta Velocidad Palencia-Santander. Dada la escasa longitud de los mismos y la escasa columna de agua prevista sobre rasante, éste puede servir para realizar el seguimiento hidrogeológico en estos túneles, evitando la necesidad de llevar a cabo nuevas prospecciones. Cabe también la posibilidad (como se recomendaba en el caso del Túnel 1.8) de que dicho seguimiento se aborde durante fases posteriores, en la redacción de los Proyectos Básicos y Constructivos.

No se han incluido los túneles 1.7, 1.9, 1.11 y 3.1, puesto que, con los datos disponibles, no se considera que lleguen a interceptar la zona saturada.

#### 4. SISMICIDAD

La peligrosidad sísmica se define mediante el mapa de peligrosidad sísmica publicado en el capítulo 2 del B.O.E. nº 244 del viernes 11 de octubre de 2002, y que se muestra a continuación:

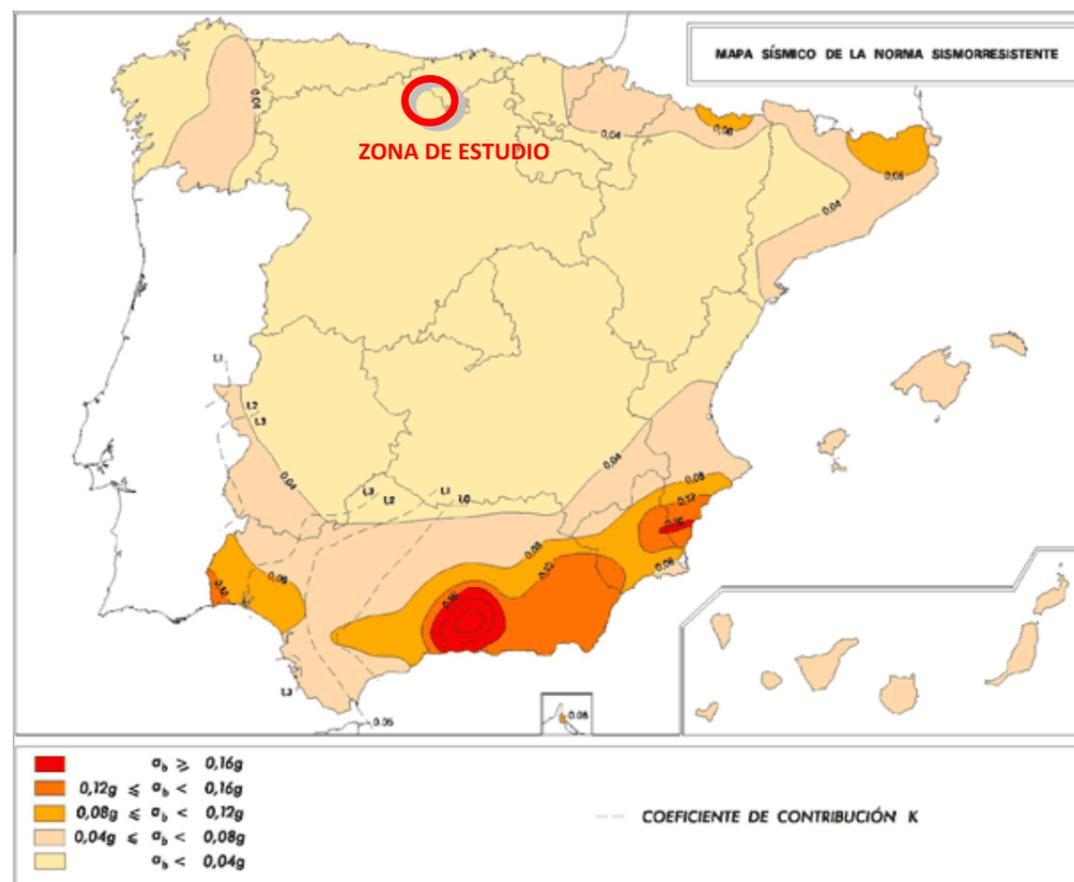


Figura 82. Mapa Peligrosidad Sísmica Básica en la que se indica la situación de la zona de proyecto

El mapa muestra, expresando en relación al valor de la gravedad, g, la aceleración sísmica básica ( $a_b$ ) y el coeficiente de distribución (K) que tienen en cuenta la influencia de los diferentes tipos de sismos esperados en la peligrosidad sísmica de cada punto.

Pese a ser una obra calificada como de importancia especial, como la que la aceleración sísmica básica  $a_b$  es inferior a 0,04 g, siendo g la aceleración de la gravedad, no es necesario la aplicación de la Norma de Construcción Sismorresistente NCSR-02.

#### 5. GEOTECNIA

En base a la información existente en la zona de estudio, se ha procedido a realizar una caracterización preliminar de las unidades litológicas existentes a lo largo de la traza.

##### 5.1. INFORMACIÓN GEOTÉCNICA RECOPIADA

Para la redacción del presente proyecto, se ha realizado un análisis de la información existente.

Se han recopilado las investigaciones y ensayos de laboratorio próximos al trazado pertenecientes a los proyectos mencionados en el apartado 1.2.1. *Bibliografía específica*. Las actas de los sondeos, así como los ensayos de laboratorio realizados en las muestras obtenidas, se han incluido en los apéndices correspondientes del presente anejo.

##### 5.2. CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS DE LOS MATERIALES

Todos los resultados de los ensayos de laboratorio de proyectos previos se han unificado y agrupado por unidades según la cartografía geológica realizada para esta fase de proyecto.

A partir de esta agrupación se ha procedido a realizar una caracterización preliminar de aquellas unidades de las que se tiene información.

Al final del anejo, a modo de resumen, se ha incluido un cuadro con los aspectos más relevantes de las unidades, incluidas aquellas de las que no se tienen ensayos de laboratorio. Estas conclusiones proceden de la observación en campo realizada como parte del presente proyecto.

##### 5.2.1. Mesozoico

###### 5.2.1.1. Unidad T1: Conglomerados y areniscas.

Esta facies aparece puntualmente en la zona del proyecto sobre el extremo norte del corredor, en el valle donde se sitúa Reinosa, en forma desestructurada y con grandes bloques aislados inmersos en la masa diapírica de la unidad T2 "Facies Keuper". Aunque el trazado en superficie no la atraviesa, no es descartable que aparezca al excavar alguno de los desmontes,

Compuesto por niveles conglomeráticos bien cementados, areniscas cuarcíticas que pasan a limolitas con abundante cemento ferruginoso, y lutitas rojas a las que se le intercalan limolitas y argilitas.

No se dispone de ensayos de laboratorio, pero a priori, se ha considerado apto Pedraplén, Todo-uno al 70%, siendo marginal los términos arcillo-limosos.

Aunque no se dispone de ensayos de esta unidad, por su litología puede afirmarse que se comporta como un suelo con alternancia de roca y no tendrá problemas de estabilidad en los taludes que se excaven, así como en laderas naturales. Por tanto, se proponen taludes 1H:1V. en los desmontes excavados en esta unidad.

También es destacable su buena capacidad portante en cimentación superficial de las estructuras a proyectar.

A priori, T1 se pueden reutilizar, como Pedraplén y Todo-uno al 70%.

En cuanto a la excavabilidad de esta unidad, en estado sano podría ser necesario el uso de explosivo en los tramos de areniscas compactas, aunque pueden aparecer de forma local zonas más blandas que podrán ser ripadas, e incluso zonas superficiales muy alteradas que podrían ser excavables. También puede ser viable el uso de voladura de esponjamiento previo al ripado, aunque será necesario el uso de voladuras para excavar zonas en las que aparecen bancos de conglomerado bien cementado y arenisca cuarcítica.

Los riesgos geológicos son posibles inestabilidades de bloques y cuñas tanto en desmontes como en túneles. Reptaciones y deslizamientos de ladera en zonas alteradas. 2

5.2.1.2. Unidad, T 2 "Facies Keuper": Arcillas abigarradas plásticas y yesos

Está compuesto por niveles arcillosos con niveles argilíticos y limolíticos intercalados. Incluye yeso, tanto en capas intercaladas como en grandes masas plurimétricas, y puede presentar elevados contenidos en sales, sobre todo halita (NaCl).

La siguiente tabla recoge los ensayos de laboratorio recopilados de esta unidad, así como los valores máximos, mínimos y medios:

CAMPAÑA	UNIDAD	INVESTIGACIONES	ENSAYO	Prof. (m)	ENSAYOS DE ESTADO			GRANULOMETRÍA						LL	LP	IP	Presión Hincham Kpa	% HINCHAMIENTO	QUÍMICOS			CLASIFICACIÓN	RCS	qu(kg/cm²)	Cu(PM) (kg/cm²)	Cu(T) (kg/cm²)		
					g <sub>ap</sub> (T/m³)	g <sub>SECA</sub> (T/m³)	W <sub>nat</sub> %	40	20	5	2	0,4	0,08						%	%	%						MO (%)	Sulf. Sol. (%SO3)
EI Villaprovedo-Reinosa	T2	STO-11+500	TP	15,55-16,00	1,55	1,94	27,7	100	100	100	100	94,5	89,1	71,4	25,3	46,1				3		CH/A-7-6						
	T2	STO-11+500	TP	22,70-23,00	1,7	2,03	19,4	100	97	92,4	89,2	82	77	79,1	29,1	50						CH/A-7-6						
	T2	STO-11+500	SPT	23,00-23,60			13,9	100	100	100	100	86,6	76,7	59	31,7	27,3				6		MH/A-7-5						
PC-A67 105,4-112	T2	SR-1	PG	5,70-6,30	1,71		18,51						94	47	25	22	60		0	16,28		CL	0,18					
	T2	SE-4	TP	6,80-7,10	1,89	2,57	10,93		100	94	90	82	75	32	21	10	80	2,75		9,26	6,2	CL	0,1					
	T2	SE-4	TP	10,10-10,40	1,81		12,6		100	99	98	99,5	93	34	23	11				4,63	17,7	CL	4,69					
	T2	SE-4	TP	12,35-12,60	1,78	2,65	11,4		100	100	100	98	96	31	22	9	40	1,35		0	4,4	CL	2,75					
	T2	SE-4	TP	16,60-16,90	1,98		11,5		100	100	100	100	98	30	20	10				0	9,7	CL	7,24					
	T2	SE-6	MI	12,00-12,29					100	99	97	93	89	42	26	16	40	2,55		0		CL						
PC-A67 120-140	T2	SV2-8+297-I	MI	3,80-4,40	1,951		13,23													4,51			0,87	> 3	1			
	T2	SV2-8+297-I	MI	7,30-7,71	1,84		16,04													2,99			0,765	2,07	1,25			
	T2	SV2-8+297-I	TP	11-11,30	2,284		12,72					96,79	79,46	35,2	27,2	8				----			4,27	> 3	2,13			
	T2	SV2-8+360-D	TP	2,80-3,10	2,166		11,91					87,98	72,79	31,1	22,1	9				0,18			4,7	> 3	2			
	T2	SV2-8+092		12,20-12,50	2,151		15,68													17,78			138,6					
	T2	SV2-8+092		13,90-14,50	2,292		14,49													12,53			72,1					
	T2	SV2-8+160		8-8,22	2,094		16,76													17,75			82					
	T2	CPI8-D					18,18							97,83	78,35	36,5	22,2	14,3										
	T2	SPI8-I	MI	1,85-2,45	1,69		13,79							99,02	75,85	31,3	22,9	8,4						7,54				
	T2	SPI8-I	MI2	5,00-5,60	1,612		20,52							91,21	69,96	37,5	29	8,5						6,42				
T2	SPI8-I	MI3	8,40-9,00	1,529		25,89																	7,03					
<b>Nº ensayos</b>					18	4	20	3	9	9	15	9	16	15	15	15	4	3	1	16	5	10	9	7	4	4		
<b>Valor máximo</b>					18,5	2,65	27,7	100	100	100	100	100	98	79,1	31,7	50,0	80	2,75	0	17,78	21,7	-	7,54	138,6	2,07	2,13		
<b>Valor mínimo</b>					1,529	1,94	10,93	100	97	92	88	82	70	29,0	19,0	8,0	40	1,35	0	0	4,4	-	0,1	0,765	2,07	1		
<b>Promedio</b>					2,81	2,30	15,99	100	100	98	96	93	83	41,7	24,4	17,3	55	2,22	0	6,33	11,94	-	4,75	43,33	2,07	1,60		

Geotécnicamente se comporta como un suelo que presenta problemas de estabilidad en los taludes existentes en la zona, así como en laderas naturales. Por tanto, son previsibles problemas de inestabilidad en los desmontes excavados en esta litología, incluso estando muy tendidos. Se ha propuesto inclinar los taludes al 3H:2V, con escollera como medida de refuerzo.

También es destacable la posibilidad de que se produzcan asentamientos diferenciales inadmisibles en la cimentación superficial de las estructuras a proyectar en este nivel, por lo que se aconseja evitar este substrato como apoyo de puentes y viaductos.

#### **Características de identificación y estado**

Tal y como muestran los valores de los ensayos realizados esta unidad tiene un carácter principalmente cohesivo con un porcentaje medio de materiales que pasan por el tamiz UNE 0,08 del 51,39%. (83)

Presentan plasticidad media-baja con valores medios de límite líquido de 43,69 e índice de plasticidad de 17,93. Según la clasificación de Casagrande esta unidad está constituida por materiales de los grupos ML y OL.

En relación a la humedad natural que presenta se han obtenido valores muy dispares, lo cual es lógico por la diferente tipología de las muestras, entre el 10,93 y 27,7%, con un valor medio del 15,99%.

Se adopta como densidad seca característica el valor de (2,30 T/m<sup>3</sup>). Dado que se cuenta con ensayos de laboratorio para determinar la densidad aparente de estos materiales, se ha adoptado su valor en (2,81 T/m<sup>3</sup>).

#### **Características resistentes y deformacionales**

En cuanto a la RCS, esta unidad arroja un valor medio de 4,75 Kp/cm<sup>2</sup>. Los golpes SPT recopilados sobre esta unidad en la zona de estudio presentan unos valores entre rechazo y 5, con una media de N<sub>30</sub>=40.

Se dispone de ensayos de resistencia a compresión simple, obteniéndose un valor medio de 3,6 kp/cm<sup>2</sup> con deformación unitaria de 2,95%. La consistencia se considera como muy firme pasando a dura en aquellos tramos argilíticos y limolíticos cementados.

Los datos de golpes SPT registrados presentan un valor medio de 69, con golpes dentro de un rango de 9 a 100. En los datos obtenidos más del 60% de los resultados superan los 50 golpes, con un 50 % del total de rechazos.

Se obtiene un valor de presión de hinchamiento con una media de 0,6 kp/cm<sup>2</sup> (58,8 kPa), por lo que se considera un grado de expansividad bajo a medio.

#### **Características químicas**

Como se puede observar en el apartado 5.6. *Agresividad del subsuelo al hormigón*, esta unidad presenta agresividad al hormigón debido al elevado contenido en sulfatos.

El valor medio obtenido en los ensayos de sulfatos solubles es elevado (valor medio = 6,33%) por lo que presenta una exposición fuerte y se estima necesario el uso de cementos sulforresistentes en las estructuras de hormigón en contacto con esta unidad. El contenido en yesos es elevado.

#### **Aprovechamiento y reutilización**

La unidad T2 es destacable por su media a baja capacidad portante la que hace probable obtener asentamientos diferenciales inadmisibles en cimentaciones superficiales de las estructuras a proyectar en este nivel, debido a los resultados de Hinchamiento del sistema yeso-anhidrita, a la karstificación por disolución de yesos y a la expansividad de las arcillas que se han obtenido en los diferentes ensayos de laboratorio. Por todo esto, se ha propuesto inclinar los taludes de esta formación al 3H:2V para reducir inestabilidades en los desmontes debido a la erosión y acarreamiento de los suelos blandos.

Esta litología será excavable por métodos mecánicos en la mayoría de los casos, aunque no se descarta la necesidad del ripado en ciertos niveles argilíticos más endurecidos.

En base a los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio para esta unidad, según PGP 2011-V2 se clasifica como no apto y según PG-3 se trata de un suelo inadecuado (marginal), por lo que se recomienda su retirada a vertedero.

#### **5.2.1.3. Unidad T3: Diabasas y Doleritas "Ofitas"**

Esta unidad está constituida por masas de rocas subvolcánicas incluidas en arcillas versicolores de la unidad T2. La tenacidad que caracteriza a estos materiales desaparece en estado alterado.

No se dispone de ensayos de laboratorio, pero a priori, se ha considerado apto Pedraplén, Todo-uno al 100%. Ha de mencionarse que en la zona existieron canteras que aprovechaban esta roca.

En tales canteras, así como en laderas naturales, se observa que los taludes existentes presentan una pendiente elevada. Por tanto, se ha propuesto inclinar los taludes al 1H:1V.

También es destacable su alta capacidad portante frente a cimentación superficial de las estructuras a proyectar en este nivel.

En cuanto a la excavabilidad de esta unidad, en estado sano será preciso el uso de explosivo con alto coste de voladura debido a su extrema tenacidad, aunque pueden aparecer de forma local zonas más blandas que podrían ser ripadas o utilizar pequeñas voladuras.

5.2.1.4. Unidades J1 y J2: Calizas y dolomías tableadas, dolomías oquerosas “Carniolas”, calizas bioclásticas y oolíticas, y calizas microcristalinas bien estratificadas a masivas.

En los antecedentes bibliográficos consultados, estas dos unidades se estudian conjuntamente, no disponiéndose de ensayos de laboratorio individualizados para J2.

Estas unidades están constituidas por materiales bastante masivos pero que, dada su cercanía a la superficie de despegue que constituye el Keuper, pueden estar muy tectonizados y fracturados.

La meteorización de la roca matriz varía en función del tipo litológico. Las facies más brechoide, en superficie, llegan a presentar grados de meteorización IV o incluso superiores, mientras que los términos de calizas, se presentan bastante sanos (grados de meteorización II- III). En general la unidad J1 presenta un aspecto cavernoso y puede tener baja capacidad portante.

Presenta características similares a J2, aunque esta última se le asocia una karstificación importante, especialmente en la zona comprendida entre Matarrepudio y el Apeadero del Alto de Pozazal. En esta unidad, además, la intersección de las distintas familias de juntas con la geometría de los taludes puede dar lugar a inestabilidades de bloques y cuñas si son descalzados por la excavación.

A continuación, se incluyen los parámetros geotécnicos disponibles sobre la unidad J1 y J2:

PROYECTO	UNIDAD GEOLÓGICA	VALORES OBTENIDOS	RESISTENCIA - DEFORMABILIDAD
			COMPRESIÓN SIMPLE
			qu (kp/cm <sup>2</sup> )
ESTUDIO INFORMATIVO DEL PROYECTO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA – SANTANDER. TRAMO: VILLAPROVEDO – REINOSA. FASE B. 1:5.000	J1-J2	Valor máximo	93
		Valor mínimo	9,3
		Promedio	41,72

La unidad J2 es destacable por su alta capacidad portante la que permite obtener asientos muy bajos en cimentaciones superficiales de las estructuras a proyectar en este nivel.

Pueden aparecer problemas geotécnicos como la caída de bloques cuando el macizo está muy fracturado, esto puede ocurrir en las proximidades de las grandes fallas y en el contacto con el Keuper, donde además se añade la influencia negativa de la circulación de agua subterránea generando la posibilidad de karstificación.

A continuación, se incluyen los ensayos de laboratorio disponibles sobre la unidad J1:

CAMPAÑA	Sondeo	Unidad	Profundidad (m)	qu(kg/cm <sup>2</sup> )	w <sub>n</sub> (%)	D <sub>s</sub> (T/m <sup>3</sup> )	S03(%)	Cu(PM) (kg/cm <sup>2</sup> )
PC A-67 PK 120-140	SV2-8+092-I	J1	8,50-8,80	109,6	0,2	2,569	0,497	
	SV2-8+160-I	J1	11,90-12,15	100,2	0,86	2,403	----	
	SV2-8+360-D	J1	5,75-5,96	190,2	0,75	2,528	----	
	SV2-8+360-D	J1	9,30-9,50	288,9	0,13	2,691	----	
	SV2-8+228-D	J1	5,65-5,95	2,9	14,28	2,069		>3
	SV2-8+228-D	J1	8,50-8,78	1,37	10,79	2,125		>3
	SV2-8+228-D	J1	11,90-12,10	12,13	10,4	2,157		>3
	SV2-8+360-D	J1	5,15-5,50	4,2	9,72	2,218		>3
<b>Nº ensayos</b>				8	8	8	4	4
<b>Valor máximo</b>				288,9	14,28	2,691	0,497	>3
<b>Valor mínimo</b>				1,37	0,13	2,069	0,497	>3
<b>Promedio</b>				88,69	5,89	2,35	0,497	>3

Como se puede observar en el apartado 5.6. *Agresividad del subsuelo al hormigón*, se dispone de un único ensayo para determinar la agresividad de J1 al hormigón, dando como resultado un tipo de exposición medio.

La unidad J1 presenta una baja capacidad portante si se encuentra alterada, en ese caso, es destacable la posibilidad de que se produzcan asientos diferenciales inadmisibles en la cimentación superficial de las estructuras a proyectar en este nivel, por lo que se aconseja evitar este substrato como apoyo de puentes y viaductos.

Se ha propuesto inclinar los taludes en ambas formaciones al 1H:1V.

A priori, tanto J1 como J2 se pueden reutilizar, como Pedraplén, Todo-uno al 70 y 80% respectivamente.

En cuanto a la excavabilidad de estas unidades, en estado sano se recomienda el uso de explosivos, aunque pueden aparecer de forma local zonas más blandas que podrían ser ripadas, e incluso zonas superficiales muy alteradas que podrían ser excavables. También puede ser viable el uso de voladura de esponjamiento previo al ripado, aunque será necesario el uso de voladura clásica para desmontar las zonas en las que aparecen bancos de calizas masivas.

