

1.	Climatología.....	2	7.2.	Base cartográfica nacional a escala 1:25.000	18
1.1.	Precipitaciones.....	2	7.3.	Manantiales y fuentes naturales Concello de Vigo	19
1.2.	Temperaturas.....	3	7.4.	Perímetros de protección de aguas minerales y termales.....	19
2.	Hidrología superficial	4	7.5.	Programas de control de las masas de agua subterráneas.....	20
3.	Hidrología subterránea	6	7.5.1.	Programas de control del estado químico	20
3.1.	Consideraciones generales	6	7.5.2.	Programas de control del estado cuantitativo	21
3.2.	Hidrogeología de la zona de estudio.....	9	7.5.3.	Subprograma de control de las captaciones de agua destinada a consumo urbano.....	22
4.	Mediciones del nivel piezométrico	11	7.6.	Registro de captaciones para abastecimiento humano (zonas protegidas).....	22
5.	Parámetros hidráulicos	12	7.7.	Zonas de futuras captaciones de agua	28
5.1.	Ensayos de permeabilidad Lugeon	12	8.	Análisis de las afecciones a las aguas subterráneas	29
6.	Funcionamiento hidrogeológico	16	8.1.	Afección a la calidad del agua subterránea por contaminación	29
6.1.	Recarga	16	8.2.	Afección directa a puntos de agua existentes sobre el trazado previsto	30
6.2.	Descargas	16	8.3.	Afección al flujo de agua subterránea en los tramos de desmonte.....	30
6.3.	Flujo subterráneo.....	16	8.4.	Afección al flujo de agua subterránea en el tramo de túnel.....	32
7.	Inventario de puntos de agua y zonas de protección.....	18	8.5.	Zonas protegidas por el Plan Hidrológico de las demarcaciones hidrográficas.....	34
7.1.	Base de datos hidrogeológicos del IGME	18	9.	Recomendaciones.....	35

1. Climatología

La zona objeto de estudio comprende el límite sureste de la Demarcación Hidrográfica Galicia Costa y la zona suroeste de la Demarcación Hidrográfica Miño-Sil, concretamente en el Sistema Miño Bajo y Limia.

El clima es fundamentalmente oceánico, con temperaturas suaves y precipitaciones abundantes durante todo el año.

La causa de todo esto es la proximidad del mar, que hace que las temperaturas sean más suaves (o menos extremas) y generalmente trae vientos llenos de humedad que al contactar con el relieve generan lluvia.

En general, se pueden considerar veranos frescos con temperaturas medias comprendidas entre 20-22°C e inviernos suaves con intervalos entre 8-10°C.

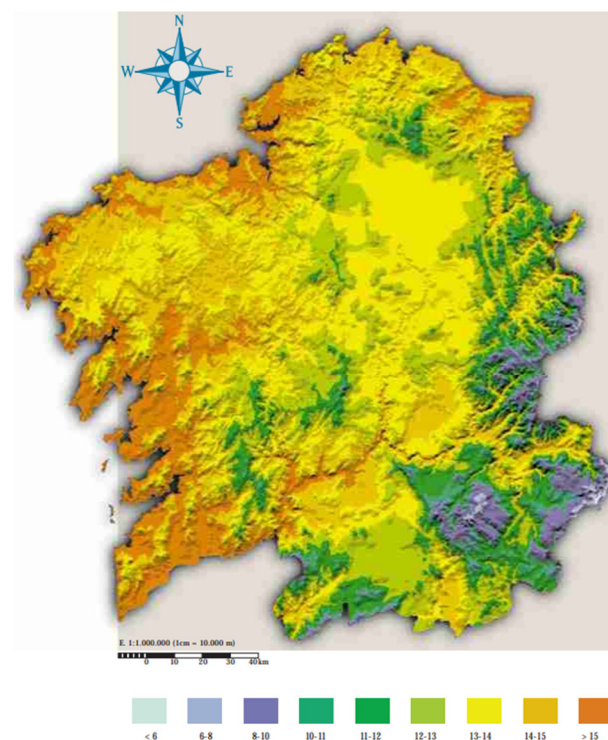


Figura 1: Temperatura media anual (° C), Atlas climático de Galicia.

En general las precipitaciones son bastante abundantes y regulares durante todo el año. Suele haber más lluvia en invierno, y luego en primavera y otoño. El verano es la estación más seca.

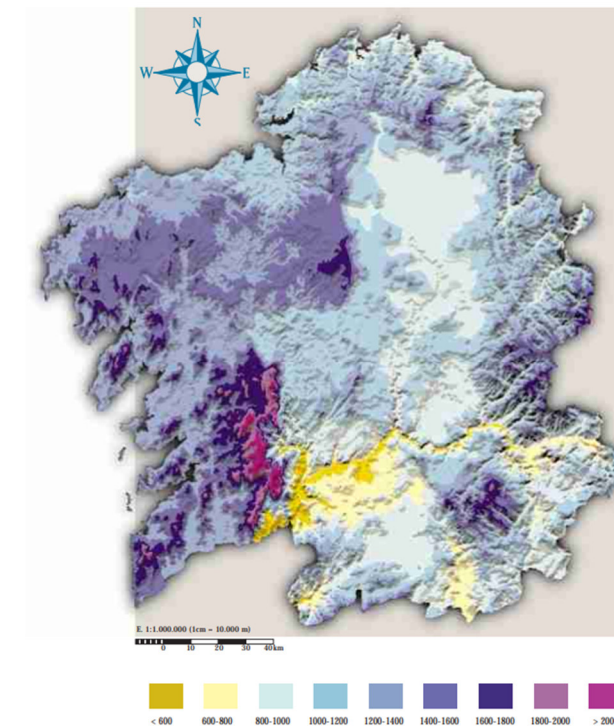


Figura 2: Precipitación anual acumulada (mm), Atlas climático de Galicia.

1.1. Precipitaciones

La precipitación es uno de los factores que más influyen en la determinación del clima. En la zona estudiada la mayor parte de las precipitaciones se dan en forma de lluvia.

Teniendo en cuenta estos datos se han determinado los siguientes parámetros:

- Precipitación media mensual y anual
- Precipitación máxima en 24 horas por meses y anual
- Precipitación máxima mensual

La precipitación media anual se ha obtenido hallando la media de los totales de los años completos de la serie, obteniéndose unos valores comprendidos entre los 1.530,7 mm de la estación 1723 Ponteareas Canedo, y los 1.855,5 de la estación 1495 Vigo (Peinador).

El valor medio total anual de precipitación obtenido en la publicación de la AEMET "Notas para una Climatología de Pontevedra" es de 1.594,7 mm.

La precipitación máxima en 24 horas, alcanza su valor más alto (52,4 mm) en el mes de octubre correspondiente a la estación de Páramos – Guillarei (1726).

En términos de valores máximos históricos, la máxima precipitación en 24 horas se produjo en la estación 1728 Porriño - Granxa Do Louro (189,0 mm, correspondientes al mes de octubre). Como es lógico, de manera general los valores máximos coinciden con los meses de invierno, y los mínimos con los de verano.

1.2. Temperaturas

Las temperaturas medias anuales oscilan entre 13,8°C y 15,1°C para las estaciones 1495 Vigo (Peinador) y 1726 Páramos (Guillarei) respectivamente, alcanzando los valores máximos en los meses de julio y agosto con valores en torno a los 21°C. La temperatura mínima corresponde a los meses de diciembre a febrero con unas temperaturas que oscilan alrededor de 9°C para toda la zona.

En cuanto a las temperaturas extremas, los valores máximos se alcanzan entre los meses de junio y agosto con valores entre 39°C y 43°C, y las mínimas se alcanza en los meses de enero y febrero con valores entre -7°C y -5°C.

Los valores obtenidos en la publicación de la AEMET "Notas para una Climatología de Pontevedra" son semejantes a los anteriores, ya que la temperatura media anual es 14,6°C; el mes más caluroso es agosto con 20,5°C de temperatura media y el mes más frío es enero con 9,2°C; las temperaturas extremas registradas son de 39°C de máxima absoluta y de -7°C de mínima absoluta.

Se produce una oscilación de, aproximadamente, 12°C entre la temperatura media mensual máxima y mínima.

La oscilación entre verano e invierno oscila entre 9,8 y 11,8 para las estaciones 1495 Vigo (Peinador) y 1726 Páramos (Guillarei) respectivamente.

La oscilación máxima de las temperaturas es de 51,1°C (1723 Pontearas-Canedo).

2. Hidrología superficial

Dada la extensión de las cuencas intracomunitarias de Galicia-Costa (12.991 km²) los estudios de planificación hidrológica han procedido a la consideración del territorio en una serie de particiones, optándose por un esquema de zonificación en niveles de disgregación sucesiva, manteniéndose el criterio hidrográfico como determinante de los límites correspondientes. De esta manera se han establecido:

- Zonas o sistemas de explotación: que son agrupaciones de las cuencas principales realizadas con criterios hidrográficos y de explotación.
- Subcuencas: que son grandes cuencas o agrupaciones de cuencas pequeñas como es el caso de las zonas costeras y de las distintas rías.

En referencia a este esquema, las cuencas intracomunitarias de Galicia-Costa se dividen hidrológicamente en los diecinueve Sistemas de Explotación, uno de ellos afecta al tramo objeto del estudio:

Río Verdugo, Ría de Vigo y Ría de Baiona

El Sistema de Explotación número 1 está constituido por la cuenca del Río Verdugo, Rías de Vigo y Baiona y consta de una superficie de 750,95 km². El Río Verdugo, junto con su afluente principal, el Río Oitavén, es el eje del sistema y principal proveedor de recursos hidráulicos. Su cuenca se caracteriza por no tener una alta densidad de población, especialmente en la zona alta.

En las dos márgenes de la Ría de Vigo se concentra la mayor parte de la población y de la actividad económica. En la margen Sur de la Ría destaca la ciudad de Vigo junto con los núcleos de Baiona, Nigrán y Redondela. Los núcleos de población más importantes de la parte norte son Cangas y Moaña.

A nivel de gestión de agua, los municipios que forman parte de este sistema de explotación de manera total son: A Lama, Baiona, Cangas, Fornelos de Monte, Gondomar, Moaña, Nigrán, Ponte Caldelas, Redondela, Soutomaior, Vigo y Vilaboa.

En la zona el cauce principal es el Rego Eifonso con dirección preferente N-S, subsidiario del Rego Lagares de dirección NE-SO, que desemboca al suroeste de la ciudad de Vigo.

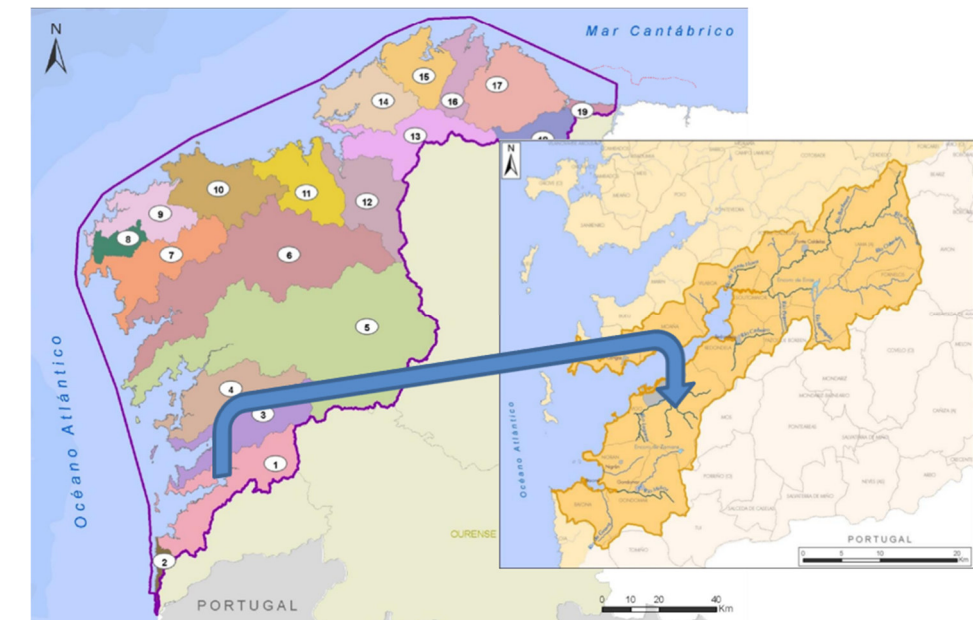


Figura 3: Sistemas de explotación de las cuencas de Galicia-Costa. Tomada de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa.

La Demarcación Hidrográfica Miño-Sil abarca un territorio que se reparte en 3 comunidades autónomas: Galicia, Asturias y Castilla y León. En el siguiente mapa se muestran los límites administrativos y de gestión de la demarcación:

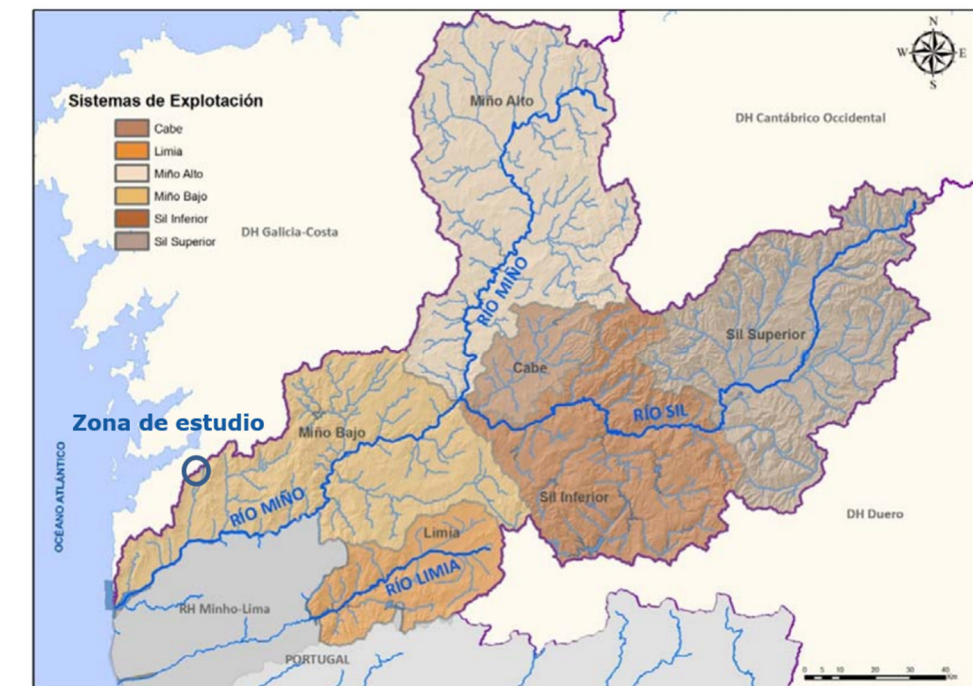


Figura 4: Sistemas de explotación básicos existentes en la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil.

La Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil se ha dividido en 6 sistemas de explotación de recursos, atendiendo principalmente a criterios hidrográficos. Las 6 zonas se han definido como sistemas de explotación que a su vez están formados por una o varias zonas, y su división responde a criterios de funcionalidad en la explotación de los recursos hídricos en la cuenca. A continuación, se muestran los 6 sistemas de explotación en los que se divide la DHMS.

De los cuales el sistema de explotación que afecta al trazado es el Miño Bajo con una superficie total de 3.589,27 km².

El cauce principal que afecta a la zona de estudio es el río Louro con dirección preferente N-S. Y sus subsidiarios con trayectoria NO-SE, donde destaca el Rego Perral.

Relación entre agua superficial y subterránea

En la zona de estudio las aguas superficiales y las aguas subterráneas están muy relacionadas, siendo es muy frecuente que el agua subterránea aflore en fuentes y manantiales para seguir un recorrido superficial.

Las cuencas de los cauces existentes en la zona, se desarrolla sobre materiales aluviales, de escaso desarrollo y suelos eluviales, ambos de elevada permeabilidad constituyendo mantos de agua subálvea que discurren a la par que el río superficial.

Los terrenos cuaternarios, presentan como denominador común la superficialidad de los posibles acuíferos y su escaso espesor, lo que implica. que se encuentren muy afectados por las variaciones estacionales.

Solamente los, aluviales sufren una recarga adicional, (proveniente del caudal del río a que pertenecen) que en el mayor número de los casos es superior a la pluviométrica.

El resto de los depósitos cuaternarios, como los aluviones, pueden presentar también características favorables para la infiltración y almacenamiento de agua, pero su escasa extensión superficial y muchas veces su situación geográfica, les resta gran parte de su interés potencial.

Por lo que los cauces de la zona corresponden a tramos variables (ganadores-perdedores) en función de la época del año, aunque probablemente se comporten como ganadores durante la mayor parte del mismo.

3. Hidrología subterránea

3.1. Consideraciones generales

La zona de estudio tradicionalmente se ha considerado una región de materiales impermeables, sin embargo, aunque no se pueda hablar de unidades acuíferas de carácter regional, si aparecen acuíferos locales ligados fundamentalmente a zonas de fracturación y alteración, o a cuencas detríticas reducidas.

La zona objeto de estudio comprende el límite sureste de la Demarcación Hidrográfica Galicia Costa y la zona suroeste de la Demarcación Hidrográfica Miño-Sil, concretamente en el Sistema Miño Bajo y Limia.

La red hidrográfica existente en el área de actuación se encuentra formada por los cursos de agua permanente de los Ríos Lagares (Galicia Costa) y Louro, afluente del Miño (Miño-Sil) como los más caudaloso y largos del sistema, y los distintos regos existentes en la zona.

Nos situamos por tanto en la frontera sur las Demarcaciones Hidrográficas Galicia Costa con la Miño-Sil. En ambas Demarcaciones se han definido Masas de Agua Subterráneas (en adelante MASb), de acuerdo con los criterios descritos en los artículos 5 y 6 de la Directiva Marco Europea del Agua (en adelante, DMA) y que se pueden ver en la siguiente figura:



Figura 5: Distribución de MASb Galicia-Costa. Tomada de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa.

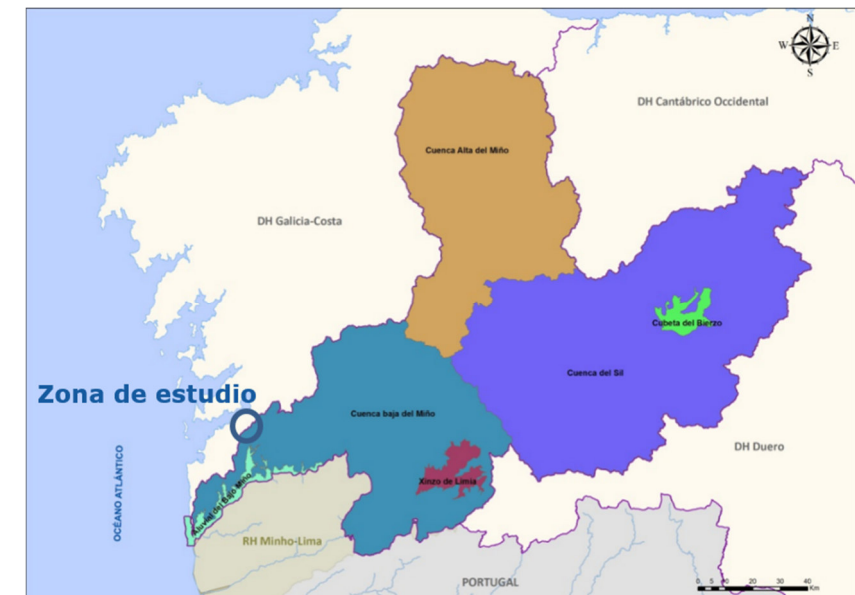


Figura 6: Distribución de MASb CHMS. Tomada de Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica de Miño-Sil.

