LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LAS CUENCAS CANTÁBRICAS DE NAVARRA

Gobierno de Navarra
Gestión Ambiental de Navarra, S.A.
BIDAUR
Unión Europea
Fondo Europeo de Desarrollo Regional

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LAS CUENCAS CANTÁBRICAS DE NAVARRA

URUMEA · BIDASOA · URDAZURI/NIVELLE · ERROBI/NIVE

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LAS CUENCAS CANTÁBRICAS DE NAVARRA

URUMEA · BIDASOA · URDAZURI/NIVELLE · ERROBI/NIVE

Gobierno de Navarra

Gestión Ambiental de Navarra, S.A.

BIDAUR

Unión Europea
Fondo Europeo de Desarrollo Regional

Edita: © GESTIÓN AMBIENTAL DE NAVARRA S.A. (2012)

Título: Las aguas subterráneas en las cuencas cantábricas de Navarra

Colaboradores: Javier Castiella Muruzabal, Miren Errandonea Tapia, Gabriel Martín Zúñiga, Cristina de la Torre García, Isabel Muñoz Pascual, Luis Rojo Molero, Concha Fernández de Pinedo, Isabel Ibarrola Manterola, Asier Guinea Ramos, Anika Meyer

Presentación: José Javier Esparza Abaurrea, Consejero de Desarrollo Rural, Medio Ambiente y Administración Local

©Fotografías: GAN, Javier Arbilla, Patxi Iriarte

Diseño: Javier Arbilla

El contenido de este libro ha sido desarrollado en los informes realizados por IDRENA e INFRAECO para Gestión Ambiental de Navarra en el marco del proyecto INTERREG IVa BIDUR

Sistema de referencia utilizado en la elaboración de la cartografía:
EPSG 23030; ED50/UTM HUSO 30N

Impresión: Navaprint S.L.
I.S.B.N.: 978-84-616-6582-2
Depósito Legal: NA 1636-2013

PRESENTACIÓN

LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS EN LAS CUENCAS CANTÁBRICAS DE NAVARRA es una publicación editada por Gestión Ambiental de Navarra con la pretensión de difundir los trabajos realizados en el marco del proyecto europeo BIDUR "Gestión transfronteriza compartida de las cuencas de los ríos Bidasoa y Urumea".

El libro plantea dos objetivos generales; por un lado recopilar la información obtenida sobre las aguas subterráneas desde varios puntos de vista, como su localización y características hidrogeológicas, la evaluación de los recursos subterráneos y su aptitud para distintos usos. Y por otro, establecer el balance entre recursos hídricos y demandas consolidadas.

La publicación se inicia con una breve descripción del medio físico de las cuencas cantábricas de Navarra para, a continuación, abordar su caracterización climatológica. Se van describiendo los aspectos claves para la evaluación de los recursos hídricos; precipitaciones, temperaturas y evapotranspiración, para llegar finalmente a la cuantificación de la lluvia útil. Los resultados obtenidos son de aplicación directa para el establecimiento de los balances hidrometeorológicos y para la determinación de los recursos medios totales, tanto a nivel de cuencas hidrológicas como de masas de agua subterránea y de acuíferos.

Seguidamente se describen las cuencas desde el punto de vista geológico y se abordan, en profundidad, las características geológicas e hidrogeológicas de las masas de agua subterránea y acuíferos que incluyen: masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos de Cinco Villas-Quinto Real y masa de agua subterránea de Basaburua-Ultzama. Se recogen también los resultados de los sondeos de investigación realizados; las permeabilidades, recargas y descargas de los acuíferos (manantiales), los parámetros hidráulicos y la calidad química de las aguas.

Finalmente se incluye el estudio realizado sobre la disponibilidad de los recursos hídricos en las cuencas cantábricas de Navarra, los diferentes usos como el de abastecimiento, industrial, agrícola y ganadero, y el balance entre los recursos hídricos y las demandas. La publicación se completa con una serie de mapas hidrogeológicos que muestran los acuíferos y manantiales más significativos, para facilitar al lector la comprensión del texto.

Al ofrecer la información generada por el desarrollo del proyecto BIDUR, esta publicación puede ser útil tanto para avanzar en el conocimiento de las aguas subterráneas de las cuencas cantábricas de Navarra, como para aportar soluciones técnicas a los problemas que en ellas se vienen planteando.

D. José Javier Esparza Abaurrea

Consejero de Desarrollo Rural,
Medio Ambiente y Administración Local

Índice

1 Antecedentes 11
Estudio de la disponibilidad del recurso agua en el Proyecto BIDUR 16

2 Las cuencas cantábricas 19

3 Climatología y recursos hídricos 25
Climatología. Balance hidrometeorológico 27
Datos de partida 27
Precipitaciones medias, anuales y mensuales 27
Análisis de la temperatura 30
Evapotranspiración 30
Balance hidrometeorológico. Cálculo de la lluvia útil 31
Cuantificación de recursos hídricos totales 35
Regulación de las aguas superficiales 38

4 Características hidrogeológicas 41
Geología 43
Masas de agua subterráneas presentes en las cuencas 46
Masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos Cinco Villas- Quinto Real 48
Sistema acuífero del Sinclinal Cretácico de Bera-Urdazubi/Urdax 48
Sinclinal Cretácico de Bera 49
Sinclinal Cretácico de Zugarramurdi-Urdazubi/Urdax 57
Sistema acuífero de las Calizas Paleozoicas de Lesaka-Arantza 63
Sistema acuífero de las Dolomías del Devónico en Elizondo 70
Formaciones de baja permeabilidad 78
Materiales graníticos 78
Pizarras y esquistos paleozoicos 79
Cuarcitas y areniscas paleozoicas 82
Areniscas triásicas 83
Ofitas (rocas volcánicas) 85
Acuíferos aluviales 86
Masa de agua subterránea de Basaburua-Ultzama 87
Sistema acuífero del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Basaburua-Ultzama 87
Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta 88
Sinclinal Jurásico de Irurita 97
Sinclinal Jurásico-Cretácico de Gaztelu-Arraioz 101
Relación aguas superficiales-subterráneas 106
Puntos de agua subterránea 109
Captaciones de agua inventariadas 109
Sondeos de reconocimento perforados en el proyecto BIDUR 112
La calidad química de las aguas subterráneas y superficiales 117
Características físico-químicas de las aguas 117
Aptitud de las aguas para distintos usos 120
Presiones a la calidad del agua 120

5 Balance de los recursos hídricos en las cuencas del Bidasoa, Urumea y ríos pirenaicos 123
Usos y demandas de agua 125
Usos consuntivos del agua en las cuencas estudiadas 125
Usos no consuntivos del agua 127
Recursos para atender las demandas de agua 128
Balance de recursos-demandas 128
Balance general de las cuencas 128
Balance de los acuíferos carbonatados 129

Referencias 133

[Capítulo 1]

1

ANTECEDENTES

1

ANTECEDENTES

El Gobierno de Navarra ha mantenido un especial interés en el estudio de los recursos naturales, hídricos y mineros del territorio navarro. Ya desde mediados de la década de los 70, hasta el inicio de los 80, la Diputación Foral de Navarra desarrolló diversos trabajos encaminados a su conocimiento y estudio. En este marco la Diputación Foral acometió el Proyecto Hidrogeológico de Navarra, pionero en esa época, con objeto de estudiar y valorar los recursos hídricos de Navarra. Este proyecto se realizó en dos fases: Fase 1 (1975-1977) y Fase 2 (1979-1982).

Los objetivos principales del proyecto fueron:

- Definir las unidades hidrogeológicas y los acuíferos principales, así como sus características geológicas, geométricas e hidrogeológicas.
- Fijar hipótesis de base sobre el funcionamiento de los acuíferos (zonas de alimentación, zonas de descarga, renovación de las reservas, etc.).
- Cuantificar, de forma aproximada, los recursos y las reservas.
- Conocer la calidad química de las aguas superficiales y subterráneas.