5.2.1.5. Unidades J3 y J4: Alternancia de calizas, margocalizas y

Ambas unidades están constituidas por la alternancia de términos margosos y términos calizos, por lo cual se estudian conjuntamente. La estratificación es siempre neta, presentando unos valores de persistencia muy elevados y espaciados de orden decimétrico que en las margas

hojasas llegan a ser centimétricos. Los planos presentan una geometría de plana a ondulada con superficies muy suaves. Se ha propuesto inclinar los taludes al 3H:2V.

En superficie los términos calizos se encuentran ligeramente alterados, mientras que los niveles margosos presentan una clara alteración.

A continuación, se incluyen los ensayos de laboratorio disponibles sobre la unidad J3 en la zona de proyecto:

CAMPAÑA	UNIDAD	INVESTIGACIONES	ENSAYO	Prof. (m)	RCS	Módulo de Young E GPa	Coeficiente de Poisson ν
					Kp/cm <sup>2</sup>		
EI Villaprovedo- Reinosa	J3	SAR-12+400	TP	6,00-6,50	139,7	14,16	0,17
	J3	SAR-12+400	TP	11,50-11,90	319,17	18,26	0,17
	J3	SAR-12+400	TP	20,90-21,50	76,48	9,88	0,24
	J3	STO-14+250	TP	25,35-25,65	375,25	21,59	0,24
	J3	STO-14+250	TP	32,50-33,00	693,4	22,73	0,15
	J3	STO-14+250	TP	39,65-40,00	243,7	19,5	0,2
<b>Nº ensayos</b>					6	6	6
<b>Valor máximo</b>					693,4	22,73	0,24
<b>Valor mínimo</b>					76,48	9,88	0,15
<b>Promedio</b>					307,95	17,69	0,20

Resistencia a compresión simple R.C.S.: Los valores van de 76,48 a 693,76 con una media de 307,95 kp/cm<sup>2</sup> en J3. Esta variabilidad en los valores de resistencia a la compresión simple se debe a los términos litológicos. Así, los términos más calizos presentan valores típicos de una roca de dureza media, incluso alta. Por el contrario, los términos más margosos presentan valores típicos de una roca débil. Se ha observado en campo la presencia de karstificación en esta unidad, al igual que en J2, en el ámbito de Mataporquera.

A continuación, se incluyen los ensayos de laboratorio disponibles sobre la unidad J4 en la zona de proyecto:

CAMPAÑA	SONDEO Nº	Profundidad (m)	Tipo	Unidad	Hum. %	Dens. Seca t/m <sup>3</sup>	Comp.simple	Comp.tang.
							Kp/cm <sup>2</sup>	kp/cm <sup>2</sup>
PC A-67 PK 112-120	SD-3	3.50 – 3.70	T.A.	J4				50,88
	SD-3	4.70 – 4.90	T.A.	J4	2,8	2,54	202	
	SD-3	8.20 – 8.40	T.A.	J4	2,1	2,58	200	
	SD-3	9.10 – 9.30	T.A.	J4	1,6	2,61	200	
	SD-4	5.00 – 5.30	T.A.	J4	1,2	2,61	435	
	SD-4	5.00 – 5.30	T.A.	J4	0,5	2,68	663	
	SD-4	8.00 – 8.20	T.A.	J4				86,87
	SD-4	8.50 – 8.80	T.A.	J4	0,6	2,67	576	

CAMPAÑA	SONDEO Nº	Profundidad (m)	Tipo	Unidad	Hum. %	Dens. Seca t/m <sup>3</sup>	Comp.simple	Comp.tang.
							Kp/cm <sup>2</sup>	kp/cm <sup>2</sup>
	SD-4	8.50 – 8.80	T.A.	J4	0,5	2,67	772	
	SD-4	12.00 – 12.30	T.A.	J4				41,27
	SD-4	13.00 – 13.50	T.A.	J4	1,7	2,67	520	
	SD-4	13.00 – 13.50	T.A.	J4	0,6	2,67	866	
	SD-4	14.50 – 14.80	T.A.	J4				85,14
<b>Nº ensayos</b>					9	9	9	4
<b>Valor máximo</b>					2,8	2,68	866	86,87
<b>Valor mínimo</b>					0,5	2,54	200	41,27
<b>Promedio</b>					1,29	2,63	493	66,04

PROYECTO	UNIDAD GEOLÓGICA	VALORES OBTENIDOS	RESISTENCIA - DEFORMABILIDAD
			COMPRESIÓN SIMPLE
			qu (kp/cm <sup>2</sup> )
ESTUDIO INFORMATIVO DEL PROYECTO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA – SANTANDER. TRAMO: VILLAPROVEDO – REINOSA. FASE B. 1:5.000	J3-J4	Valor máximo	69,4
		Valor mínimo	7,6
		Promedio	30,7

Como se puede observar, la RCS es mayor que en la unidad J3, con un valor (de 30,7 a 866) medio de 493 kp/cm<sup>2</sup>.

Esta variabilidad en los valores de resistencia a la compresión simple se debe a los términos litológicos. Así, los términos más calizos presentan valores típicos de una roca de dureza media, incluso alta. Por el contrario, los términos más margosos presentan valores típicos de una roca débil.

En ambas unidades, la intersección de las distintas familias de juntas con la geometría de los taludes puede dar lugar a inestabilidades de bloques y cuñas si son descalzados por la excavación. Los niveles margosos confieren a los planos de estratificación ángulos de rozamiento bajos, que pueden inducir inestabilidades para buzamientos superiores a los 25º.

La excavabilidad de las unidades (J3 y J4) será mediante ripado en los metros superficiales para posteriormente ser necesaria una voladura de esponjamiento e incluso la voladura estricta, ya que pueden aparecer bancos gruesos de término calizo.

Se ha considerado que la unidad J3 se podrá reutilizar como Todo-Uno los términos calizos (50%), debiendo ser retirado a vertedero el material margoso (50%); no así la unidad J4, ya que, según sus características observadas en afloramiento, resulta complicado separar los términos calizos de los margosos, por lo que, a priori, se recomienda su retirada a vertedero.

5.2.1.6. Unidades J5, C1, C2, "Facies Purbeck": Lutitas , conglomerados y areniscas, niveles de calizas y margas

Los materiales del Jurásico terminal y Cretácico Inferior se presentan muy extendidos en todo el corredor de estudio, con una variabilidad de facies, pero sobre todo de espesores entre el norte y el sur, fruto de la tectonización y compartimentación de la cuenca de sedimentación en este período. Se agrupan para su estudio geotécnico por compartir su principal característica, que es la heterogeneidad.

La unidad J5 está constituida por una alternancia de arcillas rojas y areniscas calcáreas de grano medio a grueso, con algunas intercalaciones de conglomerados silíceos, más abundantes hacia muro. Hacia techo aparecen más niveles de calizas arcillosas lacustres con arcillas y margas, e intercalaciones de areniscas calcáreas que pasan lateralmente a calizas arenosas.

Las arcillas rojas y verdes con intercalaciones de arenas, presentan mayor desarrollo en las cercanías de Aguilar de Campoo, donde presentan niveles caoliníferos. En general se presenta muy cubierta por lo que sólo se aprecian los niveles rocosos más duros.

Los materiales arcillosos presentan una estratificación poco visible, salvo en caso de haber intercalaciones de otros materiales.

La unidad C1 está constituida por una alternancia de arcillas rojas y areniscas calcáreas de grano medio a grueso, con algunas intercalaciones de conglomerados silíceos, más abundantes hacia muro. Hacia techo aparecen más niveles de calizas arcillosas lacustres con arcillas y margas, e intercalaciones de areniscas calcáreas que pasan lateralmente a calizas arenosas.

Por otra parte, la unidad C2 está constituida por varias formaciones en general de naturaleza carbonatada, aunque con tipos areniscosos, lutíticos, margosos y calizos, así como niveles carbonosos. La tendencia marca un aumento hacia techo de los tipos carbonatados en detrimento de los silicilcásticos. El primer episodio carbonatado del Cretácico en la zona está constituido por un paquete de calizas y biocalcarentas, en ocasiones dolomitizadas, en gruesos bancos de espesores decimétricos a métricos que conforman un conjunto de entre 20 y 100 m de espesor.

A continuación, se incluyen los ensayos de laboratorio disponibles sobre la unidad J5 en la zona de proyecto: Como se puede observar en ella, los resultados de laboratorio la unidad J5 presenta una capacidad portante media a baja, que mejora en los tramos con intercalaciones de areniscas, conglomerados y calizas.

CAMPAÑA	Referencias				Identificación									CLASIFICACIÓN	Hinch.Libre	Pres. Hinch.	Parámetros Geotécnicos			RCS	Corte directo		Módulo de Young E GPa	Coeficiente de Poisson v	Ensayos Químicos						
	Sondeo	Muestra	Prof. (m)	Ud.	D. Seca (T/m³)	H. Nat. (%)	Tamiz					L. Atterberg (%)					USCS / H.R.B	%	kg/cm²		Porosidad n	I. Poro se			Saturación S	Kp/cm²	c (kg/cm²)	f (º)	CO₃ %	SO₃ %	
							#20	#5	#2	#0,4	#0,08	LL	LP																		IP
E.I. Villaprovedo-Reinosa	STO-14+450	TP	11,20-11,45	J5																14,27			0,78	0,40							
	STO-14+450	TP	22,20-22,50	J5																15,29			4,03	0,31							
	STO-14+450	TP	26,35-26,70	J5																28,55			1,23	0,20		0					
	STO-14+450	TP	30,40-30,90	J5																10,19			0,57	0,31		0					
El Alar-Santander	S-7	TP	26,00-26,30	J5	2,39	3,9													0,11	0,13	83,58										
	S-7	TP	32,60-32,90	J5	2,02	6,7														0,25	0,33	54,34									
	S-7	TP	35,70-36,00	J5	2,17	7,9														0,19	0,24	88,68									
	S-13	TP	11,05-11,40	J5	1,97	10,5														0,27	0,37	77,28									
	S-13	TP	26,60-26,87	J5	2,61	0,7														0,03	0,03	61,43									
	S-13	TP	39,20-39,60	J5	2,46	2,6														0,09	0,09	74,8									
	S-13	TP	42,08-42,52	J5	2,05	6,6														0,24	0,31	56,87									
	S-13	TP	47,00-47,25	J5	2,17	7,0														0,19	0,24	78,58									
PC A-67 PK 112-120	SD-2	T.P.	8.50 – 9.00	J5	2,13	10,8	100	100	100	100	94,3	40,7	22	18,7	CL/A-6	0,8	0,68						2,35	1,57	16			12,8	0,03		
	SD-2	T.A.	10.00 – 10.30	J5	2,36	6,6																	10,3								
	SD-2	T.A.	11.50 – 11.70	J5	2,59	1,5																	247								
	SD-5	T.A.	10.00 – 10.20	J5	2,39	3,8																	113								
	SD-5	T.A.	11.60 – 11.90	J5	2,42	4																	91								
<b>Nº ensayos</b>					14	14	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	
<b>Valor máximo</b>					2,61	16,7	100	100	100	100	94,3	40,7	22	18,7	-	0,8	0,68						247	1,57	16	4,027	0,402	12,8	0,03		
<b>Valor mínimo</b>					1,88	0,7	100	100	100	100	94,3	40,7	22	18,7	-	0,8	0,68						2,35	1,57	16	0,569	0,198	12,8	0		
<b>Promedio</b>					2,26	6,38	100	100	100	100	94,3	40,7	22	18,7	-	0,80	0,68						59,11	1,57	16	1,65	0,30	12,80	0,01		

La siguiente tabla recoge los valores máximos, mínimos y medios promediados de los ensayos recopilados, válidos para caracterizar las unidades J5, C1 y C2.

PROYECTO	UNIDAD GEOLÓGICA	VALORES OBTENIDOS	RESISTENCIA - DEFORMABILIDAD
			COMPRESIÓN SIMPLE
			qu (kp/cm <sup>2</sup> )
ESTUDIO INFORMATIVO DEL PROYECTO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA – SANTANDER. TRAMO: VILLAPROVEDO – REINOSA. FASE B. 1:5.000	J5, C1, C2 Purberk	Valor máximo	28
		Valor mínimo	10
		Promedio	16,75

La excavabilidad de la unidad J5 será mediante ripado en los metros superficiales para posteriormente ser necesaria una voladura de esponjamiento e incluso la voladura estricta, ya

que pueden aparecer bancos gruesos de término calizo. Se ha propuesto inclinar los taludes al 3H:2V.

Se ha considerado que la unidad J5 se podrá reutilizar como Todo-Uno exclusivamente los términos de las areniscas y conglomerados (20%), debiendo ser retirado a vertedero el material margoso (70%).

No se dispone de ensayos de la unidad C1.

A continuación, se incluyen los ensayos de laboratorio disponibles sobre la unidad C2 en la zona de proyecto. Se han separado los ensayos realizados en la **fracción lutítica** de aquellos realizados en las **areniscas y calizas**.

AMPAÑA	SONDEO Nº	Profundidad (m)	Tipo	Unidad	Golpeo N30/NMI*0,6	Hum.	Dens. seca	Lambe	Hinch. Libre	Pres Hinch.	Cont. Carb.	Cont. Sulf.	M.O.	Granulometría (tamiz U.N.E. mm.)				Límites Atterberg			Clasificación		Comp. Simple	Próctor Normal		CBR (100% PN)			
						%	t/m <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	%	kg/cm <sup>2</sup>	%	%	%	#20	#5	#2	#0,08	LL	LP	IP	USCS	HRB	kg/cm <sup>2</sup>	Dens.máx (t/m <sup>3</sup> )	H opt. %	Hinch. %	C.B.R.		
El Alar-Santander	S-7	11,40-11,85	SPT	C2-Lutitas	66	15,4							15,4	100	100	100	70,7	28	13	15	CL								
	S-7	19,00-19,45	SPT	C2-Lutitas	75	14,1	1,87							100	100	99	95	43	20	23	CL								
	S-7	23,00-23,40	TP	C2-Lutitas	--	9,7	2,08																1,87						
	S-13	1,20-1,80	MI	C2-Lutitas	87	12,0	1,74				17,1	<0,1	0,3	100	100	100	97	36	22	14,2	CL								
PC A-67 PK 112-120	ST-1	6,00 – 6,20	T.P.	C2-Lutitas	40	12,4	1,94				3,4	0,01		100	100	100	92,7	38,9	15,9	23	CL	A-6	7,67						
	ST-1	8,40 – 8,60	T.A.	C2-Lutitas	21	13,4	1,95				2,5	0,12	2,4	100	100	97	67,8	28,9	13,1	15,8	CL	A-6	3,1						
	SD-1	1,50 – 1,70	T.P.	C2-Lutitas	-	13,7			4,34	1,77	23,8	0,02		100	100	98,9	94,3	35,5	17,1	18,4	CL	A-6							
	SD-1	3,20 – 3,40	T.A.	C2-Lutitas	-	11,2	2,1	0,1			9,4	0,03		100	99,7	97,3	93,7	32,6	16,3	16,3	CL	A-6	5,45						
	SD-1	9,00 – 9,70	T.P.	C2-Lutitas	-	7,6	2,22		3,05	0,68	5,9	0,02		100	100	100	97,7	38,2	20,4	17,8	CL	A-6	19,81						
	SD-1	12,10 – 12,30	T.A.	C2-Lutitas	-	13,3	2,09	0,1			2,3	0,04		100	100	100	99,6	41,4	21,7	19,8	CL	A-7-6	3,5						
	SD-2	2,40 – 2,60	T.A.	C2-Lutitas	-	17,8	1,84	0,2			12,1	0,01		100	100	100	95,6	57,3	26,5	30,8	CH	A-7-6	6,1						
	SD-2	8,50 – 9,00	T.A.	C2-Lutitas	-	10,8	2,13		0,8	0,68	12,8	0,03		100	100	100	94,3	40,7	22	18,7	CL	A-6	2,35						
	CX-1	0,60-2,10		C2-Lutitas	-	17,1					2,2	0,02	0,42	100	100	100	99,4	58,5	23,2	35,3	CH	A-7-6		1,59	22,1	1,8	1,82		
	CX-2	0,10-1,90		C2-Lutitas	-	9,2						0,01	0,3	100	99,6	98,2	74,2	26,2	15,4	10,8	CL	A-4		1,78	14	0,6	4,65		
	CD-1	0,30-1,90		C2-Lutitas	-	12,9					18,9	0,01	0,3	99,5	98,7	97,9	75,8	31,5	19,3	12,2	CL	A-6		1,81	15,4	0,6	6		
	CX-3	0,40-2,30		C2-Lutitas	-	16,3					48,6	0,04	0,6	100	100	100	94,7	44,5	21,2	23,3	CL	A-7-6		1,66	18,8	2	2,39		
	CX-4	0,60-3,80		C2-Lutitas	-	22,9					49,7	0,01	0,41	100	100	100	94,5	39,4	20,4	19	CL	A-6		1,66	18,6	2	2,16		
CX-7	0,20-0,80		C2-Lutitas	-	5,4					14,4	0,02	0,4	98,1	95,7	94	68	28,2	16,6	11,6	CL	A-6		1,87	12,9	1,5	2,52			
<b>Nº ensayos</b>					18	18	10	3	3	3	14	15	9	17	17	17	17	17	17	17	14	8	6	6	6	6	6	6	6
<b>Valor máximo</b>					87	22,9	2,2	0,2	4,3	1,8	49,7	0,1	15,4	100	100	100	99,6	58,5	26,5	35,3	-	-	19,8	1,9	22,1	2,0	6,0		
<b>Valor mínimo</b>					21	5,4	1,7	0,1	0,8	0,7	2,2	0,0	0,3	98,1	95,7	94	67,8	26,2	13	10,8	-	-	1,9	1,6	12,9	0,6	1,8		
<b>Promedio</b>					57,8	13,1	2,0	0,1	2,7	1,0	15,9	0,0	2,3	99,9	99,6	99	88,5	38,2	19,1	19,1	-	-	6,2	1,7	17,0	1,4	3,3		

CAMPAÑA	SONDEO Nº	Profundidad (m)	Tipo	Unidad	Hum.	Dens. seca	Comp. Simple	Comp.tang.
					%	t/m <sup>3</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>
PC A-67 PK 112-120	SD-1	6,10 – 6,40	T.A.	C2-Ar y cal	4,4	2,44	253	
	SD-1	6,70 – 7,00	T.P.	C2-Ar y cal				6,75
	SD-2	5,10 – 5,50	T.P.	C2-Ar y cal				22,6
	SD-2	5,70 – 6,00	T.A.	C2-Ar y cal	2,8	2,53	155	
	SD-2	10,00-10,30	T.A.	C2-Ar y cal	6,6	2,36	103	
	SD-2	11,50-11,70	T.A.	C2-Ar y cal	1,5	2,59	247	
	SD-5	6,50 – 6,80	T.A.	C2-Ar y cal	3	2,23	321	
	SD-5	10,00-10,20	T.P.	C2-Ar y cal	3,8	2,39	113	
	SD-5	11,60-11,90	T.A.	C2-Ar y cal	4	2,42	91	
	SD-5	14,00 – 14,40	T.P.	C2-Ar y cal	6,8	2,12	30	
<b>Nº ensayos</b>					8	8	8	2
<b>Valor máximo</b>					6,8	2,6	321,0	22,6
<b>Valor mínimo</b>					1,5	2,1	30,0	6,8
<b>Promedio</b>					4,1	2,4	164,1	14,7

Como se puede observar en los resultados de ensayos de laboratorio, la fracción lutítica de la unidad C2 presenta una capacidad portante media a baja, que mejora en los tramos con intercalaciones de areniscas, conglomerados y calizas. El principal problema geotécnico que puede afectar a esta unidad es la presencia de suelos blandos en las zonas de alteración.

Para la excavabilidad de la esta unidad será necesario ripado, y el uso de martillo e incluso alguna voladura en los tramos rocosos de gran potencia.

Los resultados de RCS en la fracción lutítica arrojan un valor medio de 6 Kp/cm<sup>2</sup>, mientras que, en la fracción de areniscas y calizas, el valor promedio es 164 kp/cm<sup>2</sup>.

El golpeo N30 medio en los ensayos SPT y MI disponibles sobre muestras lutíticas, es de 58, correspondiendo a un material muy denso. Todas las muestras se han clasificado como CL (arcillas inorgánicas poco plásticas o de plasticidad mediana), excepto 2, que presentan un límite líquido mayor de 50, clasificándose como CH (arcillas inorgánicas muy plásticas).

Como se puede observar en el apartado 5.6. *Agresividad del subsuelo al hormigón*, la unidad C2 no presenta agresividad al hormigón.

En cuanto a la reutilización, a priori estos materiales podrían reutilizarse en rellenos tipo terraplén o Todo-uno, exclusivamente en los tramos de areniscas y conglomerados que suponen el 20% de la unidad J5, y un 70% como Todo-uno para la unidad C1 siendo necesario en los tramos más litificados proceder a su retirada o someterlos a una fragmentación mediante maquinaria tipo

“pata de cabra”. La unidad C2 se procedería a su retirada a vertedero ya que la fracción lutítica se ha considerado no utilizable, ya que la mayoría de las muestras en las que se dispone de ensayos de compactación, no cumplen por el CBR, además de presentar un contenido en materia orgánica elevado.

En conjunto, estas tres unidades son en general poco resistentes, y con una durabilidad baja, a excepción de los tramos de rocas más duras, por lo que los desmontes presentarán problemas de erosión diferencial a lo largo del tiempo, con posibles descalces de los niveles duros, al perder el soporte del material blando que lo rodea. Se ha propuesto inclinar los taludes de ambas unidades al 3H:2V.

5.2.1.7. Unidades C3, C4, C6 “Facies Weald”, “Facies Utrillas”: Areniscas y conglomerados con intercalaciones arcillosas calcáreas, lutitas rojas y verdes con niveles de arenas y gravas

Se agrupan estas unidades por su similitud litológica, como se deduce de la descripción que sigue.

La unidad C3 está constituida por areniscas y conglomerados fluviales de tonos rojizos, de naturaleza silíceas, que presentan algunas intercalaciones de arcillas de la facies de llanura de inundación. A techo de la unidad dominan las arcillas de tonos rojizos y verdes, con intercalaciones de areniscas silíceas (facies de relleno de canal). También aparecen niveles carbonosos y horizontes lateríticos (óxidos de hierro). De forma similar, la unidad C4 se caracteriza por presentar niveles constituidos por intercalaciones de conglomerados y areniscas de tonos rojizos, que a techo se vuelven más abundantes en lutitas de tonos rojos, grisáceos y ocres. Los términos basales se encuentran bien cementados.