Las MASb afectadas por el trazado proyectado son:

a) 014.001. O Morrazo-Pontevedra-Vigo-Baiona. Se localiza en la provincia de Pontevedra, con una superficie total de 716,29 km². Al Norte limita, de SO a NE, con los Concellos de Meaño, Meis, Barro y Moraña. El límite Este, se extiende con una dirección aproximada N-S desde el Concello de Campo Lameiro al Concello de Pazos de Borbén. Al Sur, limita con la Demarcación Hidrográfica del Miño-Sil, y al Oeste, con el océano Atlántico.

Geología e hidrogeología: El ámbito geológico de esta masa de agua subterránea corresponde principalmente a granitos alcalinos, en menor medida granitos calcoalcalinos, gneises, cuarcitas, esquistos con paragneises limolitas, anfibolitas y grauvacas. También está representado el cuaternario tanto en terrazas como indiferenciado.

La masa de agua subterránea incluye tres acuíferos: Moaña, Ría de Arousa y Valdimor, todos ellos compuestos principalmente por materiales cuaternarios.

Su permeabilidad es media-baja en casi toda su extensión, donde predominan las cuarcitas, gneises y granitos.

Zona no saturada: Granitos alcalinos, calcoalcalinos, gneises, cuarcitas, esquistos con paragneises limolitas, anfibolitas y grauvacas.

Límites de la masa: Los límites hidrogeológicos de la masa son difíciles de definir, dado el carácter impermeable de la misma y de la mayor parte de los terrenos de la Demarcación. Se han definido,

como se explicó en apartados anteriores, atendiendo no sólo a la hidrogeología sino también a cuestiones administrativas, hidrológicas y presiones encontradas. El límite Este por ejemplo atraviesa las grandes extensiones de granitos alcalinos localizados en el área suroccidental de la Demarcación, mientras que el límite norte coincide en parte con el contacto con depósitos cuaternarios irregulares situados sobre granitos calcoalcalinos.

Recarga: El mecanismo principal es la infiltración de la precipitación sobre las zonas de mayor permeabilidad relativa, si bien pueden existir otros procesos de importancia local.

Descarga natural: A través de los principales ríos (Mougas, Lagares, Cabeiro, Ponte Nova, Gomeza y Loira).

b) 011.002 Cuenca baja del Miño. Ocupa parte de las provincias de Pontevedra y Ourense, con una superficie poligonal de 4.474,8 km². Al sur limita con Portugal, al este limita con las cuencas del Sil y Limia y con la cuenca del Duero más al sur. Al oeste limita con el Océano Atlántico, y con la Demarcación Hidrográfica de Galicia Costa y al norte sigue la divisoria de aguas superficiales de la cuenca del Miño con Galicia Costa.

Litología Esquistos, filitas, limolitas, grauvacas, paragneises y rocas plutónicas.

Geología e hidrogeología: Los materiales en que se sitúa esta M.A.S. pertenecen al dominio de Esquistos de Galicia - Tras os Montes. Se trata principalmente de rocas plutónicas hercínicas de edad Devónico y Pérmico. Además, existen esquistos, filitas, limolitas y grauvacas del Silúrico-Devónico; y esquistos, paragneises y filitas del Cámbrico y Ordovícico. Estos materiales aparecen deformados por la Orogenia Hercínica, encontrándose afectados por un metamorfismo regional de bajo grado.

Zona no saturada: Esquistos, filitas, limolitas y grauvacas del Silúrico-Devónico; esquistos, paragneises y filitas del Cámbrico y Ordovícico, y rocas plutónicas del Devónico y Pérmico.

Límites de la masa: El límite norte coincide con la divisoria de aguas superficiales de la cuenca del Miño. Al suroeste el límite se establece en el contacto entre los materiales graníticos y metamórficos que componen esta masa con los del Aluvial del Bajo Miño. Al sur, limita con Portugal, y al sureste con la cuenca del Duero. Al este limita con la cuenca Alta del Miño y la cuenca del Sil. En la zona sureste, rodea a la masa Xinzo de Limia, quedando ambas unidades separadas mediante el contacto entre los detríticos cuaternarios, que componen dicha masa, con los graníticos y los materiales metamórficos de la presente unidad.

Recarga: El mecanismo principal es la infiltración de la precipitación sobre las zonas de mayor permeabilidad relativa, si bien pueden existir otros procesos de importancia local.

Descarga natural: Se trata de una masa de agua en materiales de baja permeabilidad cuyo funcionamiento hidráulico se desconoce. Dadas las propiedades de los materiales que albergan la masa es previsible que la descarga se realice a través de manantiales de pequeña entidad y a través de los principales cauces situados en su ámbito geográfico.

En una primera aproximación para analizar la permeabilidad de los materiales afectados por el tramo donde se disponen las trincheras objeto del estudio, se realiza en base al Mapa de Permeabilidad de España a escala 1:200.000 (IGME), realizado a partir del Mapa Litoestratigráfico de España a escala 1:200.000 (IGME), donde se representa los niveles litoestratigráficos agrupados por valores similares de permeabilidad. De este modo se asigna un grado de permeabilidad para cada unidad litoestratigráfica, se establecen 5 tipos de permeabilidad: Muy alta (MA), Alta (A), Media (M), Baja (B) y Muy baja (MB). Las distintas litologías se asociaron en 7 grandes grupos (carbonatadas, detríticas, detríticas del cuaternario, volcánicas, metadetríticas, ígneas y evaporíticas), dando lugar a una clasificación por tipos de acuíferos, establecidos según los procesos de formación de cada permeabilidad.

En base a este Mapa de Permeabilidad, en el trazado podemos diferenciar:

- Litologías meta-detríticas, de baja permeabilidad (M-B). Materiales situados en la zona central y oeste del trazado.
- Litologías ígneas, de baja permeabilidad (I-B). Situados en la zona este del trazado, coincidiendo con el enlace de Mos.
- Litologías detríticas cuaternarias, de muy alta permeabilidad (Q-MA). Se relaciona con la presencia de materiales aluviales situados al inicio y final de la variante.

Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Autovía A-52. Tramo: O Porriño - Vigo. Provincia de Pontevedra.

Figura 7: Mapa de Permeabilidades continuo a escala 1:200.000, IGME, en la zona del trazado, sobre Visor InfoIGME.

PERMEABILIDAD		MUY ALTA	ALTA	MEDIA	BAJA	MUY BAJA	
LITOLÓGÍAS	CON AGUAS UTILIZABLES	CARBONATADAS	C-MA	C-A	C-M	C-B	C-MB
		DETRÍTICAS (Cuaternario)	Q-MA	Q-A	Q-M	Q-B	Q-MB
		DETRÍTICAS	D-MA	D-A	D-M	D-B	D-MB
		VOLCÁNICAS (Proclásticas y lávicas)	V-MA	V-A	V-M	V-B	V-MB
		META DETRÍTICAS	M-MA	M-A	M-M	M-B	M-MB
		ÍGNEAS	I-MA	I-A	I-M	I-B	I-MB
	EVAPORÍTICAS	E-MA	E-A	E-M	E-B	E-MB	

Figura 8: Leyenda del Mapa Litoestratigráfico y de permeabilidades de España 1/200.000. IGME.

Consultando el Mapa Hidrogeológico de España a escala 1:200.000 (IGME), realizado a partir del Mapa Litoestratigráfico y de Permeabilidades de España, a escala 1:200.000 (IGME) y representa los niveles litoestratigráficos, agrupados por rango de permeabilidades y las litologías asociadas, y representados con un determinado color y tono, de forma que es posible visualizar sobre el mapa las áreas asociadas a los diferentes acuíferos. Los colores azules representan acuíferos porosos, los verdes acuíferos fisurados o kársticos y los marrones representan formaciones impermeables o de baja permeabilidad. La productividad viene representada por el tono, en el caso de las formaciones permeables, tonos oscuros indican mayor productividad y en el caso de las formaciones impermeables indican mayor impermeabilidad.

Así los materiales se clasifican hidrogeológicamente como:

- Tipo IIb; Formaciones generalmente impermeables o de muy baja permeabilidad. Formaciones metadetríticas e ígneas de permeabilidad baja o media. Materiales predominantes en la zona.
- Tipo IIa; Formaciones detríticas y cuaternarios de permeabilidad alta o muy alta.

Ia

Formaciones carbonatadas de permeabilidad alta o muy alta

Ib

Formaciones carbonatadas o volcánicas de permeabilidad media

IIa

Formaciones detríticas o cuaternarias de permeabilidad alta o muy alta, así como formaciones volcánicas de permeabilidad muy alta

IIb

Formaciones detríticas o cuaternarias de permeabilidad media. Formaciones volcánicas de alta permeabilidad

IIIa

Formaciones metadetríticas de permeabilidad alta. Formaciones detríticas, volcánicas, carbonatadas o cuaternarias de permeabilidad baja

IIIb

Formaciones generalmente impermeables o de muy baja permeabilidad. Formaciones metadetríticas, ígneas o evaporíticas de permeabilidad baja o media

Masas de agua

Figura 9: Mapa Hidrogeológico continuo escala 1:200.000, IGME, en la zona del trazado, sobre Visor InfoIGME.

Anejo n ° 4. Geología y geotecnia.

Página 8

3.2. Hidrogeología de la zona de estudio

Independientemente de los dominios hidrogeológicos, los perfiles de meteorización los materiales Precámbricos y Cámbricos, se caracterizan por zonas estratificadas paralelas a superficies de paleo-meteorización, que de forma teórica dan origen a tres capas acuíferas principales, respectivamente una saprolita no consolidada (o regolito), una zona rocosa fracturada superior y una zona menos fracturada inferior. El límite inferior del acuífero viene definido por el basamento rocoso fresco.

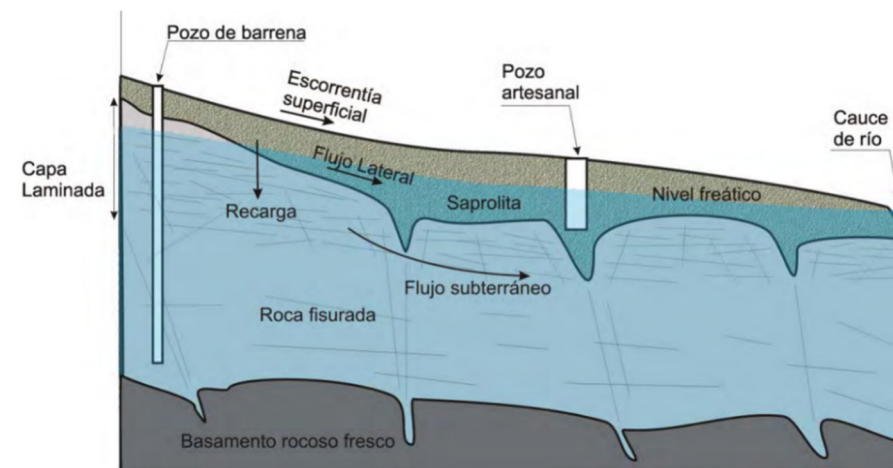


Figura 10: Modelo conceptual hidrogeológico para los acuíferos rocosos fracturados de Galicia.

El manto de alteración de la roca no consolidado (saprolita), puede llegar a alcanzar espesores de varios metros, y una porosidad elevada debido a su composición arenosa-arcillosa que dependerá de la litología de la roca madre. La saprolita puede ser considerada como un medio poroso, y cuando esta capa está saturada, constituye principalmente la función capacitiva de acuífero compuesto y suele ser explotada por la mayoría de los pozos tradicionales excavados de poca profundidad.

Por debajo de esta capa, se encuentra una zona de roca fracturada con menor porosidad. En un medio fracturado, las propiedades del acuífero dependerán de la distribución, densidad y conectividad de la red de fracturas y fisuras. Esta capa está caracterizada por una densa fisuración horizontal en los primeros metros, que va decreciendo en profundidad progresivamente. La zona superior de la roca con alta densidad de fisuras constituye la denominada capa laminada (laminated layer). Esta capa asume principalmente la función transmisiva del acuífero compuesto. En los casos en que el manto de alteración de la roca o saprolita es muy poco profundo o se encuentra no saturado la capa rocosa fracturada asume también la función capacitiva del acuífero compuesto.

Por último, el basamento rocoso fresco es sólo parcialmente permeable a nivel local, principalmente en aquellas zonas donde se desarrolla permeabilidad secundaria, fruto de la red de fracturas que lo atraviesa. A estas profundidades la densidad de fracturas es mucho menor que en la capa fisurada, por lo que a escala de cuenca y para aplicaciones de recursos hídricos, el basamento rocoso puede

ser considerado como impermeable o de baja permeabilidad y con una capacidad de almacenamiento de agua muy baja. Se pueden llegar a localizar pequeños acuíferos en las zonas de alta fracturación como fallas o cizallas

Como se ha comentado con anterioridad, en la zona por donde discurre el trazado afecta a los acuíferos presentes en las formaciones cuaternarias, principalmente en la zona de los enlaces. Estos sedimentos presentan, a priori, unas condiciones más favorables para la infiltración y almacenamiento del agua subterránea. Aunque su denominador común es la superficialidad y su escaso espesor, muy afectados por las variaciones estacionales.

De esta manera en la zona de estudio se definen los siguientes tipos litológicos, con las siguientes características hidrogeológicas:

- **Rellenos estructurales (R1):** Están representados en la zona por los rellenos viarios de carreteras presentes en el trazado, con una escasa incidencia.

La permeabilidad de los depósitos de terraplén depende de la granulometría de los materiales utilizados y de su grado de compactación.

En la zona de estudio, el nivel freático se sitúa en principio por debajo del muro de este litotipo, aunque no se descarta que éste no afecte a este tipo de materiales en algunas zonas donde los rellenos alcancen un mayor espesor.

- **Depósitos aluviales cuaternarios (QAL):** Esta unidad está constituida por los suelos cuaternarios de origen aluvial y los depósitos de fondo de valle. Los suelos de origen aluvial pertenecen a los depositados en estrechas franjas de escaso desarrollo en planta, en el fondo de las vaguadas de los cursos de agua de carácter estacional, así como los depositados en el fondo del cauce de los ríos principales atravesados por la traza, río Louro y río Eifonso.

Están formados principalmente por arenas, con una proporción similar en grava y limo-arcilla. Presentan tonalidades ocre y marrones.

En un medio fluvial existe una variabilidad granulométrica importante, tanto lateralmente como en la vertical, a pesar de ello, éstos forman un acuífero único, de carácter libre y en general de permeabilidad elevada. El espesor de estos materiales varía a lo largo y ancho de la zona de estudio, con espesores detectados no mayores a los 5 m.

Debido a su elevada permeabilidad, unido al hecho de que el nivel freático se sitúa muy próximo a la superficie, se considera que esta unidad presenta una vulnerabilidad muy alta a la contaminación.

Estos materiales en base al Mapa de Permeabilidad, anteriormente mencionado, corresponde con las litologías detríticas cuaternarias de muy alta permeabilidad (Q-MA), correspondiendo con las formaciones hidrogeológicas Tipo IIa

- Suelos de alteración procedentes de granito, (QPG): constituido por los suelos cuaternarios de origen eluvial, que corresponden a la alteración in situ del sustrato rocoso granítico, alcanzan un grado de alteración V, donde el granito está descompuesto a suelo, identificando la estructura del macizo. De este modo se considera una formación granular con predominio de arenas gruesas y en ocasiones gravas fina de composición granítica.

Estos materiales se identifican en la zona inicial del trazado, en el enlace de la A-55 con la A-52, hasta aproximadamente el enlace de la A-52 con la N-120. Presenta un desarrollo irregular, ya que la alteración de pende de numerosos factores, de este modo se han detectado espesores comprendidos entre los 2 a 20 m.

Dado el carácter granular se consideran materiales de elevada permeabilidad, en general, el nivel freático se sitúa próximo al contacto con el sustrato granítico. Como en el caso anterior, se considera que esta unidad presenta una vulnerabilidad muy alta a la contaminación.

- Suelos de alteración procedentes de gneis, (QPN): como el caso anterior son suelos origen eluvial, por la alteración del sustrato rocoso gnéisico. Se describen como arena-limosa/limo-arenoso de color pardo.

Estos materiales se identifican desde el enlace de la A-52 con la N-120, hasta el final del trazado, con espesores variables comprendidos entre 5 a más de 20 m.

Como en el caso anterior, dado su carácter granular se consideran materiales de elevada permeabilidad, en general, el nivel freático se sitúa próximo al contacto con el sustrato granítico. Como en el caso anterior, se considera que esta unidad presenta una vulnerabilidad muy alta a la contaminación en los casos que su desarrollo sea escaso.

- Granitos sanos, (G): afloran desde el inicio del itinerario hasta aproximadamente el enlace de la A55 con la carretera N-120. Se trata de un granito blanco y rosado de dos micas. En el trazado en estudio, se encuentran generalmente tapizados por una capa superficial de jabre arenoso producto de la alteración de los granitos infrayacentes. El espesor de esta capa de jabre es muy irregular, desde 0 m en las zonas de mayor relieve hasta más de 20 m en las inmediaciones del cauce del río Louro.

Los granitos se han reconocido mediante sondeos. Las muestras obtenidas en ellos corresponden a tramos sanos o poco alterados, considerándolos como impermeables, no llegando a detectar nivel freático en estas litologías.

Corresponden a litologías ígneas de baja permeabilidad (I-B), correspondiendo c a las formaciones IIIb.

- Gneis sanos, (N): Afectan al trazado a partir del P.K. 1+170 del eje 4 hasta el final del itinerario. Esta unidad está formada generalmente por gneis oclares, ortogneis, y bandeado, paragneis, de color gris, en menor medida, en las inmediaciones de los contactos entre los gneis y los granitos se han detectado migmatitas cuyo comportamiento se asimila al del gneis por lo que su caracterización se incluye dentro de este grupo.

Este tipo de rocas se suelen presentar cubiertas por una capa de suelo de alteración (jabre de gneis) cuyo espesor puede alcanzar los 15 m en algunas vaguadas. El “perfil” de alteración de los gneises no da lugar a una superficie continua, sino que constituye una superficie irregular tanto en horizontal como en profundidad.

En algunos sondeos se han detectado zonas alteradas a suelos o con muy baja recuperación, relacionándolas con fracturas, zonas de mayor permeabilidad por donde puede circular agua, llegando a detectar la presencia de agua a profundidades mayores de 60 m.

Sobre esta litología discurre la excavación del túnel.