Aunque el estudio se realizó en el conjunto de Navarra, se centró en los principales acuíferos detectados (Aralar, Urbasa, Lokiz y Aluvial del Ebro y afluentes). Se concluyó que en el conjunto de la unidad hidrogeológica del Norte (en la que se engloban las cuencas del Bidasoa, Urumea, Urdazuri/Nivelle y Errobi/Nive) la variedad litológica de los materiales existentes y la compleja tectónica de la zona generan unos afloramientos muy compartimentados, que además, condicionan la existencia de un gran número de acuíferos, en general poco importantes y repartidos por toda la unidad. Por ello, desde el punto de vista hidrogeológico, esta zona norte ha sido tradicionalmente considerada como de escaso interés.

No obstante es conocido que las aguas del subsuelo en esta zona en forma de manantiales, juegan un papel primordial en el abastecimiento de la población y en el mantenimiento del caudal base de los ríos. En el Proyecto Hidrogeológico de Navarra ya se reconocía la existencia de serias lagunas en el conocimiento de los recursos hídricos disponibles en las cuencas cantábricas debido a que los estudios existentes sobre los recursos subterráneos eran escasos y de carácter muy local.

Así, en las siguientes décadas, se realizaron diversos trabajos en torno a la temática del agua en estas cuencas, dirigidos sobre todo a la mejora del conocimiento y la protección de los recursos superficiales. Se recogen, a continuación, algunos de los trabajos desarrollados entre los años 2000 y 2008.

A partir del año 2000 se fueron desarrollando estudios de delimitación de zonas inundables y de ordenación hidráulica de los ríos de la Comunidad Foral, y es en 2005, cuando se realizó el estudio de inundaciones de los ríos de la cuenca cantábrica (los resultados cartográficos de ese trabajo están a disposición del público en el visor cartográfico del IDENA). También en este periodo se han ido redactando los POT (Planes de Ordenación Territorial de Navarra), que incluyen en su contenido normativo unos criterios de ordenación urbanística de las zonas inundables y usos admisibles en las mismas. Por otra parte, en el marco de los estudios de *Actualización y Mejora del Banco de Datos Hidrológico (BDH)*, se cuenta con un estudio hidrológico de los ríos navarros en sus vertientes mediterránea y cantábrica. El objetivo de este estudio ha sido la obtención de las series de aportaciones diarias, decenales y mensuales, parciales y acumuladas, en las 127 unidades hidrográficas en que se ha dividido el territorio navarro, a lo largo del periodo 1940/41 a 2006/2007, mediante la aplicación del modelo SACRAMENTO.

Con la puesta en marcha de los procesos de participación ciudadana para la implantación de la Directiva Marco del Agua[1] (DMA) se retoma la necesidad de profundizar en el conocimiento de las aguas subterráneas, en estas cuencas cantábricas. Así, entre los años 2007 y 2008 el Gobierno de Navarra, a través de la Fundación Centro de Recursos Ambientales de Navarra (CRANA), realizó una serie de talleres centrados en la problemática y las medidas necesarias a implementar en la cuenca del Bidasoa. Estas jornadas de participación activa, conocidas como Foro del Agua, pusieron de manifiesto la necesidad de profundizar en el conocimiento de los recursos hídricos (superficiales y subterráneos) para solucionar problemas existentes. Entre los problemas detectados destacan los siguientes: la falta de garantía de suministro de agua en algunas poblaciones en determinadas épocas del año, la presencia de contaminación por vertidos industriales, agropecuarios y urbanos, y la falta de caudal circulante por los cauces, debida a las derivaciones de agua para las centrales hidroeléctricas.

Teniendo en cuenta todos los antecedentes, y con objeto de dar solución a los problemas existentes y de seguir avanzando en el conocimiento de los recursos hídricos, se ha desarrollado el proyecto europeo **Interreg IVa BIDUR**, en el marco del **Programa Operativo de Cooperacion Territorial España-Francia-Andorra 2007-2013**. Para su desarrollo se ha establecido una colaboración entre el Gobierno de Navarra, a través de la empresa pública Gestion Ambiental de Navarra, S.A.; la Diputación de Gipuzkoa, por medio de su empresa pública HAZI y el Consejo General de los Pirineos Atlánticos.

En la Comunidad Foral de Navarra, entre otros aspectos, se han abordado los siguientes:

• La **disponibilidad del recurso agua**, por medio de tres acciones llevadas a cabo de forma coordinada:

1.- El estudio de evaluación de recursos subterráneos que incluye: la evaluación de los recursos hídricos subterráneos de las cuencas del Bidasoa y Urumea mediante la caracterización geológica e hidrogeológica de los acuíferos, el análisis de usos y demandas, la evaluación del estado de las infraestructuras y la identificación de presiones e impactos.

2.- La ejecución de 12 sondeos para la identificación de los recursos en los acuíferos, que ha permitido por una parte, la identificación y reconocimiento de las características geológicas e hidrogeológicas de los materiales atravesados, y por otra, la valoración de su posible explotación para el abastecimiento de las poblaciones.

3.- La construcción de un modelo[2] de gestión integrada de los recursos hídricos, que ha permitido evaluar el estado actual de la gestión de los recursos en la cuenca del Bidasoa y valorar el efecto que supondría la modificación del régimen de caudales ecológicos, sobre todo en la producción hidroeléctrica.

[1] La Directiva Marco del Agua Europea (DMA) (2000/60/CE) fue aprobada el 23 de octubre de 2000, siendo el resultado de un proceso de negociaciones y acuerdos que duró más de cinco años. El resultado es una norma básica sobre la gestión del agua, común para toda la Unión Europea. Esta norma pretende tomar medidas para proteger las aguas tanto en términos cualitativos como cuantitativos y garantizar así su sostenibilidad. El Estado español traspuso la Directiva Marco a la legislación nacional mediante el artículo 129 de la Ley 62/2003 de medidas fiscales administrativas y del orden social, de 31 de diciembre del 2003. Los objetivos de buen estado de las aguas establecidos por la norma deberán conseguirse en cada cuenca hidrográfica para el año 2015. Para el cumplimiento de los objetivos de la DMA se han elaborado a nivel de cuenca unos planes hidrológicos que describen el estado actual de las aguas y que marcan las líneas a seguir para conseguir su buen estado en el calendario establecido por la norma europea. Los borradores de los planes hidrológicos son elaborados por la Confederaciones Hidrográficas y posteriormente son expuestas y discutidas en foros abiertos a toda la ciudadanía. En el caso de las cuencas cantábricas de Navarra, la Confederación Hidrográfica del Cantábrico elaboró el borrador y lo expuso públicamente. A la conformidad del Consejo Nacional del Agua, prevista para finales de 2012, seguirá su aprobación por parte del gobierno español.

[2] Este estudio ha permitido prolongar la serie de aportaciones del modelo SACRAMENTO hasta el año 2011 en la cuenca del río Bidasoa.

Presa de la central Yanci 1 en Sunbilla.

• La **permeabilidad y restauración de la cuenca**, para lo que se ha realizado la actualización del inventario de obstáculos situados en las cuencas cantábricas. También se ha evaluado la funcionalidad de algunas de las escalas para peces situadas en la cuenca del Bidasoa. Además, en el caso de la cuenca del Urumea, se ha investigado la afección de la actividad minera en el río Ollin y se ha redactado el proyecto para su restauración fluvial. Finalmente, se ha realizado un vuelo LIDAR en los cauces del Bidasoa y Urumea, que ha permitido obtener un modelo digital del terreno de alta precisión.

Escala de peces Murges en el río Bidasoa (Igantzi).

La difusión de los resultados obtenidos y de los conocimientos adquiridos en el proyecto BIDUR se logra, en gran manera, con la publicación de este libro. Cabe destacar, que la tarea que más ha contribuido a la ampliación del conocimiento hidrogeológico de los recursos hídricos de las cuencas cantábricas ha sido la relativa al estudio de la "Disponibilidad del recurso agua superficial y subterránea".

Los trabajos realizados en el proyecto BIDUR han permitido identificar y evaluar en las cuencas (Bidasoa, Urumea, Urdazuri/ Nivelle y Errobi/Nive) varios sistemas acuíferos de interés, en una zona anteriormente considerada como de escaso interés hidrológico.