La unidad C6 aparece con mayor desarrollo en la zona sur, a partir de Aguilar de Campoo. Son gravas y conglomerados silíceos (poligénicos en su base), arenas y areniscas pardo-rojizas con alteraciones caoliníferas. Abundan también las lutitas grises y rojas, con areniscas y niveles carbonosos. A techo de las arenas, aparecen términos lutíticos y limolíticos de tonos rojos y verdes, con algunas intercalaciones carbonosas (lignitos). La edad es Aptiense – Albiense. Esta unidad presenta un gran desarrollo en el entorno de Aguilar de Campoo. Por su naturaleza de conglomerados y arenas silíceas escasamente cementados, y el desarrollo frecuente arcilla blanca como producto de alteración de los clastos de feldespato de las arenas, son materiales que no sólo no producen resaltes, sino que afloran en fondos de valle y zonas deprimidas y suelen ser proclives a abarrancamientos y al desarrollo de suelos. .

Se han recopilado los resultados de los ensayos de estas tres unidades. La siguiente tabla recoge los valores máximos, mínimos y medios promediados de las campañas de investigación consultadas de las unidades C3 y Cs. No se dispone de datos de la unidad C4, pero por similitud litológica su comportamiento geotécnico ha de ser similar. A continuación se presentan las tablas de resultados de C3 y C6.

PROYECTO	UNIDAD GEOLÓGICA	VALORES OBTENIDOS	IDENTIFICACIÓN Y ESTADO								RESIST. - DEFORM.	QUÍMICOS					COMPACT.							
			HUMEDAD UNE 103300:1993	DENSIDAD SECA	GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO UNE 103101:1995				LÍMITES DE ATTERBERG UNE 103103:1994 Y 103104:1994			COMPRESIÓN SIMPLE	SULFATOS UNE 103202:1996	MATERIA ORGÁNICA UNE 103204:1993	CARBONATOS UNE 103200:1993	SALES SOLUBLES (NLT-114)	YESOS (NLT-115)	PROCTOR MOD		C.B.R.				
					%	t/m³	5	2	0,4	0,08	LL							LP	IP		qu (kp/cm²)	mg/kg	χ <sub>max</sub> (kN/m³)	Hum op (%)
ESTUDIO INFORMATIVO DEL PROYECTO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA – SANTANDER. TRAMO: VILLAPROVEDO – REINOSA. FASE B. 1:5.000	C3 Conglomerados y areniscas con lutitas rojas	Valor máximo		1.88									26,7											
		Valor mínimo		2.61										3,1										
		Promedio	9,7	2,16						39,3	26,6	12,7	10,7											
Valor máximo		11,5		99,7		92,1	94,4	35	18,8	17,5								2,17	10,1	63,8				
Valor mínimo		2,8		52,3		53,1	8,3	20	13,4	6,7								2,15	5,2	4,8				
Promedio		6,87		80,73		79,34	39,9	27	16,9	10,43			0,01	0,13	0,07			2,16	7,65	34,3				
Valor máximo					100,00	99,70	98,70	48,00	29,60	18,40				0,10		0,06	0,06							
Valor mínimo					37,40	22,00	2,30	0,00	0,00	0,00				0,07		0,03	0,03							
Promedio					89,50	80,48	54,38	18,87	11,55	7,32				0,09		0,04	0,04							
Valor máximo medio		11,5		99,70	100,00	95,90	96,55	41,50	24,20	17,95	26,7		0,10		0,06	0,06		2,17	10,10	63,8				
Valor mínimo medio	2,8		52,30	37,40	37,55	5,30	10,00	6,70	3,35	3,1		0,07		0,03	0,03		2,15	5,20	4,8					
Promedio global	8,285	2,16	80,73	89,50	79,91	47,14	28,39	18,35	10,15	10,7		0,01	0,11	0,07	0,04	0,04	2,16	7,65	34,3					

CAMPAÑA	Referencias					Identificación										Clasificación	Parámetros Geotécnicos					Ensayos Químicos			
	Sondeo	Muestra	Prof. (m)	Ud.	Golpes N <sub>30</sub>	D. Húmeda (T/m³)	D. Seca (T/m³)	H. Nat. (%)	Tamiz					L. Atterberg (%)			Consistencia Cr	I. Liquidez Li	Porosidad n	I. Poros e	Saturación S	CO <sub>3</sub> %	Mat. Organ.	SO <sub>3</sub> %	
									#20	#5	#2	#0,4	#0,08	LL	LP										IP
El Alar-Santander	S-6	M	4,80-5,25	C6	61	2,36	2,17	8,7	100	100	99	98	89,8	32	13	19	CL	1,23	-0,23	0,19	0,24	97,66			
	S-6	SPT	7,50-7,95	C6	56			11,0	100	100	95	76	65,7	38	17	21	CL	1,29	-0,29						
	S-6	TP	13,00-13,20	C6	--	2,01	1,70	18,7	100	100	100	97	49	0	0	0	SM			0,37	0,58	86,38			
	S-12	SPT	1,50-1,88	C6	R			8,2	100	98	96	80	39,2	22	12	10	SM	1,38	-0,38				1,5	0,4	<0,1
	S-12	SPT	4,50-4,59	C6	R			7,6						0	0	0									
	S-12	SPT	7,60-7,72	C6	R			8,6	100	100	100	86	22												
<b>Nº ensayos</b>					5	2	2	6	5	5	5	5	5	5	5	5	4	3	3	2	2	2	1	1	1
<b>Valor máximo</b>					R	2,36	2,17	18,7	100	100	100	98	89,8	38	17	21	-	1,38	-0,23	0,37	0,58	97,66	1,5	0,4	<0,1
<b>Valor mínimo</b>					56	2,01	1,7	7,6	100	98	95	76	22	0	0	0	-	1,23	-0,38	0,19	0,24	86,38	1,5	0,4	<0,1
<b>Promedio</b>					58,50	2,19	1,94	10,5	100	100	98	87	53	18,4	8,4	10	-	1,3	-0,3	0,28	0,41	92,02	1,5	0,4	<0,1

**Características de identificación y estado**

Tal y como muestran los valores de los ensayos realizados esta unidad tiene carácter tanto cohesivo como granular, ya que la dispersión dada la heterogeneidad del grupo es amplia. Para unificar valores, tomaremos el valor medio del porcentaje que pasa por el tamiz UNE 0,08, que da un resultado del 47,14 %, por lo que lo consideraremos a modo general como cohesivo.

Presentan plasticidad media-baja con valores medios de límite líquido de 28,39 e índice de plasticidad de 10,15. Según la clasificación de Casagrande, estos materiales varían desde CL (arcillas inorgánicas de plasticidad baja o media) a SM (Arenas limosas, mezcla de arena y limo).

En relación a la humedad natural que presenta se ha obtenido un valor medio del 8,3%.

Se adopta como densidad seca característica el valor de 2,16 g/cm<sup>3</sup>. Dado que no se cuenta con ensayos de laboratorio para determinar la densidad aparente de estos materiales, se ha recurrido a información bibliográfica para adoptar unos valores característicos. A continuación, se incluye la tabla D.26 del CTE-2006 del Ministerio de Fomento, consultada para asignar densidades a los suelos:

Tabla D.26. Valores orientativos de densidades de suelos

Tipo de suelo	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )
Grava	20 – 22	15 – 17
Arena	18 – 20	13 – 16
Limo	18 – 20	14 – 18
Arcilla	16 – 22	14 – 21

En base a esta tabla se han adoptado los siguientes valores de densidad, entre paréntesis se indica el valor medio:

- Densidad aparente: 16-22 kN/m<sup>3</sup> (21 kN/m<sup>3</sup>)

**Características resistentes**

En los tramos lutíticos, el valor de N30 promedio obtenido es de 60. Teniendo en cuenta los golpes de ensayos realizados que no se muestran en la tabla, el resultado medio es de 35 golpes.

Se dispone de algunos ensayos de resistencia a compresión simple de los tramos más cementados, obteniéndose un valor medio de 10,76 kp/cm<sup>2</sup>, que le confieren consistencia firme.

Los ensayos de compresión simple con medidas deformacionales del sondeo STO-6+670 ofrecen resultados de resistencia máxima de 31 kp/cm<sup>2</sup>, Deformación (microstrain) 1109, Módulo de Young de 46006,9 (kp/cm<sup>2</sup>) y Coeficiente de Poisson 0,34.

**Características químicas**

El valor medio obtenido en los ensayos de sulfatos solubles es muy bajo (valor medio = 0,01 mg/kg), por lo que presenta una exposición nula y no se estima necesario el uso de cementos sulforresistentes.

En ningún caso se han obtenido valores de materia orgánica superiores al 1%, presentando un contenido medio del 0,11%.

**Aprovechamiento y reutilización**

En base a los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio para esta unidad, según PGP 2011.V2 se clasifica como apto para núcleo y cimiento de terraplén y según PG-3 se trata de un suelo tolerable apto para el mismo uso, no obstante, esta estimación debe completarse con ensayos de laboratorio no realizados en fases de estudio previas tales como hinchamiento libre y colapso.

En cuanto a la reutilización, la fracción más resistente podría reutilizarse como Pedraplén y Todo-uno, exclusivamente en los tramos de areniscas y conglomerados que suponen el 50% de la unidad C3

La capacidad portante es media, con tramos blandos en las lutitas que pueden generar asientos a partir del aporte lateral de agua desde las arenas, areniscas o conglomerados.

El comportamiento geotécnico es según su naturaleza. Por un lado, los tramos de areniscas y conglomerados serán ripables y volables cuya estabilidad en desmonte estará controlada por diaclasado. Presentarán buena capacidad portante. La permeabilidad puede ser media o localmente elevada en función de la cementación, fracturación y cantidad de intercalaciones de lutitas.

Los tramos de lutitas son en principio fácilmente excavables, y mediante retroexcavadora los metros más superficiales; estos tramos pueden presentar problemas debidos a su escasa durabilidad, con la generación de inestabilidades. Se han observado reptaciones y solifluxiones.

Se ha propuesto inclinar los taludes al 3H:2V.

Pueden aparecer problemas geotécnicos como las reptaciones y soliflucción en el macizo, esto puede incrementarse por la influencia negativa de la circulación de agua subterránea. En cuanto a la unidad C4, no se dispone de ensayos de laboratorio en la zona de estudio, pero de su observación se desprenden las siguientes conclusiones:

La unidad se encuentra constituida por lutitas de color verde, gris y pardo, entre las que se pueden apreciar a techo intercalaciones de arenas silíceas y areniscas poco cementadas con granos de cuarzo y glauconita y también niveles decimétricos de calizas margosas y calcarenitas. Por consiguiente, C4 se comportaría como un suelo con intercalaciones rocosas, al igual que C3 y C6.

Pueden aparecer problemas geotécnicos como las reptaciones y soliflucción en el macizo, debido a su carácter poco competente; además, esto puede incrementarse por la influencia negativa de la circulación de agua subterránea. También es destacable su media a baja capacidad portante frente a cimentación superficial de las estructuras a proyectar en este nivel, que mejora en los tramos con intercalaciones de areniscas, conglomerados y calizas.

5.2.1.8. Unidad C5: Conglomerados y areniscas silíceas

Esta unidad principalmente rocosa se caracteriza por presentar niveles constituidos por conglomerados y areniscas compactas de tonos rojizos, que a techo se vuelven más abundantes. Hay escasas intercalaciones de lutitas de tonos rojos, grisáceos y ocre en el tramo medio. Los términos basales y hacia techo se encuentran bien cementados.

La capacidad portante general es alta en los términos rocosos que constituyen la mayor parte de la unidad C5. Respecto a la excavabilidad, los términos rocosos precisan de voladura. Los tramos de lutitas son en principio fácilmente excavables mediante retroexcavadora o mediante ripado previo, pudiendo manifestar problemas debidos a su escasa durabilidad, con la generación de inestabilidades. Se han observado reptaciones y solifluxiones. Por ello se ha propuesto inclinar los taludes al 3H:2V.

Las estaciones geomecánicas realizadas para el presente Estudio dan valores del índice RMR de 52 a 55.

A priori, esta unidad cumple los requisitos para su uso como Pedraplén al 70%.

5.2.1.9. Unidades C7 y C9: Areniscas, calcarenitas, margocalizas y margas con lignito.

Ambas unidades, C7 y C9 se agrupan desde el punto de vista geotécnico por su similitud litológica. Se trata de alternancias de niveles de arenisca y calcarenita e incluso alguna caliza (*caliza con ostreidos, caliza nodulosa*) de color ocre con margas, limolitas y lutitas. Las margas son de color verde, gris y pardo

Otra litología destacable dentro de esta unidad son los niveles de acumulación de materia orgánica vegetal, los cuales varían entre margas negras a lutitas carbonosas con intercalaciones lignitíferas.

Hay pocos ensayos de laboratorio disponibles sobre las unidades C7 y C9 en la zona de proyecto.

El comportamiento geotécnico de la unidad depende de la litología. En general la capacidad portante es media-alta, salvo los tramos margosos y lutíticos, en los que podría ser inferior.

Los tramos rocosos tendrán una estabilidad en desmonte controlada por su diaclasado, aunque en principio esta unidad también tiene tramos de suelo o roca muy blanda que pueden producir solifluxiones y problemas erosivos con facilidad. En general y salvo tramos asociados a fracturas o fallas, estos materiales tendrán un RMR elevado por lo que sólo se espera alguna cuña en túneles

La excavación será en general mediante voladura o con martillo picador en la caliza, y mediante ripado previo en los tramos con intercalaciones de areniscas, lutitas, margas y calizas. Con retroexcavadora en los metros más superficiales de las lutitas y margas. Se propone inclinar los taludes al 3H:2V.

La unidad C7 se clasifica como No Utilizable debido a la presencia de margas con lignito, por lo que será retirada a vertedero. Respecto de C9, la parte caliza de esta unidad se podrá reutilizar como Todo-uno o Pedraplén al 40%, debiendo ser los términos margosos retirados a vertedero.

5.2.1.10. Calizas, calizas nodulosas y biocalcarenitas, C8, Calizas grises, dolomías y biocalcarenitas grises y ocre, C10.

Estas dos formaciones rocosas, muy competentes, forman sendos resaltes en el relieve. La litología predominante es calizas: caliza nodulosa bioclástica, caliza masiva con cemento esparítico, caliza arenosa bioclásticas, caliza ferruginosa. En ocasiones aparecen dolomitizadas. La unidad C10 incluye una intercalación margosa relativamente potente.

Esta unidad, presenta karstificación en algunas zonas, que da lugar a estructuras exokársticas como dolinas con un gran desarrollo en la mesas o loras. Este fenómeno aporta un alto grado de permeabilidad a la formación allí donde se presente.

Los ensayos de laboratorio disponibles sobre las unidades C8 y C10 en la zona de proyecto se refieren principalmente a la citada intercalación margosa, aunque también hay algunos ensayos de la resistencia a compresión simple de las calizas, cuya media es de 270 Kg/cm<sup>2</sup>.

Respecto de la marga, la tabla que sigue resume los ensayos recopilados

PROYECTO	UNIDAD GEOLÓGICA	VALORES OBTENIDOS	IDENTIFICACIÓN Y ESTADO							RESISTENCIA - DEFORMABILIDAD	
			DENSIDAD SECA t/m <sup>3</sup>	GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO UNE 103101:1995				LÍMITES DE ATTERBERG UNE 103103:1994 y 103104:1994			COMPRESIÓN SIMPLE
				5	2	0,4	0,08	LL	LP	IP	qu (kp/cm <sup>2</sup> )
ESTUDIO INFORMATIVO DEL PROYECTO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA – SANTANDER. TRAMO: VILLAPROVEDO – REINOSA. FASE B. 1:5.000	C10	Valor máximo	2,4	100	99,9	99,1	39,3	23,5	17,16		
		Valor mínimo	1,98	97	30	8,68	18,24	12,8	3,6		
		Promedio	2,17	100	99,6	89,13	51,1	27,7	17,16	11,26	19,6

En general la capacidad portante es media a alta La unidad se considera ripable y excavable en los primeros metros más meteorizados, siendo necesaria voladura en los términos calizos más sanos. Se recomienda inclinar los taludes al 3H:2V.

Los taludes en caliza, que serán mayoría tendrán una estabilidad en desmonte controlada por su diaclasado, por la alteración superficial (especialmente las facies nodulosas con cemento



- Ensayo triaxial CU: de 0,20 a 1,40 con media de 0,80 t/m<sup>2</sup> y de 28,20 a 30,20° con media de 29,20°.

Persiste cierta incertidumbre sobre la expansividad de esta unidad. Algunos ensayos de hinchamiento libre tuvieron un valor medio de 5,66%, y el valor medio de presión de hinchamiento obtenido fue 0,52 kp/cm<sup>2</sup> dando un grado de expansividad baja a media.

El índice de colapso medio es del 0,07% equivalente a riesgo bajo.

Los resultados medios de los ensayos de consolidación en edómetro son: e<sub>0</sub>= 0,26; C<sub>c</sub>=0,06; C<sub>s</sub>=0,03; σ<sub>p</sub>'= 0,70 kp/cm<sup>2</sup>.

**Características químicas**

Se dispone de ensayos para determinar el contenido en sulfatos solubles y materia orgánica. En ningún caso se han obtenido valores de materia orgánica superiores al 1%, presentando un contenido medio del 0,35%.

Respecto a los valores obtenidos en los ensayos de sulfatos solubles, el valor medio obtenido ha sido de 0,02 %, por lo que se no estima necesario el uso de cementos sulforresistentes.

**Aprovechamiento y reutilización**

En base a los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio para esta unidad, según PGP 2011-V2 se clasifica como no apto y según PG-3 se trata de un suelo inadecuado por lo que se recomienda su retirada a vertedero.

La formación es excavable mediante retroexcavadora o mediante ripado previo, aunque no se descarta la aparición de algún nivel arenoso o conglomerático cementado, que requiera ripado para su arranque. Se recomienda inclinar los taludes al 3H:2V.

**5.2.2.2. Unidades M1, M3 "Facies Grijalba-Villadiego" "Facies Alar del Rey" Gravas y arena, ocasionalmente cementadas.**

Se trata de depósitos masivos de cantos angulosos y bloques calcáreos, con cemento carbonatado. Por otro lado, aparecen conglomerados con cantos redondeados, calcáreos, con algún canto silíceo, en capas de morfología con tendencia tabular, con superficies erosivas internas. El material está también cementado por carbonato, y la matriz arenosa de naturaleza calcárea – silíceo es escasa. Hacia el sur aumenta la proporción de grava silíceo y de matriz, apareciendo los conglomerados poligénicos con menor proporción de cantos carbonatados y niveles de arena gruesa, constituyendo secuencias de relleno de canal.

La siguiente tabla recoge los valores máximos, mínimos y medios promediados de las campañas de investigación consultadas:

PROYECTO	UNIDAD GEOLÓGICA	VALORES OBTENIDOS	IDENTIFICACIÓN Y ESTADO										RESISTENCIA - DEFORMABILIDAD					VOLUMÉTRICOS				QUÍMICOS					COMPACT.											
			HUMEDAD LÍNEA 103300:1993	DENSIDAD SECA	DENSIDAD APARTE DE UN SUELO LÍNEA 103302:1994	PESO ESPECÍFICO LÍNEA 103302:1994	GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO LÍNEA 103101:1995					LÍMITES DE ATTERBERG LÍNEA 103103:1994 Y 103104:1994			COMPRESIÓN SIMPLE		CORTE DIRECTO	ENSAYO TRIAXIAL	HINCHAMIENTO LIBRE (%)	PRESIÓN DE HINCHAMIENTO (kPa)	IC (%)	CONSOLIDACIÓN EN EDÓMETRO			SULFATOS LÍNEA 103202:1996	MATERIA ORGÁNICA LÍNEA 103204:1993	CARBONATOS LÍNEA 103200:1993	SALES SOLUBLES (NIT-114)	YESOS (NIT-115)	PROCTOR NORMAL		PROCTOR MOD		C.B.R.				
							20	5	2	0,4	0,08	LL	LP	IP	qu (kp/cm <sup>2</sup> )	Def. (%)						C (t/m <sup>2</sup> )	φ (°)	C' (t/m <sup>2</sup> )						φ' (°)	%	kPa	%	Cc	Cs	σ <sub>p</sub> ' (kp/cm <sup>2</sup> )	%	%
ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA - SANTANDER. TRAMO: PALENCIA - ALAR DEL REY	M1 + M2	Valor máximo	30,30	2,05	2,28	2,78	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	70,00	33,00	39,00	13,70	11,00			8,50	35,30	7,30	58,80	0,12	0,06	0,04	1,50	0,16	0,70	79,00	2,80	6,20	1,98	20,60	2,00	15,20	10,00	10,00	
		Valor mínimo	4,90	1,44	2,11	2,71	99,00	10,00	63,00	52,00	23,40	21,00	15,00	3,00	0,10	4,00			0,70	17,10	4,40	9,80	0,07	0,06	0,01	0,60	0,01	0,00	4,46	0,26	0,00	1,59	10,00	1,84	10,90	1,00	2,00	
		Promedio	16,57	1,83	2,18	2,75	99,99	97,76	96,64	93,87	84,90	42,21	22,77	19,42	5,56	7,30			4,70	24,73	5,85	36,30	0,10	0,06	0,03	1,03	0,06	0,27	21,02	1,11	2,07	1,81	14,78	1,92	13,05	4,53	4,59	
ESTUDIO INFORMATIVO DEL PROYECTO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA - SANTANDER. TRAMO: VILLAPROVEDO - REINOSA. FASE B. 1:5.000	M1 + M2	Valor máximo	16,4											182																								
		Valor mínimo	4,2												51																							
		Promedio	9,28												97,4																							
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN. AUTOVÍA PALENCIA - CANTABRIA. TRAMO VILLAPROVEDO - HERRERA DE PISUERGA.	Facies Alar del Rey + Facies Grijalba-Villadiego	Valor máximo	14,6				100	100	97,3	92,3	84,5	35,4	18,6	16,8											0	0,18	12,1						2,23	11,83	10	44		
		Valor mínimo	3,1				62,5	33,8	30	24,6	11,8	26,1	15,4	10,7											0	0,1	2						2	5,9	2	6		
		Promedio	8,61	2,06			80,9	64,5	61,5	55,8	36,93	30,8	17	13,8											0	0,15	7,05						2,11	8,87	6	25		
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN. AUTOVÍA PALENCIA - CANTABRIA. HERRERA DE PISUERGA - ALAR DEL REY	conglomerática	Valor máximo	18,79		2,37		100	83,36	75,59	64,82	45,67	28,5	17,4	12,7	15,7	1,3	1	45,1								0,4					2,06	11,96			11,6			
		Valor mínimo	5,56		2,23		41,62	27,09	23,95	14,63	9,72	19,6	13	3,77	6,2	0,7	1	45,1												1,956	10,6			10,2				
		Promedio	11,66		2,28		76,81	57,04	51,61	43,15	30,54	24,9	15,5	9,43	10,4	1,03	1	45,1								0,15				2,012	11,12			11				
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN. AUTOVÍA PALENCIA - CANTABRIA. TRAMO ALAR DEL REY - PUEBLA DE SAN VICENTE.		Valor máximo	10,88	2,6			66,00		40,70	47,97	27,10	18,20	11,80	18,2											0	0,3	65,3				2,2	10,1			25,4			
		Valor mínimo	4,20	2,4			24,97		17,30	9,80	16,40	13,20	1,40	5,1											0	0,2	4,3				2,1	6,7			10,8			
		Promedio	6,81	2,44			44,71		29,59	26,81	22,69	14,89	7,80	9,7																2,16	8,35			15,1				
		Valor máximo medio	18,19	2,33	2,33	2,78	100,00	87,34	90,96	74,46	69,54	40,25	21,79	20,08	57,40	6,15	1,00	45,08	8,50	35,30	7,30	31,85	0,12	0,06	0,04	1,50	0,05	0,40	52,13	2,80	6,20	2,02	16,28	2,14	12,38	10,53	26,47	
		Valor mínimo medio	4,39	1,92	2,17	2,71	67,71	23,97	38,98	27,13	13,68	20,78	14,14	4,72	15,60	2,35	1,00	45,08	0,70	17,10	4,40	7,35	0,07	0,06	0,01	0,60	0,00	0,08	3,59	0,26	0,00	1,77	10,30	1,98	7,83	4,40	6,27	
		Promedio global	10,59	2,11	2,23	2,75	85,90	66,00	69,92	55,60	44,80	30,16	17,54	12,61	30,77	4,17	1,00	45,08	4,70	24,73	5,85	20,60	0,10	0,06	0,03	1,03	0,05	0,21	20,97	1,11	2,07	1,91	12,95	2,06	10,09	7,18	14,89	

La unidad geotécnica constituye un macizo de calidad media, que en taludes de desmonte es bastante estable, presentando problemas de caída de bloques y chineos. Puede presentar alguna cuña o bloque de grandes dimensiones por lo que necesitaría de bulonaje ocasional. Se recomienda inclinar los taludes entre 1H:1V para tramos más cementados y 3H:2V para los de suelos.