En base al Mapa de Permeabilidad son litologías meta-detríticas de baja permeabilidad (M-B), correspondiendo con las formaciones hidrogeológicas Tipo IIIb.

4. Mediciones del nivel piezométrico

Para la determinación de la posición del nivel freático actual a lo largo de la zona de estudio, se ha contado con el nivel piezométrico medido en 15 de los 20 sondeos geotécnicos perforados a lo largo de la traza.

Se observa como el nivel piezométricos se sitúa por lo general muy cerca de la superficie, entre 1 y 10 m de profundidad, adaptándose el nivel freático en gran medida al contacto con el sustrato rocoso impermeable, ya sea granito o gneis.

A continuación, se incluye una tabla resumen con las lecturas del nivel piezométrico realizadas

SONDEO	CAMPAÑA	PROFUNDIDAD (m)	OBSERVACIONES
ST 3+148	2022	-	-
ST 3+948		-	-
SDT 5+462		18.95	Cuaternario aluvial
SE 5+690		1.40	Eluvial gneis
SD 2+320	CAMPAÑA PC PORRIÑO- VIGO 2008	6,15	Jabre granítico con espesor > 10 m
SD 2+580		10.00	Gneis alterado
SE 3+220		--	
SE 3+560		9.15	Eluvial próximo a contacto con gnesis
SD 3+750		13.70	Gneis ligeramente fracturado
SD 4+360		19.40	Eluvial próximo a contacto con gnesis
ST 4+600		4.60	Eluvial próximo a contacto con gnesis
ST 4+850		62.00	Gneis ligeramente fracturado
SR 9+400		4.50	Eluvial gneis espesor > 15 m
SR 9+570		2.50	Cuaternario fondo de valle
S-2	CAMPAÑA PC MODIFICACIÓN N ENLACE A52-A55 2008	-	-
S-3		-	-
S-10		2.15	Contacto jabre granítico y granito.
S-11		8.55	Jabre granítico con espesor > 15 m
S-12		4.20	Cuaternario aluvial.
S-13		14.80	Jabre granítico con espesor > 15 m

Tabla 1: Seguimiento nivel freático en los sondeos geotécnicos

5. Parámetros hidráulicos

Para la determinación de los parámetros hidráulicos de los materiales afectados, se han contado con ensayos de permeabilidad tanto Lugeon, para macizo rocoso, como Lefranc, para los suelos realizados sobre los sondeos geotécnicos.

5.1. Ensayos de permeabilidad Lugeon

Los ensayos de permeabilidad Lugeon se realizan en macizos rocosos fracturados, donde se introduce agua a presión constante en tramos aislados.

El ensayo normalmente se realiza en tramos de 5,0 m aislados por obturadores neumáticos, en intervalos de 10 minutos, inyectando una presión de agua constantes en cada intervalo, el ensayo se realiza a presión creciente y decreciente, entre cero y presión máxima.

Se ha ejecutado un total de 4 ensayos de permeabilidad Lugeon, todos en los gneises sanos, donde se desarrollará el túnel.

SONDEO	PROFUNDIDAD ENSAYO (m)	PRESIÓN MÁXIMA (kg/cm²)	U. LUGEON	Clasificación del macizo en función de la permeabilidad ⁽¹⁾	Permeabilidad cm/s
S 3+948	130.00-135.00	10.00	2,80	Prácticamente impermeable	2,80 E-05
	190.00-195.00	10.00	5,00	Permeable	5,00 E-05
S 5+690	7.50-12.50	10.00	3,90	Permeable	3,90 E-05
ST 4+600	75.00-80.00	10.00	0,21	Muy impermeable	0,20 E-06

1.- Olalla y Sopeña, 1991

Tabla 2: Ensayos de permeabilidad Lugeon realizados

En las rocas metamórficas los planos de sedimentación, esquistosidad y la diaclasación pueden jugar un papel muy importante y dominante. De este modo las zonas más alteradas pueden presentar permeabilidades de hasta 1 m/día, y las zonas más sanas donde no se aprecia fracturación valores del orden de magnitud de E-07 m/día, tal y como podemos apreciar de la siguiente representación gráfica de Heath.

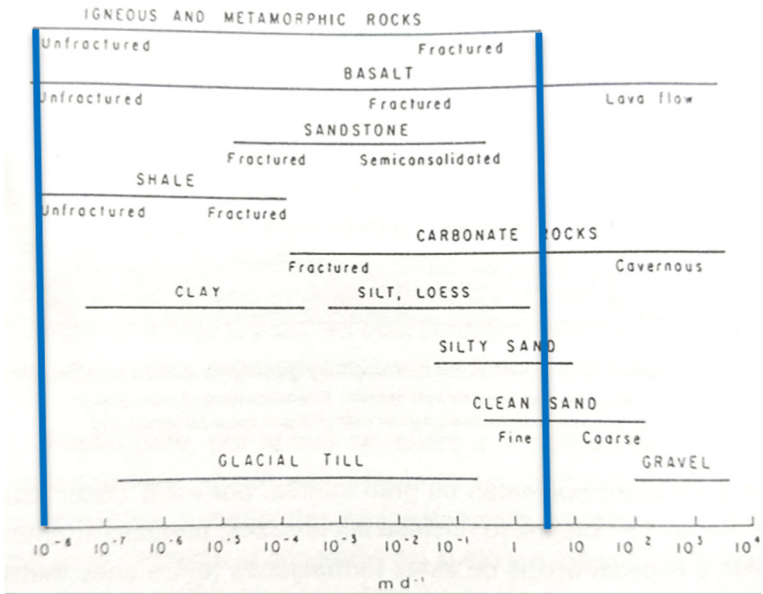


Figura 11: Variación de la permeabilidad en varios materiales Heath 1987.

Es obvio que, tanto a mayor anchura como a mayor densidad de juntas o fracturas, la permeabilidad del macizo rocoso se incrementa. Este aumento en función de estas dos variables se refleja en el siguiente gráfico, Hoek y Bray, 1981, en Domenico y Schwart, 1990), basado en la ley cúbica, el caudal que circula entre dos planos paralelos es directamente proporcional al cubo de la apertura entre planos.

En base a las estaciones mecánicas realizadas, la apertura de las juntas está comprendida entre 0,1 a 0,25 mm, y el espaciado varía entre 0,06 a 0,2 m.

Según la representación gráfica obtendríamos valores de permeabilidad comprendidos entre órdenes de magnitud de E-05 cm/s (E-02 m/día), a E-03 cm/s (E¹ m/día), valores similares a los obtenidos en los ensayos Lugeon realizados.

Por lo que se considerará el valor medio de los ensayos realizados, 2,96·E-05 cm/s

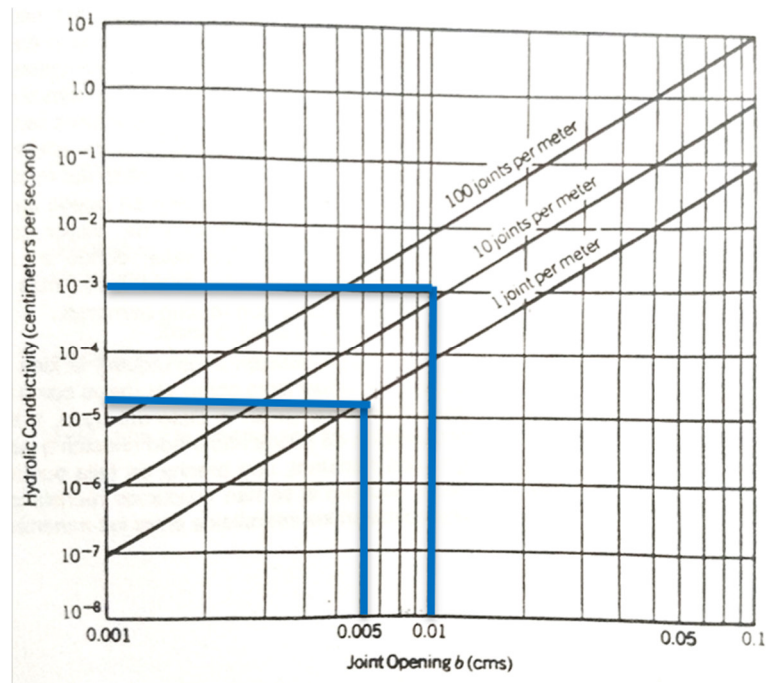


Figura 12: Relación entre el ancho y densidad de fracturas con la permeabilidad, para un bloque de roca con fracturas planas y paralelas (Hoek y Bray, 1981, en Domenico y Schwartz, 1990).

Los valores de permeabilidad obtenidos son bajos, comparándolos con la clasificación de materiales sedimentarios según su permeabilidad (Custodio y Llamas, 1983), la clasificación hidrogeológica será de acuífero pobre para permeabilidades mayores a E^{-01} m/día, coincidente con las zonas más alteradas, de acuitardo las zonas con valores de permeabilidad comprendidos entre E^{-02} y E^{-03} m/día, zonas ligeramente fracturadas y prácticamente impermeable cuando las permeabilidades sean inferiores a E^{-04} m/día, correspondiendo con las zonas sin fracturación.

5.1.1.1. Ensayos de permeabilidad Lefranc

Los ensayos de permeabilidad Lefranc se realizan en suelos permeables o semipermeables y en macizos rocosos muy fracturados.

El ensayo consiste en llenar el sondeo con agua hasta cota de revestimiento y tomar mediciones del caudal necesario para mantener el nivel de agua constante. Las medidas de caudal se realizan cada 5 minutos, durante 45, en caso de detectar alta permeabilidad, se miden cada minuto durante los primeros 20.

Se ha ejecutado un total de un ensayos de permeabilidad Lefranc, realizado en suelos eluviales procedentes de la alteración del gneis, QGN.

SONDEO	PROFUNDIDAD ENSAYO (m)	PERMEABILIDAD (cm/sg)
SDT 5+462	6.00-8.20	$2,5878 \cdot 10^{-2}$

Tabla 3: Ensayo de permeabilidad Lefranc realizado

El valor de permeabilidad obtenido es de magnitud de $2,5 E^{-02}$ cm/s ($2 E^{10}$ m/día). Lo que corresponde a permeabilidades de un buen acuífero, próximo a acuífero pobre.

CLASIFICACIÓN GEOLÓGICA	PERMEABILIDAD EN (m/día)									
	10^4	10^3	10^2	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}
CLASIFICACIÓN GEOLÓGICA	GRAVAS LIMPIAS	GRAVAS Y ARENAS, O ARENAS GRUESAS	ARENAS FINAS O CON MEZCLA DE LIMOS	LIMOS O ARCILLAS ARENOSAS	ARCILLAS COMPACTAS					
CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA	BUEN ACUÍFERO		ACUÍFERO POBRE	ACUITARDO	PRÁCTICAMENTE IMPERMEABLE					

Figura 13: Clasificación de algunos materiales sedimentarios según su permeabilidad (Custodio y Llamas, 1983).

Con objeto de verificar el dato anterior, se estima la permeabilidad de estos materiales, en primer lugar mediante métodos cualitativos. Breddin (1963) estableció una clasificación gráfica de los terrenos consistente en 12 clases cuyas características se dan en la tabla.

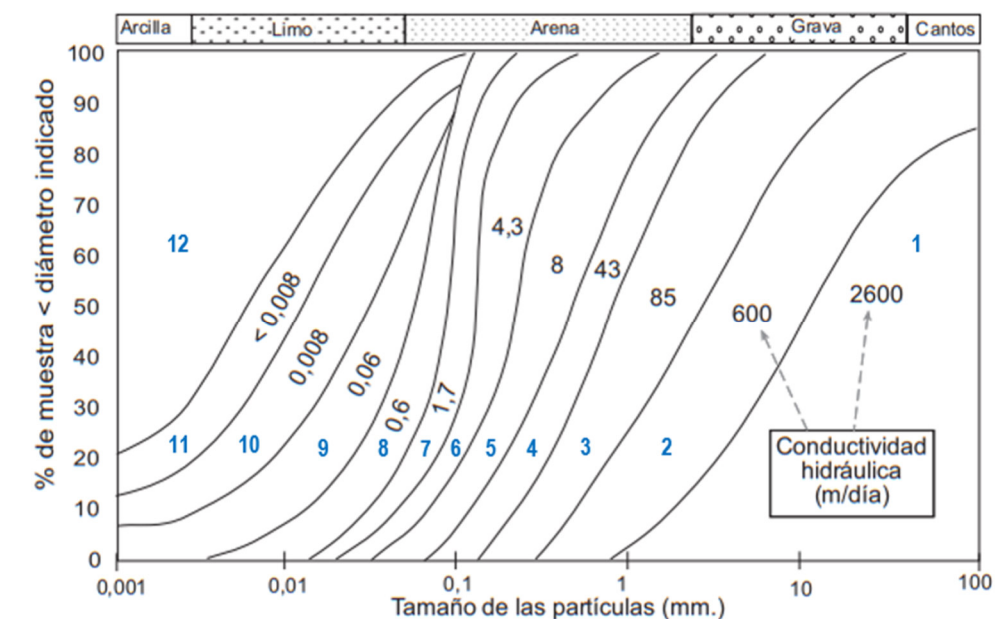


Figura 14: Curvas de Breddin

Clase	Permeabilidad según Hazen cm/seg		Clase de acuífero	Clase de permeabilidad
1	3	Acuífero	muy bueno	muy alta
2	0,7		muy bueno	muy alta
3	0,1		bueno	alta
4	0,05		regular	media
5	$9 \cdot 10^{-3}$		pobre	pequeña
6	$5 \cdot 10^{-3}$		pobre	pequeña
7	$2 \cdot 10^{-3}$		muy pobre	muy pequeña
8	$7 \cdot 10^{-4}$		muy pobre	muy pequeña
9	$7 \cdot 10^{-5}$		impermeable	prácticamente impermeable
10	$1 \cdot 10^{-5}$	Actúclido	impermeable	prácticamente impermeable
11	$< 10^{-5}$		impermeable	prácticamente impermeable
12	$< < 10^{-5}$		impermeable	prácticamente impermeable

Figura 15: Clases de terrenos de Bredding, según la figura anterior.

En realidad, se trata de un gráfico preparado para ser aplicado en el área alemana de Nordrhein-Westfalen, pero puede dar una primera idea de la permeabilidad de cualquier material no consolidado cuya curva granulométrica no sea excesivamente diferente de las contenidas en el gráfico. Si la curva granulométrica queda dentro del área de una clase el problema es sencillo, pues basta leer la permeabilidad media asignada a esa clase. Si la curva se sitúa entre dos o más áreas es preciso tomar una permeabilidad media, en general más próxima a la de la clase de índice mayor ya que los materiales más finos suelen dominar el tipo de permeabilidad.

En la siguiente figura se representan los valores medios obtenidos de las curvas granulométricas para las distintas unidades diferenciadas, sobre las Curvas de Breddin:

- Suelos de alteración procedentes de granito (QPG), curva azul.
- Suelos de alteración procedentes de gneis (QPN), curva verde.

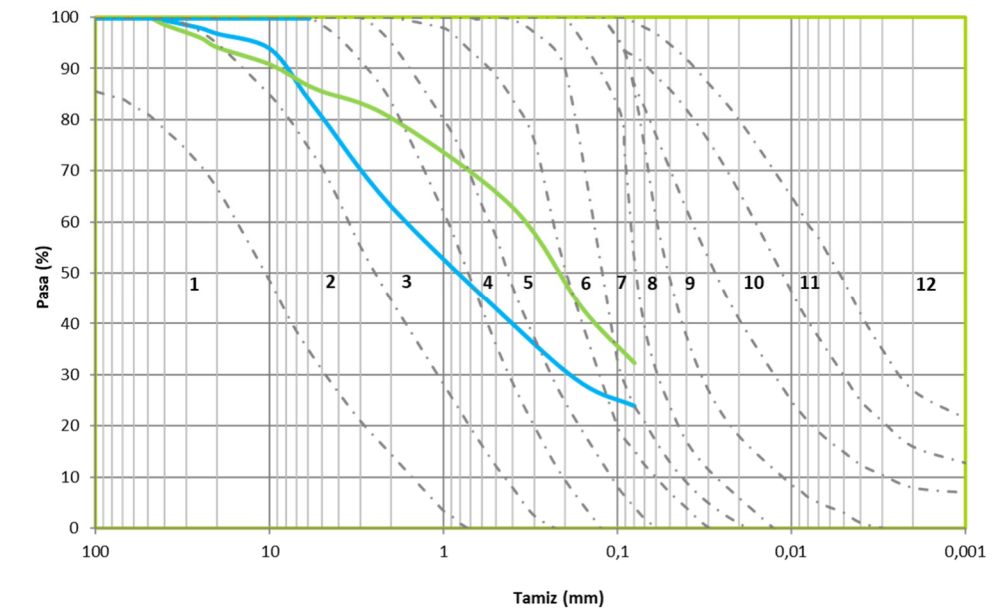


Figura 16: Curvas granulométricas medias de las formaciones rocosas alteradas sobre ábacos de Breddin.

Prolongando las curvas granulométricas medias obtenidas podemos diferenciar:

- Los suelos procedentes de la alteración de granito (QPG), se puede apreciar cómo las fracciones más finas prolongan sus curvas hasta alcanzar un d_{20} ó d_{10} situado en las categorías 8 y 9, lo que corresponde a permeabilidades en torno a $7 \cdot 10^{-4}$ cm/s y $7 \cdot 10^{-5}$ cm/s propias de acuíferos muy pobres a impermeables, cuyas permeabilidades son muy pequeñas a impermeables.
- Los suelos procedentes de la alteración de gneis (QPN), en este caso la prolongación de la curva se sitúa entre las categorías 7 y 8, lo que corresponde a permeabilidades en torno a $2 \cdot 10^{-3}$ cm/s y $7 \cdot 10^{-4}$ cm/s propias de acuíferos muy pobres, cuyas permeabilidades son muy pequeñas. El valor de la clase 7 es similar al realizado en el ensayo Lefranc realizados en la formación QPN.

Otro modo de contrastar los valores de permeabilidad en base a las curvas granulométricas, son los métodos cuantitativos, a continuación, se exponen los dos empleados:

Fórmula de Hazen, (en Custodio y Llamas, 1983) en su forma general es:

$$k_0 = c \cdot d_e^2$$

En la que c es una constante y d_e es el diámetro equivalente, que Hazen identifica con el valor de d_{10} de la curva granulométrica. Para k en cm/seg a 20 °C y d_{10} en cm es:

Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Autovía A-52. Tramo: O Porriño - Vigo. Provincia de Pontevedra.

- $c = 45,8$ para arenas arcillosas
- $c = 142$ para arenas puras

Es frecuente tomar $c = 100$, siendo el margen de variabilidad más usual entre 90 y 120.