Río Bidasoa aguas abajo de la presa de San Tiburcio en Doneztebe/Santesteban.

ESTUDIO DE LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO AGUA EN EL PROYECTO BIDUR

La evaluación de la disponibilidad de los recursos hídricos tanto superficiales como subterráneos de las cuencas del Urumea, Bidasoa, Urdazuri/Nivelle y Errobi/Nive, el análisis de usos y demandas, la evaluación del estado de las infraestructuras, la identificación de presiones e impactos, así como la identificación de nuevos recursos subterráneos, son los resultados obtenidos por medio del estudio de diferentes aspectos y la ejecución de algunas obras. A continuación se resumen las tareas que se han desarrollado para alcanzar cada uno de los objetivos marcados en BIDUR:

- **Evaluación de recursos hídricos**: Para aumentar el conocimiento de los recursos hídricos de la zona se han realizado diversos estudios sobre aspectos geológico-hidrogeológicos, hidroclimáticos, de la hidrología superficial: se ha hecho un inventario de puntos de agua, se ha establecido una red de control (hidrométrico, piezométrico, aforos diferenciales y de la calidad de las aguas) y se ha efectuado el balance de los recursos hídricos disponibles y estudiado su evolución estacional.

- **Análisis de los usos y demandas de agua para abastecimiento urbano**: Con objeto de valorar la demanda de agua requerida en las distintas poblaciones de la zona y la garantía de suministro que actualmente presenta el abastecimiento. En los casos en los que este fuese deficitario, se han propuesto medidas que puedan mejorar los sistemas actuales de abastecimiento. Así, se han buscado nuevos recursos hídricos, se han aplicado correcciones para mejorar la eficiencia de las redes de distribución y se ha analizado la situación en la que actualmente se encuentran los abastecimientos urbanos de las poblaciones. Además de inventariar los puntos de agua de abastecimiento y medir sus caudales en origen, se ha reconocido la situación de las conducciones hasta los depósitos de almacenamiento y la distribución en baja desde estos hasta los puntos de consumo en las viviendas de la población.

- **Evaluación del estado ambiental de las aguas superficiales y subterráneas. Análisis de presiones e impactos**: Para el análisis de las actuales "Presiones e Impactos" sobre las aguas superficiales y subterráneas de las cuencas del Bidasoa y Urumea, en su vertiente Navarra, se ha completado y actualizado la información procedente de los trabajos más recientemente realizados en la zona y recogidos en el *"Estudio de las repercusiones de la actividad humana en el estado de las aguas superficiales. Caracterización adicional del riesgo en especial de las masas de agua en riesgo en estudio en la Confederación Hidrográfica del Cantábrico"*. Este estudio, realizado por el Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino, en 2009, revisa y actualiza el desarrollado por el Gobierno de Navarra en 2006, *"Evaluación y mejora del estado de los ríos de Navarra según la Directiva Marco del Agua"*.

- **Identificación de nuevos recursos subterráneos. Perforación de sondeos de reconocimiento y explotación**: En el proyecto BIDUR se han identificado nuevos recursos por medio del conocimiento y evaluación del funcionamiento hidrogeológico e hidrodinámico de los sistemas acuíferos y de la perforación de 12 sondeos de reconocimiento y preexplotación. La realización de bombeos de ensayo y el análisis de la calidad del agua en los sondeos realizados ha permitido valorar la posibilidad de explotación de los acuíferos existentes.

- **Programa de actuaciones y medidas para el mejor uso y protección de los recursos hídricos de las cuencas del Bidasoa, Urumea y ríos pirenaicos**: Como resultado del estudio de recursos, principalmente subterráneos, se ha propuesto una serie de medidas de actuación encaminadas a la captación y mejora de los recursos hídricos disponibles para el abastecimiento urbano. Además, estas medidas buscan la protección de los recursos hídricos para tratar de cumplir los objetivos medioambientales que la propia DMA exige alcanzar para el año 2015.

[Capítulo 2]

2

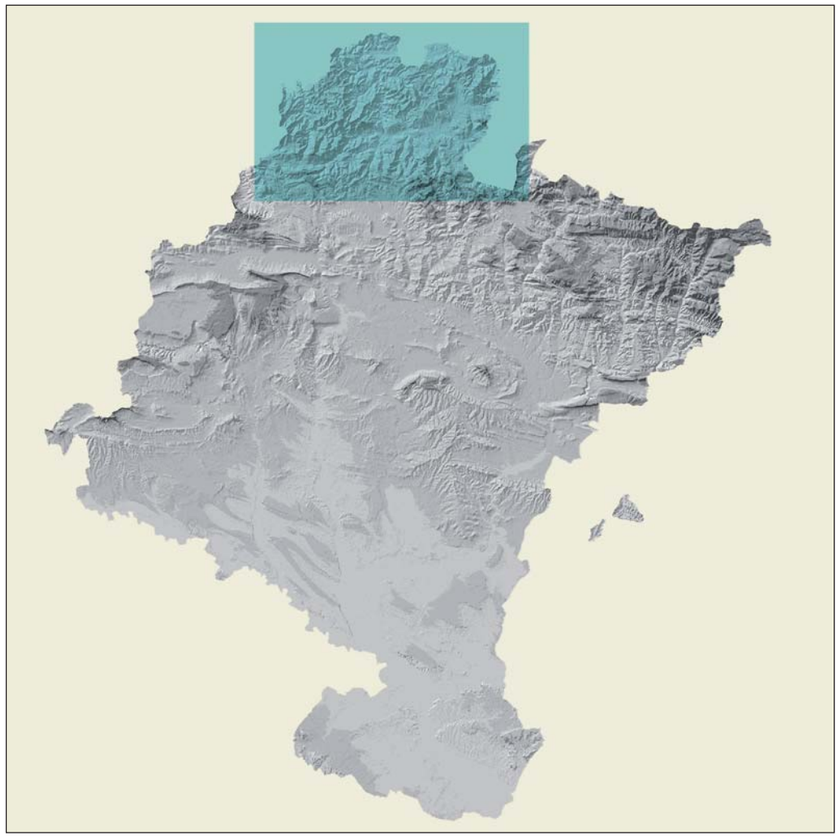
LAS CUENCAS CANTÁBRICAS

2

LAS CUENCAS CANTÁBRICAS

Urumea, Bidasoa, Urdazuri/Nivelle, Errobi/Nive y Oria son los ríos navarros que vierten sus aguas al mar Cantábrico. Este libro se centra en las cuencas de los cuatro primeros ríos (Urumea, Bidasoa, Urdazuri/Nivelle y Errobi/Nive), dado que los trabajos hidrogeológicos realizados se han centrado en estas cuatro cuencas.

Son cuencas relativamente pequeñas que desembocan en el mar Cantábrico después de circular, en el caso de los ríos Bidasoa y Urumea, por la provincia limítrofe de Gipuzkoa (País Vasco), o en el mar Atlántico en territorio francés, en el caso de los ríos Urdazuri/Nivelle y Errobi/Nive. Estas cuatro cuencas cantábricas ocupan el 10,5 % de la superficie total de la Comunidad Foral, con una extensión de 957 km^2, de los que el 70 % corresponden a la cuenca del Bidasoa. Administrativamente, las cuatro cuencas actualmente se hallan enmarcadas en la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental (DHCO), en el ámbito territorial del País Vasco-Navarra. En la figura de la página 22 se enmarcan las cuatro cuencas.



Localización en Navarra de las cuencas estudiadas.

En su conjunto, son sistemas hidrológicos que presentan una densa red de cauces tributarios producto de una orografía abrupta, como consecuencia de la proximidad de los relieves montañosos al mar, de la presencia predominante de formaciones geológicas de baja permeabilidad y de la elevada pluviosidad que se recoge en sus cuencas.

Ámbito geográfico de las cuencas cantábricas (Urumea, Bidasoa, Errobi/Nive y Urdazuri/Nivelle).