Las areniscas y lutitas se presentan intercaladas entre las arenas y conglomerados. El tramo es fácilmente excavable, salvo las intercalaciones de conglomerados o areniscas muy cementados con los que es necesario el uso de martillo. La capacidad portante de estas intercalaciones es más baja, pudiéndose producir asientos en los tramos más blandos en zonas de vaguada o en el

entorno de capas permeables que aportan agua a la arcilla encajante. La capacidad portante es alta en general.

En la autovía A-67 se ha observado un talud de desmonte de considerable altura (30 m) excavados en este material, con una inclinación de 2H:1V. En él se observan acanaladuras por erosión del agua, y humedades procedentes de los niveles permeables de areniscas. En caso de que estos aportes sean elevados (al ser mayor la proporción de niveles acuíferos) pueden ser generadores de inestabilidades en el talud.

Las principales características geotécnicas del grupo son las siguientes:

#### **Características de identificación y estado**

El valor medio del porcentaje que pasa por el tamiz UNE 0,08, que da un resultado del 44,80 %, por lo que se puede decir que predominan los tramos con naturaleza cohesiva con respecto a la granular. No obstante, se ha de tener en cuenta, que el muestreo es mayor siempre en niveles cohesivos y puede ser que debido a ello la fracción fina aparezca como mayoritaria.

Presentan **plasticidad baja** con valores medios de límite líquido de 30,16 e índice de plasticidad de 12,61. Según la clasificación de Casagrande estos materiales pertenecen al grupo CL (arcillas inorgánicas poco plástica o de plasticidad media).

En relación a la humedad natural que presenta se ha obtenido un valor medio del 10,59%. Presenta densidad seca media con valor de 21,1 kN/m<sup>3</sup>, densidad aparente media de 22,3 kN/m<sup>3</sup> y peso específico de 27,5 kN/m<sup>3</sup>.

#### **Características resistentes y deformacionales**

El valor medio tanto en los golpes de las muestras inalteradas como en el ensayo NSPT se sitúa por encima de 50 golpes, dando valores de rechazo en todos los casos.

Se dispone de ensayos de resistencia a compresión simple, obteniéndose un valor medio de 30,77 kp/cm<sup>2</sup> que le confieren consistencia dura (roca).

Se obtienen los siguientes valores de los ensayos de corte directo y triaxiales realizados:

- Corte Directo: con 1 T/m<sup>2</sup> de cohesión y 45,08° de ángulo de rozamiento.
- Ensayo triaxial CU: de 0,70 a 8,50 con media de 4,70 t/m<sup>2</sup> y de 17,10 a 35,30° con media de 24,73°.

Los resultados de los ensayos de hinchamiento libre oscilan entre 4,40 a 7,30%, con 5,85% de media, y valor medio de presión de hinchamiento de 20,60 kPa con un valor de expansividad **media a alta**. Algunas muestras de estas arcillas, contienen fracciones ricas en esmectitas o arcillas de naturaleza expansiva, por lo que en fases posteriores de Proyecto habrá que investigar esta característica para determinar su alcance.

El índice de colapso medio es del 0,10% por lo que presentan un grado de colapso bajo a medio.

Los resultados medios de los ensayos de consolidación en edómetro son: Cc=0,06; Cs=0,03;  $\sigma'_p=1,03$  kp/cm<sup>2</sup>.

#### **Características químicas**

Se dispone de ensayos para determinar el contenido en sulfatos solubles. No se realizaron ensayos para determinar la acidez Baumann-Gully de esta unidad.

En ningún caso se han obtenido valores de materia orgánica superiores al 1%, presentando un contenido medio del 0,21%.

Respecto a los valores obtenidos en los ensayos de sulfatos solubles, el valor medio es de 0,05%, por lo que se no estima necesario el uso de cementos sulforresistentes.

#### **Aprovechamiento y reutilización**

En base a los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio para esta unidad, según PGP 2011-V2 se clasifica como no apto y según PG-3 se trata de un suelo inadecuado. Esto se debe en gran parte a la heterogeneidad y variedad que presenta esta unidad geotécnica y más concretamente a la litología lutítica, que es la que hace que no se cumplan las exigencias requeridas. No obstante, según experiencia sobre el resto de materiales que componen este grupo litológico, se puede precisar que éstos serían aprovechables para rellenos tipo todo-uno y pedraplén dado su avanzado grado de cementación. Por lo que se estima que se podrá reutilizar en gran parte. Este aspecto deberá concretarse mediante los ensayos pertinentes en posteriores fases de proyecto.

##### **5.2.2.3. Unidad M2 "Facies Alar del Rey": Conglomerados cementados y brechas**

Esta unidad es rocosa y muy competente, gracias al alto grado de cementación que presenta el conglomerado. La unidad constituye un macizo rocoso de calidad media-alta, que en taludes de desmonte es bastante estable, presentando problemas de caída de bloques y chineos. Puede presentar alguna cuña o bloque de grandes dimensiones por lo que necesitaría de bulonaje ocasional. Se recomienda inclinar los taludes 1H:1V

Las principales características geotécnicas del grupo son las siguientes:

- Humedad natural: De 4,2 a 16,4 con media de 9,28 %
- Resistencia a compresión simple R.C.S.: De 51 a 182,6 con media de 97,4 kp/cm<sup>2</sup>

Para su excavación es necesario el uso de voladuras. Su capacidad portante es elevada.

##### **5.2.3. Cuaternario**

###### **5.2.3.1. Unidad QAL: Aluvial indiferenciado: arcillas, limos, arenas y gravas.**

Estos materiales pertenecen a los grandes cursos fluviales y están constituidos por gravas y arenas con bastante contenido de finos. Sobre estos depósitos se desarrollan suelos pardos de vega sobre los limos y arcillas de llanuras de inundación.

A continuación, se incluyen los ensayos de laboratorio disponibles sobre la unidad QAL en la zona de proyecto.

CAMPAÑA	Referencias					Identificación									CLASIFICACIÓN USCS / H.R.B	Ensayo edométrico		Comp. Simple		Ensayos Químicos			Proctor Normal		C.B.R. (100% PN)	
	Sondeo	Muestra	Prof. (m)	Ud.	Golpes N <sub>30</sub>	D. Seca (T/m <sup>3</sup> )	H. Nat. (%)	Tamiz				L. Atterberg (%)				C <sub>c</sub>	C <sub>v</sub>	Resist. Kpa	Defor. m. %	Mat. Organ.	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> %	SO <sub>3</sub> %	Dens. max. t/m <sup>3</sup>	H opt. %	Hinch. %	C.B.R.
								#20	#5	#2	#0,08	LL	LP	IP												
El Alar-Santander	S-6	MI	1,20-1,65	QAL	28		5,1	90	63	56	11,3	0	0	0					0,2	< 0,1						
	S-6	SPT	3,00-3,45	QAL	8		9,5	92	61	52	17,3	0	0	0												
PC-A67 PK 105,4-112	SR-1	SPT	2,00-2,60	QAL	2	1,55	24,16				91	38	18	20			100	6			0					
PC A-67 PK 112-120	ST-1	T.M.I.	0.50 – 1.10	QAL	14			100	100	99	54	26,3	14,8	11,5	CL/A-6	0,22	2,3x10 <sup>-4</sup>			0,79						
	ST-1	S.P.T.	1.10 – 1.55	QAL	11																					
	ST-1	T.A.	1.80 – 2.80	QAL	-			88	62	52	15	16,1	12,6	3,5	SM/A-1-B											
	ST-1	S.P.T.	5.10 – 5.55	QAL	26																					
	CT-2	T.A.	0.40 – 2.50	QAL	-		16,9	100	100	100	77	32,6	17,5	15,1	CL/A-6					0,38	0,01	0				
	CT-3	T.A.	0.50 – 2.60	QAL	-		8,8	99	98	97	57	27,4	15,4	12	CL/A-6					1,1						
	CX-5	T.A.	0.20 – 1.60	QAL	-		19,9	100	100	99	52	35,4	17,2	18,2	CL/A-6					0,99	0,02	0	1,68	17,7	1,2	4,17
	CX-6	T.A.	1,10-2,20	QAL	-		10,2	97	90	85	37	26	13,8	12,3	SC/A-6					0,39		0	1,91	11,4	0,2	4,89
PC A-67 PK 120-140	SV2-8+092-I	MI	2,00-2,35	QAL	R					100	85	21,3	19	2,3	CL											
	SV2-8+160-I	MI	2,50-3,10	QAL	g					91	79	40,9	32,2	8,7	CL											
<b>Nº ensayos</b>					14	1	8	9	9	11	12	12	12	12	9	1	1	1	1	7	4	5	2	2	2	2
<b>Valor máximo</b>					R	1,55	24,16	100	100	100	91	40,9	32,2	20	-	0,22	2,3x10 <sup>-4</sup>	100	6	1,5	0,02	0,02	1,91	17,7	1,2	4,89
<b>Valor mínimo</b>					2	1,55	5,1	88	61	52	11	0	0	0	-	0,22	2,3x10 <sup>-4</sup>	100	6	0,2	0,01	0	1,68	11,4	0,2	4,17
<b>Promedio</b>					14	1,55	13,65	96	86	84	55	25,2	15,2	10,0	-	0,22	2,3x10 <sup>-4</sup>	100	6	0,76	0,02	0,014	1,795	14,55	0,7	4,53

Las principales características geotécnicas de este grupo son las siguientes:

Según la clasificación de Casagrande los suelos pertenecen a los grupos SM (Arenas limosas y mezclas de arena y limo), SC (arenas arcillosas y mezclas de arena arcilla) y CL (Arcillas de plasticidad baja a media).

Estos materiales pueden presentar una capacidad portante de media a baja Los golpes de N30 presentan una media de 14, correspondiente a un material firme. en función del contenido de finos, por lo que pueden originarse asentamientos diferenciales. Si está en contacto con el cauce fluvial, el nivel freático puede situarse muy somero y estar sujeto a las fluctuaciones propias del sistema fluvial y afectar a los rellenos o al terreno donde se apoyan las estructuras.

Esta litología será excavable por métodos mecánicos. Se recomienda inclinar los taludes a 3H:2V.

A priori, esta unidad cumple los requisitos para su uso como Terraplén al 60%. Coluviones: lutitas, arenas, cantos y bloques, QCL.

Los coluviales son muy abundantes en la zona de estudio, en particular en las áreas con mayores alturas y pendientes, donde los procesos gravitacionales son más activos. De igual manera y dada la gran difusión de estos depósitos, sólo se han representado las acumulaciones más importantes, dando preferencia a la representación de los sustratos rocosos sobre los que yacen.

Estos depósitos son inestables en desmonte, ya que suelen presentar de forma natural procesos de movimiento a favor de las pendientes donde se apoyan, favorecidos por su falta de cohesión y su permeabilidad. En ocasiones pueden estar cementados y son más estables. Pero en otras ocasiones pueden tornarse inestables al excavar su pie, con lo que se reactivan los movimientos mencionados.

La siguiente tabla recoge los valores máximos, mínimos y medios promediados de las campañas de investigación realizadas:

PROYECTO	UNIDAD GEOLOGICA	VALORES OBTENIDOS	IDENTIFICACIÓN Y ESTADO											RESISTENCIA - DEFORMABILIDAD			VOLUMÉTRICOS		QUÍMICOS						COMPACT.								
			HUMEDAD UNE 103300:1993	DENSIDAD SECA	DENSIDAD APARENTE DE UN SUELO UNE 103301:1994	PESO ESPECÍFICO UNE 103302:1994	GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO UNE 103101:1995					LÍMITES DE ATTERBERG UNE 103103:1994 Y 103104:1994			COMPRESIÓN SIMPLE	CORTE DIRECTO		ENSAYO TRIAXIAL	HINCHAMIENTO LIBRE (%)	PRESIÓN DE HINCHAMIENTO (kPa)	SULFATOS UNE 103202:1996		ACIDEZ BAUMAN GULLY (EHE)	MATERIA ORGÁNICA UNE 103204:1993	CARBONATOS UNE 103200:1993	SALES SOLUBLES (NLT-114)	YESOS (NLT-115)	PROCTOR NORMAL		PROCTOR MOD		C.B.R.	
							20	5	2	0,4	0,08	LL	LP	IP		qu (kp/cm <sup>2</sup> )	C (kp/cm <sup>2</sup> )				φ (°)	C' (kp/cm <sup>2</sup> )						%	mg/kg	Y <sub>max</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	Hum op (%)	Y <sub>max</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	Hum op (%)
ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA - SANTANDER. TRAMO: PALENCIA - ALAR DEL REY	QC	Valor máximo	22,50	1,93		2,73	100,00	100,00	100,00	100,00	94,90	40,00	26,00	17,00	4,10					0,48		0,95	38,80			1,96	14,50			10,00	16,00		
		Valor mínimo	5,10	1,64		2,73	100,00	90,00	89,00	85,00	34,00	21,00	15,00	5,00	3,40					0,07		0,30	6,91			1,76	10,80			3,00	4,00		
		Promedio	14,49	1,79		2,73	100,00	97,83	96,67	94,25	78,31	30,83	19,58	11,33	3,75					0,20		0,58	28,75			1,84	13,02			5,60	9,00		
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE PLATAFORMA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA-SANTANDER. TRAMO: PALENCIA-ALAR DEL REY. SUBTRAMO I: PALENCIA - AMUSCO (PALENCIA). PLATAFORMA	QC	Valor máximo	22,40	1,96	2,21	2,66	100,00	100,00	100,00	100,00	88,00	37,00	23,00	16,00		0,40	30,00	0,19	1,60	0,25	0,80	0,03	5,00	0,60	27,60	0,40	1,40			1,96	12,38	5,70	9,68
		Valor mínimo	7,00	1,70	2,07	2,37	89,00	86,00	84,00	81,00	22,00	0,00	0,00	0,00		0,05	19,00	0,15	0,02	0,00	0,80	0,03	5,00	0,20	25,10	0,40	0,27			1,76	11,58	0,75	5,40
		Promedio	14,28	1,85	2,14	2,56	98,75	97,83	95,64	92,50	73,50	23,00	14,42	8,75		0,23	25,25	0,17	0,81	0,13	0,80	0,03	5,00	0,33	26,35	0,40	0,84			1,89	11,91	4,28	8,28
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN. AUTOVÍA PALENCIA - CANTABRIA. TRAMO ALAR DEL REY - PUEBLA DE SAN VICENTE.	QC	Valor máximo					100		93,1	92,1	42	22,3	25																2,3	5,4	39,8		
		Valor mínimo						44,8		9,6	6,8	19,8	10,4	3,6															2,3	5,4	39,8		
		Promedio						83,58		63,4	53,06	29,2	16,18	13,03							0,0336		1,001	0,44					2,3	5,4	39,8		
		Valor máximo medio	22,45	1,95	2,21	2,70	100,00	100,00	100,00	97,70	91,67	39,67	23,77	19,33	4,10	0,40	30,00	0,19	1,60	0,25	0,64	0,03	5,00	0,78	33,20	0,40	1,40	1,96	14,50	2,13	8,89	7,85	21,83
		Valor mínimo medio	6,05	1,67	2,07	2,55	94,50	73,60	86,50	58,53	20,93	13,60	8,47	2,87	3,40	0,05	19,00	0,15	0,02	0,00	0,44	0,03	5,00	0,25	16,01	0,40	0,27	1,76	10,80	2,03	8,49	1,88	16,40
		Promedio global	14,39	1,82	2,14	2,65	99,38	93,08	96,15	83,38	68,29	27,68	16,73	11,04	3,75	0,23	25,25	0,17	0,81	0,13	0,50	0,03	5,00	0,64	18,51	0,40	0,84	1,84	13,02	2,10	8,65	4,94	19,03

Se dispone de ensayos para determinar el contenido en sulfatos solubles, materia orgánica, sales solubles, yesos y acidez Baumann-Gully de esta unidad.

Las principales características geotécnicas del grupo QCL son las siguientes:

**Características de identificación y estado**

El valor medio del porcentaje que pasa por el tamiz UNE 0,08 da un resultado del 68,29 %, por lo que se consideran cohesivos.

Presentan **plasticidad baja a media** con valores medios de límite líquido de 37,68 e índice de plasticidad de 11,04. Según la clasificación de Casagrande, aunque los valores medios lo clasifiquen como ML y OL, dada la dispersión que presentan, se clasifican mayoritariamente como CL (arcillas inorgánicas poco plástica o de plasticidad media).

En relación a la humedad natural, se ha obtenido un valor medio del 14,39%. Densidad seca media con valor de 18,2 kN/m<sup>3</sup>, densidad aparente media de 21,4 kN/m<sup>3</sup> y peso específico de 26,5 kN/m<sup>3</sup>.

**Características resistentes y deformacionales**

El promedio de los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a compresión simple es de 3,75 kp/cm<sup>2</sup> que le confieren consistencia muy firme.

Se obtienen los siguientes valores de los ensayos de corte directo y triaxiales realizados:

- Corte Directo: con 0,23 kp/cm<sup>2</sup> de cohesión y 25,25° de ángulo de rozamiento.
- Ensayo triaxial CD: con C' de 0,15 a 0,19 con media de 0,17.

Los resultados de los ensayos de hinchamiento libre tuvieron un valor medio de 0,81% y el valor medio de presión de hinchamiento obtenido fue 0,13 kp/cm<sup>2</sup> (12,74 kPa) dando un grado de expansividad bajo.

**Características químicas**

El valor medio obtenido para el grado de acidez Baumann-Gully fue de 5 ml/kg, considerándose el ataque nulo.

En ningún caso se han obtenido valores de materia orgánica superiores al 1%, presentando un contenido medio del 0,64%.

Respecto a los valores obtenidos en los ensayos de sulfatos solubles, el valor medio es 0,5 %, por lo que se estima un ataque medio al hormigón y se recomienda el uso de hormigones sulfurresistentes cuando este se encuentre en contacto con esta unidad.

**Aprovechamiento y reutilización**

En base a los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio para esta unidad, según PGP 2011-V2 se clasifica como apto para núcleo y cimiento de terraplén y según PG-3 se trata de un suelo tolerable apto también para su uso como núcleo y cimiento de terraplén al 60%

Esta litología será excavable por métodos mecánicos y se recomienda inclinar los taludes a 3H:2V.

**5.2.3.2. Unidad QFV: Relleno de Fondo de Vaquada, QFV**

Se ha considerado a esta unidad como depósitos de cursos de agua de pequeña entidad que ocupan generalmente vaguadas rectilíneas excavadas junto a los caminos agrícolas.

Sus depósitos tienen origen mixto y corresponden al pequeño caudal que normalmente circula en sus cauces (aporte longitudinal) como a los sedimentos de arroyada difusa o canalizada que proceden de las vertientes (aportes transversales).

Están constituidos por limos más o menos arenosos, con abundancia de materia orgánica originada en la vegetación que recubre la extensión de terreno que ocupan.