Aún más simple que Hazen es la expresión del U.S. Bureau of Reclamation (en Kasenow, 2002):

$$K = 311 \cdot d_{20}^{2,3}$$

donde:

- d_{20} = diámetro (mm) que deja pasar el 20% de los granos (20% menor, 80% mayor)
- K = conductividad hidráulica (m/día)

En este caso emplearemos los datos de las curvas granulométricas con los valores medios obtenidos, dado que no se han efectuado análisis granulométrico por sedimentación, para obtener los valores d_{10} y d_{20} , se efectuarán prolongando la curvas granulométricas medias obtenidas:

Unidad	d_{10}	d_{20}	PERMEABILIDAD HAZEN			PERMEABILIDAD U.S. BUREAU		
			cm/sg	m/sg	m/d	cm/sg	m/sg	m/d
QPG	0,015	0,032	$2,25 \cdot E^{-04}$	$2,25 \cdot E^{-06}$	$1,94 \cdot E^{-01}$	$1,31 \cdot E^{-04}$	$1,31 \cdot E^{-06}$	$1,13 \cdot E^{-01}$
QPN	0,006	0,040	$3,60 \cdot E^{-05}$	$3,60 \cdot E^{-07}$	$3,11 \cdot E^{-02}$	$2,19 \cdot E^{-04}$	$2,19 \cdot E^{-06}$	$1,78 \cdot E^{-01}$

Tabla 4: Estimación de valores de permeabilidad métodos cuantitativos.

Los valores que en ella se obtienen vuelven a ser coherentes con los órdenes de magnitud obtenidos por el método de Breddin.

De esta manera se pueden establecer los siguientes valores de permeabilidad para los depósitos aluviales y las alteraciones a suelo del sustrato rocoso:

- Suelos de alteración procedentes de granito (QPG), se puede establecer un valor de comprendido entre $1 \cdot E^{-04}$ a $1 \cdot E^{-05}$ cm/s propias de acuíferos muy pobres, cuyas permeabilidades son muy pequeñas.
- Suelos de alteración procedentes de gneis (QPN), en este caso el valor de permeabilidad es de $1 \cdot E^{-03}$ a $1 \cdot E^{-05}$ cm/s, y propias de acuíferos pobres, cuyas permeabilidades son pequeñas.

6. Funcionamiento hidrogeológico

De acuerdo con este modelo conceptual general, los datos hidrogeológicos indican la existencia de dos subsistemas de flujo subterráneo: un acuífero somero de generalmente menos de 20 m de profundidad desarrollado en la zona de meteorización de la roca; y por debajo de este acuífero existe otro de menor permeabilidad desarrollado en la roca fracturada, donde el flujo se produce principalmente a través de la red de fracturas. La profundidad de la zona de fracturación de la roca varía significativamente de un sitio a otro dependiendo de la historia tectónica del macizo rocoso, oscilando entre los 30 y 100 m de espesor.

En el acuífero somero el nivel freático reproduce de una manera suavizada la superficie topográfica del terreno, se encuentra a solo unos pocos metros de profundidad y sufre oscilaciones anuales de 1,5 a 4 m con rápidos ascensos de nivel tras las lluvias y descensos tendidos tras períodos secos. Durante el invierno es relativamente usual que en zonas de valle el nivel freático ascienda prácticamente hasta la superficie, lo que marca el máximo nivel de recarga. Existe una cierta desconexión hidrogeológica entre el manto de alteración superficial y la capa de roca fracturada. El contraste de propiedades entre ambas capas favorece la formación de flujo lateral o hipodérmico que discurre en la interfaz entre saprolita y roca, y que representa una componente importante del balance hídrico.

A priori, en la zona de estudio, se ha podido identificado dos zonas con funcionamiento hidrogeológico diferenciado:

- Zona Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa, Concello de Vigo, existe gran cantidad de manantiales, lo que indica que estamos ante un acuífero somero asociado a una zona de meteorización bien desarrollada.
- Zona Demarcación Hidrográfica Miño-Sil, vertiente este Chan da Cruz, donde la presencia de surgencias es más escasa, y en el momento de la visita secas, y donde se ha inventariado un gran número de pozos, asociados probablemente al flujo de agua por fracturación de la roca y/o al flujo hipodérmico ente la interfaz saprolito y roca.

6.1. Recarga

En ambas zonas la recarga proviene, principalmente, de la infiltración del agua de lluvia que cae sobre las zonas no pavimentadas, mayoritarias en la zona central del trazado. Existe también recarga por infiltración en los cauces del río Louro en la vertiente este y rego Eifonso en la oeste, en épocas más secas.

Por último, aunque de menor cuantía que las anteriores, es bastante probable una cierta recarga a partir de las pérdidas de la red de abastecimiento, y desde la red de alcantarillado. Dentro de este

tipo de recarga, en principio menos cuantioso, se incluyen las posibles pedidas desde los cauces estacionales.

6.2. Descargas

Sin duda, las descargas más importantes del acuífero superficial en la zona de estudio se producen al río Louro en la vertiente este y rego Eifonso en la oeste. El acuífero está conectado hidráulicamente con ambos ríos, en virtud de la elevada permeabilidad de los materiales aluviales y cauces actuales. Esta conexión está corroborada por la distribución piezométrica en el acuífero, congruente con la cota del nivel de agua en los cauces. A parte de las descargas a los ríos, también es posible una cierta descarga a los cauces de los arroyos en épocas lluviosas.

Además de las descargas naturales, existe extracción de aguas subterráneas a través de pozos. En la mayor parte de los casos, resulta muy difícil la cuantificación de los bombeos.

6.3. Flujo subterráneo

A la vista de las prospecciones disponibles, parece que la zona de alteración del sustrato rocoso, junto a los materiales depositados en el fondo de los cauces y llanura de inundación de los ríos y arroyos, forman un acuífero único conectado con los ríos.

En el sondeo ST 4+850, se ha detectado la presencia de agua a una profundidad de 62 m, en el sustrato gnéisico en principio impermeable. Esto es debido, a priori, a un mayor grado de fracturación del macizo. Este aspecto debe ser estudiado en detalle y con más sondeos a recuperación de testigo continuo en el Proyecto de Construcción, ya que el conocimiento de la compartimentación del agua en estos materiales es de vital importancia para la evaluación y valoración el efecto barrera de las obras.

El modelo de flujo subterráneo, obtenidos de las isopiezas a partir de los sondeos ejecutados, presentado se ha simulado el flujo del acuífero superficial, dirigiéndose desde las zonas más altas, Chan da Cruz, hacia los cauces de las vertientes, de modo que el flujo subterráneo se dispondría de prácticamente paralelo a la traza.

Las cabeceras de los arroyos introducirían un aporte subterráneo al acuífero, que se sumaría al originado por la recarga de agua de lluvia. Se espera un gradiente hidráulico mayor en las zonas altas del acuífero que en las partes más bajas y próximas a los cauces de los ríos, debido a la pendiente natural del terreno y a una reducción de la transmisividad producida por la disminución del espesor del acuífero, lo que condicionaría gradientes más elevados.

A continuación, se muestra una figura con el modelo de flujo obtenido:

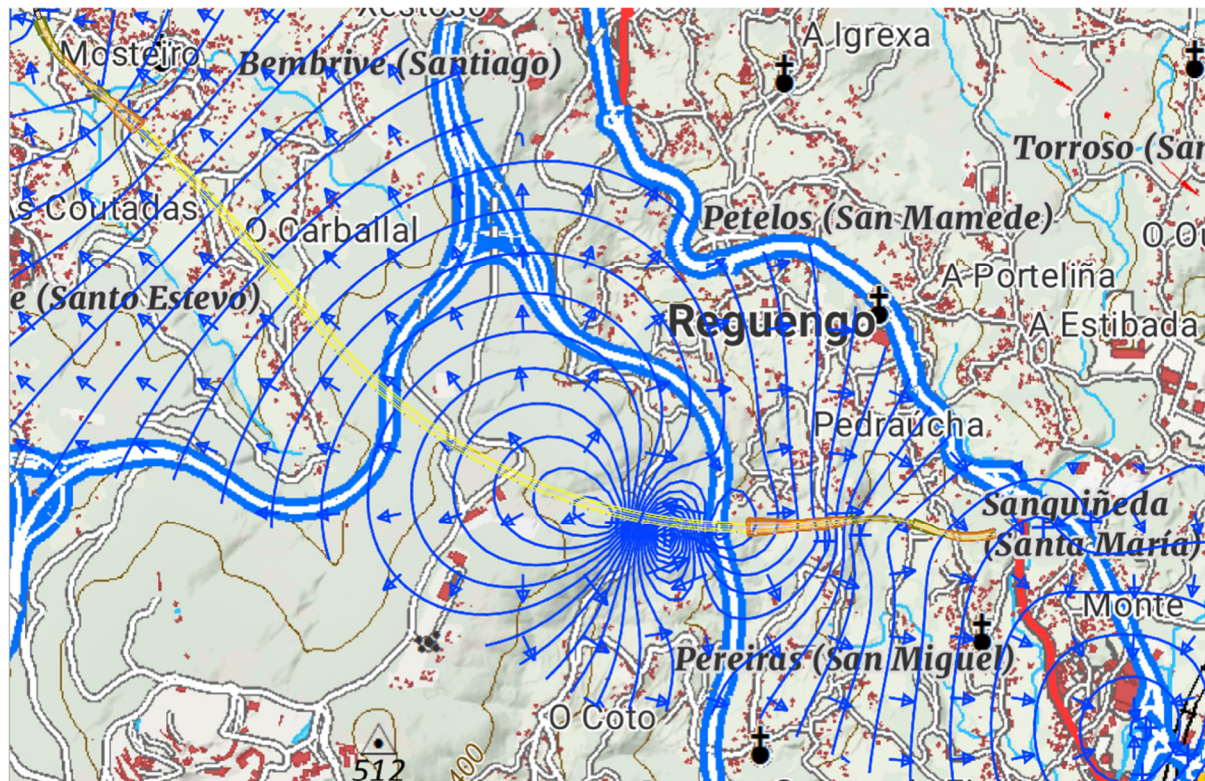


Figura 17: Plano de isopiezas generados, con líneas de flujo.

7. Inventario de puntos de agua y zonas de protección

En base a “Las Aguas Subterráneas en España”, Agustín Navarro Alvargonzález, et al., IGME, 1993, en el Capítulo VII, Cuencas Norte, se estima que existen en Galicia alrededor de 300.000 pozos y manantiales, cuya característica fundamental es el bajo caudal y la fuerte estacionalidad. En la actualidad se realizan muchos sondeos en Galicia, de los denominados “pozos de barrena” de pequeño diámetro, escasa profundidad y caudales máximos del orden de 1.000 l/h. (0,25 l/s).

Los pozos con diámetros de 1 a 3 m son abundantísimos; puede afirmarse que cada casa, en las zonas rurales, tiene uno. Su profundidad normal es de 4 a 8 m y sus caudales desconocidos porque, generalmente, el agua se saca a mano y no se precisan más de 500 litros diarios. Muchos de ellos se secan durante el verano; las variaciones de caudal en ellos, lo mismo que en los manantiales, son estacionales. Actualmente se realizan menos pozos de gran diámetro y se tiende, para pequeñas aldeas, a construir los pozos de barrena, equipados con motor o a hacer captaciones del río y/o manantiales, para comunidades mayores.

Aunque en toda la región gallega son muy numerosos los manantiales, pocos tienen un caudal elevado y sin bruscas oscilaciones estacionales. La inmensa mayoría no sobrepasa los 2 litros por segundo, aunque se pueden encontrar algunos, que sobrepasan los 10 l/s.

En la actualidad son muy escasos los núcleos de más de 2.000 habitantes que se abastecen de manantiales y, si lo hacen, suelen tener problemas durante el verano.

Con objeto de conocer las zonas afectadas por el trazado se procede a la recopilación de puntos de agua y zonas de protección elaborado a partir de la información disponible.

7.1. Base de datos hidrogeológicos del IGME

Se ha procedido a extraer los puntos de agua más próximos al trazado, correspondientes a las hojas 411 (VII) de la Base de Datos Puntos de Agua V2.0 del IGME. En la siguiente tabla se resumen los correspondientes a las citadas hojas:

ID	HOJA	OCTANTE	PUNTO	NATURALEZA	COTA (m)	PROF. (m)	PROVINCIA	MUNICIPIO	CUENCA	UTILIZACIÓN	FECHA DE OBRA	SISTEMA ACUIFERO	MÉTODO PERFORACIÓN	MOTOBOMBA	CAUDAL (l/s)	X	Y	HUSO
411-7-0001	411	7	0001	Manantial	55	-	Pontevedra	O Porriño	NORTE	Abastecimiento (que no sea núcleo urbano)	-	Aislado	Desconocido	-	0,17	530279	4669322	29
411-7-0002	411	7	0002	Pozo	470	8	Pontevedra	Vigo	NORTE	Abastecimiento (que no sea núcleo urbano)	1978-02-01	Aislado	Excavación	Motor eléctrico, bomba eje horizontal	-	526596	4668744	29
411-7-0003	411	7	0003	Sondeo	470	18	Pontevedra	Vigo	NORTE	Abastecimiento (que no sea núcleo urbano)	1978-02-01	Aislado	Mixto (rotación y percusión)	Motor eléctrico, bomba sumergida	-	526690	4668850	29

Tabla 5: Puntos de agua próximos al trazado, tomados Datos Puntos de Agua V2.0 del IGME.

Los pozos situados en el municipio de Vigo registrados por el IGME se encuentran a una distancia superior a 1.000 m del eje del trazado, el manantial situado en O Porriño si sitúa a unos 500 m.

7.2. Base cartográfica nacional a escala 1:25.000

La Base Cartográfica Nacional a escala 1:25.000, se recogen los puntos de interés hidrográfico, que representan elementos tales como cataratas, fuentes, es decir, puntos donde existe variación del flujo del agua. Se ha realizado a partir de la integración de datos del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y de fuentes procedentes de la Administración General del Estado (Dirección General del Agua DGA; Instituto Hidrográfico de la Marina IHM, etc.).

El centro de descargas del Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG), permite la descarga de esta información para su análisis en un sistema de información geográfico. De este modo se analizan los puntos más próximos al trazado, hojas 0223 (III y IV) y 0261 (II).

GID	FECHA	ID_DEMARC	ID_SURG	NOMBRE	TIPO_SURG
1365266	2019-02-27	ES014	32409	-	22001
1365265	2019-02-27	ES014	32431	-	22002
1365262	2019-02-27	ES014	32432	-	22002
1401018	2019-02-27	ES010	59293	-	21000 (pozo)

Tabla 6: Puntos de agua próximos al trazado, tomados del Centro de descargas IGN, información geográfica de referencia, Hidrografía

El pozo detectado en la localidad de O Porriño se encuentra a una distancia superior a 1.000 m del eje del trazado, mientras que las surgencias detectadas en el término municipal de Vigo, Parroquia de Santiago de Bembrive, se encuentran en torno los 400 m del eje del trazado.

7.3. Manantiales y fuentes naturales Concello de Vigo

Se ha consultado el listado de fuentes naturales del Concello de Vigo y procedido a realizar una visita de campo con objeto de verificar su presencia. Se trata fundamentalmente de surgencias de agua canalizadas, relacionándolas con acuíferos superficiales del soprolito y en ocasionalmente en suelos cuaternarios aluviales relacionados con el rego Eifonso. En la siguiente tabla se resumen los más próximos al trazado:

PUNTO	NATURALEZA	X	Y	NOMBRE
01	Manantial	527.085	4.671.447	--
02	Manantial	525.151	4.672.269	Fonte da Sansequeira
03	Manantial	526.238	4.672.551	Fonte Novelos
04	Manantial	525.381	4.672.170	--
05	Manantial	527.199	4.671.491	--
06	Manantial	526.721	4.671.555	--
07	Manantial	527.318	4.671.873	--
08	Manantial	526.539	4.670.176	Fonte da Capela
09	Manantial	525.435	4.669.412	Fonte das Regas
10	Manantial	525.625	4.670.081	Fonte dos Friales
11	Manantial	525.887	4.669.458	--

Tabla 7: Puntos de agua próximos al trazado, tomados del Centro de descargas IGN, información geográfica de referencia, Hidrografía

En general se sitúa a distancias mayores de 300 m del trazado, excepto los puntos 02 y 04 situados en torno los 200 m, relacionándolos con suelos cuaternarios aluviales.

7.4. Perímetros de protección de aguas minerales y termales

En base a "Las Aguas Subterráneas en España", anteriormente mencionado, Galicia es abundante en aguas mineromedicinales de diverso tipo: sulfurosas, alcalinas, ferruginosas; las más abundantes en Galicia son las ferruginosas y sulfurosas, ampliamente representadas en las cuatro provincias.

La temperatura de las aguas subterráneas en Galicia varía entre 12 y 15" C. Se consideran termales aquéllas que sobrepasan los 18" C y mineromedicinales las que, siendo frías, mantienen una tradición, a veces desde época romana, de poseer ciertas propiedades curativas. Normalmente tanto éstas como las anteriores presentan color y sabor a sulfhídrico de tenue a fuerte. También la mayoría deja un sedimento de hilillos blancos que las hace fácilmente diferenciables.

Estas aguas termales afloran, por lo general, en las zonas de valle, es decir, en los lugares más deprimidos topográficamente. La alimentación se produce en las zonas de interfluvio o en los propios cursos fluviales, penetrando el agua a lo largo de las fracturas y discontinuidades, para ser calentada en profundidad. Una vez calentada, es remitida al exterior por estas zonas fracturadas.

El marco normativo para la designación de los perímetros de protección viene definido por la Directiva 80/777, de 15 de julio, y la Ley 22/1973, de 21 de julio de Minas. Además, en el caso de la Comunidad Autónoma de Galicia, se regula por la Ley 5/1995, de 7 de junio y el Decreto 116/2001, de 10 de mayo, por el que se modifica el Decreto 402/1996, de 31 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de aprovechamiento de aguas mineromedicinales, termales y de los establecimientos balnearios de la Comunidad Autónoma de Galicia.

La legislación gallega relativa al aprovechamiento de aguas minerales y termales identifica tres zonas dentro del perímetro de protección a definir en función del tiempo de tránsito, con el objeto de conservar el acuífero en cantidad y calidad. Estas zonas son:

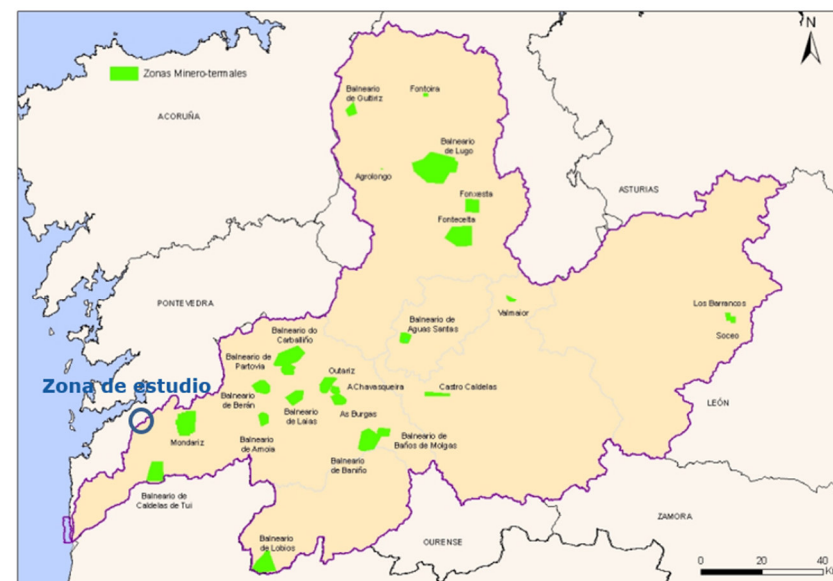
- Zona de Restricciones Máximas (ZMA)
- Zona de Restricciones Medias (ZME)
- Zona de Restricciones Mínimas (ZMI)

Asimismo, el Decreto 116/2001, de 10 de mayo, por el que se modifica el Decreto 402/1996, de 31 de octubre, recoge en su Anexo I una relación de actividades cuyo desarrollo en estas zonas está prohibido o condicionado. La siguiente tabla contiene una lista de estas actividades, junto con sus limitaciones sobre cada una de las zonas de protección.