El río Bidasoa nace en el Valle de Baztan (Navarra) y desemboca en el mar Cantábrico, en Hondarribia (provincia de Gipuzkoa). Tiene una longitud total de 74 kilómetros, formando los 10 últimos la línea fronteriza entre España y Francia. Su principal afluente es el Ezkurra al que acompaña una buena red de tributarios a lo largo de su curso: las regatas Artesiaga, Marin, Zeberia, Ezpelura, Arrata, Tximista, Onin, Zia, Endara, Jaizubia y Errolasar. La cuenca del Bidasoa tiene unos 686 km^2 de los cuales, 675 km^2 están en Navarra y el resto (unos 11 km a partir de Endarlatsa) están en Gipuzkoa. En Navarra, es en la estación de aforo de Endarlatsa[3] donde se controlan las salidas de agua del sistema del Bidasoa. La cuenca del Bidasoa en Navarra se ubica sobre la masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos Cinco Villas-Quinto Real, que se extiende por la mayor parte de su cuenca, y la de Basaburua-Ultzama, que constituye una banda alargada que se prolonga en dirección Oeste-Este, por su sector más meridional.

El río Urumea nace en el puerto de Ezkurra (Navarra), desciende por un valle estrecho y hondo hasta Goizueta, donde recibe al Añarbe y sigue su curso hasta la localidad de Hernani (Gipuzkoa). Prosigue su camino por los valles más llanos, hasta desembocar en Donostia/San Sebastián, en el mar Cantábrico. El río Urumea tiene 45 km de longitud, de los que unos 23 km discurren por Navarra. La superficie total de la cuenca es de 246 km^2; 168 se extienden por Navarra, hasta la intersección en el Urumea del río Añarbe, por su margen derecha, que hace de límite provincial. En la cuenca del

[3] La estación de aforos de la estación de Endarlatsa tiene asignado el código EA 10106.

Urumea también se incluye una subcuenca menor perteneciente a la regata Esilles, afluente del Urumea por su margen izquierda, que se extiende por el sector septentrional del sistema en el límite de la provincia de Navarra. La cuenca del Urumea en Navarra se ubica sobre la masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos Cinco Villas-Quinto Real que se extiende por prácticamente la totalidad de su cuenca y, en un reducido sector del borde meridional de la misma, por el puerto de Ezkurra, sobre la masa de Basaburua-Ultzama.

El río Urdazuri o Nivelle tiene como afluente principal la regata Ugarana. Su cuenca es de 233 km^2, de los cuales 63,14 se extienden por Navarra. Tiene una longitud de 45 km, de los que los 14 iniciales discurren por Navarra antes de pasar a tierras laportanas (Francia), discurriendo por las localidades de Senpere/Saint-Pée-sur Nivelles, Ainhoa y Azkaine/Ascain, y finalmente desembocar en el mar Cantábrico entre Donibane Lohizun/Saint Jean de Luz y Ziburu/Ciboure. Un reducido sector de esta cuenca, de 3,61 km^2 de extensión, se halla al norte del término municipal de Bera, en el entorno de Ibardin, donde nace la regata de Intzola que vierte sus aguas hacia Francia.

El río Errobi o Nive es un afluente del río Atturri o Adour que tiene una cuenca de 1.030 km^2, de los cuales 47,18 km^2 se extienden por Navarra. Su longitud es de 78 km, de los que 11 transcurren por Navarra. Al norte del monte Gorramendi de Baztan nacen las regatas de Aritzakun y Urrizate, que conforman el río Baztan afluente también del río Errobi o Nive.

Dadas las dimensiones reducidas de las cuencas del río Errobi o Nive y la de Urdazuri o Nivelle en Navarra, y teniendo en cuenta la similitud en sus características hidrogeológicas, se han agrupado bajo la denominación de cuencas de los ríos pirenaicos. En la provincia de Navarra ocupan una superficie de 113,93 km^2 y en su totalidad, se ubican sobre la masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos Cinco Villas-Quinto Real.

Estas cuatro cuencas incluyen cinco espacios de la Red Natura 2000: Río Baztan y Regata Artesiaga (ES2200023), Señorío de Bertiz (ES2200017), Belate (ES2200018), Río Bidasoa (ES2200014), Regata de Orabidea y Turbera de Arxuri (ES2200015).

[Capítulo 3]

CLIMATOLOGÍA Y RECURSOS HÍDRICOS

Climatología. Balance hidrometeorológico

Cuantificación de recursos hídricos

3

CLIMATOLOGÍA Y RECURSOS HÍDRICOS[4]

El estudio climático permite evaluar los recursos hídricos de las cuencas. A partir de los datos de precipitación registrados en las estaciones pluviométricas se obtiene la precipitación en cada cuenca y restándole la evapotranspiración real (es decir, la parte de la precipitación que se evapora o transpira a través de las plantas) se obtiene el agua que queda en la superficie de la tierra, o *lluvia útil*. Una parte de esta agua se escurrirá a través del terreno e irá directamente a los cauces, formando lo que se conoce como escorrentía superficial. Otra parte, en cambio, se infiltrará en el terreno y podrá llegar a recargar los acuíferos. Dependiendo de la envergadura y permeabilidad del acuífero el agua circulará a través del subsuelo un periodo de tiempo variable, hasta que nuevamente se incorpore a los cursos superficiales que circulan por la zona.

CLIMATOLOGÍA. BALANCE HIDROMETEOROLÓGICO

Datos de partida

Los datos climáticos descritos en este apartado son el resultado del análisis detallado de los datos de temperatura y precipitación registrados en las 24 estaciones meteorológicas ubicadas dentro de las cuencas del Bidasoa, Urumea y ríos pirenaicos, y en 3 de su entorno más próximo (se han descartado 8 estaciones por su escaso número de datos). Se ha escogido el periodo de 1980/81 a 2006/07, porque para este intervalo se dispone de más datos pluviométricos y porque se considera el más representativo de las condiciones climatológicas que se producen actualmente en la Península Ibérica.

De las 27 estaciones, 23 corresponden a estaciones termopluviométricas y 4 son exclusivamente pluviométricas.

Las series de datos climáticos de las estaciones presentan algunos intervalos en los que no se ha registrado el valor climático a medir, bien por no encontrarse todavía operativas, bien por la ocurrencia de averías y fallos en la instrumentación. Para una correcta asignación de valores diarios durante todo el periodo seleccionado se han completado primeramente las series meteorológicas disponibles.

En el caso de las series diarias de precipitación y temperatura, se ha completado a partir del estudio pormenorizado de las correlaciones entre los datos de cada una de las estaciones existentes, para lo cual se ha aplicado el método del ajuste lineal entre estaciones. Este método, a partir de la cercanía geográfica y teniendo en cuenta la plausibilidad topográfica, comprueba cuál es la estación completa o casi completa que mejor se correlaciona con cada estación incompleta. Así, partiendo de los coeficientes de correlación hallados entre estas estaciones, se van rellenando los huecos de cada serie incompleta a partir de los datos de la serie completa que mejor se correlaciona con ella.

Precipitaciones medias, anuales y mensuales

Una vez completados todos los huecos de los datos originales de precipitación diaria registrados se procede a calcular la precipitación mensual, como suma de los valores diarios determinados en cada estación. A partir de ellos se obtiene, mediante la suma de los 12 meses del año hidrológico (de octubre a septiembre), la precipitación anual registrada por estación en la serie considerada de 1980/81 a 2006/07.

---

[4] Según el proyecto BIDUR.

Con los datos anuales registrados en cada estación se analizan las series de precipitación para tratar de definir los años tipo seco, húmedo y medio del periodo 1980/81-2006/07. El criterio para clasificar los tipos de año ha sido determinar, de la serie de años disponible de cada estación, el valor promedio para a partir de él y siguiendo la probabilidad que se describe en la Tabla 1, clasificar los tipos de año que se han producido en la serie de 28 años estudiada.

Precipitación anual (p)	Tipo de año
$p < 0{,}85 \times \lambda$	Seco
$0{,}85 \times \lambda < p < 1{,}15 \times \lambda$	Medio
$1{,}15 \times \lambda < p$	Húmedo

Tabla 1. Criterio para distinguir años seco, medio y húmedo. El símbolo λ denota el promedio de toda la serie.