Estos materiales pueden presentar una capacidad portante media a baja, en función del contenido de finos, por lo que pueden originarse asentamientos diferenciales a lo largo del tramo. Al estar en contacto con el cauce, el nivel freático puede situarse muy somero y estar sujeto a las

fluctuaciones propias del sistema fluvial y afectar a los rellenos o al terreno donde se apoyan las estructuras.

La siguiente tabla recoge los valores máximos, mínimos y medios promediados de las campañas de investigación consultadas:

PROYECTO	UNIDAD GEOLÓGICA	VALORES OBTENIDOS	IDENTIFICACIÓN Y ESTADO											RESISTENCIA - DEFORMABILIDAD						VOLUMÉTRICOS				QUÍMICOS					COMPACT.													
			HUMEDAD UNE 103300:1993	DENSIDAD SECA	DENSIDAD APARENTE DE UN SUELO UNE 103301:1994	PESO ESPECÍFICO UNE 103302:1994	GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO UNE 103101:1995					LÍMITES DE ATTERBERG UNE 103103:1994 y 103104:1994			COMPRESIÓN SIMPLE SUELOS		CORTE DIRECTO		ENSAYO TRIAXIAL		HINCHAMIENTO LIBRE (%)	PRESIÓN DE HINCHAMIENTO (kPa)	ENSAYO LAMBE UNE 103600:1996	IC (%)	CONSOLIDACIÓN EN EDÓMETRO		SULFATOS UNE 103202:1996	ACIDEZ BAUMANN GULLY (EHE)	MATERIA ORGÁNICA UNE 103204:1993	CARBONATOS UNE 103200:1993	SALES SOLUBLES (NLT-114)	YESOS (NLT-115)	PROCTOR NORMAL		PROCTOR MOD		C.B.R.					
							20	5	2	0,4	0,08	LL	LP	IP	qu (kp/cm <sup>2</sup> )	Def. (%)	C (kp/cm <sup>2</sup> )	φ (°)	C (kp/cm <sup>2</sup> )	φ (°)					C (kp/cm <sup>2</sup> )	φ (°)							Cc	σ'p (kp/cm <sup>2</sup> )	%	mg/kg	Y <sub>max</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	Hum op (%)	Y <sub>max</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	Hum op (%)	95%	100%
ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA - SANTANDER. TRAMO: PALENCIA - ALAR DEL REY	QAL (Finos)	Valor máximo	25,80	1,91	2,17	2,73	100,00	100,00	100,00	100,00	99,60	52,00	29,00	26,00	4,80	8,00					2,40	28,70	1,00	0,50	0,33	0,11	0,90	1,21			1,24	43,01	0,65	3,14	1,97	22,00	2,10	12,00	12,00	38,60		
		Valor mínimo	4,70	1,50	1,98	2,73	86,00	78,00	74,00	66,00	51,30	18,00	14,00	3,00	0,80	8,00					2,40	28,70	0,80	0,50	0,17	0,11	0,90	0,01			0,13	0,22	0,22	0,00	1,58	10,20	1,93	8,40	1,00	2,00		
		Promedio	16,73	1,74	2,08	2,73	99,53	97,96	96,84	94,18	78,94	33,00	20,10	13,00	2,61	8,00					2,40	28,70	0,90	0,50	0,25	0,11	0,90	0,14			0,54	10,33	0,37	0,47	1,77	14,90	2,00	10,13	5,07	9,28		
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE PLATAFORMA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA-SANTANDER. TRAMO: PALENCIA-ALAR DEL REY. SUBTRAMO I: PALENCIA - AMUSCO (PALENCIA). PLATAFORMA	QAL (Finos)	Valor máximo	25,10	2,02	2,49	2,90	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	48,00	26,00	25,00	5,72		0,37	30,00	0,15	28,00	0,90	35,00	2,62	4,00	0,41			2,30	7,20	9,50	0,96	34,00	2,30	8,20			2,06	19,18	6,99	13,00		
		Valor mínimo	10,00	1,66	1,65	2,67	97,00	88,00	83,00	75,00	55,00	0,00	0,00	0,00	0,60		0,19	19,00	0,13	28,00	0,05	15,00	0,00	0,01	0,41			0,04	0,10	3,00	0,07	1,20	2,30	0,00			1,68	8,62	2,36	3,89		
		Promedio	17,94	1,81	2,10	2,75	99,93	99,59	98,78	96,95	87,02	30,05	16,80	13,24	2,10		0,29	24,75	0,14	28,00	0,21	27,80	1,38	0,84	0,41			1,16	1,76	5,56	0,41	17,63	2,30	2,75			1,89	12,47	4,46	7,40		
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE PLATAFORMA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA-SANTANDER. TRAMO: PALENCIA-ALAR DEL REY. SUBTRAMO II: AMUSCO-MARCILLA DE CAMPOS (PALENCIA). PLATAFORMA	QAL (Finos)	Valor máximo	20,90		2,26		100,00	100,00		100,00	100,00	55,00	24,00	33,00	9,20						0,21	24,00			5,00	40,00			2,00			6,00	21,60			1,75	16,90			4,50	7,30	
		Valor mínimo	11,50		1,88		92,00	10,00		69,00	51,00	21,00	14,10	3,00	0,50						0,21	24,00			5,00	0,05			0,01			0,20	8,30			1,75	10,10			3,00	5,00	
		Promedio	16,54		2,14		99,69	94,88		96,00	85,12	34,17	17,83	16,38	4,18						0,21	24,00			5,00	10,13			0,62			2,33	13,40			1,75	13,50			3,75	6,15	
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE PLATAFORMA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA-SANTANDER. TRAMO: PALENCIA-ALAR DEL REY. SUBTRAMO III: MARCILLA DE CAMPOS - VILLAPROVEDO (PALENCIA). PLATAFORMA	QAL (Finos)	Valor máximo	19,30	2,03	2,27	2,72	100,00	100,00	100,00	99,70	97,30	42,60	25,80	22,20	13,79	14,20	0,10	34,00					2,00	0,30					0,15	0,89	0,76	22,25					2,16	8,88			14,40	
		Valor mínimo	6,90	1,53	1,64	2,72	97,80	92,00	88,40	74,40	54,00	0,00	2,00	5,10	0,57	3,30	0,10	34,00					2,00	0,24					0,01	0,89		0,04	1,09					2,16	8,88			14,40
		Promedio	14,56	1,90	2,17	2,72	99,90	99,47	98,94	93,68	79,48	28,58	15,79	13,14	4,45	7,24	0,10	34,00					2,00	0,27					0,05	0,89	0,41	6,70					2,16	8,88			14,40	
		Valor máximo medio	22,78	1,99	2,30	2,78	100,00	100,00	100,00	99,93	99,23	49,40	26,20	26,55	8,38	11,10	0,24	32,00	0,15	28,00	1,17	29,23	1,81	2,17	5,00	10,26	0,11	0,90	1,41	4,05	9,50	2,24	30,22	1,48	5,67	1,86	19,45	2,11	13,35	7,83	18,33	
		Valor mínimo medio	8,28	1,56	1,79	2,71	93,20	67,00	81,80	71,10	52,83	9,75	7,53	2,78	0,62	5,65	0,15	26,50	0,13	28,00	0,89	22,57	0,40	0,84	5,00	0,22	0,11	0,90	0,02	0,50	3,00	0,11	2,70	1,26	0,00	1,67	10,15	1,92	8,63	2,12	6,32	
		Promedio global	16,44	1,82	2,12	2,74	99,76	97,97	98,19	95,20	82,64	31,45	17,63	13,94	3,34	7,62	0,20	29,38	0,14	28,00	0,94	26,83	1,14	1,11	5,00	2,76	0,11	0,90	0,49	1,32	5,56	0,92	12,01	1,34	1,61	1,76	14,20	2,02	10,49	4,43	9,31	

Las principales características geotécnicas de este grupo son las siguientes:

**Características de identificación y estado**

El valor medio del porcentaje que pasa por el tamiz UNE 0,08 da un resultado del 82,64 %, por lo que se consideran cohesivos.

Presentan plasticidad baja con valores medios de límite líquido de 31,45 e índice de plasticidad de 17,63. Según la clasificación de suelos de Casagrande, las características de estos suelos corresponden a CL (arcillas de plasticidad baja a media).

En relación a la humedad natural, se ha obtenido un valor medio del 16,44%. Densidad seca media con valor de 18,2 kN/m<sup>3</sup>, densidad aparente media de 21,2 kN/m<sup>3</sup> y peso específico de 27,4 kN/m<sup>3</sup>.

**Características resistentes y deformacionales**

Se han promediado los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a compresión simple, obteniéndose un valor medio de 3,34 kp/cm<sup>2</sup> que le confiere consistencia muy firme.

Se obtuvieron los siguientes valores de los ensayos de corte directo y triaxiales realizados:

- Corte Directo CD: con 0,20 kp/cm<sup>2</sup> de cohesión y 29,38° de ángulo de rozamiento.
- Ensayo triaxial CD: con C de 0,14 kp/cm<sup>2</sup> y φ de 28,00° y con C' de 0,94 kp/cm<sup>2</sup> y φ' de 26,83°.

Los resultados de los ensayos de hinchamiento libre tuvieron un valor medio de 1,14% y el valor medio de presión de hinchamiento obtenido fue 1,11 kp/cm<sup>2</sup> (108,78 kPa) dando un grado de

expansividad bajo a medio, no obstante, el resultado de los ensayos de expansividad Lambe fue de 5 kp/cm<sup>2</sup> (490kPa) dando un grado de expansividad muy alta. Se recomienda que se contrasten estos resultados con nuevos ensayos de expansividad en fases posteriores.

El índice de colapso medio obtenido fue de 2,76% por lo que existe un riesgo **moderado**. Se recomienda igualmente contrastar esta información en fases posteriores dado el elevado valor de peso específico de esta unidad.

Se obtuvieron los siguientes valores de los ensayos de consolidación en edómetro: Cc=1,11 y σ'p=0,90 kp/cm<sup>2</sup>.

**Características químicas**

Se dispone de ensayos para determinar el contenido en sulfatos solubles, materia orgánica, sales solubles, yesos y acidez Baumann-Gully de esta unidad.

El valor medio obtenido para el grado de acidez Baumann-Gully fue de 5,56 ml/kg, considerándose el ataque nulo.

Se han obtenido valores de materia orgánica superiores al 1%, presentando un contenido medio del 0,92%, por lo que pueden dar lugar a asentamientos secundarios por degradación de la misma. Se recomienda a tener en cuenta a contrastar en próximas fases de proyecto.

Respecto a los valores obtenidos en los ensayos de sulfatos solubles (valor medio = 0,49 %), por lo que se estima un ataque medio al hormigón y se recomienda el uso de hormigones sulfurresistentes en aquellas estructuras que se encuentren en contacto con esta unidad. Es

probable que a lo largo del amplio trazado existan zonas en las que el ataque de esta unidad al hormigón será nulo. Este aspecto deberá revisarse en fases posteriores de proyecto.

#### **Aprovechamiento y reutilización**

En base a los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio para los finos esta unidad, según PGP 2011-V2 se clasifica como no apto y según PG-3 se trata de un suelo marginal, por lo que se recomienda su retirada a vertedero. Sin embargo, dada heterogeneidad de esta unidad no es descartable que en ciertos fondos de vaguada aparezca material más arenoso, por lo que se estima un 40% de suelo tolerable y apto para núcleo y cimiento de terraplén

Esta litología será excavable por métodos mecánicos.

#### 5.2.3.3. Unidad QCD Conos de deyección: lutitas, arenas y cantos.

Se trata de gravas de naturaleza diversa, pero principalmente cuarcítica, con un gran predominio de finos.

Los depósitos de esta naturaleza aparecen desarrollados sobre terrazas, llanuras de inundación y fondos de valle, originados a la salida de pequeños cauces, barrancos y arroyos estacionales que se desarrollan sobre las facies terciarias, por lo que su naturaleza será variable en función de los materiales que drenen; gravas, arenas o finos, aunque principalmente tendrán una composición cuarcítica con gran predominio de finos. Pueden tener un cierto parecido a los materiales anteriores, pero su disposición es más horizontal, y su contenido en finos puede ser muy elevado dependiendo de dónde se ubique la cuenca de recepción.

El nivel freático se encuentra indeterminado, pero en general se considera profundo excepto en suelos blandos dado que en esa situación se presentarán someros, afectando a rellenos y viaductos.

La capacidad portante se considera baja, y la estabilidad en desmonte dependerá de su granulometría, cohesión, y saturación en agua.

Esta litología será excavable por métodos mecánicos. Se recomienda inclinar los taludes a 3H:2V.

No se dispone de ensayos de laboratorio, pero a priori, se ha considerado un suelo tolerable y apto para núcleo y Cimiento de Terraplén al 40%, siendo marginal los términos arcillo-limosos.

#### 5.2.3.4. Unidad QTZ terrazas: Gravas redondeadas en matriz areno-arcillosa.

Se agrupan en esta unidad, por similitud litológica las terrazas de la red fluvial actual y los sedimentos fluviales antiguos (raña) situados en torno a la cota 950-960. Hay ciertas diferencias entre las terrazas de la cuenca del Duero (río Pisuerga) y las de la cuenca del Ebro (ríos Híjar e Izarilla en Reinosa). Respecto a las primeras, tanto las terrazas bajas como las altas están compuestas por gravas silíceas (cantos y granos de cuarcitas, areniscas, cuarzo, y calizas) con una matriz arenosa y mayoritariamente cuarcítica. El espesor está comprendido entre 2 y 4 m. Respecto a las segundas, en la planicie de Reinosa existen unos extensos depósitos de terrazas que son esencialmente arcillosas

A continuación, se incluyen los ensayos de laboratorio disponibles sobre la unidad QTZ en la zona de proyecto:

CAMPAÑA	Referencias					Identificación											Parámetros Geotécnicos					Presión Hincham Kpa	Comp. Simple		Ensayos Químicos			
	Sondeo	Muestra	Prof. (m)	Ud.	Golpes N <sub>30</sub>	D. Húmeda (T/m <sup>3</sup> )	D. Seca (T/m <sup>3</sup> )	H. Nat. (%)	Tamiz					L. Atterberg (%)			Consistencia Cr	I. Liquidez Li	Porosidad n	I. Poros e	Saturación S		Resist. Kpa	Deform. %	CO <sub>3</sub> %	Mat. Organ.	SO <sub>3</sub> %	
									#20	#5	#2	#0,4	#0,08	LL	LP	IP												
El Alar-Santander	S-7	MI	1,80-2,07	QTZ	R	2,62	1,71	6	75	59	52	32	16	21	17	4	3,75	-2,75	0,36	0,57	28,16				0,1	0,06	0	
	S-7	SPT	7,30-7,70	QTZ	R			9,4	100	88	80	57	34	19	13	6	1,60	-0,60										
PC-A67 PK 105,4-112	SE-5	TP	12,60-12,90	QTZ	-		1,71	15,2	100	100	100	98	86	28	20	8						60	540,00	7,00				
	SE-6	MI	3,40-4,00	QTZ	18		1,69	18,1	100	97	91	84	79	33	20	13			0,546						551,7			
	SE-7	MI	3,60-4,20	QTZ	19,8		1,24	36,8	100	100	100	98	96	39	24	15			1,015									
<b>Nº ensayos</b>					5	1	4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	2	2	3	1	1	1	1	1	1	2	1	1
<b>Valor máximo</b>					R	2,62	1,71	36,8	100	100	100	98	96	39	24	15	3,75	-0,60	1,02	0,57	28,16	60	540	7	551,7	0,06	0	
<b>Valor mínimo</b>					18	2,62	1,24	6	75	59	52	32	16	19	13	4	1,6	-2,75	0,36	0,57	28,16	60	540	7	0,1	0,06	0	
<b>Promedio</b>					18,90	2,62	1,59	17,1	95	88,8	84,6	74	62	28	18,8	9,2	2,68	-1,68	0,64	0,57	28,16	60	540	7	275,9	0,06	0	

Las principales características geotécnicas del grupo QTZ son las siguientes:

**Características de identificación y estado**

El valor medio del porcentaje que pasa por el tamiz UNE 0,08 da un resultado del 69,60 %, por lo que se consideran cohesivos.

Presentan **plasticidad baja** con valores medios de límite líquido de 25,47 e índice de plasticidad de 8,54. Según la clasificación de Casagrande se clasifican dentro del grupo como CL-ML.

La capacidad portante suele ser media a baja, en función de los finos que contenga la unidad.

En relación a la humedad natural, se ha obtenido un valor medio del 14,40%. Densidad seca media con valor de 18,0 kN/m<sup>3</sup>, densidad aparente media de 20,7 kN/m<sup>3</sup> y peso específico de 26,8 kN/m<sup>3</sup>.

**Características resistentes y deformacionales**

Se han promediado los resultados obtenidos de los ensayos de resistencia a compresión simple, obteniéndose un valor medio de 2,61 kp/cm<sup>2</sup> que le confiere consistencia muy firme. La capacidad portante suele ser media a baja, en función de los finos que contenga la unidad.

Se obtienen los siguientes valores de los ensayos de corte directo y triaxiales realizados:

- Corte Directo CD: con 0,32 kPa de cohesión y 22,50° de ángulo de rozamiento.
- Ensayo triaxial CD: con C' de 0,12 kPa y φ' de 29°.

El valor medio de los ensayos de presión de hinchamiento obtenido ha sido de 0,48 kp/cm<sup>2</sup> (47,04 kPa) dando un grado de expansividad **bajo a medio**.

**Características químicas**

Se dispone de ensayos para determinar el contenido en sulfatos solubles, materia orgánica, sales solubles, yesos y acidez Baumann-Gully de esta unidad.

El valor medio obtenido para el grado de acidez Baumann-Gully fue de 2 ml/kg, considerándose el ataque nulo.

En ningún caso se han obtenido valores de materia orgánica superiores al 1%, presentando un contenido medio del 0,58%.

Respecto a los valores obtenidos en los ensayos de sulfatos solubles (valor medio < 0,1 %), por lo que se estima un **ataque nulo** al hormigón.

**Aprovechamiento y reutilización**

En base a los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio para esta unidad, según PGP 2011-V2 se clasifica como apto para núcleo y cimiento de terraplén y según PG-3 se trata de un suelo) apto para su uso como núcleo y cimiento de terraplén a falta de ensayos de laboratorio, por lo que se recomienda completar la caracterización con ensayos de hinchamiento, colapso y sales solubles.

No obstante, nuestras propias observaciones de campo, indican que en el valle del Izarilla (Reinosa), las terrazas son esencialmente arcillosas y con gran probabilidad no serán aptas.-

La excavabilidad es fácil y la estabilidad en taludes depende de la cementación y la presencia de agua, aunque son frecuentes las erosiones, chineos, caída de derrubio, etc. Se recomienda inclinar los taludes a 3H:2V.

5.2.3.5. Unidad QRE, antrópico: Rellenos, vertidos, canteras.

Se agrupan aquí tanto rellenos de obras lineales, escombreras mineras, firme y terraplenes de carreteras y autovías importantes, que impiden ver la geología sobre la que se asientan, así como aquellos huecos mineros o de otro origen que se encuentran a lo largo del trazado, que por lo general corresponden a antiguas graveras, que pueden estar parcial o totalmente rellenas de residuos sólidos urbanos y escombros. Por su naturaleza muestran un carácter heterogéneo.

La siguiente tabla recoge los valores máximos, mínimos y medios promediados de las campañas de investigación consultadas:

PROYECTO	UNIDAD GEOLÓGICA	VALORES OBTENIDOS	IDENTIFICACIÓN Y ESTADO										RESIST.-DEFORM.		VOLUMÉTRICOS		QUÍMICOS				COMPACT.								
			HUMEDAD UNE 103300:1993	DENSIDAD SECA	DENSIDAD APARENTE DE UN SUELO UNE 103301:1994	PESO ESPECÍFICO UNE 103302:1994	GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO UNE 103101:1995					LÍMITES DE ATTERBERG UNE 103103:1994 Y 103104:1994			ENSAYO TRIAXIAL		HINCHAMIENTO LIBRE (%)	PRESIÓN DE HINCHAMIENTO (kPa)	SULFATOS UNE 103202:1996		ACIDEZ BAUMAN GULLY (EHE)	MATERIA ORGÁNICA UNE 103204:1993	CARBONATOS UNE 103200:1993	PROCTOR NORMAL		PROCTOR MOD		C.B.R.	
							%	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	t/m <sup>3</sup>	20	5	2	0,4	0,08	LL			LP	IP				C' (kp/cm <sup>2</sup> )	φ' (°)	%	mg/kg	γ <sub>max</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	Hum op (%)
ESTUDIO INFORMATIVO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA - SANTANDER. TRAMO: PALENCIA - ALAR DEL REY	R	Valor máximo	23,70	2,18			100,0	100,0	100,0	99,1	72,00	30,00	43,00					0,51			3,51	35,00	1,98	23,30	2,16	12,40	50,00	95,00	
		Valor mínimo	2,80	1,54			100,0	30,0	29,0	18,0	5,7	17,00	15,00	2,00							0,09	0,00	1,58	9,00	1,90	6,30	1,00	2,00	
		Promedio	11,28	1,80			100,0	91,7	89,1	83,6	65,9	31,13	20,00	11,18							0,57	11,23	1,81	14,18	2,08	8,18	7,59	10,97	
		Desviación Típica	4,59	0,12			0,0	15,4	17,2	19,8	25,0	9,32	3,93	6,04							0,45	8,08	0,11	3,36	0,11	2,23	8,30	14,19	
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE PLATAFORMA DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA-SANTANDER. TRAMO: PALENCIA-ALAR DEL REY. SUBTRAMO I: PALENCIA - AMUSCO (PALENCIA). PLATAFORMA	R	Valor máximo	19,90	1,75	2,10	2,47	100,0	100,0	100,0	99,0	95,0	40,00	21,00	19,00	0,01	30,00	5,05	2,00	0,85	0,02	5,00		18,70			2,09	11,55	7,98	13,90
		Valor mínimo	15,20	1,75	2,10	2,47	100,0	91,0	84,0	75,0	52,0	20,00	14,00	6,00	0,01	30,00	0,00	2,00	0,85	0,02	5,00		7,00			1,89	8,01	4,50	7,91
		Promedio	17,55	1,75	2,10	2,47	100,0	96,0	93,2	88,2	77,2	31,00	17,00	14,00	0,01	30,00	2,53	2,00	0,85	0,02	5,00		13,18			1,98	9,67	6,34	10,39
		Desviación Típica	3,32				0,0	4,6	7,3	11,5	20,3	7,55	2,74	5,00									4,84			0,10	1,78	1,75	3,13
		Valor máximo medio	21,80	1,97	2,10	2,47	100,0	100,0	100,0	99,5	97,1	56,00	25,50	31,00	0,01	30,00	5,05	2,00	0,68	0,02	5,00	3,51	26,85	1,98	23,30	2,13	11,98	28,99	54,45
		Valor mínimo medio	9,00	1,65	2,10	2,47	100,0	60,5	56,5	46,5	28,9	18,50	14,50	4,00	0,01	30,00	0,00	2,00	0,43	0,02	5,00	0,09	3,50	1,58	9,00	1,90	7,16	2,75	4,96
Promedio global	14,42	1,77	2,10	2,47	100,0	93,9	91,1	85,9	71,5	31,07	18,50	12,59	0,01	30,00	2,53	2,00	0,45	0,02	5,00	0,57	12,20	1,81	14,18	2,03	8,92	6,97	10,68		

Las principales características geotécnicas del grupo QRE son las siguientes:

**Características de identificación y estado**

El valor medio del porcentaje que pasa por el tamiz UNE 0,08 da un resultado del 71,5 %, por lo que se consideran cohesivos.