ACTIVIDADES	ZME	ZMI
A.-Actividades relativas a residuos peligrosos		
Producción de residuos peligrosos	Prohibido el establecimiento de nuevas instalaciones	
Almacenamiento y estaciones de transferencia de residuos peligrosos	Prohibidos	Prohibidos
Eliminación valorización y/u vertido de residuos peligrosos	Prohibidos	Prohibidos
B.-Actividades relativas a residuos urbanos o municipales		
Depósitos controlados de residuos urbanos o municipales	Prohibidos	
Almacenamiento y estaciones de transferencia de residuos urbanos o municipales	Prohibidos	
Plantas de valorización o tratamiento de residuos urbanos o municipales	Prohibidos	
C.-Actividades relativas a residuos radioactivos		
Almacenamiento de residuos radioactivos	Prohibidos	Prohibidos
D.-Actividades relativas a vertidos superficiales		
Vertidos superficiales: relación I de sustancias, según el Real decreto 849/1986, de 11 de abril	Prohibidos	Prohibidos
E.-Actividades relativas a otros vertidos		
Vertidos o almacenamientos profundos, mediante pozos, zanjas, galerías, inyecciones o acúmulos en estructuras subterráneas	Prohibidos	

Tabla 8: Actividades y limitaciones en las zonas de protección

En la Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa se han identificado 17 y en la Miño-Sil 24 zonas de protección de aguas minerales y termales, según la información facilitada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Consellería



7.5. Programas de control de las masas de agua subterráneas

En el caso de aguas subterráneas, además del seguimiento del estado químico (determinado por los programas de control de vigilancia y operativo del estado químico), la DMA establece la necesidad de medir el nivel de las aguas para, en función del mismo, poder clasificar el estado de estas masas (programa de control de vigilancia del estado cuantitativo).

Por ello, el programa de seguimiento de las masas de agua subterránea establecido en la Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa y en la Miño-Sil, está concebido de modo que proporcione una apreciación fiable del estado químico y cuantitativo de todas las masas o grupos de masas subterráneas, incluida la evaluación de los recursos disponibles.

Programa de vigilancia: de las masas de agua subterráneas de Galicia-Costa está definido por 75 estaciones, y se distribuyen en los siguientes subprogramas:

- Subprograma de vigilancia general: el control de vigilancia tiene como objetivo ofrecer una visión global del estado dentro de cada masa de agua.
- Subprograma de control de pesticidas: Puntos seleccionados para la monitorización de la posible presencia de pesticidas.

Para la evaluación del estado químico actual de las aguas subterráneas, en la demarcación hidrográfica Miño-Sil se han utilizado los 12 puntos de control pertenecientes al programa oficial de control de vigilancia.

En la siguiente figura se aprecia la distribución del programa de vigilancia de las aguas subterráneas. Ningún punto es afectado por el trazado en estudio.

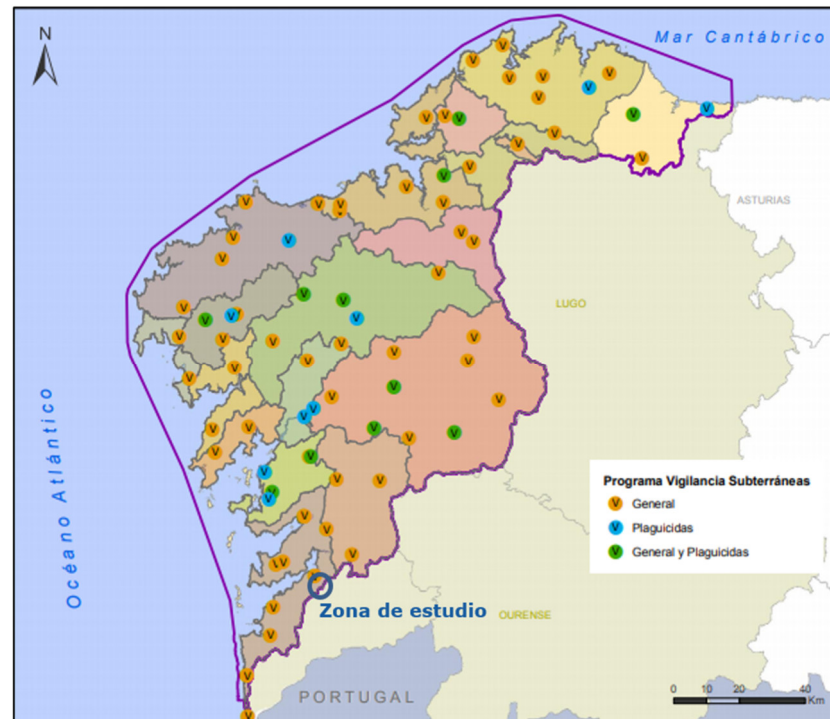


Figura 19: Estaciones del Programa de Control de Vigilancia en aguas subterráneas.

Programa operativo; destinado a:

- Determinar el estado químico de las masas o grupos de masas subterráneas respecto de las cuales se haya establecido riesgo.
- Determinar la presencia de cualquier tendencia prolongada al aumento de la concentración de cualquier contaminante inducida antropogénicamente.

7.5.2. Programas de control del estado cuantitativo

Red de control piezométrico: La red de estaciones que se utiliza en el seguimiento del estado cuantitativo de las masas de agua subterránea, está formada por 25 piezómetros distribuidos por la Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa, en los cuales se están registrando medidas desde febrero de 2011. En la demarcación Hidrográfica Miño-Sil consta

Se realizan medidas automáticas, mediante una sonda instalada en el piezómetro, que registra un dato de nivel piezométrico cada hora. Además, cada dos meses se realiza una medida manual.

Para la evaluación del estado cuantitativo actual de las aguas subterráneas existe 8 puntos de control para el total de las masas de agua de la Demarcación Hidrográfica del Miño – Sil.

Todos estos puntos pertenecen al programa de seguimiento diseñado para el control del estado cuantitativo y que fue informado a la Comisión Europea en marzo de 2007.

En la siguiente figura se muestra su distribución, ninguna estación de seguimiento es afectada por el trazado en estudio.

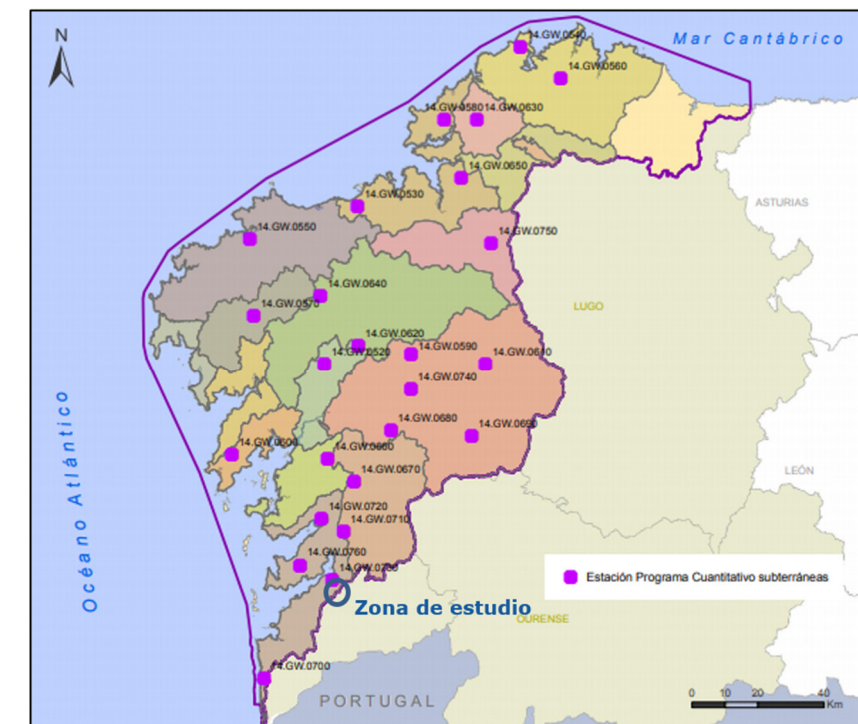




Figura 20: Estaciones del Programa de Control del estado cuantitativo en aguas subterráneas de la Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa.

7.5.3. Subprograma de control de las captaciones de agua destinada a consumo urbano

Las masas de agua superficial definidas conforme al artículo 7 de la DMA, que proporcionan una media de más de 100 m³ diarios se designaron como puntos de control y están sometidas a los controles suplementarios necesarios para cumplir los requisitos de dicho artículo.

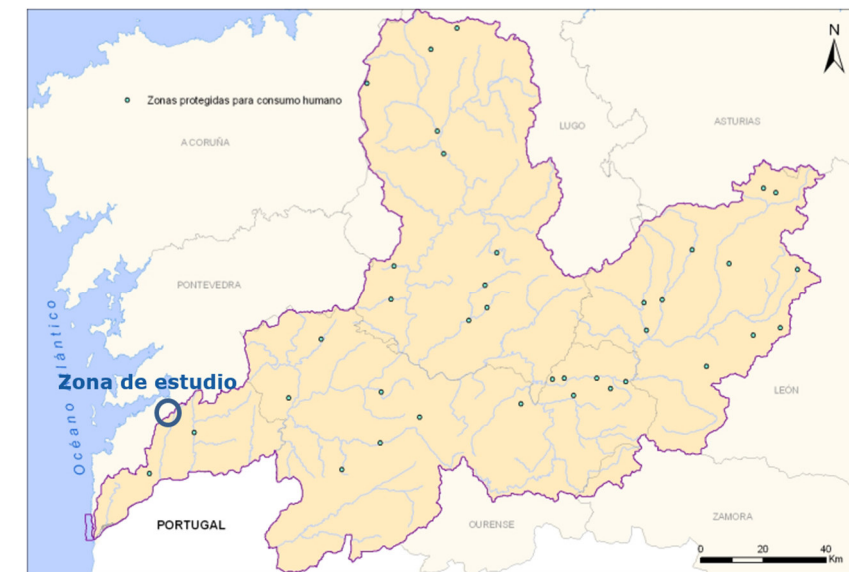
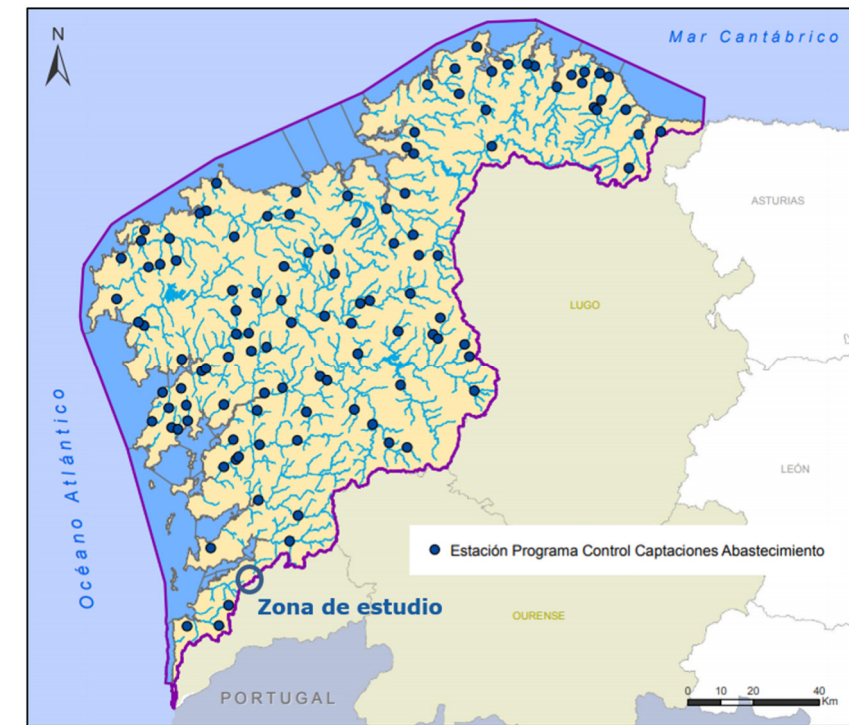


Figura 21: Estaciones del Subprograma de control de las captaciones de agua destinada a consumo humano

7.6. Registro de captaciones para abastecimiento humano (zonas protegidas)

Las zonas de captación de agua para abastecimiento se designan con arreglo a lo dispuesto en el artículo 7 de la DMA, transpuesto al ordenamiento jurídico español mediante el artículo 99 bis del

Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Autovía A-52. Tramo: O Porriño - Vigo. Provincia de Pontevedra.

TRLA. Se han actualizado los datos recogidos en el Plan Hidrológico de Galicia-Costa 2015-2021 con la información disponible en el Registro de Aguas, así como con el Plan Hidrológico Miño-Sil, 2015-2016, ambos vigentes

De acuerdo con la normativa de aplicación vigente, serán objeto de protección las captaciones que proporcionen un volumen medio de al menos 10 m³/día o abastezca a más de cincuenta personas. El listado de las captaciones de abastecimiento y la información relevante sobre las mismas (identificación, masa de agua asociada, población y volumen) se ha recogido en el Apéndice V.1. Captaciones para abastecimiento humano.

Por lo general las aguas subterráneas en Galicia se utilizan para abastecimiento humano.

En la tabla siguiente se resumen las captaciones recogidas en dentro del PHC 2016-2021 y del PHMS 2015-2021 más próximas al trazado objeto de estudio. Marcando en negrita las que se encuentran sobre el eje

En las siguientes figuras se muestra la ubicación de las captaciones superficiales y subterráneas de agua para abastecimiento en la Demarcación, diferenciadas según el volumen de extracción sea superior a 100 m³ /día, o bien se encuentre entre 10 y 100 m³ /día.

CODIGO ESPAÑOL	CODIGO EUROPEO	CLASE	CODIGO EXPEDIENTE	CAUDAL MEDIO L/S	CAUDAL MÁXIMO L/S	VOLUMEN ANUAL EN m³/s	X	Y	CODIGO MASA ESPAÑOL	CODIGO MASA EUROPEO	NOMBRE MASA	LUGAR	MUNICIPIO	PROVINCIA
1101201306	ES010ZCCM1101201306	SIN DATO	A/36/01751	0	0,13	3.089,54	528.241,71	4.670.446,68	011.002	ES010MSBT011.002	MANANTIAL 2	REGUENGO, PETALOS	MOS	PONTEVEDRA
1101201307	ES010ZCCM1101201307	SIN DATO	A/36/01751		0,13	3.089,54	528.263,71	4.670.462,68	011.002	ES010MSBT011.002	MANANTIAL 3	REGUENGO, PETALOS	MOS	PONTEVEDRA
1101201308	ES010ZCCM1101201308	SIN DATO	A/36/01751		0,13	3.089,54	528.015,71	4.670.214,67	011.002	ES010MSBT011.002	MANANTIAL 4	REGUENGO, PETALOS	MOS	PONTEVEDRA
1101201309	ES010ZCCM1101201309	SIN DATO	A/36/01751		0,13	3.089,54	528.205,71	4.670.335,68	011.002	ES010MSBT011.002	MANANTIAL 5	TAMEIRA	MOS	PONTEVEDRA
1101201310	ES010ZCCM1101201310	SIN DATO	A/36/01751		0,13	3.089,54	528.627,71	4.670.361,68	011.002	ES010MSBT011.002	MANANTIAL 6	REGUENGO, PETALOS	MOS	PONTEVEDRA
1101201311	ES010ZCCM1101201311	SIN DATO	A/36/01751		0,13	3.089,54	528.287,71	4.670.193,67	011.002	ES010MSBT011.002	MANANTIAL 7	REGUENGO, PETALOS	MOS	PONTEVEDRA
1101201312	ES010ZCCM1101201312	SIN DATO	A/36/01751		0,13	3.089,54	528.265,71	4.670.260,68	011.002	ES010MSBT011.002	MANANTIAL 8	REGUENGO, PETALOS	MOS	PONTEVEDRA
1101201313	ES010ZCCM1101201313	SIN DATO	A/36/01751		0,13	3.089,54	528.216,71	4.670.509,68	011.002	ES010MSBT011.002	MANANTIAL 9	REGUENGO, PETALOS	MOS	PONTEVEDRA
1101201314	ES010ZCCM1101201314	SIN DATO	A/36/01751		0,13	3.089,54	528.235,71	4.670.509,68	011.002	ES010MSBT011.002	MANANTIAL 10	REGUENGO, PETALOS	MOS	PONTEVEDRA
1101201315	ES010ZCCM1101201315	SIN DATO	A/36/01751		0,13	3.089,54	528.872,72	4.670.746,68	011.002	ES010MSBT011.002	POZO 11	REGUENGO, PETALOS	MOS	PONTEVEDRA
1101201316	ES010ZCCM1101201316	SIN DATO	A/36/01751		0,13	3.089,54	528.541,71	4.670.427,68	011.002	ES010MSBT011.002	MANANTIAL 1	REGUENGO, PETALOS	MOS	PONTEVEDRA
1101200041	ES010ZCCM1101200041	VARIOS < 2 L/S	A/36/01766		0,19	5.978,70	527.604,70	4.670.214,67	011.002	ES010MSBT011.002	POZO 2	ALTO DE PUXEIRO	MOS	PONTEVEDRA
1101201317	ES010ZCCM1101201317	VARIOS < 2 L/S	A/36/01766		0,19	5.978,70	527.598,70	4.670.230,67	011.002	ES010MSBT011.002	POZO 3	ALTO DE PUXEIRO	MOS	PONTEVEDRA
1101201318	ES010ZCCM1101201318	VARIOS < 2 L/S	A/36/01766		0,19	5.978,70	527.583,70	4.670.258,67	011.002	ES010MSBT011.002	POZO 15	ALTO DE PUXEIRO	MOS	PONTEVEDRA
1101201319	ES010ZCCM1101201319	VARIOS < 2 L/S	A/36/01766		0,19	5.978,70	527.608,70	4.670.185,67	011.002	ES010MSBT011.002	POZO1	MONTE COMUNAL PROXIMO A PUXEIRO	MOS	PONTEVEDRA
1101201333	ES010ZCCM1101201333	SIN DATO	A/36/01781		0,23	5.625,46	529.064,72	4.670.597,68	011.002	ES010MSBT011.002	COCHO DA FONTE 6	SIN DATO	MOS	PONTEVEDRA
1101201334	ES010ZCCM1101201334	SIN DATO	A/36/01781		0,23	5.625,46	529.070,72	4.670.645,68	011.002	ES010MSBT011.002	COCHO DA FONTE 7	PETELOS	MOS	PONTEVEDRA
1101201339	ES010ZCCM1101201339	SIN DATO	A/36/01781		0,23	5.625,46	529.063,72	4.670.615,68	011.002	ES010MSBT011.002	POZO 5	PETELOS	MOS	PONTEVEDRA
1101201340	ES010ZCCM1101201340	SIN DATO	A/36/01781		0,23	5.625,46	529.127,72	4.670.626,68	011.002	ES010MSBT011.002	POZO 6	PETELOS	MOS	PONTEVEDRA
1101201343	ES010ZCCM1101201343	SIN DATO	A/36/01788		0,18	4.851,55	527.664,70	4.669.963,67	011.002	ES010MSBT011.002	MANANTIAL N4	PEREIRAS	MOS	PONTEVEDRA
1101201344	ES010ZCCM1101201344	SIN DATO	A/36/01788		0,18	4.851,55	527.691,70	4.669.934,67	011.002	ES010MSBT011.002	MANANTIAL N5	PEREIRAS	MOS	PONTEVEDRA
1101201345	ES010ZCCM1101201345	SIN DATO	A/36/01788		0,18	4.851,55	527.713,70	4.669.919,67	011.002	ES010MSBT011.002	MANANTIAL N6	PEREIRAS	MOS	PONTEVEDRA
1101201346	ES010ZCCM1101201346	SIN DATO	A/36/01788		0,18	4.851,55	527.742,70	4.669.912,67	011.002	ES010MSBT011.002	MANANTIAL N7	PEREIRAS	MOS	PONTEVEDRA
1101201347	ES010ZCCM1101201347	SIN DATO	A/36/01788		0,18	4.851,55	527.768,70	4.669.902,67	011.002	ES010MSBT011.002	MANANTIAL N8	PEREIRAS	MOS	PONTEVEDRA

SYNCONSULT S.L.