A partir del número de años tipo que se ha registrado en cada estación climatológica se ha calculado la media de la serie 1980/81-2006/07 en cada una de las estaciones, obteniéndose con ello la pluviosidad media anual para cada tipo de año, y la media anual de la serie. Los resultados de los cálculos realizados se muestran en la Tabla 2.

Estación	Nombre[5]	Año seco	Año medio	Año húmedo	Promedio
1001	ZUGARRAMURDI	1173,67	1524,24	2095,48	1530,97
1001E	MAYA DE BAZTAN	1454,56	1945,46	2527,45	1958,95
1001G	ERRAZU	1297,32	1677,64	2318,08	1692,46
1001I	ARIZCUN DE BAZTAN	1545,22	2045,42	2494,37	2019,30
1001U	ELIZONDO	943,23	1218,49	2084,22	1253,52
1002	LECAROZ	1187,21	1555,58	1883,50	1561,73
1002A	LECAROZ	1215,53	1568,73	1894,93	1563,73
1002E	SEÑORIO DE BERTIZ	1047,98	1447,96	1769,53	1474,98
1003	C. DE ORONOZ	916,14	1220,89	1597,18	1217,55
1005C	SALDIAS	872,50	1232,77	1515,14	1212,57
1006	SANTESTEBAN	1118,97	1479,08	1813,90	1487,74
1007	SUMBILLA	1236,51	1733,68	2187,18	1710,41
1009	ETXALAR	1227,58	1613,86	1968,55	1636,62
1010U	VERA DE BIDASOA	1444,83	1856,48	2231,16	1863,51
1011I	LESACA	1301,37	1733,92	2099,03	1723,93
1012	LESACA-PRESA DE SAN ANTON	1270,80	1665,66	2088,07	1654,10
1016	OYARZUN-ARDITURRI	1175,30	1670,77	2254,68	1655,70
1020	GOIZUETA	1424,16	1978,34	2561,12	1960,99
1020I	ARANO (C. ARRAMBIDE)	1210,35	1862,67	2322,95	1854,09
1021	ARTICUTZA	1695,09	2389,97	3169,86	2399,42
1021B	ARTICUTZA-PORTERIA	1895,10	2449,73	3049,17	2435,83
1021E	RENTERIA "P. AÐARBE"	1475,88	1977,60	2523,83	1963,96
1021O	CENTRAL DE SANTIAGO	1180,25	1621,28	1893,69	1567,47
1029G	GORRITI-TABLA	1386,12	1758,28	2128,83	1757,98
1032V	LEIZA "LUIS EMBORDA"	1080,72	1507,82	1945,97	1525,68
11936	C. DE ARRAMBIDE	1406,91	1930,09	2375,87	1929,40
11947	C. SAN TIBURCIO (SUMBILLA)	762,27	1007,25	1269,79	1001,43
Promedio		**1257,24**	**1691,62**	**2150,50**	**1689,41**

Tabla 2. Valor medio de precipitación (en mm) de la serie de años tipo del periodo 1980/81 a 2006/07.

[5] La nomenclatura de las estaciones meteorológicas utilizadas es la empleada en el Banco de Datos Hidrológico del Gobierno de Navarra. En muchos casos esta nomenclatura no coincide con la base de datos oficial de la toponimia de Navarra, se ha decidido mantenerla para evitar posibles confusiones al comparar con los resultados de otros trabajos.

El valor de precipitación media anual para el periodo 1980/81-2006/07 para el conjunto de las cuencas de un año tipo medio es de 1.691,62 mm. Este valor de precipitación es el que se ha utilizado posteriormente para los cálculos del balance hídrico.

La variación estacional de la precipitación a lo largo del año hidrológico se ha determinado a partir de los registros mensuales contabilizados durante el periodo de 1980/81 al 2006/07, calculando en cada una de las estaciones la media mensual de los 28 años de la serie. Los resultados obtenidos se anotan en la Tabla 3.

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
1001	143,2	128,4	122,4	153,2	129,3	84,2	77,4	92,1	111,5	145,2	171,1	162,2	1520,3
1002	155,3	137,0	142,0	167,8	119,1	79,7	65,5	81,4	103,5	143,8	173,6	181,3	1550,0
1003	124,5	111,8	109,4	121,2	93,6	65,6	53,9	66,3	77,6	117,0	130,3	143,8	1215,0
1006	155,5	137,6	137,7	155,3	107,6	74,5	61,4	77,8	90,8	140,3	164,8	175,1	1478,5
1007	176,9	161,0	155,4	174,3	125,8	85,7	64,4	86,3	102,8	163,0	190,5	209,3	1695,5
1009	164,1	142,7	145,2	163,4	131,6	85,1	79,0	102,7	117,6	158,3	163,1	175,7	1628,5
1012	153,8	137,9	123,7	153,6	129,5	92,8	88,5	116,5	133,4	176,3	171,5	174,4	1651,9
1016	163,2	128,2	137,6	151,1	134,8	97,9	84,4	115,5	125,1	170,0	175,8	172,7	1656,4
1020	199,1	174,6	180,9	193,6	156,1	101,5	97,3	115,0	120,3	187,7	210,1	214,4	1950,6
1021	259,1	213,0	215,4	234,1	193,4	120,5	116,2	131,3	151,6	227,6	257,6	270,7	2390,7
11936	200,8	163,4	172,0	193,4	146,3	108,4	100,5	118,9	124,8	185,3	208,1	207,4	1929,3
11947	100,8	84,4	81,4	102,6	83,0	51,2	43,4	43,3	57,4	101,5	123,0	124,2	996,1
1001E	205,1	181,8	182,0	194,4	160,0	90,1	87,9	107,0	131,6	175,2	208,2	226,4	1949,7
1001G	174,2	147,7	150,2	167,2	137,4	88,2	83,5	106,9	122,0	162,1	165,3	180,0	1684,7
1001I	211,3	186,1	184,5	200,4	163,1	97,5	91,1	109,4	134,8	181,8	218,6	229,0	2007,8
1001U	125,2	108,7	109,3	113,5	101,0	68,1	66,6	78,3	83,9	124,2	129,5	142,8	1251,1
1002A	155,3	137,2	142,2	167,7	119,0	79,6	65,5	81,5	104,0	144,2	173,7	181,7	1551,8
1002E	148,9	134,1	133,3	154,9	110,4	78,6	64,2	79,2	95,5	137,6	156,3	170,7	1463,8
1005C	126,2	120,4	114,1	118,2	106,3	61,5	56,6	58,4	69,9	97,7	145,1	138,1	1212,6
1010U	191,7	165,0	162,3	183,9	144,6	93,2	85,6	109,1	130,7	179,4	203,2	205,5	1854,2
1011I	168,0	157,1	155,0	172,1	133,7	87,1	78,4	105,0	114,5	163,4	174,6	206,3	1715,2
1020I	193,3	157,6	164,1	184,2	140,0	103,1	96,7	115,5	120,7	180,6	199,1	201,9	1856,6
1021B	255,1	208,6	213,7	237,7	194,3	123,6	129,6	141,9	160,8	233,8	257,5	267,5	2424,1
1021E	200,4	159,4	174,9	184,8	157,9	103,5	108,2	130,0	126,8	191,2	211,1	206,9	1955,0
1021O	158,2	131,2	144,2	160,2	117,8	78,7	60,9	80,5	97,9	145,3	183,4	190,8	1549,1
1029G	183,1	153,5	159,8	174,4	131,2	92,6	91,7	112,4	109,4	166,1	185,5	182,0	1741,8
1032V	167,3	149,7	145,7	150,5	125,1	72,7	61,1	71,6	90,9	132,1	171,1	187,8	1525,7
Promedio	172,6	149	150	168	133	87,6	80	97,5	111	160	182	190	1681,7

Tabla 3. Precipitación media mensual (en mm) del periodo 1980/81-2006/07.