Presentan **plasticidad baja** con valores medios de límite líquido de 31,07 e índice de plasticidad de 12,59. Según la clasificación de suelos de Casagrande, las características de estos suelos corresponden a CL (arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad). No obstante, existe mucha dispersión en los resultados debido a la heterogeneidad de estos materiales.

La capacidad portante suele ser media a baja, pudiendo sufrir asientos diferenciales en función de los finos que contenga la unidad.

En relación a la humedad natural, se ha obtenido un valor medio del 14,42%. Densidad seca media con valor de 17,7 kN/m<sup>3</sup>, densidad aparente media de 21,0 kN/m<sup>3</sup> y peso específico de 24,7 kN/m<sup>3</sup>.

**Características resistentes y deformacionales**

Se obtuvieron los siguientes valores de los ensayos triaxiales:

- Ensayo triaxial CD: con C' de 0,01 kPa y φ' de 30,00°.

Los resultados de los ensayos de hinchamiento libre tuvieron un valor medio de 2,53% y el valor medio de presión de hinchamiento obtenido fue 2,00 kp/cm<sup>2</sup> (194 kPa) dando un grado de expansividad **medio**.

**Características químicas**

Se dispone de ensayos para determinar el contenido en sulfatos solubles, materia orgánica, sales solubles, yesos y acidez Baumann-Gully de esta unidad.

El valor medio obtenido para el grado de acidez Baumann-Gully fue de 5 ml/kg, considerándose el ataque nulo.

Se han obtenido valores de materia orgánica superiores al 1%, presentando un contenido medio del 0,57%, por lo que pueden dar lugar a asientos secundarios por degradación de la misma. Se recomienda a tener en cuenta a contrastar en próximas fases de proyecto.

Respecto a los valores obtenidos en los ensayos de sulfatos solubles (valor medio = 0,45 %), por lo que se estima un **ataque medio** al hormigón y se recomienda el uso de hormigones sulforresistentes en aquellas estructuras que se encuentren en contacto con esta unidad.

**Aprovechamiento y reutilización**

En base a los datos obtenidos en los ensayos de laboratorio para esta unidad, según PGP 2011-V2 se clasifica como no apto debido fundamentalmente al % de hinchamiento libre y según PG-3 se clasifica como suelo tolerable/adecuado apto para núcleo y cimiento de terraplén a falta de ensayos de colapso, yeso y sales solubles; y no apto/marginal los términos arcillo-limosos. No obstante, dada la heterogeneidad de los mismos, se recomienda la retirada de estos a vertedero. Se consideran excavables mediante medios mecánicos, siendo recomendable inclinar los taludes a 3H:2V.

5.3. OBRAS DE TIERRA

5.3.1. Desmontes

El criterio utilizado para establecer la inclinación de los taludes de desmonte no ha sido único, sino que se han tenido en cuenta varios parámetros tales como:

- TIPO DE MATERIAL: Básicamente se han diferenciado tres tipos de materiales:
  - Materiales tipo suelo (arcillas del Keuper, las lutitas de las formaciones Cretácicas y los cuaternarios arcillo – limosos).
  - Rocas (calizas y dolomías jurásicas J1, J2, J3).
  - Materiales mixtos (alternancia de rocas de diferente dureza, suelos con intercalaciones rocosas cretácicas, y calizas con margas de las unidades jurásicas, J4 y J5).
- ALTURA DEL DESMONTE: Se ha tenido en cuenta la altura de los desmontes de cara a asignar una inclinación determinada.

A partir de dichos criterios, se ha elaborado un cuadro resumen en el que se recogen las recomendaciones y posibles usos por unidades con desmontes proyectados:

UNIDADES	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN	EXCAVABILIDAD	POSIBLE APROVECHAMIENTO		TALUD RECOMENDADO DESMOSNTE
				PORCENTAJE APROXIMADO	USOS ESTIMADOS	
T1	Conglomerados, areniscas, y limolitas (Facies Buntsandstein)	Roca	VOLADURA (ripable y excavable niveles limolíticos y zonas alteradas)	70	Pedraplén, Todo Uno	1H:1V
T2	Arcillas rojas ocasionalmente con yeso (Facies Keuper)	Suelo	EXCAVABLE (ripable niveles argilíticos endurecidos)	0	No utilizable	3H:2V
T3	Ofitas	Roca	VOLADURA (puntualmente ripado o pequeña voladura)	100	Pedraplén, Todo Uno	1H:1V
J1	Dolomías, carniolas y calizas	Roca	VOLADURA (ripable y excavable zonas alteradas)	70	Pedraplén, Todo-Uno	1H:1V
J2	Caliza microcristalina bien estratificada a masiva	Roca	VOLADURA (ripable y excavable zonas alteradas)	80	Pedraplén, Todo Uno	1H:1V
J3	Alternancia de margocalizas y margas	Roca dura/Roca blanda	VOLADURA (Ripable en zonas alteradas)	50	Todo-Uno, los bancos de caliza. No aprovechable el resto	1H:1V
J4	Alternancia de margas y calizas microcristalinas, con niveles de, margocalizas y calizas bioclásticas fosilíferas	Roca dura/Roca blanda	RIPADO (Voladura puntual en términos calizos)	0	No utilizable	3H:2V
J5	Lutitas anaranjadas con niveles de conglomerados y areniscas. Niveles de calizas y margas con lutitas (Purbeck Inferior)	Roca dura/Roca blanda	RIPADO (Voladura en términos rocosos)	20	Todo-Uno, terraplén. Exclusivamente de las areniscas y conglomerados.	3H:2V
C1	Areniscas y conglomerados (Purbeck Superior)	Roca dura/Roca blanda	RIPADO (Voladura en términos rocosos)	70	Apto. Los tramos litificados deben ser retirados o sometidos a fragmentación.	3H:2V

<b>C2</b>	Arcillas, lutitas rojas y verdes, conglomerados, areniscas y calizas (Purbeck Superior)	Suelo con intercalaciones rocosas	RIPADO (Voladura en términos rocosos)	0	Apto	3H:2V
<b>C3</b>	Areniscas y conglomerados con intercalaciones arcillosas calcáreas (Facies Weald)	Roca dura/Roca blanda	RIPADO (Voladura en términos rocosos)	50	Pedraplén, Todo-Uno	3H:2V
<b>C4</b>	Lutitas rojas y verdes con niveles de areniscas (Facies Weald)	Suelo con intercalaciones rocosas	RIPABLE (areniscas), EXCAVABLE (lutitas)	30	Todo-uno, Terraplén (Exclusivamente de las areniscas)	3H:2V
<b>C5</b>	Conglomerados y areniscas silíceas con niveles de lutitas	Roca dura/Roca Blanda	RIPABLE Y VOLADURA (puntual en las capas de arenisca y conglomerado más compactas)	70	Pedraplén, Todo-Uno	3H:2V
<b>C6</b>	Arenas, gravas y conglomerados con arcillas versicolores. Facies Utrillas	Suelo con intercalaciones rocosas	EXCAVABLE, RIPABLE (volable niveles areniscosos o conglomeráticos)	50	Apto. Terraplén	3H:2V
<b>C7</b>	Areniscas ocre, calcarenitas, margocalizas y margas con lignito.	Suelo con intercalaciones rocosas	EXCAVABLE, RIPABLE (volable niveles calcareníticos)	0	No utilizable	3H:2V
<b>C8</b>	Calizas, calizas nodulosas y biocalcarenitas	Roca	VOLADURA (ripable y excavable zonas alteradas)	100	Pedraplén	1H:1V
<b>C9</b>	Margas ocre, calcarenitas, margocalizas y margas	Roca dura/Roca blanda	EXCAVABLE, RIPABLE (volable niveles calcareníticos)	40	Pedraplén, Todo-Uno	3H:2V
<b>C10</b>	Calizas grises, dolomías y biocalcarenitas grises y ocre	Roca	VOLADURA (ripable y excavable zonas alteradas)	100	Pedraplén	1H:1V
<b>M1</b>	Gravas y arenas, ocasionalmente cementadas	Suelo ocasionalmente cementado	EXCAVABLE (ripable niveles ocasionalmente cementados)	100	Todo-Uno, Pedraplén (capas muy cementadas)	3H:2V
<b>M2</b>	Conglomerados calcáreos cementados y brechas. "Facies Alar del Rey"	Roca	VOLADURA (ripable y excavable zonas alteradas)	100	Todo-Uno, Pedraplén	1H:1V
<b>M3</b>	Conglomerados poligénicos, areniscas y lutitas rojas. "Facies Grijalba-Villadiego"	Suelo	EXCAVABLE	70	Todo-Uno, Pedraplén (capas muy cementadas)	3H:2V
<b>M4</b>	Lutitas con gravas y arenas. "Facies Grijalba-Villadiego"	Suelo	EXCAVABLE	0	No utilizable	3H:2V
<b>QTB</b>	Travertinos y Tobas	Suelo	EXCAVABLE	0	No utilizable	3H:2V
<b>QAL</b>	Aluviales indiferenciados: Limos, arenas y gravas	Suelo	EXCAVABLE	60	Terraplén	3H:2V
<b>QCL</b>	Coluviones: Lutitas, arenas, cantos y bloques	Suelo	EXCAVABLE	40	Núcleo y cimiento de terraplén	3H:2V
<b>QCD</b>	Conos de deyección: Lutitas, arenas y cantos.	Suelo	EXCAVABLE	40	Núcleo y cimiento de terraplén	3H:2V
<b>QD</b>	Deslizamiento de ladera	Suelo	EXCAVABLE	60	Terraplén	3H:2V
<b>QTZ</b>	Terrazas: Gravas silíceas y arenas	Suelo	EXCAVABLE	40	Núcleo y cimiento de terraplén	3H:2V
<b>QFV</b>	Rellenos de fondo de vaguada: limos, arcillas y arenas	Suelo	EXCAVABLE	40	No apto	3H:2V
<b>QU</b>	Cuaternario antrópico: Zonas urbanas e industriales	Suelo	EXCAVABLE	0	No utilizable	3H:2V
<b>QRE</b>	Cuaternario antrópico: rellenos, vertidos y canteras	Suelo	EXCAVABLE	40	Núcleo y cimiento de terraplén	3H:2V

### 5.3.2. Rellenos

En general, para todos los terraplenes se ha definido una inclinación única de 2H:1V.

Las zonas en las que el trazado atraviesa la unidad QAL, correspondiente a depósitos aluviales y llanura de inundación, se han considerado como potencialmente inundables. En estas zonas de relleno que puedan quedar bajo la cota máxima de inundación, a precisar en fases posteriores de proyecto, se ejecutará con cimiento drenante tipo pedraplén, con un contenido en finos inferior al 5 %, hasta la cota prevista de inundación más un resguardo de 0,50 m. Para esta capa se recomienda un talud 3H:2V.

El proceso de ejecución será el establecido en el PGP 2011 v2, en el que se indica lo siguiente:

*“Cuando el cimiento deba ser permeable o drenante, se aplicarán las especificaciones indicadas para pedraplenes, hasta una cota de cincuenta centímetros (50 cm) por encima de la altura considerada inundable, con rocas no sensibles al agua, coeficiente de Los Ángeles inferior a treinta y cinco (35) y contenido de finos menor de cinco por ciento (5%). En este caso se tendrá en cuenta la posible contaminación si el terreno de apoyo es limoso o arcilloso, dando un espesor amplio a la capa (no menos de sesenta centímetros (60 cm)) o colocando una transición o geotextil con funciones de filtro.”*

Cabe destacar que cuando el terraplén haya de asentarse sobre un terreno en el que existan corrientes de agua superficial o subálvea, se desviarán las primeras y captarán y conducirán las últimas, fuera del área donde vaya a construirse el relleno, antes de comenzar su ejecución.

Se recomienda adoptar un saneo homogéneo de 0,50 m bajo todas las zonas de terraplén.

### 5.4. ESPESOR DE LA CAPA DE FORMA

Como se indica en el Anejo 06. Estudio de materiales, el trazado discurre principalmente sobre suelo tolerable o inadecuado. Por lo tanto, del lado de la seguridad, se ha considerado un espesor de capa de forma uniforme de 60 cm. Este valor deberá revisarse en fases posteriores, con una información más precisa.

### 5.5. CIMENTACIÓN DE VIADUCTOS

#### 5.5.1. Metodología

A continuación, se define el criterio utilizado para el estudio de las cimentaciones de los viaductos contemplados en el Estudio Informativo.

Para cada una de las estructuras se ha analizado el terreno de cimentación, es decir, la unidad geológica donde apoyará la cimentación de la estructura, y la tipología de cimentación, es decir, el tipo de cimentación recomendada:

Para el análisis anterior se ha tenido en cuenta la siguiente información:

- Geología de la zona.
- Caracterización geotécnica de los materiales de la traza.
- Bibliografía consultada respecto a materiales similares y cimentaciones a recomendar.

En cuanto a la tipología de la cimentación se ha seguido el siguiente criterio:

- Cimentación superficial
- Se considera una cimentación superficial mediante zapatas con un empotramiento no menor a su canto.
- En base a la información disponible, se ha recomendado este tipo de cimentación en las unidades jurásicas, cretácicas y terciarias, así como en los cuaternarios de terraza que se ha podido verificar, mediante investigaciones próximas, un importante espesor de gravas.
- Cimentación profunda
- En zonas donde, por la presencia del nivel freático o la profundidad del estrato competente, no sea recomendable el empleo de cimentación superficial, se propone una cimentación profunda. En base a la información disponible, se ha considerado este tipo de cimentación en aquellas zonas en las que se atraviesan materiales cuaternarios. Asimismo, en las estructuras proyectadas para cruzar ríos de cierta entidad se ha recomendado cimentación profunda mediante pilotes por considerarla necesaria para evitar los posibles problemas de socavación.
- La longitud definitiva de los pilotes, así como su diámetro, se definirá en las siguientes fases de proyecto una vez investigados los espesores de los aluviales de los ríos, así como la estratigrafía y caracterización geotécnica de las zonas donde se proyectarán las estructuras.

### 5.6. AGRESIVIDAD DEL SUELO AL HORMIGÓN

En la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08) se prevén los tipos de exposición que se indican en las tablas que se incluyen a continuación.

En el caso del suelo, atendiendo al contenido de mg de ión sulfato por kg de suelo seco y el grado de acidez Baumann-Gully, se obtienen los siguientes intervalos de valores para determinar el tipo de exposición resultante según EHE:

Parámetro	Tipo de exposición			
	Ataque nulo (Ila)	Ataque débil (Qa)	Ataque medio (Qb)	Ataque fuerte (Qc)
Ión sulfato (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /kg)	<2.000 p.p.m (<0.2%)	2.000–3.000 p.p.m. (0.2 – 0.3 %)	3.000 – 12.000 p.p.m. (0.3 – 1.2 %)	>12.000 p.p.m. (>1.2 %)
Grado de Acidez Baumann-Gully (ml/kg)	<200	>200	(*) Estas condiciones no se dan en la práctica	(*) Estas condiciones no se dan en la práctica

Tipo de exposición del agua freática en función de los resultados del ensayo para determinar la agresividad según EHE:

Ensayo	Tipo de exposición			
	Ataque nulo (Ila)	Ataque débil (Qa)	Ataque medio (Qb)	Ataque fuerte (Qc)
pH	> 6.5	6.5 – 5.5	5.5 – 4.5	< 4.5
MAGNESIO (mg Mg <sup>2+</sup> /l)	< 300	300 – 1000	1000 – 3000	> 3000
SULFATO (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l)	< 200	200 – 600	600 – 3000	> 3000
AMONIO (mg NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> /l)	< 15	15 – 30	30 – 60	> 60
CO <sub>2</sub> (mg/l)	< 15	15 – 40	40 – 100	> 100
RESIDUO SECO (mg/l)	> 150	75 – 150	50 - 75	< 50

Ataque NULO
  Ataque DEBIL
  Ataque MEDIO
  Ataque FUERTE

Para investigar la agresividad del suelo y agua frente al hormigón, se ha analizado la información geotécnica de los proyectos previos realizados en la zona.

A continuación se analizan los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio realizados a tal efecto:

### 5.6.1. Agresividad del terreno

Se ha elaborado un cuadro a partir de la información consultada en proyectos previos, en el que se indica el tipo de exposición para algunas de las unidades geotécnicas afectadas, obtenidos a partir de las muestras de suelo ensayadas:

CAMPAÑA	Sondeo	Litotipo	Profundidad	%SO4	Tipo de Exposición
E.I. Villaprovedo-Reinosa	STO 11+500	T2	15,55 - 16,00	3	Fuerte
	STO - 11+500	T2	22,70 - 23,00	ND	Nulo
	STO - 11+500	T2	23,00 - 23,60	6	Fuerte
	STO - 14+450	J5	30,40 - 30,90	ND	Nulo
	STO - 14+450	J5	26,35 - 26,70	0	Nulo
	STO - 14+450	J5	22,20 - 22,50	ND	Nulo
	STO - 14+450	J5	11,20 - 11,45	ND	Nulo
PC A67 PK 112-120	ST-1	C2	6,00-6,20	0,01	Nulo
	ST-1	C2	8,40-8,60	0,12	Nulo
	SD-1	C2	1,50-1,70	0,02	Nulo
	SD-1	C2	3,20-3,40	0,03	Nulo
	SD-1	C2	9,00-9,70	0,02	Nulo
	SD-1	C2	12,10-12,30	0,04	Nulo

CAMPAÑA	Sondeo	Litotipo	Profundidad	%SO4	Tipo de Exposición
	SD-2	C2	2,40-2,60	0,01	Nulo
	SD-2	J5	8,50-9,00	0,03	Nulo
PC A67 PK 120-140	SV2-8+092-I	J1	8,50-8,80	0,497	Medio
	SV2-8+092	T2	12,20-12,50	17,78	Fuerte
	SV2-8+092	T2	13,90-14,50	12,53	Fuerte
	SV2-8+160	T2	8-8,22	17,75	Fuerte
	SV2-8+297-I	T2	3,80-4,40	4,51	Fuerte
	SV2-8+297-I	T2	7,30-7,71	2,99	Fuerte
	SV2-8+360-D	T2	2,80-3,10	0,18	Nulo

Estos resultados deberán verificarse en fases posteriores de proyecto.

### 5.6.2. Agresividad del agua

Se dispone únicamente de una muestra de agua analizada en sondeos realizados en el E.I. Villaprovedo – Reinosa. Se han obtenido los siguientes resultados:

Ensayo	Resultados	
	E.I. Villaprovedo-Reinosa	
	SAR-12+400	STO-11+500
pH	7,3	7,4
IÓN MAGNESIO (mg Mg <sup>2+</sup> /l)	16	146
IÓN AMONIO (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) (mg/l)	1	1
IÓN SULFATO (mg SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /l)	38	1017
CO <sub>2</sub> AGRESIVO (mg/l)	0	0
RESIDUO SECO (mg/l)	495	1847

Para una correcta tramificación en función de la agresividad de agua y terreno, deberán realizarse los ensayos necesarios en fases posteriores de proyecto.

## 6. RIESGOS GEOLÓGICOS Y GEOTÉCNICOS

### 6.1. ASPECTOS GENERALES

La zona de estudio se ubica en un área heterogénea estructural y litológicamente, que incluye al menos dos grandes unidades geológicas: La Cuenca del Duero y la Cordillera Cantábrica, y más en concreto, la denominada Banda Plegada.

De la Cuenca del Duero, afloran en la zona de estudio solo unidades litológicas del Terciario: facies fluviales proximales, de conglomerados, arenas y arcillas, tectonizados en su borde Norte (en el contacto con la Banda Plegada), pero que pasan rápidamente a estar subhorizontales hacia el Sur.

Respecto de los materiales del Terciario, los riesgos son bajos. Se han citado anteriormente:

- Posible existencia de arcillas expansivas (expansividad moderada) en la denominada Facies Grijalba-Villadiego o M1
- Caída de algún bloque por socavación de la base de la alternancia de litologías competentes y poco competentes (arenisca+conglomerado-arcilla), en las unidades M1 y M3
- Caída de cuñas en macizos rocosos diaclasados de la unidad M2

La Banda Plegada está compuesta principalmente por rocas del Jurásico y Cretácico y se caracteriza por la presencia de varias zonas muy tectonizadas. La poco competente facies Keuper (T2) actuó frecuentemente como nivel de despegue de grandes cabalgamientos. También se han localizados cabalgamientos menores (algunos no representados en la cartografía previa) a favor de formaciones margosas poco competentes de Jurásico y del Cretácico.