INGENIEROS CONSULTORES

ayesa

Engineering.
Information.
Imagination.

Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Autovía A-52. Tramo: O Porriño - Vigo. Provincia de Pontevedra.

CODIGO ESPAÑOL	CODIGO EUROPEO	CLASE	CODIGO EXPEDIENTE	CAUDAL MEDIO L/S	CAUDAL MÁXIMO L/S	VOLUMEN ANUAL EN m³/s	X	Y	CODIGO MASA ESPAÑOL	CODIGO MASA EUROPEO	NOMBRE MASA	LUGAR	MUNICIPIO	PROVINCIA
1101201348	ES010ZCCM1101201348	SIN DATO	A/36/01788		0,18	4.851,55	527.790,70	4.669.088,67	011.002	ES010MSBT011.002	MANANTIAL N9	PEREIRAS	MOS	PONTEVEDRA
1101201349	ES010ZCCM1101201349	SIN DATO	A/36/01788		0,18	4.851,55	527.813,70	4.669.881,67	011.002	ES010MSBT011.002	MANANTIAL N10	PEREIRAS	MOS	PONTEVEDRA
1101201350	ES010ZCCM1101201350	SIN DATO	A/36/01788		0,18	4.851,55	528.816,72	4.669.600,67	011.002	ES010MSBT011.002	POZO 11	PEREIRAS	MOS	PONTEVEDRA
1101200044	ES010ZCCM1101200044	SIN DATO	A/36/01789		0,74	14.906,35	528.623,71	4.670.066,67	011.002	ES010MSBT011.002	CAPTACIÓN 2	SANGUIÑEDA	MOS	PONTEVEDRA
1101201353	ES010ZCCM1101201353	SIN DATO	A/36/01789		0,74	14.906,35	528.627,71	4.670.086,67	011.002	ES010MSBT011.002	CAPTACIÓN 3	SANGUIÑEDA	MOS	PONTEVEDRA
1101201354	ES010ZCCM1101201354	SIN DATO	A/36/01789		0,74	14.906,35	528.691,72	4.670.186,68	011.002	ES010MSBT011.002	CAPTACIÓN 4	SANGUIÑEDA	MOS	PONTEVEDRA
1101201356	ES010ZCCM1101201356	SIN DATO	A/36/01789		0,74	14.906,35	529.374,73	4.669.935,68	011.002	ES010MSBT011.002	CAPTACIÓN 6	SANGUIÑEDA	MOS	PONTEVEDRA
1101201357	ES010ZCCM1101201357	SIN DATO	A/36/01789		0,74	14.906,35	529.362,73	4.669.967,68	011.002	ES010MSBT011.002	CAPTACIÓN 7	SANGUIÑEDA	MOS	PONTEVEDRA
1101201359	ES010ZCCM1101201359	SIN DATO	A/36/01789		0,74	14.906,35	528.647,72	4.670.082,68	011.002	ES010MSBT011.002	CAPTACIÓN 9	SANGUIÑEDA	MOS	PONTEVEDRA
1101201360	ES010ZCCM1101201360	SIN DATO	A/36/01789		0,74	14.906,35	528.622,71	4.670.053,67	011.002	ES010MSBT011.002	CAPTACIÓN 1	SANGUIÑEDA	MOS	PONTEVEDRA
1101200051	ES010ZCCM1101200051	SIN DATO	A/36/01801		3,09	97.446,00	527.774,70	4.671.634,69	011.002	ES010MSBT011.002	POZO MANANTIALES (25) INNOMINADOS	SIN DATO	SIN DATO	PONTEVEDRA
1101201455	ES010ZCCM1101201455	ABASTECIMIENTO >50 PERSONAS	A/36/01888		0,14	4.330,73	528.902,72	4.669.900,67	011.002	ES010MSBT011.002	POZO " A DO MONTE"	PEREIRAS, CANDOSA	MOS	PONTEVEDRA
1101200057	ES010ZCCM1101200057	SIN DATO	A/36/02093	0,12	0,12	3.784,32	528.448,71	4.670.308,68	011.002	ES010MSBT011.002	MANANTIAL 1	CABEIRAS	MOS	PONTEVEDRA
1101201503	ES010ZCCM1101201503	SIN DATO	A/36/02093		1,75	60.225,00	528.189,71	4.669.596,67	011.002	ES010MSBT011.002	INNOMINADO (1)	CASAL, CASALMORTO Y ROUBLIN	MOS	PONTEVEDRA
1101201732	ES010ZCCM1101201732	CON CAUDAL MENOR DE 3000 M.C./AÑO	A/36/06748	0,15	0,01	292,00	528.304,70	4.671.395,69	011.002	ES010MSBT011.002	POZO 1	TAMEIGA	MOS	PONTEVEDRA
1101201358	ES010ZCCM1101201358	SIN DATO	A/36/01789	0	0,74	14.906,35	528.579,73	4.669.914,68	011.002	ES010MSBT011.002	CAPTACIÓN 8	SANGUIÑEDA	MOS	PONTEVEDRA
1101201355	ES010ZCCM1101201355	SIN DATO	A/36/01789	0	0,74	14.906,35	529.564,73	4.670.014,68	011.002	ES010MSBT011.002	CAPTACIÓN 5	SANGUIÑEDA	MOS	PONTEVEDRA
1101201335	ES010ZCCM1101201335	SIN DATO	A/36/01781	1	0,23	5.625,46	529.468,73	4.670.092,68	011.002	ES010MSBT011.002	POZO 1	PETELOS	MOS	PONTEVEDRA
1101201351	ES010ZCCM1101201351	SIN DATO	A/36/01788		0,18	4.851,55	528.960,72	4.669.421,67	011.002	ES010MSBT011.002	POZO 12	PEREIRAS	MOS	PONTEVEDRA
8493						18.922,00	526.372,00	4.671.585,00	014.001	ES014ABST-PCUW-3589	BEMBRIVE		VIGO	PONTEVEDRA
9104						183,00	526.372,00	4.671.585,00	014.001	ES014ABST-PCUW-3712	TRES MANANCIAIS		VIGO	PONTEVEDRA
17371						211,00	527.506,00	4.671.404,00	014.001	ES014ABST-PCUW-5877	--		VIGO	PONTEVEDRA

Tabla 9: Captaciones para abastecimiento de consumo humano en el ámbito del trazado

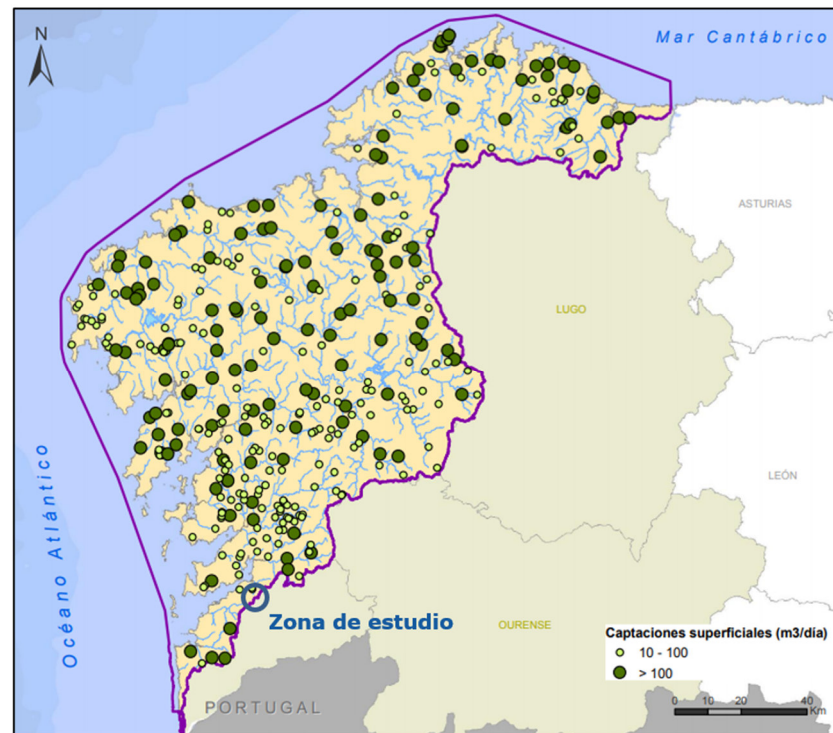


Figura 22: Zonas de protección de captaciones de agua superficial para abastecimiento humano (Imagen tomada del Ciclo de planificación hidrológica 2015–2021. Plan Hidrológico - Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa. Capítulo 5. Registro de zonas protegidas).

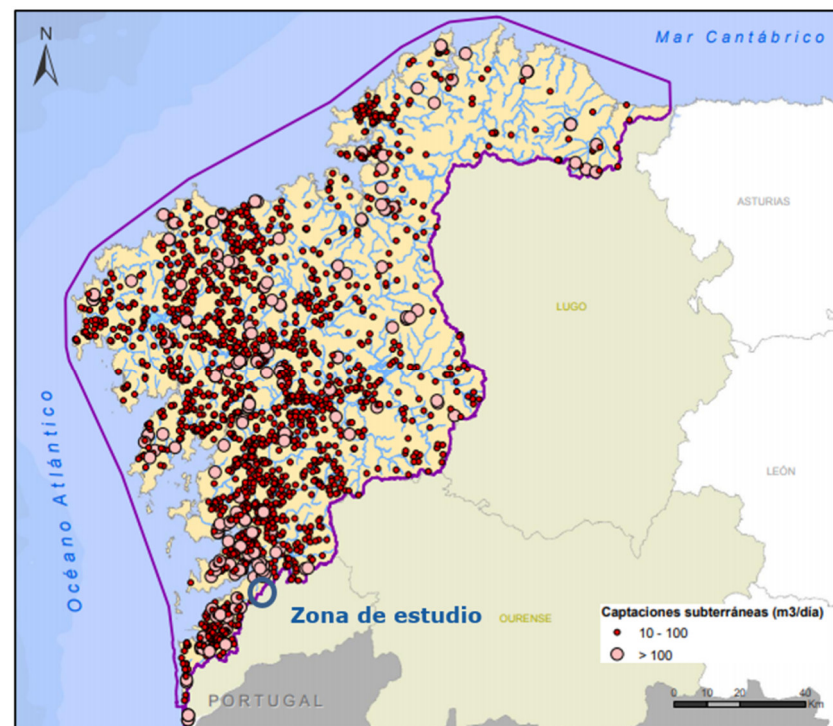


Figura 23: Zonas de protección de captaciones de agua subterránea para abastecimiento humano (Imagen tomada del Ciclo de planificación hidrológica 2015–2021. Plan Hidrológico - Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa. Capítulo 5. Registro de zonas protegidas).

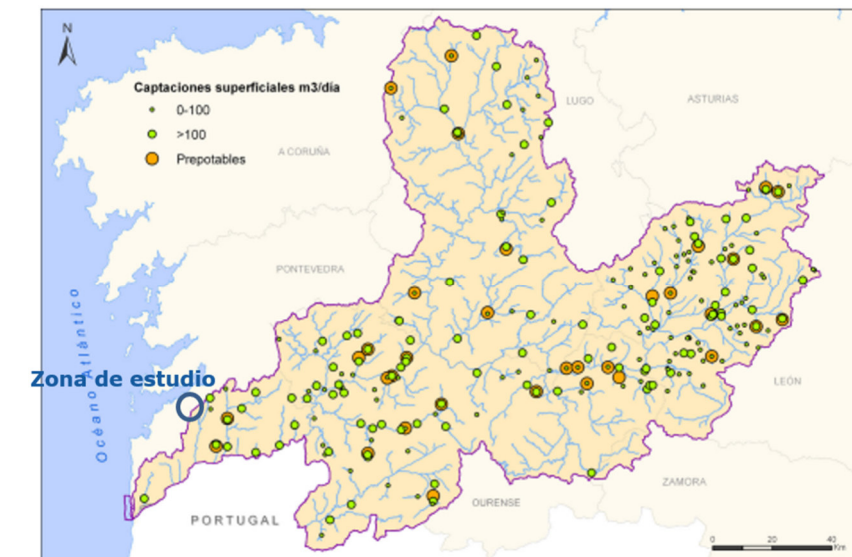


Figura 24: Zonas de protección de captaciones de agua superficial para abastecimiento humano (Imagen tomada del Plan Hidrológico 2016–2021. Demarcación Hidrográfica Miño-Sil. Anejo 4. Registro de zonas protegidas).

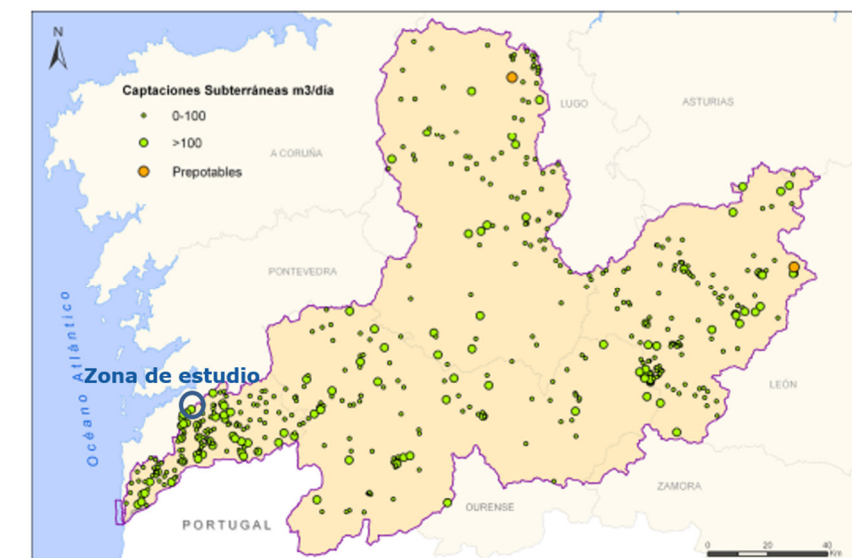


Figura 25: Zonas de protección de captaciones de agua superficial para abastecimiento humano (Imagen tomada del Plan Hidrológico 2016–2021. Demarcación Hidrográfica Miño-Sil. Anejo 4. Registro de zonas protegidas)

En base a la documentación aportada las captaciones subterráneas que se enumeran a continuación se encuentran próximas al trazado previsto, siendo necesario adoptar las medidas necesarias para no afectarlas:

Demarcación Hidrográfica Miño-Sil:

- Pozo 1, situado en monte comunal próximo a Puxeiros, Mos (1101201319)
- Pozo 2, situado en Alto de Puxeiros, Mos (1101200041)
- Pozo 3, situado en Alto de Puxeiros, Mos (1101201317)
- Pozo 15, situado en Alto de Puxeiros, Mos (1101201318)
- Captación 5, situado en Saguñeda, Mos (1101201355)
- Captación 6, situado en Saguñeda, Mos (1101201356)
- Captación 7, situado en Saguñeda, Mos (1101201357)
- Captación 8, situado en Saguñeda, Mos (1101201358)
- Pozo "A do Monte", situado en Pereiras Candosa, Mos (1101201455)

Demarcación Hidrográfica Galicia Costa:

- Tres Manacias, situado en Bembrive, Vigo (9104)

Cabe señalar que, en el Concello de Vigo, el trazado discurre por diversas fuentes de origen natural en general no aptas para consumo humano o sin garantía sanitaria. A continuación, se muestra un plano con los puntos de agua inventariados próximos al trazado.

Puntos de agua

- ABASTECIMIENTO
- IGME
- IGN
- MANANTIALES_VIGO

0 1.000 2.000 m

Anejo n º 4. Geología y geotecnia.

7.7. Zonas de futuras captaciones de agua

Las zonas que se van a destinar a la captación de agua para abastecimiento en el futuro se designan con arreglo al artículo 7 de la DMA, incorporado al ordenamiento jurídico español mediante el artículo 99 bis del TRLA.

Se prevé una serie de captaciones futuras contempladas en el Plan de Abastecimiento de Galicia, procurando que los sistemas de más de 500 habitantes tuvieran captaciones de origen superficial, para hacer frente a la futura demanda de agua de abastecimiento en la demarcación, o bien para solucionar problemas de déficit en el abastecimiento o para abastecer sistemas de nueva creación.

En la siguiente figura se muestra la situación de las captaciones futuras de agua para abastecimiento propuestas por el Plan de Abastecimiento de Galicia.

Para hacer frente a la futura demanda de agua para abastecimiento en la Demarcación Miño-Si, se prevé captaciones a nivel local en la provincial de Pontevedra.