La mayor precipitación media mensual (entre 172,6 y 190 mm/mes) se produce en los meses de noviembre a enero y los periodos más secos (precipitaciones entre 79,98 y 97,55 mm/mes) se dan en los meses de junio a agosto. Para el conjunto de las cuencas la diferencia pluviométrica entre el mes más seco de la serie (julio) y el más húmedo (diciembre) es de 110,02 mm.

Análisis de la temperatura

Una vez rellenados todos los huecos de los datos originales de temperatura diaria registrados en las 23 estaciones termopluviométricas establecidas en las cuencas del Bidasoa, Urumea y ríos pirenaicos se ha procedido a calcular la temperatura mensual (media de los valores diarios de cada estación en la serie considerada 1980/81-2006/07).

A partir de los datos mensuales de temperatura se ha determinado la media mensual por estación termopluviométrica (Tabla 4). El promedio de estos datos mensuales es considerado representativo del valor medio mensual de la temperatura del conjunto de las cuencas, siendo esta temperatura de 13,5 ºC. La variación mensual media de la temperatura en las cuencas oscila entre los 7,3 ºC que se registran en el mes de enero y los 20,3 ºC de media del mes de agosto.

Estación	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Media anual
1001	8,7	9,0	10,9	11,7	15,1	17,9	19,8	20,3	18,6	15,7	11,5	9,3	14,0
1002	6,8	7,7	10,2	11,7	15,4	18,5	20,7	20,9	18,5	15,1	10,3	7,6	13,6
1006	7,6	8,4	10,6	12,1	15,7	18,5	20,6	21,0	18,7	15,5	10,9	8,4	14,0
1007	7,7	8,4	10,7	12,2	15,8	18,6	20,6	21,1	18,9	15,6	10,9	8,6	14,1
1009	7,3	8,0	10,1	11,5	15,1	17,6	19,5	20,0	17,8	14,9	10,6	8,1	13,4
1012	8,9	9,4	11,6	12,9	16,1	18,9	20,9	21,5	19,4	16,4	11,9	9,6	14,8
1016	7,4	7,9	9,8	11,3	14,4	17,1	18,8	19,3	17,4	14,8	10,5	8,2	13,1
1020	8,0	8,4	10,5	11,4	14,9	17,6	19,4	19,9	18,4	15,5	11,0	8,9	13,7
1021	6,2	6,8	9,1	10,4	13,7	16,3	18,3	18,6	16,4	13,4	9,2	6,9	12,1
11936	7,3	7,9	10,2	11,3	14,9	17,8	20,0	20,4	18,0	15,0	10,4	8,0	13,4
1001E	6,6	7,0	9,5	10,8	14,5	17,4	19,4	19,8	17,6	14,5	9,9	7,4	12,9
1001G	6,6	7,3	9,5	10,7	14,2	17,0	19,0	19,4	17,4	14,3	9,8	7,3	12,7
1001I	6,5	7,1	9,4	10,8	14,5	17,5	19,7	20,1	17,7	14,4	9,8	7,4	12,9
1001U	8,0	8,8	11,3	12,5	16,4	19,6	21,7	22,0	19,9	16,6	11,6	8,8	14,8
1002A	6,8	7,7	10,2	11,7	15,4	18,5	20,7	21,0	18,5	15,0	10,2	7,6	13,6
1002E	7,0	7,9	10,4	11,9	15,6	18,4	20,6	20,9	18,6	15,2	10,5	7,8	13,7
1010U	7,8	8,5	10,8	12,0	15,6	18,3	20,2	20,7	18,7	15,6	11,1	8,5	14,0
1011I	7,6	8,4	10,7	12,0	15,7	18,4	20,4	20,9	18,7	15,6	11,0	8,4	14,0
1020I	7,2	7,8	10,0	11,1	14,7	17,5	19,6	20,1	17,7	14,7	10,2	8,0	13,2
1021B	6,1	6,8	8,6	9,6	13,1	15,8	17,7	18,1	16,4	13,3	9,2	6,7	11,8
1021E	7,3	7,9	10,2	11,3	14,9	17,8	20,0	20,4	18,0	15,0	10,4	8,0	13,4
1029G	7,2	7,9	9,8	10,9	14,5	17,3	19,3	19,9	18,0	14,8	10,3	7,7	13,1
1032V	7,3	8,0	10,1	11,3	14,9	18,0	20,1	20,5	18,7	15,3	10,6	7,9	13,6
Promedio	7,3	8,0	10,2	11,4	15,0	17,8	19,9	20,3	18,2	15,0	10,5	8,1	13,5

Tabla 4. Temperatura media mensual (en °C) del periodo 1980-2007.

Evapotranspiración

La evapotranspiración hace referencia a la pérdida de humedad en la superficie del terreno que se produce a través de la evaporación directa del agua y la transpiración de las plantas. Del total del agua precipitada solo una parte alimenta las aguas superficiales y subterráneas, mientras que el resto es evapotranspirada.

Se denomina evapotranspiración potencial (ETP) a la evapotranspiración que se produciría si la humedad del suelo y la cobertura vegetal estuvieran en condiciones óptimas; por tanto, la máxima

Donamaria bajo un manto de nieve.

alcanzable. Por el contrario, la Evapotranspiración Real (ETR) es la que se produce realmente en las condiciones existentes en cada caso.

Para el cálculo de los valores diarios de la evaporación potencial (ETP) se ha utilizado el método de Thornthwaite, que calcula la ETP a partir de la media mensual de las temperaturas medias diarias y la latitud del lugar.

En el caso de las cuencas del Urumea, Bidasoa, Urdazuri/Nivelle y Errobi/Nive, la evapotranspiración potencial media para el periodo 1980-2007 es de 732,37 mm/año (Tabla 6).

Balance hidrometeorológico. Cálculo de la lluvia útil

A partir de los datos de precipitación registrados, de la evapotranspiración potencial diaria estimada en la zona y teniendo en cuenta la reserva útil del suelo, se estima la evapotranspiración real que se produce de la lluvia recibida. Contrastando ambos datos se establece el balance hidrometeorológico de la zona y con ello se determina la lluvia útil que queda en el terreno como escorrentía total, que se reparte entre escorrentía directa a los cauces e infiltración en los materiales permeables (recurso hídrico que anualmente se genera en las cuencas). Este cálculo se ha realizado de forma automática utilizando el programa THORDOS[6], que además de calcular los valores diarios de evaporación real, permite descomponer la lluvia útil en infiltración y escorrentía superficial.

La lluvia útil originada para los diferentes años pluviométricos tipo clasificados (seco, húmedo y medio) en cada una de las estaciones de la cuenca, de la serie 1980/81-2006/07, se presenta en la Tabla 5.

La lluvia útil promedio para el conjunto de las cuencas de un año tipo medio es de 1.035,54 mm. Este valor de lluvia útil será utilizado para el cálculo del balance hidrometeorológico.

[6] Desarrollado por la empresa IDRENA en 1989.

Estación	NOMBRE	Año húmedo	Año medio	Año seco	Promedio
1001	ZUGARRAMURDI	1366,50	854,28	494,85	850,29
1001E	MAYA DE BAZTAN	1829,55	1283,93	769,90	1288,61
1001G	ERRAZU	1540,37	1035,18	615,68	1029,17
1001I	ARIZCUN DE BAZTAN	1792,94	1359,01	900,12	1338,32
1001U	ELIZONDO	1371,06	568,10	286,36	594,71
1002	LECAROZ	1201,26	909,08	563,78	912,03
1002A	LECAROZ	1212,68	928,92	567,62	914,56
1002E	SEÑORIO DE BERTIZ	1105,38	815,28	410,35	834,75
1003	C. DE ORONOZ	927,88	605,67	293,23	595,18
1005C	SALDIAS	841,21	644,21	352,89	619,76
1006	SANTESTEBAN	1103,36	857,69	448,50	842,57
1007	SUMBILLA	1502,18	1083,27	562,58	1052,68
1009	ETXALAR	1251,26	954,34	519,66	961,03
1010U	VERA DE BIDASOA	1537,86	1168,60	727,55	1168,98
1011I	LESACA	1391,42	1055,69	609,74	1039,36
1012	LESACA-PRESA DE SAN ANTON	1294,22	954,16	561,97	933,84
1016	OYARZUN-ARDITURRI	1500,41	985,56	459,27	965,64
1020	GOIZUETA	1798,73	1288,98	721,15	1261,49
1020I	ARANO (C. ARRAMBIDE)	1648,72	1153,97	634,61	1185,15
1021	ARTICUTZA	2505,46	1711,14	1024,17	1723,07
1021B	ARTICUTZA-PORTERIA	2370,62	1791,79	1197,16	1767,43
1021E	RENTERIA "P. ADARBE"	1840,08	1273,40	778,46	1263,04
1021O	CENTRAL DE SANTIAGO	1223,63	982,20	570,89	929,22
1029G	GORRITI-TABLA	1436,78	1079,23	730,18	1080,81
1032V	LEIZA "LUIS EMBORDA"	1250,87	898,67	492,72	903,75
11936	C. DE ARRAMBIDE	1641,85	1248,91	771,75	1244,75
11947	C. SAN TIBURCIO (SUMBILLA)	648,95	468,26	237,20	450,37
Promedio	**Lluvia útil**	**1449,45**	**1035,54**	**603,79**	**1027,80**