Ya se han citado anteriormente los posibles riesgos geológicos que presentan las formaciones jurásicas y cretácicas, resumiéndose a continuación:

- Expansividad presenta la facies Keuper T2 por la posible presencia de anhidrita. También pueden tener cierta expansividad algunas formaciones margosas del Jurásico (J3, J4, J5) y cretácicas (C7, C9)
- Asientos diferenciales. En formaciones con alternancia de capas competentes y poco competentes, como la facies Purbeck (C1, C2)
- Socavación de capas poco competentes y caída de bloques. En desmontes existe el riesgo de inestabilidad en los tramos lutíticos en las proximidades de los aportes hídricos desde los términos permeables, riesgo de erosión diferencial y descalce de capas resistentes con deslizamiento planar o caída de bloques. Unidades J5, C1, C2, C3, C4, C6.
- Las formaciones jurásicas J1 y J2, así como las cretácicas C8 y C10 son propensas a la karstificación. En la zona del Puerto de Pozazal aparecen con profusión los materiales

jurásicos J1, J2 y J3. Se ha observado que en general se presentan bastante tectonizados y salvo los tramos más margosos de J3, frecuentemente karstificados.

- La facies Utrillas C6 y así como la unidad C8 presentan niveles de lignitos que han sido explotados localmente. Son lignitos de baja calidad, con muchas cenizas, pero su existencia puede conllevar el riesgo de presencia de gas metano en alguna de las formaciones permeables adyacentes.
- Las carniolas de la formación J1 suelen presentar una estructura caótica, suelo abundante, baja resistencia y, por tanto, la problemática asociada a estas características: caídas de bloques y en masa en zonas poco cohesivas, suelos y detritus en karst, aportes hídricos generalizados, etc.
- Respecto de la agresividad potencial al hormigón de las obras de fábrica, solamente la unidad T2 tiene este riesgo, debido a su contenido en yeso
- Las unidades cuaternarias aluviales QAL, QtZ y QFV pueden presentar riesgo de encharcamiento si están a cota muy baja o bien yaciendo sobre materiales impermeables, como es la facies Keuper T2.
- Los materiales aluviales y de terrazas aluviales pueden presentar asientos importantes en los grandes rellenos, si intercalan algún nivel de arcilla o limo. En la zona de Reinosa el trazado atraviesa terrazas explotadas que apoyan sobre arcillas del Keuper y además el nivel freático está superficial, con lo que podrían producirse importantes asientos.
- Los depósitos coluviales y los de conos de deyección son frecuentes en laderas rocosas y pueden ser inestabilizados durante la excavación de los taludes de desmonte.

### 6.2. ANÁLISIS DE RIESGOS

La zona de estudio presenta una gran variedad de unidades geoestructurales. En base a la problemática potencial que podrían presentar, los riesgos considerados como de mayor importancia, y que podrían condicionar el trazado de la línea son los siguientes:

#### 6.2.1. Riesgos debidos a la litología

##### 6.2.1.1. Suelos, rocas y aguas agresivas.

Como es sabido, los terrenos yesíferos son muy problemáticos por el ataque al hormigón de las obras de fábrica que produce el ion sulfato. Si existe además halita, las aguas salinas procedentes de su disolución pueden generar corrosión de las estructuras metálicas y las armaduras.

En la zona de estudio la unidad T2, Keuper, puede contener yeso, además de otros minerales salinos como anhidrita y halita.

### 6.2.1.2. Suelos y rocas expansivos

La expansividad de las rocas y los suelos es un problema geológico que puede tener diversos orígenes. En la zona de estudio, pueden presentar expansividad las lutitas de la unidad C5, así como las arcillas de T2.

### 6.2.1.3. Karstificación

Este tipo de riesgo está asociado a los procesos de disolución de rocas o suelos que producen asentamientos o subsidencias del terreno, y un aumento enorme de la permeabilidad. Se da en litologías solubles, tales como rocas calcáreas, yeso o rocas salinas. En nuestra zona de estudio hay importantes formas kársticas en las calizas del Jurásico. Además, y aunque no tenemos referencia de ello, podría haber riesgo de karst en los yesos de la facies Keuper.

El riesgo de karstificación se da en las siguientes unidades: T2 (yeso), J1, J2, ocasionalmente J3, C8 y C10

### 6.2.1.4. Suelos blandos

Los suelos blandos se suelen dar en litologías arcillosas muy plásticas o que contiene abundante materia orgánica: Las unidades que pueden presentar estas características son:

- Limos arcillosos y arenosos de los rellenos de fondo de vaguada, QFV.
- Conglomerados, areniscas, calizas y margas con lutitas, J5.
- Dolomías, carniolas y caliza de la unidad J1 en sus zonas de alteración.
- Arcillas con yesos del Triásico. Facies Keuper T2, cuando están alteradas en superficie

### 6.2.1.5. Asientos diferenciales

Se pueden dar problemas de asentamientos diferenciales en aquellas unidades heterogéneas formadas por niveles rocosos en alternancia con niveles lutíticos, así como en las terrazas, por la existencia de tramos de finos intercalados entre las gravas, de mayor capacidad portante

Esto puede suceder en la unidad QRE, QCL, QAL, QCDY, QTZ y C1.

## 6.2.2. *Riesgos debidos a la estructura geológica*

### 6.2.2.1. Fallas

La cartografía fotogeológica realizada junto con la información recopilada nos ha permitido dibujar las fallas más importantes. Se trata por tanto de fallas alpinas, que afectan a las formaciones más antiguas. Una de estas fallas afecta al Túnel 3.1. Ámbito Mataporquera – Reinosa. Alternativa Este, PK aproximado 303+630

La localización de las fallas en planta se puede consultar en la cartografía geológica del Apéndice 4, y la que afecta al túnel, en el perfil geológico de túneles del Apéndice 5.

### 6.2.2.2. Cabalgamientos

Los cabalgamientos son fallas inversas de gran salto, muchas veces con buzamiento bajo o incluso subhorizontales. Producen en nuestra zona la superposición de unidades más antiguas (Jurásicas) sobre otras más modernas (cretácicas). El nivel de rotura suele ser la poco competente unidad Facies Keuper, T2, o T1. La presencia de la unidad T1 y T2, de pobres propiedades geotécnicas, junto con la fracturación de la roca cabalgante, hace que sean zonas con riesgo geológico, a estudiar en detalle en fases posteriores del proyecto.

## 6.2.3. *Riesgos geomorfológicos*

### 6.2.3.1. Deslizamientos y caídas de bloques

Son fenómenos de movimiento de masas de suelo o roca a favor de la gravedad, con diversos mecanismos. Generalmente son procesos rápidos del terreno, aunque también se incluyen en esta categoría los procesos lentos como la reptación. Estos procesos se dan en vertientes naturales, generalmente con más de 35° de inclinación, o bien en taludes de desmontes.

Las litologías en las que principalmente se producen éstos fenómenos son o bien macizos de roca competente fracturada, con las fracturas en posición desfavorable respecto del talud, o litologías de alternancia de estratos competentes e incompetente, donde la socavación de los segundos por acaravamiento o socavación genera caída de planchones de las capas competentes.

En la zona de estudio, son susceptibles de ser afectadas, por sus características litológicas y geomorfológicas, las siguientes unidades: T1, J2, J4, C2, C3, C4, C5, y las unidades cuaternarias QCL, que suele presentar fuerte pendiente, y QD.

### 6.2.3.2. Erosión, acaravamiento y sifonamiento

Los procesos de erosión hídrica (acaravamiento o abarrancamiento) en suelos cohesivos o arenosos y sus modificaciones geomorfológicas asociadas son importantes desde el punto de vista de la ingeniería, ya que está relacionado con la estabilidad de los taludes en desmontes y emboquilles de túneles y puede afectar a las obras de drenaje superficial, caminos de servicios y otros.

Se diferencian dos tipos de procesos: acaravamiento en laderas o taludes en suelos arcillosos, por escorrentía superficial; y acaravamiento en taludes excavados en litologías muy permeables por surgencia de agua y sifonamiento.

En la zona de estudio, este riesgo puede aparecer asociado a las unidades T1, T2 y C6.

### 6.2.3.3. Inundación

El aumento inusual del caudal en un cauce, como consecuencia del aporte más o menos repentino de una cantidad de agua superior a la que es habitual puede producir desbordamientos y la inundación temporal de terrenos normalmente secos. En el área de estudio, con un periodo de

retorno de 10 años, clasificadas como z.i. con alta probabilidad, se han incluido la llanura de inundación del Río Ebro y el Río Híjar, en la zona de Reinosa, y los ríos Pisuerga y Camesa en el entorno de Aguilar de Campoo y Mataporquera.

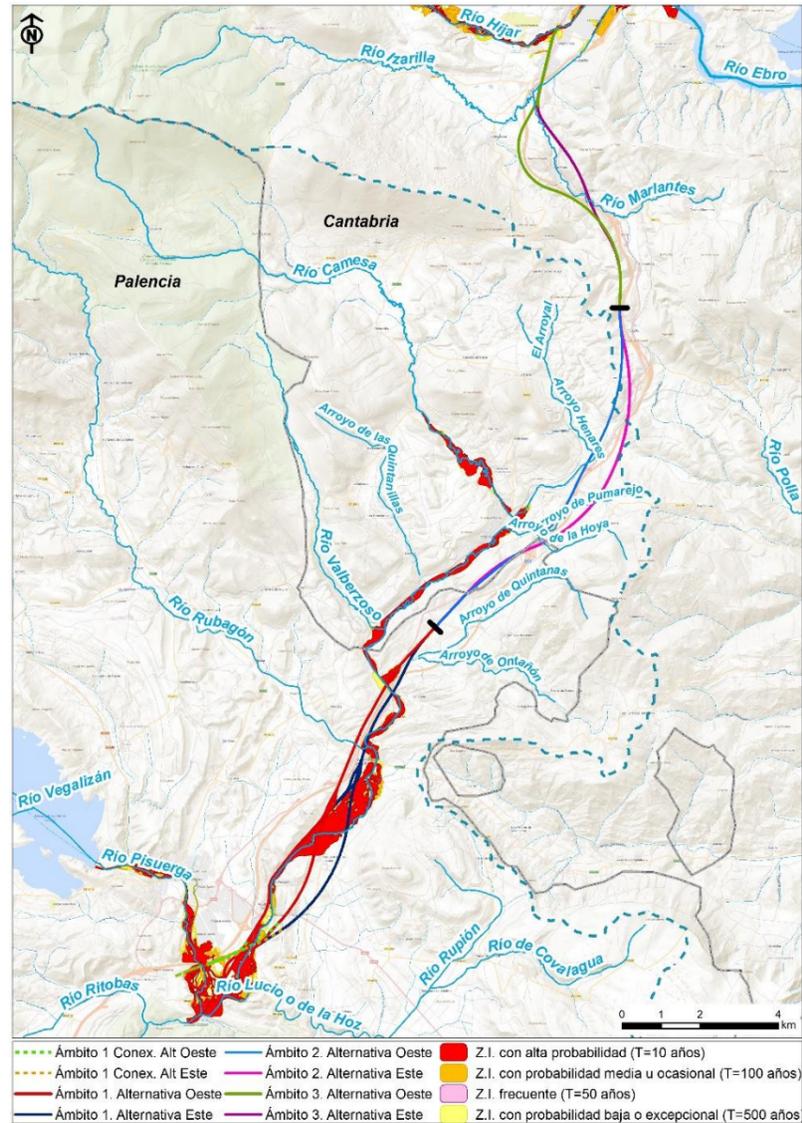


Figura 83. Zona de estudio en la que se pueden observar las zonas inundables según periodos de retorno de 10, 100, 50 y 500 años, Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente)

6.2.4. Otros posibles riesgos

6.2.4.1. Sismicidad

La peligrosidad sísmica del territorio nacional se define por medio mapa sísmico de la Norma Sismorresistente (NCSE-02). Dicho mapa suministra, expresada en relación al valor de la gravedad

g, la aceleración sísmica básica  $a_b$ , un valor característico de la aceleración horizontal de la superficie del terreno y el coeficiente de contribución K, que tiene en cuenta la influencia de los distintos tipos de terremotos esperados en la peligrosidad sísmica de cada punto.

En la zona de estudio la aceleración sísmica básica  $a_b$ , es inferior a 0,04 g, por lo que no es necesario la aplicación de la “Norma de Construcción Sismorresistente NCSR-02”.

6.2.4.2. Explosividad de formaciones ligníferas

La Facies Utrillas, C6, por su naturaleza arenosa, suele albergar manantiales. Por otro lado, presenta niveles de lignitos que han sido explotados localmente. Su existencia puede suponer un riesgo de presencia de gas metano en alguna de las formaciones permeables subyacentes.

6.2.4.3. Riesgo Hidrogeológico en Túneles

A continuación, se resume el análisis de riesgos hidrogeológicos para cada túnel:

TÚNEL	VALORACIÓN
<b>Túnel 1.1</b>	Discurre en zona saturada, atravesando algunas formaciones de alta permeabilidad, si bien a la mayor parte de las litologías afectadas les corresponde una permeabilidad baja. Existen varios puntos de agua en su entorno, entre los que cabe mencionar los que abastecen a la localidad de Nogales de Pisuerga o los que conforman el paraje de la Cascada del murciélago. No obstante, no son previsibles afecciones a ninguno de ellos. Se han identificado algunas fallas susceptibles de ser atravesadas por el túnel y que pueden constituir zonas puntuales de mayor permeabilidad, a través de las que se produciría un drenaje más eficiente de las formaciones saturadas.
<b>Túnel 1.2</b>	No discurre en zona saturada. Existen algunos puntos de agua en su entorno, pero no se ha inventariado ninguno relacionado directamente con el relieve en cuestión. No se han inventariado captaciones asociadas.
<b>Túnel 1.3</b>	No discurre en zona saturada. Existen numerosos puntos de agua en su entorno, entre los que cabe mencionar los que abastecen a la localidad de Becerril del Carpio. No obstante, no son previsibles afecciones a ninguno de ellos.
<b>Túnel 1.4</b>	No discurre en zona saturada. Existen numerosos puntos de agua en su entorno, entre los que cabe mencionar los que abastecen a la localidad de Becerril del Carpio. No obstante, no son previsibles afecciones a ninguno de ellos. Se han identificado algunas fallas susceptibles de ser atravesadas por el túnel y que pueden constituir zonas puntuales de mayor permeabilidad, a través de las que se produciría un drenaje más eficiente de las formaciones saturadas.
<b>Túnel 1.5</b>	Discurre en zona saturada, atravesando fundamentalmente formaciones de baja permeabilidad, si bien también afecta a algunas de permeabilidad media. Existen varios puntos de agua en su entorno, entre los que cabe mencionar los que abastecen a la localidad de Olleros de Pisuerga. No obstante, no son previsibles afecciones a ninguno de ellos. Se han identificado algunas fallas susceptibles de ser atravesadas por el túnel y que pueden constituir zonas puntuales de mayor permeabilidad, a través de las que se produciría un drenaje más eficiente de las formaciones saturadas.

TÚNEL	VALORACIÓN
<b>Túnel 1.6</b>	Discurre en zona saturada, atravesando fundamentalmente formaciones de baja y media permeabilidad. Existen varios puntos de agua en su entorno, aunque no son previsibles afecciones a ninguno de ellos.
<b>Túnel 1.7</b>	No discurre en zona saturada, puesto que atraviesa materiales poco permeables bajo una terraza aluvial (acuífero colgado, en todo caso). Existen pocos puntos de agua en su entorno, aunque ninguno captado para abastecimiento urbano. Todos ellos se relacionan con el acuífero asociado a la terraza.
<b>Túnel 1.8</b>	Muy probablemente discurre en zona saturada, aunque atraviesa materiales poco permeables bajo una terraza aluvial (acuífero colgado, en todo caso). Existen varios puntos de agua en su entorno, aunque ninguno captado para abastecimiento urbano. Salvo manantiales estacionales y algún abrevadero, no se han identificado captaciones de importancia que puedan ser afectadas.
<b>Túnel 1.9</b>	No discurre en zona saturada y atraviesa materiales de baja permeabilidad. Existen numerosos puntos de agua en su entorno, entre los que cabe mencionar los que abastecen a la localidad de Becerril del Carpio. No obstante, no son previsibles afecciones a ninguno de ellos. Se han identificado algunas fallas susceptibles de ser atravesadas por el túnel y que pueden constituir zonas puntuales de mayor permeabilidad, a través de las que se produciría un drenaje más eficiente de las formaciones saturadas.
<b>Túnel 1.10</b>	Discurre en zona saturada, atravesando fundamentalmente formaciones de baja permeabilidad, si bien también afecta a algunas de permeabilidad media. Existen varios puntos de agua en su entorno, entre los que cabe mencionar los que abastecen a la localidad de Olleros de Pisuerga. No obstante, no son previsibles afecciones a ninguno de ellos. Se han identificado algunas fallas susceptibles de ser atravesadas por el túnel y que pueden constituir zonas puntuales de mayor permeabilidad, a través de las que se produciría un drenaje más eficiente de las formaciones saturadas.
<b>Túnel 1.11</b>	Pese a atravesar litologías de alta permeabilidad, no se han observado puntos de agua en campo en las inmediaciones del relieve, durante una época de aguas altas, de lo que se deduce que, con mucha probabilidad, el túnel discurra por Zona No Saturada. En cualquier caso, no son previsibles afecciones de importancia. Se han identificado algunas fallas susceptibles de ser atravesadas por el túnel y que pueden constituir zonas de desarrollo kárstico, a través de las que se produciría un drenaje más eficiente de las formaciones saturadas.
<b>Túnel 1.12</b>	Aunque discurre en Zona Saturada, el túnel atraviesa formaciones de baja permeabilidad. No se han observado puntos de agua asociados, susceptibles de una posible afección. Se han identificado algunas fallas susceptibles de ser atravesadas por el túnel y que pueden constituir zonas puntuales de mayor permeabilidad, a través de las que se produciría un drenaje más eficiente de las formaciones saturadas.
<b>Túnel 1.13</b>	Aunque discurre en Zona Saturada, el túnel atraviesa formaciones de baja permeabilidad. No se han observado puntos de agua asociados, susceptibles de una posible afección. Se han identificado algunas fallas susceptibles de ser atravesadas por el túnel y que pueden constituir zonas puntuales de mayor permeabilidad, a través de las que se produciría un drenaje más eficiente de las formaciones saturadas.
<b>Túnel 3.1</b>	Pese a discurrir previsiblemente por un acuífero de elevada permeabilidad, lo hace por la Zona No Saturada. No es susceptible de generar afección a captaciones o puntos de agua, si bien, al ser un acuífero kárstico, cabría esperar la interceptación de flujos de recarga estacional al acuífero (ligados a eventos de precipitación). Se han identificado algunas fallas susceptibles de ser atravesadas por

TÚNEL	VALORACIÓN
	el túnel y que pueden constituir zonas puntuales de mayor permeabilidad, a través de las que se produciría un drenaje más eficiente de las formaciones saturadas. Atraviesa el Perímetro de protección 001 Fontibre.

### 6.3. ESTIMACIÓN DEL RIESGO PARA EL ANÁLISIS MULTICRITERIO

Para la evaluación de las alternativas en cuanto a criterios técnicos se han considerado los aspectos geotécnicos e hidrogeológicos, aspectos que mayor influencia puedan tener tanto durante la construcción como en la explotación. Para ello se han considerado los siguientes indicadores.

- Indicador de Riesgos Geológicos-Geotécnicos (riesgo intrínseco de las unidades geológicas)
- Indicador de Riesgo Hidrogeológico (túneles)

EL riesgo geológico se ha valorado clasificando el riesgo en función de las unidades geológicas y riesgo intrínseco de éstas y de la longitud de trazado que atraviesa las diferentes unidades.

El riesgo hidrogeológico se ha valorado teniendo en cuenta cuatro parámetros: Permeabilidad cualitativa de los materiales, posible afección o no a zona saturada, Existencia de vías preferentes de flujo y posible afección a perímetros de protección asociados a abastecimientos (actuales o futuros).

Los pesos que se han considerado para cada uno de los factores obedecen a que los riesgos geológicos están concentrados en la fase de construcción mientras que existe cierto riesgo de afección a la infraestructura también durante la explotación debido a los riesgos hidrogeológicos de los túneles. El peso global de criterio técnico, no obstante se limita a 20%, ya que tal como se describe en el anejo, existen técnicas para controlar y mitigar dichas afecciones.

<b>CRITERIOS TÉCNICOS</b>	<b>0,20</b>	<b>INDICADOR DE RIESGO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO</b>	<b>0,3</b>
		<b>INDICADOR DE RIESGO HIDROGEOLÓGICO-TÚNELES</b>	<b>0,7</b>

#### 6.3.1. Riesgo geológico-geotécnico.

Los factores que se han tenido en cuenta con el fin de cuantificar los riesgos indicados se recogen en la siguiente tabla en la que también se incluye el factor peligrosidad o riesgo intrínseco que se ha asignado a cada uno de los riesgos.

TIPO DE RIESGO	DEFINICIÓN	PELIGROSIDAD
Riesgo Litológico	Suelos/rocas agresivas	3
	Suelos/rocas expansivas	2
	Karstificación	3
	Suelos blandos	1
	Asientos diferenciales	1
	Deslizamientos	2
	Caída de bloques	1
	Erosión/acarcavamiento/sifonamiento	1
	Inundación	3
	Explosividad formaciones lignitíferas	1
Riesgos debidos a la Estructura Geológica en túneles	Fallas	5
	Cabalgamientos	10

La valoración del riesgo de cada alternativa se ha hecho de la siguiente manera:

- El riesgo litológico se ha calculado penalizando primero a cada Unidad geológica con la suma de los riesgos a los que es susceptible. Por ejemplo, la unidad QAL tiene peligrosidad por asientos diferenciales (1) y peligrosidad de inundación (3), por lo tanto, se penaliza con 4. Posteriormente, se ha tramificado el trazado calculándose la longitud en km que discurre en esa unidad. El producto de la penalización por los kilómetros es el riesgo. La suma de los riesgos de todas las litologías atravesadas por el trazado es el riesgo litológico.
- El riesgo debido a la estructura geológica se ha aplicado solo a los túneles. Se calculó multiplicando la peligrosidad de fallas y cabalgamientos (5 y 10, respectivamente), por el número de ellas que afectan a los túneles y sumando los resultados.