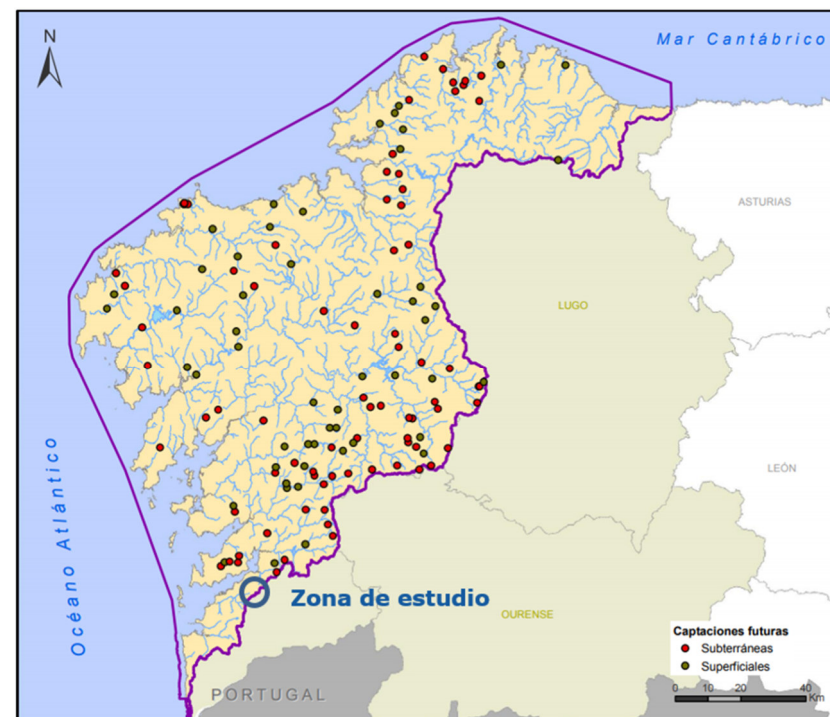


Figura 27: Zonas de protección de futuras captaciones de agua para abastecimiento humano (Imagen tomada del Ciclo de planificación hidrológica 2015-2021. Plan Hidrológico - Demarcación Hidrográfica de Galicia-Costa. Capítulo 5. Registro de zonas protegidas)

8. Análisis de las afecciones a las aguas subterráneas

Las afecciones a las aguas subterráneas que podrían producirse por la construcción de la obra prevista serían, por una parte, las derivadas de procesos de contaminación en la fase de construcción o explotación y, por otra, la afección directa a captaciones e infraestructuras situadas en la zona de construcción, así como al funcionamiento hidrogeológico actual del área, por la posible interrupción del flujo de agua subterránea en los tramos de desmonte y túnel previstos.

Se trata de definir la interacción entre la obra y el acuífero de forma que sea posible predecir las alteraciones que se producirán en los niveles y flujos de agua y como éstos pueden afectar al entorno. Dado que la disponibilidad de información es muy restringida, especialmente en lo que a datos cuantitativos se refiere, el análisis de las afecciones se hará, necesariamente, desde un punto de vista más cualitativo.

El trazado discurre en túnel, desmonte, sobre rellenos en terraplén o sobre estructura (viaducto). La afección de la obra a las aguas subterráneas, de acuerdo con lo expuesto al inicio de este apartado, se valorará únicamente en las zonas del trazado donde se han proyectado túnel y desmontes, que en función de su profundidad podrían afectar al flujo de agua subterránea.

Las zonas del trazado donde se realizarían los desmontes más importantes sería las de emboquille del túnel, en ambas vertientes de aproximadamente 40 m de altura, estimando esta zona de afección a las aguas subterráneas. Estas zonas se sitúan, en ambos casos, sobre afloramientos de jabre de gneis con espesores en torno a 15 - 20 m, unidad QPN, bajo ellos aflora el sustrato gnéisico sano, unidad N, que se considera la base impermeable.

También, existen desmontes importantes, en los accesos al viaducto del rego Perral, con menores alturas de excavación que en las zonas de emboquille. En la zona oeste presenta una estratigrafía similar a los desmontes de los emboquilles, mientras que, en la zona este, se detecta jabre granítico, unidad QPG, con espesores de hasta 10 m, situándose el macizo granítico bajo estos materiales, unidad G, que actuaría como base impermeable.

El tramo de túnel se desarrolla, principalmente, sobre gneis sano, en la zona central se encuentra a una profundidad de 240 m.

A continuación, se detallan las posibles afecciones, los tramos en los que potencialmente podrían producirse y la probabilidad y grado de afección.

8.1. Afección a la calidad del agua subterránea por contaminación

Esta afección potencial es inherente a cualquier infraestructura de transporte, ya que siempre llevará aparejado el riesgo de accidentes que pueden provocar vertidos que podrían contaminar las aguas subterráneas, tanto en la fase de construcción como en la de explotación.

En el caso que nos ocupa, al discurrir sobre materiales de baja permeabilidad y con flujos de agua subterránea limitados, el riesgo de extensión de la contaminación de las aguas subterráneas será más bajo, especialmente en los tramos situados sobre el sustrato gnéisico, unidad N.

Aun así, para la preservación de la calidad del agua subterránea, y de forma general para todo el trazado, durante la fase de obra habrán de considerarse ciertas medidas al uso, destinadas a evitar y prevenir la contaminación de las aguas subterráneas. A continuación, se proponen las siguientes:

- Realizar un control estricto sobre los posibles vertidos accidentales de contaminantes (aceites, combustibles, lechadas, etc.) que se produzcan directa o indirectamente sobre los terrenos afectados y a los cauces. Este control evitará en todo lo posible que el vertido se produzca y, en caso de producirse, éste será rápidamente retirado del terreno, así como tratados los suelos afectados.
- Se evitará situar instalaciones auxiliares para la obra, como plantas de hormigonado, casetas de obra, parques de maquinaria, etc. sobre terrenos con una vulnerabilidad alta o muy alta. Se recomienda situar estas zonas sobre áreas adecuadas y correctamente impermeabilizadas. Se tomarán las medidas oportunas para recoger el agua de escorrentía que circula por estas zonas durante la duración de la obra. Posteriormente, a la finalización de la obra, se retirará la capa impermeable y se restituirán las condiciones naturales del terreno.
- Se evitará el vertido sobre el terreno y cauces de las aguas residuales generadas durante la realización de la obra. Éstas serán convenientemente depuradas con los tratamientos necesarios y se realizará un seguimiento analítico de las aguas, antes, durante y después de su depuración. Éstas solo serán vertidas cuando no se sobrepasen los valores establecidos por la legislación vigente relativa a vertidos.
- Las operaciones de mantenimiento de maquinaria deberán realizarse, en la medida de lo posible en áreas especializadas (talleres), en caso de no ser posible, se realizarán en zonas preparadas al efecto y los productos contaminantes generados deberán ser convenientemente recogidos y trasladados a una instalación especializada para su reciclaje.
- Se aconseja, muy especialmente, evitar cualquier tipo de vertido directo al terreno a través de excavaciones abiertas, pozos, sondeos o taladros realizados durante la obra o previamente existentes. Para ello, se sellará convenientemente con lechadas de cemento bentonita u hormigón, lo más rápidamente posible, cualquier tipo de taladro que quede dentro de las zonas de asentamiento permanente o provisional de la obra.

- Aquellos pozos o sondeos que por alguna razón sea necesario conservar después de la obra, serán entubados, se les colocará una tapa adecuada que evite cualquier tipo de vertido furtivo o accidental y se cementará adecuadamente el espacio anular comprendido entre la entubación y el terreno en los 2-3 m superiores a modo de sello sanitario, para evitar la entrada de contaminantes a través de este espacio anular.
- En las excavaciones abiertas, se recomienda, especialmente, evitar el vertido de escombros o aguas residuales en las zanjas abiertas, así como ser muy estrictos en cuanto al tipo de materiales usados para rellenar las zanjas.

En cuanto a la vigilancia de posibles afecciones a la cantidad del recurso subterráneo, se recomienda efectuar un seguimiento de la piezometría durante el tiempo que se prolonguen las obras, en los sondeos disponibles en la zona (tanto procedentes de campañas pasadas como de las campañas futuras a ejecutar), con frecuencia semanal.

8.2. Afección directa a puntos de agua existentes sobre el trazado previsto

La primera afección que se producirá por la construcción de la infraestructura prevista será la destrucción o alteración de los puntos de agua existentes a lo largo del trazado, que, aunque no es una afección a las aguas subterráneas en sentido estricto, sí que puede afectar a manantiales y obras de captación que descargan o explotan dichas aguas subterráneas y, por consiguiente, a los usuarios de las mismas.

De acuerdo con el inventario de captaciones de aguas subterráneas para abastecimiento humano, expuestos y representados en el apartado de inventario de puntos de agua, existen cinco pozos y cuatro captaciones, en la Demarcación Hidrográfica Miño-Sil y un pozo en la Demarcación Hidrográfica Galicia Costa, existiendo riesgo de destrucción de dichas captaciones.

También, pueden existir captaciones particulares que abastecen a viviendas o pequeños grupos de viviendas, con un número reducido de personas, que pueden estar destinados al consumo humano, pero que por su limitado número de usuarios no están incluidas en el Registro de Zonas Protegidas de las demarcaciones.

Por lo que respecta a otros puntos de agua, existe constancia, por los inventarios realizados, de la existencia de numerosos puntos que se verán afectados, especialmente en las proximidades de los situados en la vertiente Vigo.

El túnel discurre sobre el sustrato gnéisico, considerándolo de muy baja permeabilidad, por lo que no existe riesgo de destrucción de las captaciones existentes, asociados a los suelos eluviales producto de su alteración in situ.

No obstante, las características de los puntos y la escasa entidad de los caudales captados permitirán adoptar medidas de sustitución o reposición sencillas y viables.

8.3. Afección al flujo de agua subterránea en los tramos de desmonte

Los materiales aflorantes, en la mayor parte de los desmontes, corresponden a las zonas de alteración del sustrato gnéisico, unidad QPN, situándose a base de la excavación el sustrato gnéisico, ocurre en los desmontes de los emboquilles del túnel y en el desmonte oeste del viaducto del rego Perral. Únicamente al este del viaducto, aflora jabre granítico, unidad QPG, situándose la base de la excavación en el granito.

Como se ha comprobado con anterioridad, se pueden considerar estos materiales de alteración como de baja a media permeabilidad

Por otro lado, estas afecciones estarán condicionadas por la profundidad de las excavaciones y la altura del nivel freático, muy variable.

La interrupción de la zona saturada modificará la red de flujo general, adaptándose al nuevo régimen impuesto, tomando la rasante planteada como nueva zona de descarga. En base a las lecturas piezométricas y plano de isopiezas generados, el flujo subterráneo discurrirá de manera subparalela al trazado, por lo que la interrupción producida en las zonas de emboquille se considera baja.

Al modificar la red de flujo general, puede deprimir el nivel piezométrico, tanto aguas arriba y abajo, disminuyendo el gradiente hidráulico de la zona, pudiendo ocasionar una disminución o pérdida de caudales en surgencias existentes en la zona.

La eliminación del terreno que era parte de la zona saturada imposibilita una restitución completa del flujo subterráneo a la situación previa a la excavación.

La afección a los niveles freáticos supone, por tanto, un coste ambiental ligado al trazado, imposible de corregir y que deberá ser asumido.

Las medidas a adoptar se ven limitadas, entonces, a la reposición de captaciones y, en todo caso, a la restitución de los flujos superficiales para garantizar los caudales ecológicos de los cursos fluviales.

En los desmontes no se han identificado acuíferos de magnitud, se trata a acuíferos aislados, de escasa extensión y a priori de recursos limitados, asociados en general a los suelos de alteración. La afección quedaría acotada en nivel permeable.

Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Autovía A-52. Tramo: O Porriño - Vigo. Provincia de Pontevedra.

En el caso de que se manifieste la afección a algún punto de agua que goce de aprovechamiento se procederá a reponerlo.

En el caso que nos ocupa, se ha detectado la presencia de una zona captación superficial cerca del trazado, denominada Saguñeda, que se sitúa en las proximidades del emboquille este del túnel. En este caso se deben adoptar las medidas necesarias para drenar el caudal hacia una obra de drenaje y mantener las captaciones existentes; Captación 5 (1101201355), Captación 6 (1101201356), Captación 7 (1101201357), Captación 8, Mos (1101201358) y Pozo "A do Monte" (1101201455)

En el caso que existan modificaciones en surgencias o pozos pre-existentes se adoptaran las medidas necesarias hasta alcanzar de nuevo un caudal en las mismas condiciones originales, ya sea reperforar el pozo/surgencia modificado, o bien perforar de nuevo en otro emplazamiento, hasta conseguir las mismas condiciones

Para asegurar la estabilidad de los desmontes afectados por el medio hidrogeológico, habrá que dimensionar un sistema de drenaje adecuado, que considere el aporte continuo de flujo de agua. Teniendo en cuenta que en fase de obra, existirá un mayor caudal, ya que el flujo se adecua a los nuevos gradientes hidráulicos impuestos.

Una vez adaptado a las nuevas condiciones de contorno impuestas por los desmontes, se diferenciarán dos zonas; zona no saturada del desmonte, donde el agua existente procedente de infiltración, es decir no existe un aporte continuo, únicamente en periodos de fuertes lluvias que pueden ser más o menos prolongados y, por otro lado, la zona saturada, donde existe un aporte continuo de agua, en general en la zona más deprimida de la excavación.

Partiendo de la hipótesis que se trata de acuíferos libres, homogéneos, isótropo, sin recarga y en régimen permanente, El cálculo del caudal se realizará mediante la expresión de corregida de Dupuit de pozo equivalente:

$$\ln(R/r_1) = (\pi K / Q)(h_0^2 - h_1^2)$$

Donde:

R, es radio de influencia, según Sichardt (1923), $R = 3000 \cdot s \cdot k^{1/2}$. La fórmula original se aplica a pozo verdaderos de radios de pocos metros y profundidad mayor al diámetro. Por tanto, se recomienda emplear el valor R_0 , $R_0 = (R_2 + r_2)^{1/2}$

r, es el radio equivalente. $r = (h \cdot l / \pi)^{1/2}$. Es un "pozo equivalente", del área igual a la planta de la excavación a agotar.

k, es coeficiente de permeabilidad.

Q, es el caudal a evacuar.

h_0 , es el espesor estático del acuífero saturado

h_1 , es el descenso producido.

A continuación, se valora el caudal estimado a evacuar en los desmontes del trazado que se ven afectados por la presencia de nivel freático.

Desmonte Acceso túnel

Longitud del desmonte. Inicio P.K.: 0+800. Final 1+330. LD = 560 m

Longitud de la zona saturada. Inicio P.K.: 0+900. Final 1+330. LS = 430 m, estimada a partir del sondeo más cercano (ST-4+360)

Cota de rasante: Mín.: 115,10 m.s.n.m. Máx.: 133,04 m.s.n.m. Med: 124,07 m.s.n.m.

Cota rasante zona saturada: Mín.: 120,14 m.s.n.m. Máx.: 133,04 m.s.n.m. Med: 126,59 m.s.n.m.

Formación: Suelo eluvial procedente de gnies

Permeabilidad: $1 \cdot 10^{-04}$ cm/s. $1 \cdot 10^{-06}$ m/s

Cota nivel piezométrico de referencia: 130 m.s.n.m. (estimada a partir del sondeo ST-4+360)

Ancho desmonte: 75 m

Para la realización del cálculo se considera la longitud de la zona saturada y el valor medio de la rasante en dicho tramo.

La profundidad de muro de acuífero se ha considerado, en este caso, la aparición de gneis sano.

A continuación, se muestra un cuadro resumen con los parámetros empleados y resultados obtenidos:

Excavación prevista Desmonte Acceso Túnel				
Ancho	75	m		
largo	430	m		
r (pozo equivalente)	101,32	m		
R (influencia)	47,49	m		
s	15,83	m		
k	1,00E-06	m/s		
R0	111,90	m		
H0 (espesor NF a base imp)	7,54	m		
H1 (prof excavación)	5,7	m		
Q	7,70E-04	m³/s	0,77	l/s
Q específico	1,79E-06	m³/s x m.l.	0,0018	l/s x m.l.

Tabla 10: Valoración de caudales a drenar en el recinto de la excavación, según la aplicación de la Fórmula de Dupuit "pozo equivalente"

Desmonte Salida túnel

Longitud del desmonte. Inicio P.K.: 5+400. Final 5+600. LD = 200 m

Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Autovía A-52. Tramo: O Porriño - Vigo. Provincia de Pontevedra.

Longitud de la zona saturada. Inicio P.K.: 5+400. Final 5+500. LS = 100 m, estimada a partir del sondeo más cercano (ST-5+462)

Cota de rasante: Mín.: 92,25 m.s.n.m. Máx.: 94,66 m.s.n.m. Med: 93,46 m.s.n.m.

Cota rasante zona saturada: Mín.: 101,75 m.s.n.m. Máx.: 93,65 m.s.n.m. Med: 97,70 m.s.n.m.

Formación: Suelo eluvial procedente de gneis

Permeabilidad: $1 \cdot 10^{-4}$ cm/s. $1 \cdot 10^{-6}$ m/s

Cota nivel piezométrico de referencia: 97 m.s.n.m. (estimada a partir del sondeo ST-5+462)

Ancho desmonte: 80 m

Para la realización del cálculo se considera la longitud de la zona saturada y el valor medio de la rasante en dicho tramo.

La profundidad de muro de acuífero se ha considerado, en este caso, la aparición de gneis sano.

A continuación, se muestra un cuadro resumen con los parámetros empleados y resultados obtenidos:

Excavación prevista Desmonte Salida Túnel				
Ancho	90	m		
largo	100	m		
r (pozo equivalente)	53,52	m		
R (influencia)	55,41	m		
s	18,47	m		
k	1,00E-06	m/s		
R0	77,04	m		
H0 (espesor NF a base imp)	5	m		
H1 (prof excavación)	2,71	m		
Q	1,52E-04	m ³ /s	0,15	l/s
Q específico	1,52E-06	m ³ /s x m.l.	0,0015	l/s x m.l.

Tabla 11: Valoración de caudales a drenar en el recinto de la excavación, según la aplicación de la Fórmula de Dupuit "pozo equivalente"

Cabe mencionar que, en ambas excavaciones, se trata de un cálculo aproximado, con los datos disponibles a la fecha de elaboración del documento, en fases posteriores se estimará de modo más ajustados estos caudales.

Métodos de abatimiento

El método más sencillo de controlar una excavación es drenar el fondo de la misma mediante zanjas perimetrales e intermedias que conducen el agua hasta una zona deprimida o pozos de bombeo. Este método permite que los elementos drenantes y zonas de bombeo se puedan desplazar fácilmente según las necesidades de los trabajos.

En el caso que nos ocupa las aguas recogidas se dirigirían a los sistemas de drenaje contemplados en los taludes, que estarían dimensionados para recibir este volumen de agua extraordinario.

A continuación, se valora el método más adecuado en caso de abordar un abatimiento previo.

En base a la curvas granulométrica de los suelos eluviales procedentes del gneis; en la siguiente figura se muestra cómo el porcentaje de finos frente al tamaño de partícula puede utilizarse como una primera aproximación para decidir el tipo de drenaje a utilizar.