Estaciones en la cuenca de los ríos pirenaicos. Estaciones en la cuenca del Bidasoa.

Estaciones en la cuenca del Urumea.

Tabla 5. Estimación de lluvia útil en los "años tipo" pluviométricos (mm/año).

En el caso de la cuenca del Urumea, si se consideran solamente los valores de las 9 estaciones termopluviométricas que hay instaladas en Navarra, se obtiene un valor medio de 1.262,80 mm, que es ligeramente superior a la media del conjunto de las cuencas.

Los resultados de lluvia útil estimados se corresponden con los recursos hídricos que anualmente son generados en las cuencas. En la Tabla 6 se presenta el reparto de agua en cada estación, entre evapotranspiración potencial, real y lluvia útil; en definitiva, el balance hidrometeorológico anual de esas cuencas.

En el caso de la lluvia útil que cae sobre los materiales más permeables el programa THORDOS ha calculado que el 69,30 % se descompone en infiltración y el 30,70 % en escorrentía directa. Estos porcentajes de infiltración y escorrentía son los que, de modo general, se han considerado para

Estación	Nombre	P media 1980-2007 (mm)	T (° C)	ETP (mm)	ETR (mm)	LU (mm)
1001	ZUGARRAMURDI	1531	14,1	743,76	676,28	850,29
1001E	MAYA DE BAZTAN	1959	12,92	712,94	665,93	1288,61
1001G	ERRAZU	1692,5	12,61	700,91	658,84	1029,17
1001I	ARIZCUN DE BAZTAN	2019,3	12,95	714,88	676,54	1338,32
1001U	ELIZONDO	1253,5	14,84	785,97	655,47	594,71
1002	LECAROZ	1561,7	13,67	742,57	645,56	912,03
1002A	LECAROZ	1563,7	13,65	742,17	645,05	914,56
1002E	SEÑORIO DE BERTIZ	1475	13,78	744,45	636,12	834,75
1003	C. DE ORONOZ	1217,6	13,78	744,45	618,76	595,18
1005C	SALDIAS	1212,6	13,78	744,45	590,9	619,76
1006	SANTESTEBAN	1487,7	14,05	751	641,3	842,57
1007	SUMBILLA	1710,4	14,16	755,23	653,67	1052,68
1009	ETXALAR	1636,6	13,44	726,04	671,09	961,03
1010U	VERA DE BIDASOA	1863,5	14,04	747,79	690,24	1168,98
1011I	LESACA	1723,9	14,05	750,1	680,24	1039,36
1012	LESACA-PRESA DE SAN ANTON	1654,1	14,84	772,76	715,81	933,84
1016	OYARZUN-ARDITURRI	1655,7	13,13	713,27	685,5	965,64
1020	GOIZUETA	1961	13,75	732,91	695,08	1261,49
1020I	ARANO (C. ARRAMBIDE)	1854,1	13,24	720,25	664,43	1185,15
1021	ARTICUTZA	2399,4	12,13	684,86	671,82	1723,07
1021B	ARTICUTZA-PORTERIA	2435,8	11,87	675,33	663,89	1767,43
1021E	RENTERIA "P. ADARBE"	1964	13,45	728,5	696,46	1263,04
1021O	CENTRAL DE SANTIAGO	1567,5	13,45	728,5	634,37	929,22
1029G	GORRITI-TABLA	1758	13,15	716,49	672,69	1080,8
1032V	LEIZA "LUIS EMBORDA"	1525,7	13,66	737,36	619,22	903,75
11936	C. DE ARRAMBIDE	1929,4	13,45	728,51	680,2	1244,75
11947	C. SAN TIBURCIO (SUMBILLA)	1001,4	13,45	728,51	550,05	450,37
Promedio		**1689,41**	**13,53**	**732,37**	**657,61**	**1027,80**

Estaciones en la cuenca de los ríos pirenaicos. Estaciones en la cuenca del Bidasoa.

Estaciones en la cuenca del Urumea.

Tabla 6. Balance hidrometeorológico anual del periodo 1980/81-2006/07, para una RMIN de 100 y RMAX de 150 mm[7].

la realización de los balances en los acuíferos de interés, aunque lógicamente, en las cuencas hidrológicas en las que predominan los afloramientos de formaciones de menor permeabilidad estos porcentajes podrán ser significativamente menores (entre 9,3[8] y 14,2 %)[9].

[7] En los balances hidrometerológicos diarios realizados se tiene en cuenta la reserva de agua almacenada en el suelo (R) al final del día anterior, correspondiendo la Rmín a la reserva mínima y Rmáx a la reserva máxima. Los cálculos de caudales estimados con el programa THORDOS han utilizado una Rmín de 100 mm y una Rmáx de 150 mm.

[8] Porcentaje de la infiltración que se convierte en infiltración en el Dominio Hidrogeológico Paleozoicio y Granitoides. (Ente Vasco de la Energia [EVE]. 1996. *Mapa Hidrogeológico del País Vasco*).

[9] Porcentaje de la lluvia útil que se convierte en infiltración en la Unidad Hidrogeológica del Norte. (Gobierno de Navarra. 1982. *Las aguas subterráneas en Navarra*).

Donamaria.

PROMEDIOS MENSUALES (mm)			
Mes	Precipitación	Lluvia útil	% LU/Prec.
Octubre	174	91	52,33
Noviembre	202	140	69,54
Diciembre	206	174	84,68
Enero	189	167	88,50
Febrero	167	146	87,45
Marzo	162	133	81,72
Abril	190	147	77,36
Mayo	142	85	60,01
Junio	96	31	32,45
Julio	87	19	21,32
Agosto	109	25	23,29
Septiembre	127	32	25,29

Tabla 7. Balance hidrometeorológico mensual del periodo 1980/81-2006/07.

El balance hidrometeorológico mensual que se establece en las cuencas se ha estimado a partir del promedio mensual de las precipitaciones registradas en el conjunto de las mismas, determinando para cada mes, la parte de la precipitación que se convierte en lluvia útil (Tabla 7).

La evolución mensual de la lluvia útil muestra que en los meses invernales, como promedio, más del 85 % de la precipitación se convierte en lluvia útil. En cambio en los meses primaverales, este porcentaje desciende de forma significativa al 70 %, en buena medida debido al aumento de la evapotranspiración y no tanto a la reducción de la precipitación. Los meses estivales vienen acompañados de un descenso en la precipitación, que con el aumento de la evapotranspiración, conlleva un fuerte descenso en el porcentaje de la precipitación que se convierte en lluvia útil (en torno al 20-30 %).

CUANTIFICACIÓN DE RECURSOS HÍDRICOS TOTALES

Los recursos hídricos totales de una cuenca son los que, al hacer el balance hidrometeorológico de la misma, se obtienen como lluvia útil (aportación o escorrentía total). Estos recursos se van a encontrar en la naturaleza como escorrentía directa por los cauces de los ríos, los denominados recursos superficiales, o bien, como infiltración en las formaciones permeables que constituyen los acuíferos, los recursos subterráneos.