### 6.3.2. Riesgo hidrogeológico túneles.

Los factores que se han tenido en cuenta con el fin de cuantificar los riesgos hidrogeológicos de los túneles se recogen en la siguiente tabla en la que también se incluye el factor peligrosidad o riesgo intrínseco que se ha asignado a cada uno de los riesgos.

<b>RIESGO HIDROGEOLÓGICO EN TÚNELES</b>	Permeabilidad alta	8
	Permeabilidad media	5
	Permeabilidad baja	2
	Permeabilidad por fracturación / karstificación	3
	Zona saturada	10
	Perímetro de protección	10

La valoración del riesgo de cada alternativa se ha hecho de la siguiente manera:

- El riesgo hidrogeológico tiene en cuenta la permeabilidad cada una de las formaciones atravesadas por el túnel multiplicada por la longitud en km de túnel que las atraviesa. Si el túnel está por debajo del nivel freático, se penaliza con 10 puntos. Si, además, el túnel intercepta un Perímetro de protección, se penaliza con 10 puntos adicionales. Por último, se tiene en cuenta la intercepción de fallas, que puedan constituir medios de introducción de agua al interior de los túneles (y, por tanto, de drenaje del medio acuífero); factor penalizado con 3 puntos. Sumando el riesgo de todos los túneles de la alternativa se obtiene el riesgo hidrogeológico.

### 6.3.3. Riesgo Total.

La matriz de riesgos obtenida a partir de los criterios anteriores puede consultarse en el Apéndice 9 del presente anejo.

El Riesgo Total obtenido de cada alternativa permite comparar las alternativas entre sí. El cuadro siguiente resume el análisis realizado.

	RESUMEN RIESGO TOTAL						
	Tramo 1 Este	Tramo 1 Centro	Tramo 1 Oeste	Tramo 2 Este	Tramo 2 Oeste	Tramo 3 Este	Tramo 3 Oeste
LONGITUD DE ALTERNATIVAS (Km)	25,54	24,61	24,42	10,42	9,96	7,71	8,47
RIESGO GEOLÓGICO	104,76	97,81	89,53	19,07	26,59	31,38	34,80
RIESGO HIDROGEOLÓGICO	74,89	97,59	92,82	0,00	0,00	10,33	0,00
INDICADOR DE RIESGO TOTAL (riesgo/km)	7,03	7,94	7,47	1,83	2,67	5,41	4,11

**7. CUADRO RESUMEN UNIDADES**

A partir de todo lo indicado en el presente anejo, se ha elaborado un cuadro resumen en el que se indican los aspectos más relevantes:

EDAD	Denominación unidades 5.000	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN	CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS	RIESGO GEOLÓGICO		EXCAVABILIDAD	POSIBLE APROVECHAMIENTO		CIMENTACIONES	TALUD RECOMENDADO	
					RIESGO GEOLÓGICOS	NIVEL RIESGO		PORCENTAJE APROXIMADO	USOS ESTIMADOS		DESMONTE	RELLENO
Triásico	T1	Conglomerados, areniscas, y limolitas (Facies Buntsandstein)	Roca	Permeabilidad baja-media. No son esperables caudales significativos salvo puntualmente asociados a lentejones más permeables.	Caída de bloques y cuñas tanto en desmontes como en túneles. Erosión/acarcavamiento, reptaciones y deslizamientos de ladera en zonas alteradas.	4	VOLADURA (ripable y excavable niveles limolíticos y zonas alteradas)	70	Pedraplén, Todo Uno	Capacidad portante alta. Cimentación superficial	1H:1V	2H:1V
	T2	Arcillas rojas ocasionalmente con yeso (Facies Keuper)	Suelo	Permeabilidad baja. No son esperables caudales significativos.	Inestabilidad en desmontes, hinchamiento del sistema yeso-anhidrita; Karstificación por disolución de yeso-sales; expansividad arcillas; suelos blandos; erosión y acarcavamiento; agresividad al hormigón	10	EXCAVABLE (ripable niveles argilíticos endurecidos)	0	No utilizable	Capacidad portante media a baja. Asientos diferenciales inadmisibles en cimentación superficial. Hinchamiento, expansividad, agresividad al hormigón.	3H:2V	
	T3	Ofitas	Roca	Permeabilidad baja. No son esperables caudales significativos.	Extremadamente tenaces, alto coste de voladura. Caída de bloques.	1	VOLADURA (puntualmente ripado o pequeña voladura)	100	Pedraplén, Todo Uno	Capacidad portante alta. Cimentación superficial	1H:1V	
Jurásico	J1	Dolomías, carniolas y calizas	Roca	Permeabilidad media, alta asociada a fisuras y karst. Pueden producirse caudales altos e incluso golpes de agua asociados a vías preferentes de flujo.	Roca bien estratificada a cavernosa con baja capacidad portante si está alterada; karstificación.	1	VOLADURA (ripable y excavable zonas alteradas)	70	Pedraplén, Todo-Uno	Baja capacidad portante si está alterada	1H:1V	
	J2	Caliza microcristalina bien estratificada a masiva	Roca	Permeabilidad media, alta asociada a fisuras y karst. Pueden producirse caudales altos e incluso golpes de agua asociados a vías preferentes de flujo.	Formación de cuñas y bloques; karstificación	4	VOLADURA (ripable y excavable zonas alteradas)	80	Pedraplén, Todo Uno	Capacidad portante alta, asientos inexistentes o moderados. Cimentaciones superficiales.	1H:1V	
	J3	Alternancia de margocalizas y margas	Roca dura/Roca blanda	Permeabilidad baja. No son esperables caudales significativos.	Formación de cuñas y bloques; karstificación	3	VOLADURA (Ripable en zonas alteradas)	50	Todo-Uno, los bancos de caliza. No aprovechable el resto	Capacidad portante alta, asientos moderados. Cimentaciones superficiales.	1H:1V	
	J4	Alternancia de margas y calizas microcristalinas, con niveles de, margocalizas y calizas bioclásticas fosilíferas	Roca dura/Roca blanda	Permeabilidad baja. No son esperables caudales significativos.	Formación de cuñas y bloques	1	RIPADO (Voladura puntual en términos calizos)	0	No utilizable	Caída de bloques de caliza por socavación de la marga. Baja capacidad portante si está alterada	3H:2V	
	J5	Lutitas anaranjadas con niveles de conglomerados y	Roca dura/Roca blanda	Nivel freático asociado a capas granulares. Permeabilidad baja. No son	Suelos blandos en zonas de alteración	1	RIPADO (Voladura en términos rocosos)	20	Todo-Uno, terraplén. Exclusivamente de las	Capacidad portante media a baja, que mejora en los tramos	3H:2V	

EDAD	Denominación unidades 5.000	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN	CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS	RIESGO GEOLÓGICO		EXCAVABILIDAD	POSIBLE APROVECHAMIENTO		CIMENTACIONES	TALUD RECOMENDADO	
					RIESGO GEOLÓGICOS	NIVEL RIESGO		PORCENTAJE APROXIMADO	USOS ESTIMADOS		DESMONTE	RELLENO
		areniscas. Niveles de calizas y margas con lutitas (Purbeck Inferior)		esperables caudales significativos.					areniscas y conglomerados.	con intercalaciones de areniscas, conglomerados y calizas		
Cretácico Inferior	C1	Areniscas y conglomerados (Purbeck Superior)	Roca dura/Roca blanda	Permeabilidad media. No son esperables caudales significativos salvo puntualmente asociados a lentejones más permeables.	Erosión diferencial en desmontes con descalces de los niveles duros y asientos diferenciales.	1	RIPADO (Voladura en términos rocosos)	70	Apto. Los tramos litificados deben ser retirados o sometidos a fragmentación.	Capacidad portante media a baja. Asientos diferenciales.	3H:2V	
	C2	Arcillas, lutitas rojas y verdes, conglomerados, areniscas y calizas (Purbeck Superior)	Suelo con intercalaciones rocosas	Permeabilidad baja. No son esperables caudales significativos.	Erosión diferencial en desmontes con descalces de los niveles duros y asientos diferenciales. Reptaciones y solifluxiones; deslizamientos.	2	RIPADO (Voladura en términos rocosos)	0	Apto	Capacidad portante media a baja. Mejora en los tramos con intercalaciones de areniscas, conglomerados y calizas	3H:2V	
	C3	Areniscas y conglomerados con intercalaciones arcillosas calcáreas (Facies Weald)	Roca dura/Roca blanda	Permeabilidad media. No son esperables caudales significativos salvo puntualmente asociados a lentejones más permeables.	Erosión diferencial en desmontes con descalces de los niveles duros y asientos diferenciales. Reptaciones y solifluxiones; deslizamientos..	2	RIPADO (Voladura en términos rocosos)	50	Pedraplén, Todo-Uno	Capacidad portante media a baja.	3H:2V	
	C4	Lutitas rojas y verdes con niveles de areniscas (Facies Weald)	Suelo con intercalaciones rocosas	Permeabilidad baja. No son esperables caudales significativos.	Erosión diferencial en desmontes con descalces de los niveles duros y asientos diferenciales. Reptaciones y solifluxiones; deslizamientos..	2	RIPABLE (areniscas), EXCAVABLE (lutitas)	30	Todo-uno, Terraplén (Exclusivamente de las areniscas)	Capacidad portante media a baja. Mejora en los tramos con intercalaciones de areniscas.	3H:2V	
	C5	Conglomerados y areniscas silíceas con niveles de lutitas	Roca dura/Roca Blanda	Permeabilidad media. No son esperables caudales significativos salvo puntualmente asociados a lentejones más permeables.	Reptaciones y solifluxiones; deslizamientos.	4	RIPABLE Y VOLADURA (puntual en las capas de arenisca y conglomerado más compactas)	70	Pedraplén, Todo-Uno	Capacidad portante media a baja. Mejora en los tramos con intercalaciones de areniscas y conglomerados	3H:2V	
	C6	Arenas, gravas y conglomerados con arcillas versicolores. Facies Utrillas	Suelo con intercalaciones rocosas	Permeabilidad media. No son esperables caudales significativos salvo puntualmente asociados a lentejones más permeables.	Problemática excavación en túnel, saturada en agua y poco cohesiva: fluidificación. Erosión y acaravamiento.	2	EXCAVABLE, RIPABLE (volable niveles areniscosos o conglomeráticos)	50	Apto. Terraplén	Capacidad portante baja a media.	3H:2V	
Cretácico Superior	C7	Areniscas ocreas, calcarenitas, margocalizas y margas con lignito.	Suelo con intercalaciones rocosas	Permeabilidad baja. No son esperables caudales significativos.	Caída de bloques, suelos expansivos y explosividad en formaciones ligníferas, suelos blandos.	5	EXCAVABLE, RIPABLE (volable niveles calcareníticos)	0	No utilizable	Capacidad portante baja a media.	3H:2V	
	C8	Calizas, calizas nodulosas y biocalcareniticas	Roca	Permeabilidad muy alta en zonas karstificadas. Pueden producirse caudales altos e incluso golpes de agua asociados a vías preferentes de flujo.	Karstificación y caída de bloques	4	VOLADURA (ripable y excavable zonas alteradas)	100	Pedraplén	Capacidad portante alta. Cimentación superficial	1H:1V	

EDAD	Denominación unidades 5.000	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN	CONDICIONES HIDROGEOLOGICAS	RIESGO GEOLÓGICO		EXCAVABILIDAD	POSIBLE APROVECHAMIENTO		CIMENTACIONES	TALUD RECOMENDADO		
					RIESGO GEOLÓGICOS	NIVEL RIESGO		PORCENTAJE APROXIMADO	USOS ESTIMADOS		DESMONTE	RELLENO	
	C9	Margas ocres, calcarenitas, margocalizas y margas	Roca dura/Roca blanda	Permeabilidad baja. No son esperables caudales significativos.	Caída de bloques	2	EXCAVABLE, RIPABLE (volable niveles calcareníticos)	40	Pedraplén, Todo-Uno	Capacidad portante media a baja. Mejora en los tramos con intercalaciones de calcarenitas.	3H:2V		
	C10	Calizas grises, dolomías y biocalcarenitas grises y ocres	Roca	Permeabilidad muy alta en zonas karstificadas. Pueden producirse caudales altos e incluso golpes de agua asociados a vías preferentes de flujo.	Karstificación y caída de bloques	4	VOLADURA (ripable y excavable zonas alteradas)	100	Pedraplén	Capacidad portante alta. Cimentación superficial	1H:1V		
Terciario	Mioceno	M1	Gravas y arenas, ocasionalmente cementadas	Suelo ocasionalmente cementado	Permeabilidad baja. No son esperables caudales significativos.	Caída de bloques; suelos blandos.	2	EXCAVABLE (ripable niveles ocasionalmente cementados)	100	Todo-Uno, Pedraplén (capas muy cementadas)	Capacidad portante media a baja.	3H:2V	
		M2	Conglomerados calcáreos cementados y brechas. "Facies Alar del Rey"	Roca	Permeabilidad baja, excepto en zonas karstificadas. No son esperables caudales significativos.	Caída de bloques	1	VOLADURA (ripable y excavable zonas alteradas)	100	Todo-Uno, Pedraplén	Capacidad portante alta. Cimentación superficial	1H:1V	
		M3	Conglomerados poligénicos, areniscas y lutitas rojas. "Facies Grijalba-Villadiego"	Suelo	Permeabilidad baja. No son esperables caudales significativos.	Caída de bloques, erosión y acaravamiento	2	EXCAVABLE	70	Todo-Uno, Pedraplén (capas muy cementadas)	Capacidad portante media a baja.	3H:2V	
		M4	Lutitas con gravas y arenas. "Facies Grijalba-Villadiego"	Suelo	Permeabilidad baja. No son esperables caudales significativos.	Expansividad suelos, erosión y acaravamiento	3	EXCAVABLE	0	No utilizable	Capacidad portante baja.	3H:2V	
Cuaternario	QTB	Travertinos y Tobas	Suelo		Nivel freático somero y karstificación	1	EXCAVABLE	0	No utilizable	Capacidad portante baja.	3H:2V		
	QAL	Aluviales indiferenciados: Limos, arenas y gravas	Suelo	Permeabilidad media. No son esperables caudales significativos salvo puntualmente asociados a lentejones más permeables.	Su estabilidad en desmonte dependerá de su granulometría, cohesión y saturación en agua. Nivel freático somero, y asientos diferenciales.	4	EXCAVABLE	60	Terraplén	Capacidad portante baja.	3H:2V		
	QCL	Coluviones: Lutitas, arenas, cantos y bloques	Suelo	Permeabilidad baja. No son esperables caudales significativos.	Inestables en desmonte. Nivel freático somero, deslizamientos y asientos diferenciales.	3	EXCAVABLE	40	Núcleo y cimientado de terraplén	Capacidad portante media a baja.	3H:2V		
	QCD	Conos de deyección: Lutitas, arenas y cantos.	Suelo	Permeabilidad baja. No son esperables caudales significativos.	Inestables en desmonte. Nivel freático somero, deslizamientos y asientos diferenciales.	1	EXCAVABLE	40	Núcleo y cimientado de terraplén	Capacidad portante baja.	3H:2V		
	QD	Deslizamiento de ladera	Suelo		Nivel freático somero, deslizamientos y asientos diferenciales.	3	EXCAVABLE	60	Terraplén	Capacidad portante baja.	3H:2V		
	QTZ	Terrazas: Gravas silíceas y arenas	Suelo	Permeabilidad muy alta. Pueden producirse caudales altos e incluso golpes de agua asociados a vías preferentes de flujo.	Nivel freático somero y asientos diferenciales.	1	EXCAVABLE	40	Núcleo y cimientado de terraplén	Capacidad portante media a baja.	3H:2V		

EDAD	Denominación unidades 5.000	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS	RIESGO GEOLÓGICO		EXCAVABILIDAD	POSIBLE APROVECHAMIENTO		CIMENTACIONES	TALUD RECOMENDADO	
					RIESGO GEOLÓGICOS	NIVEL RIESGO		PORCENTAJE APROXIMADO	USOS ESTIMADOS		DESMONTE	RELLENO
	QFV	Rellenos de fondo de vaguada: limos, arcillas y arenas	Suelo	Permeabilidad baja. No son esperables caudales significativos.	Nivel freático somero y suelos blandos.	1	EXCAVABLE	40	No apto	Capacidad portante media a baja.	3H:2V	
	QU	Cuaternario antrópico: Zonas urbanas e industriales	Suelo			0	EXCAVABLE	0	No utilizable	Capacidad portante media a baja.	3H:2V	
	QRE	Cuaternario antrópico: rellenos, vertidos y canteras	Suelo		Asientos diferenciales	1	EXCAVABLE	40	Núcleo y cimiento de terraplén	Capacidad portante media a baja.	3H:2V	

# APÉNDICE 1: MAPA GEOLÓGICO 1:50.000

# APÉNDICE 2: MAPA GEOTÉCNICO 1:200.000

# APÉNDICE 3: MATERIAL AUXILIAR HIDROGEOLÓGICO

# **APÉNDICE 3.0: MAPA HIDROGEOLÓGICO 1:1.000.000**

# **APÉNDICE 3.1: MAPA LITOESTRATIGRÁFICO Y DE PERMEABILIDADES A ESCALA 1:200.000 (IGME)**

# **APÉNDICE 3.2: MAPA HIDROGEOLÓGICO A ESCALA 1:200.000 (IGME)**

# **APÉNDICE 3.3: MAPA DE MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA**

# **APÉNDICE 3.4: MAPA INVENTARIO PRELIMINAR DE PUNTOS DE AGUA**

# **APÉNDICE 3.5: LISTADO INVENTARIO PRELIMINAR DE PUNTOS DE AGUA**

# **APÉNDICE 3.6: FICHAS DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA E. I. AGUILAR-REINOSA**

# **APÉNDICE 3.7: FICHAS ORIGINALES DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA DE ORGANISMOS OFICIALES**

# **APÉNDICE 3.8: FICHAS DE INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA PROPIO DE ESTE ESTUDIO**

**APÉNDICE 3.9: MEMORIA DEL ESTUDIO Y  
SEGUIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE LOS TÚNELES  
DEL TRAMO ALAR DEL REY – AGUILAR DE CAMPOO.  
LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA –  
SANTANDER, AECOM (2019)**

**APÉNDICE 3.10: PRIMER INFORME DE SEGUIMIENTO  
DEL ESTUDIO Y SEGUIMIENTO HIDROGEOLÓGICO DE  
LOS TÚNELES DEL TRAMO ALAR DEL REY –  
AGUILAR DE CAMPOO. LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD  
PALENCIA – SANTANDER, AECOM (2019)**

# APÉNDICE 4: PLANTA GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA

# **APÉNDICE 5: PERFILES GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS DE TÚNELES**

# **APÉNDICE 6: REGISTRO DE INVESTIGACIONES RECOPIADAS**

**APÉNDICE 6.1: ESTUDIO INFORMATIVO. LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD: VENTA DE BAÑOS – SANTANDER.  
TRAMO: ALAR DEL REY-SANTANDER (2003)**

**APÉNDICE 6.2: PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN  
AUTOVÍA A-73. BURGOS AGUILAR. TRAMO:  
BASCONES DE VALDIVIA-AGUILAR DE CAMPOO  
(2008)**

# **APÉNDICE 6.3: PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN AUTOVÍA –A-67 (2005)**

# **APÉNDICE 6.3.1: PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN AUTOVÍA –A-67. TRAMO: VILLAPROVEDO-HERRERA DE PISUERGA**

# **APÉNDICE 6.3.2: PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN AUTOVÍA –A-67. TRAMO: ALAR DEL REY-PUEBLA DE SAN VICENTE**

# **APÉNDICE 6.3.3: PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN AUTOVÍA –A-67. TRAMO: AGUILAR DE CAMPOO NORTE-AGUILAR DE CAMPOO SUR**

# **APÉNDICE 6.3.4: PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN AUTOVÍA –A-67. TRAMO: P.K 112-120**

# **APÉNDICE 6.3.5: PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN AUTOVÍA –A-67. TRAMO: P.K 120-140**

**APÉNDICE 6.4: –ESTUDIO Y SEGUIMIENTO  
HIDROGEOLÓGICO DE LOS TÚNELES DEL TRAMO  
ALAR DEL REY-AGUILAR DE CAMPOO. LÍNEA DE  
ALTA VELOCIDAD PALENCIA-SANTANDER (2019)**

**APÉNDICE 6.5: ESTUDIO INFORMATIVO DEL  
PROYECTO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD  
PALENCIA – SANTANDER. TRAMO: VILLAPROVEDO –  
REINOSA (2011).  
FASE B. 1:5.000**

# **APÉNDICE 7: RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO RECOPIRADOS**

**APÉNDICE 7.1: ESTUDIO INFORMATIVO. LÍNEA DE  
ALTA VELOCIDAD: PALENCIA – SANTANDER.  
TRAMO: ALAR DEL REY-SANTANDER (2003)**

**APÉNDICE 7.2: PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN  
AUTOVÍA A-73. BURGOS AGUILAR. TRAMO:  
BASCONES DE VALDIVIA-AGUILAR DE CAMPOO  
(2008)  
CONSTRUCCIÓN AUTOVÍA –A-67 (2005)**

# **APÉNDICE 7.3: PROYECTOS DE CONSTRUCCIÓN AUTOVÍA –A-67 (2005)**

**APÉNDICE 7.4: ESTUDIO INFORMATIVO DEL  
PROYECTO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD  
PALENCIA – SANTANDER. TRAMO: VILLAPROVEDO –  
REINOSA FASE B. 1:5.000  
(2011).**

# **APÉNDICE 8: FICHAS DE ESTACIONES GEOMECÁNICAS**

**APÉNDICE 8.1: FICHAS DE ESTACIONES  
GEOMECÁNICAS PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN  
AUTOVÍA A-73. BURGOS-AGUILAR. TRAMO:  
BASCONES DE VALDIVIA-AGUILAR DE CAMPOO.  
TECOPYSA (2008)**

**APÉNDICE 8.2: FICHAS DE ESTACIONES  
GEOMECÁNICAS ESTUDIO INFORMATIVO DE LA  
LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD NOGALES DE  
PISUERGA-REINOSA INECO (2019)**

# APÉNDICE 9: MATRIZ DE RIESGOS