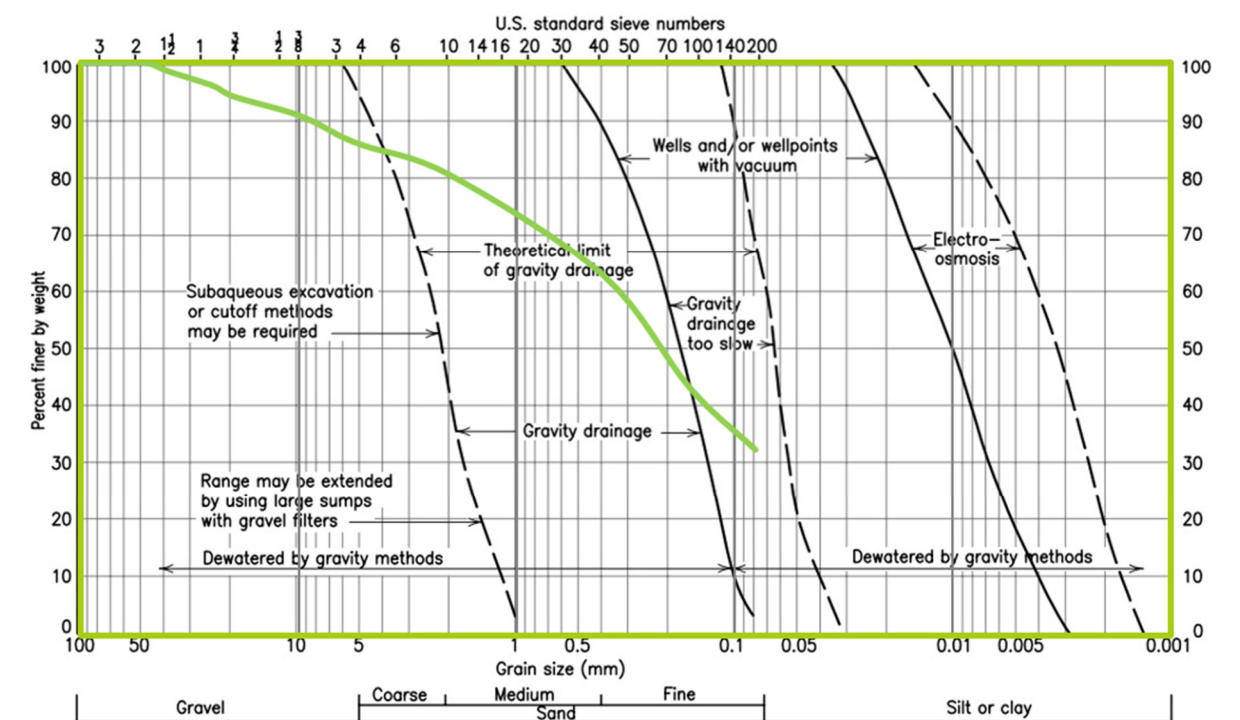


Figura 28: Sistemas de drenaje aplicables a diferentes tipos de terrenos (Powers et al., 2007)

8.4. Afección al flujo de agua subterránea en el tramo de túnel

El túnel se desarrollará en el sustrato gnésico, unidad G, de muy baja permeabilidad, prácticamente impermeable, por lo que la afección al flujo de agua subterránea superficial (niveles de alteración gnésico, QGN) en el tramo de túnel se considera a priori muy baja.

En base a las medidas del nivel piezométrico en sondeos realizados en la planta del futuro túnel la mayor parte de los niveles detectados se estabilizan sobre el suelo eluvial gnésico, actuando el gneis como sustrato impermeable. Salvo en el sondeo ST-4+850, donde el nivel de agua se sitúa en torno la cota 260 m.s.n.m. (62 m de profundidad), asociado a zonas de mayor fracturación.

Estudio de Impacto Ambiental del Proyecto Autovía A-52. Tramo: O Porriño - Vigo. Provincia de Pontevedra.

El túnel discurre, aproximadamente, entre las cotas 150 a 100 m.s.n.m., siendo posible la existencia de flujos puntuales al interior de túnel.

A continuación, se realiza una estimación preliminar del caudal de infiltración en el túnel, a partir de la fórmula de Goodman et al. (1965), y a partir del valor de permeabilidad obtenido para los gneises (G) en la que se desarrolla el túnel proyectado, con una permeabilidad media $2.96 \text{ E}^{-7} \text{ m/s}$

La cota de agua detectada en el sondeo ST-4+850 se puede aproximar al valor máximo para el caudal de infiltración susceptible de producirse en el túnel.

No obstante, esta permeabilidad puede resultar localmente algo más alta, en tramos de mayor densidad de fracturación o diaclasamiento, siendo necesario precisar su existencia en planta y profundidad, estos datos se determinarán con mayor precisión en fases posteriores del proyecto. La estimación de caudales habrá de revisarse una vez se disponga de ella.

El método de Goodman et al (1965) se basa en la aplicación de la expresión:

$$Q = 2 \cdot \pi \cdot K \cdot \left(\frac{h}{2,3 \cdot \log \left(\frac{2 \cdot h}{r} \right)} \right)$$

Donde:

Q, caudal hacia la excavación

K , permeabilidad del terreno en m/s

h , carga de agua en m

r , radio de la excavación en m

La estimación de los caudales se ha efectuado discretizando la longitud de los túneles según tramos homogéneos con una longitud máxima de 100 metros.

A efectos de estimar el radio del túnel, y dado que éste no tiene una geometría completamente circular, se ha tomado como referencia el diámetro equivalente interior de 11,4 m.

Cabe mencionar que este método de cálculo supone una situación estática sin gradientes de flujo laterales. Por ello, puntualmente, puede suponer incrementos entre el 2 y el 6% debido a estos aportes laterales.

Por otro lado, asume los caudales en un régimen transitorio, en el momento de la perforación de cada tramo. A largo o medio plazo, el flujo de agua hacia la excavación no puede considerarse estable, reduciendo progresivamente su magnitud en función de la porosidad efectiva y de la tasa de recarga del acuífero y, sobre todo, de posibles factores constructivos ligados al sistema de impermeabilización del túnel. Para estimar este transitorio, Goodman et al. han desarrollado la ley

parabólica que minora los caudales estimados de la expresión anterior, en función de la disminución de la carga hidráulica actuante.

De este modo puede simplificarse que:

- a los 6 meses el flujo se reduce a un 20% del inicial.
- a los 12 meses el flujo es del 15% del inicial.
- a los 24 meses el flujo de agua hacia la excavación solamente alcanzará un 10% del inicial.

En las tablas siguientes se muestran los caudales estimados para el túnel contemplado en el Proyecto, según los dos escenarios de permeabilidad estudiados.

Tramo	PK Inicio	PK Final	Long Tramo m	Instantáneo Caudal l/s	6 Meses Caudal l/s	12 Meses Caudal l/s	24 Meses Caudal l/s
1	1+330	1+390	60	2,02	0,40	0,30	0,20
2	1+390	1+410	100	3,78	0,76	0,57	0,38
3	1+410	1+510	100	5,32	1,06	0,80	0,53
4	1+510	1+610	100	6,05	1,21	0,91	0,61
5	1+610	1+710	100	7,18	1,44	1,08	0,72
6	1+710	1+810	100	7,30	1,46	1,09	0,73
7	1+810	1+910	100	7,30	1,46	1,09	0,73
8	1+910	2+010	100	7,34	1,47	1,10	0,73
9	2+010	2+110	100	7,38	1,48	1,11	0,74
10	2+110	2+210	100	7,38	1,48	1,11	0,74
11	2+210	2+310	100	7,38	1,48	1,11	0,74
12	2+310	2+410	100	7,42	1,48	1,11	0,74
13	2+410	2+510	100	7,46	1,49	1,12	0,75
14	2+510	2+610	100	7,50	1,50	1,13	0,75
15	2+610	2+710	100	7,54	1,51	1,13	0,75
16	2+710	2+810	100	7,58	1,52	1,14	0,76
17	2+810	2+910	100	7,66	1,53	1,15	0,77
18	2+910	3+010	100	7,66	1,53	1,15	0,77
19	3+010	3+110	100	7,66	1,53	1,15	0,77
20	3+110	3+210	100	7,74	1,55	1,16	0,77
21	3+210	3+310	100	7,78	1,56	1,17	0,78
22	3+310	3+410	100	7,82	1,56	1,17	0,78
23	3+410	3+510	100	7,86	1,57	1,18	0,79
24	3+510	3+610	100	7,86	1,57	1,18	0,79
25	3+610	3+710	100	7,94	1,59	1,19	0,79
26	3+710	3+810	100	7,98	1,60	1,20	0,80
27	3+810	3+910	100	8,06	1,61	1,21	0,81
28	3+910	4+010	100	7,42	1,48	1,11	0,74
29	4+010	4+110	100	6,97	1,39	1,05	0,70
30	4+110	4+210	100	6,77	1,35	1,01	0,68
31	4+210	4+310	100	5,93	1,19	0,89	0,59
32	4+310	4+410	100	5,80	1,16	0,87	0,58
33	4+410	4+510	100	5,36	1,07	0,80	0,54
34	4+510	4+610	100	4,74	0,95	0,71	0,47
35	4+610	4+710	100	4,29	0,86	0,64	0,43
36	4+710	4+810	100	3,69	0,74	0,55	0,37
37	4+810	4+910	100	3,65	0,73	0,55	0,36
38	4+910	5+010	100	3,69	0,74	0,55	0,37
39	5+010	5+110	100	3,83	0,77	0,57	0,38
40	5+110	5+210	100	3,51	0,70	0,53	0,35
41	5+210	5+300	90	2,67	0,53	0,40	0,27
				260,30	52,06	39,04	26,03

Tabla 12: Estimación de caudales en el túnel propuesto según la permeabilidad media obtenida para el gneis

Por su parte, en las figuras que se incluyen a continuación de ellas se muestra la distribución de los caudales drenados a lo largo de dichos túneles.

El caudal instantáneo acumulado a lo largo del túnel se cifra en torno a los 260,3 L/s, con caudales de entre 6 y 8 L/s en tramos de 100 m. Se estiman caudales en tramos de 20 m, entre 1 y 2 L/s.

Cabe aclarar que, según el método utilizado, los caudales obtenidos son aquellos susceptibles de producirse en el momento de la perforación de cada tramo. Los caudales drenados siempre serán mayores en fase de obra (régimen transitorio) e irán disminuyendo paulatinamente conforme se vayan produciendo la descarga de los niveles interceptados hasta estabilizarse en un régimen permanente. De este modo, en fase de explotación los caudales serán mucho más reducidos ya que se habrá producido la descarga total de dichos niveles. Una estimación más realista podría corresponder a los caudales calculados para 6 ó 12 meses.

A la vista de estas cifras, especialmente los estimados para tramos de 100 m, los caudales instantáneos obtenidos no pueden considerarse elevados, lo cual es coherente con las características de permeabilidad determinadas para los gneises.

Asimismo, estos cálculos se efectúan asumiendo una perforación en terreno natural, por lo que resultarían sobreestimados, a efectos de estar del lado de la seguridad. En estas condiciones cabría esperar un cierto "efecto drenaje" en fase de construcción, si bien éste se vería fácilmente minorado por el propio revestimiento del túnel y la impermeabilización al uso, que se contempla habitualmente. No obstante, resulta recomendable efectuar una revisión de los mismos en fases posteriores, conforme se disponga de una cartografía más detallada en la que se identifiquen zonas específicas de fracturación, datos geotécnicos de nuevas campañas de campo que permitan definir con más precisión la permeabilidad de las formaciones y/o una definición del trazado más detallada.

8.5. Zonas protegidas por el Plan Hidrológico de las demarcaciones hidrográficas

Respecto a las posibles afecciones, en las zonas protegidas incluidas en el registro de zonas protegidas, solo las captaciones de agua subterránea para consumo humano situadas en el área de estudio podrían verse afectadas. Este aspecto ha sido ya analizado anteriormente en este mismo capítulo, con la conclusión de que no existe riesgo de afección a dichas captaciones.

Del resto de figuras de protección en relación con las aguas subterráneas contempladas en este registro (perímetros de protección de aguas minerales y termales y zonas de futuras captaciones para consumo humano), en el área de actuación para la construcción de la infraestructura prevista, no hay riesgo de afección.

9. Recomendaciones

Desde el punto de vista hidrológico el área de actuación se encuentra formada por los cursos de agua permanente de los Ríos Lagares (Galicia Costa) y Louro, afluente del Miño (Miño-Sil) como los más caudaloso y largos del sistema, y los distintos regos existentes en la zona. Nos situamos por tanto en la frontera sur las Demarcaciones Hidrográficas Galicia Costa con la Miño-Sil.

En el entorno del presente proyecto se definieron dos masas de agua subterránea, por un lado, en el sector oriental del trazado la MASb 011.002, Cuenca baja del Miño, y en la parte occidental del trazado, la MASb 014.001, O Morrazo-Pontevedra-Vigo-Baiona.

Por lo que respecta a la Permeabilidad, el trazado discurre por materiales de permeabilidad baja.

En la campaña geológico – geotécnica realizada, se ejecutaron 4 ensayos tipo Lugeon en los sondeos situados en la zona del túnel sobre el substrato rocoso gnéisico. Con un valor medio de los ensayos realizados, $2,96 \cdot 10^{-5}$ cm/s ($2,96 \cdot 10^{-7}$ m/s), adoptándolo como representativo de la unidad.

Para los suelos de alteración de los sustratos rocosos se establece los valores de permeabilidad en base a un ensayo Lefranc y distintas correlaciones obteniendo los siguientes valores:

- Suelos de alteración procedentes de granito (QPG), se puede establecer un valor de comprendido entre $1 \cdot 10^{-4}$ a $1 \cdot 10^{-5}$ cm/s propias de acuíferos muy pobres, cuyas permeabilidades son muy pequeñas.
- Suelos de alteración procedentes de gneis (QPN), en este caso el valor de permeabilidad es de $1 \cdot 10^{-3}$ a $1 \cdot 10^{-5}$ cm/s, y propias de acuíferos pobres, cuyas permeabilidades son pequeñas.

El seguimiento freático en los sondeos ejecutados en la zona del túnel, revela que la el nivel freático se sitúa normalmente en los suelos eluviales, excepto en el sondeo ST-4+850, donde se estabiliza a la cota 261 m.s.n.m., en el sustrato gnéisico. Esto resulta lógico considerando que el sustrato actúa como base impermeable, pero en ocasiones puede presentar una elevada permeabilidad secundaria a favor de discontinuidades. Hidrogeológicamente se ubica en un interfluvio, que se correspondería con una zona de recarga local.

En cuanto a la valoración preliminar de los posibles afecciones o impactos que la ejecución y/o explotación del trazado podría tener sobre el medio hidrogeológico, se ha determinado lo siguiente:

- “Efecto drenaje” del Túnel, considerando el caso más desfavorable el caudal instantáneo acumulado en tramos de 100 m se cifra entre 6 y 8 L/s. Para tramos de 20 m estaría entre 1 y 2 L/s.

En estas condiciones cabría esperar un cierto “efecto drenaje” en fase de construcción, si bien éste se vería fácilmente minorado por el propio revestimiento del túnel y la impermeabilización al uso, que se contempla habitualmente.

- Para los desmontes el volumen de agua estimado podrá ser evacuado mediante zanjas perimetrales e intermedias que conducen el agua hasta una zona deprimida o pozos de bombeo.
- Los inventarios de puntos de agua muestran gran cantidad de entidades próximas al trazado, si bien, un análisis más detallado, considerando una banda de afección en torno a 50 m del trazado, ha revelado que únicamente 10 de los puntos de agua consideran bajo riesgo de ser destruidos por el transcurso de las obras: 1101201319, 1101200041, 1101201317, 1101201318, 1101201355, 1101201356, 1101201357, 1101201358, 1101201455 y 9104.

El trazado atraviesa los cauces del río Louro, Rego Perral y Rego Eifonso mediante viaductos, por ello, no es de esperar ningún tipo de afección importante a cauces de agua superficiales.

Se recomienda realizar una revisión del inventario de puntos de agua durante la fase de proyecto, con objeto de completar y actualizar la información disponible actualmente de las captaciones y puntos de agua que se verán afectados directamente por la construcción, de manera que puedan establecerse las medidas adecuadas de compensación, sustitución o reposición necesarias.

Se debe definir una red de control de niveles piezométricos, caudales y de calidad del agua, que pasarán a formar parte de la red de control ambiental que se establezca en la fase de proyecto, y en la que deberán realizarse controles y medidas periódicas durante la fase de construcción.

La red deberá estar integrada por sondeos y manantiales que permitan establecer, en todo momento, el estado de las aguas subterráneas en la zona de posible afección de las obras, tanto en lo que se refiere al flujo subterráneo como a la calidad de las aguas, de forma que pueda detectarse inmediatamente cualquier alteración en los mismos, por lo que deberá cubrir toda la zona, especialmente aguas debajo de las obras, en el sentido del flujo subterráneo, y en los sectores definidos en el Estudio Hidrogeológico con riesgo de afección moderado.

Los sondeos realizados en estudios y proyectos previos que se conserven en buen estado y debidamente acondicionados, podrían integrarse en esta red de control, completándose con nuevos sondeos en las áreas que se consideren necesarias. La red control del flujo subterráneo debería medirse al menos con periodicidad mensual o bimensual, realizándose medidas de niveles de agua en sondeos y caudales en manantiales. Así mismo, se seleccionarán algunos de estos puntos para integrar la red de control de la calidad del agua subterránea, que podría completarse con otros puntos de interés que no formen parte de la red piezométrica. Esta red de calidad del agua se muestreará también mensualmente, analizándose al menos, componentes mayoritarios: cloruros,

sulfatos, carbonatos, bicarbonatos, calcio, magnesio, sodio, potasio y sílice, realizándose medidas "in situ" de parámetros físico-químicos, tales como pH, conductividad y temperatura.

Se recomienda, durante la fase de proyecto:

- En lo que a la calidad de las aguas subterráneas se refiere, la realización de una campaña de muestreo y análisis de aguas subterráneas, en puntos situados aguas abajo del trazado finalmente diseñado y a lo largo del mismo, según los flujos subterráneos. Estos puntos o algunos de ellos, se deberán mantener como parte de la red de control ambiental durante la realización de las obras.
- La elaboración de un inventario detallado de las captaciones y puntos de agua que se verán afectados directamente por la construcción al situarse sobre la traza de la autovía, de forma que se complete la información disponible actualmente y se puedan establecer las medidas de compensación, sustitución o reposición necesarias.

Aunque no se prevea una afección importante en los desmontes, pueden desarrollarse durante la ejecución de la obra desviaciones respecto a las previsiones de este estudio. En este sentido, es importante establecer un seguimiento y asistencia técnica durante la ejecución de las excavaciones, al menos en los desmontes importantes, excavaciones de los emboquille del túnel y los taludes a ambos márgenes de los viaductos sobre el rego Perral, que permita adaptar las recomendaciones a la realidad de la obra, caso de que se produjeran desviaciones notables.

De esta forma se podrán evitar afecciones locales, o por lo menos adoptar las medidas adecuadas para mitigarlas o impedir su progresión a otras zonas. Algunas de estas medidas podrían ser la reubicación de captaciones a zonas no afectadas por el desarrollo de la obra, mediante la construcción de sondeos, manantiales no captados o tomas de aguas superficiales de arroyos, modificación o reconstrucción de las conducciones desde la captación hasta los puntos de uso o regulación, conexión a las redes de distribución municipal o comunidades, etc.