Después de su infiltración en las formaciones permeables, los recursos subterráneos que no son explotados mediante las extracciones por pozos y sondeos, surgen nuevamente a la superficie del terreno, por manantiales o difusamente hacia los cauces, tras recorridos más o menos largos por el interior del acuífero (con periodos de residencia más o menos prolongados), para incorporarse a la circulación de las aguas superficiales. En las estaciones de aforo que hay instaladas en las cuencas, si no existe una regulación artificial (embalses o derivaciones de agua a otras cuencas), se controla el total de los volúmenes de agua (superficial y subterránea) no consumidos que se han originado a partir de la precipitación registrada en las mismas[10].

Por tanto, los recursos hídricos naturales totales existentes serán la suma de la aportación superficial directa que discurre por la red fluvial y de la aportación subterránea a los acuíferos, que en un régimen natural acabará por surgir a la superficie del terreno e incorporarse a la escorrentía superficial que circula por los ríos.

Con los resultados medios estimados de lluvia útil se han calculado los recursos hídricos totales para diferentes sectores de las cuencas del Bidasoa, Urumea y ríos pirenaicos; también para las distintas masas de agua subterráneas existentes en estas cuencas y en los principales acuíferos identificados en las mismas.

Para cada unidad (cuenca, masa de agua o acuífero), multiplicando su extensión por los valores de lluvia útil obtenidos del estudio hidrometeorológico, se obtiene el volumen total de los recursos hídricos naturales anuales (total de lluvia útil recogida, Tabla 8[11]).

En la Tabla 9 se presenta, para los acuíferos de interés y de acuerdo a los resultados del modelo aplicado para el cálculo de lluvia útil (Programa THORDOS de IDRENA), la distribución porcentual que la propia modelización hace entre infiltración en los materiales permeables acuíferos y escorrentía superficial directa a los cauces.

Aportaciones por cuencas

El volumen total de recursos hídricos anuales que se recogen en las cuencas como media de los tres años tipo pluviométricos —seco, húmedo y medio— sería: 577,79 hm^3 en los años de tipo seco; 990,95 hm^3 en los años tipo medio y 1.387,04 hm^3 en los años tipo húmedo.

En el caso de un año tipo medio, de los 990,95 hm^3 anuales, 699,16 hm^3 corresponderían a los recursos generados en la cuenca del Bidasoa, 173,83 hm^3 a los de la cuenca del Urumea y el 117,98 hm^3 restante pertenecería a las cuencas pirenaicas. En el caso de la cuenca del Urumea esta aportación anual

[10] Para el caso del Bidasoa, en Navarra, las aportaciones totales de su cuenca se controlan en la estación de aforo de Endarlatsa (EA 10106), ubicada aguas debajo de la población de Bera, en el límite provincial.

[11] Lógicamente, las cifras obtenidas por cuenca y las de las masas de agua subterránea, al ocupar la misma extensión, deben ser similares; la diferencia anotada de algunos recursos, más en el caso de las masas de agua subterránea (16,94 hm^3/año) se debe a la mayor superficie (de 16,16 km^2) contabilizada en el caso de estas, de un reducido espacio del extremo oriental de la masa de los Macizos Paleozoicos Cinco-Villas Quinto Real que se encuentra, no contabilizado, en la demarcación del río pirenaico Errobi/ Nive.

Nombre	Extensión cuenca (km²)	AÑO SECO (1)		AÑO MEDIO (2)		AÑO HÚMEDO (3)	
		P. media (hm³)	LU media (hm³)	P. media (hm³)	LU media (hm³)	P. media (hm³)	LU media (hm³)
CUENCAS							
Cuenca Bidasoa							
Río Baztan hasta Oharriz	139,58	175,49	84,28	236,12	144,54	300,17	202,31
Río Bidasoa aguas arriba de Ezkurra	124,23	156,19	75,01	210,15	128,65	267,16	180,07
Río Ezkurra en Elgorriaga	73,48	92,38	44,37	124,30	76,09	158,02	106,51
Regata Ezpelura (río Ezkurra)	67,3	84,61	40,64	113,85	69,69	144,73	97,55
Río Zeberia en Oronoz-Mugairi (confluencia con el Bidasoa)	26,37	33,15	15,92	44,61	27,31	56,71	38,22
Río Endara, hasta embalse de Endara	6,24	7,85	3,77	10,56	6,46	13,42	9,04
Río Bidasoa entre río Ezkurra y la EA.10106 (Endarlatsa)	237,96	299,17	143,68	402,54	246,42	511,73	344,91
Total cuenca Bidasoa en Endarlatsa (EA10106)	675,16	848,84	407,65	1142,11	699,16	1451,93	978,61
Cuenca Urumea							
Río Urumea, aguas arriba del embalse de Añarbe	108,23	136,07	65,35	183,08	112,08	232,75	156,87
Río Añarbe, hasta embalse	47,02	59,12	28,39	79,54	48,69	101,12	68,15
Regata Esilles	12,6	15,84	7,61	21,31	13,05	27,10	18,26
Total cuenca Urumea (en Navarra)	167,85	211,03	101,35	283,94	173,82	360,96	243,29
Cuencas Atlánticas							
Río Urdazuri/Nivelle, hasta frontera con Francia (regata Ugarana)	63,14	79,38	38,12	106,81	65,38	135,78	91,52
Río Errobi/Nive hasta frontera con con Francia (regata Aritzakun)	47,18	59,32	28,49	79,81	48,86	101,46	68,39
Regata Intzola hasta la frontera con Francia	3,61	4,54	2,18	6,11	3,74	7,76	5,23
Total cuencas Atlánticas	113,93	143,24	68,79	192,73	117,98	245,01	165,14
TOTAL CUENCAS SUPERFICIALES	956,94	1203,10	577,79	1618,78	990,95	2057,90	1387,04
MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEA							
Macizos Paleozoicos Cinco Villas-Quinto Real (según nuevo límite)	810,87	1019,46	489,60	1371,68	839,69	1743,78	1175,32
Basaburua-Ultzama (según nuevo límite)	162,43	204,21	98,07	274,77	168,20	349,31	235,43
TOTAL MASAS DE AGUA	973,3	1223,67	587,67	1646,45	1007,89	2093,08	1410,75
ACUÍFEROS DE INTERÉS EN LAS MASAS DE AGUA							
Calizas Paleozoicas entre Lesaka-Igantzi	6,56	8,25	3,96	11,10	6,79	14,11	9,51
Calizas Paleozoicas entre Igantzi-Arantza	12,57	15,80	7,59	21,26	13,02	27,03	18,22
Dolomías del Devónico de Elizondo	5,53	6,95	3,34	9,35	5,73	11,89	8,02
Sinclinal Cretácico de Bera (sinclinal completo)	5,50	6,91	3,32	9,30	5,70	11,83	7,97
Sinclinal Cretácico de Zugarramurdi Urdazubi/Urdax	2,37	2,98	1,43	4,01	2,45	5,10	3,44
Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra Berroeta (sinclinal completo)	90,48	113,76	54,63	153,06	93,70	194,58	131,15
Sinclinal Jurásico-Cretácico de Gaztelu-Arraioz	14,40	18,10	8,69	24,36	14,91	30,97	20,87
Sinclinal Jurásico de Irurita	8,40	10,56	5,07	14,21	8,70	18,06	12,18
TOTAL ACUÍFEROS DE INTERÉS	145,81	183,32	88,04	246,66	150,99	313,56	211,34

podía aumentar hasta los 211,96 hm³, si se considera un porcentaje de lluvia útil mayor (1.262,80 mm) correspondiente a la lluvia útil estimada en las 9 estaciones termopluviométricas instaladas en su cuenca.

Los resultados obtenidos se han comparado, en el caso del Bidasoa, con los caudales registrados en las estaciones de aforo existentes en la cuenca. En el resto de cuencas, al no disponer de estaciones de aforo en Navarra, no se ha podido comprobar la validez de los resultados del modelo THORDOS. No obstante, los resultados obtenidos en BIDUR se han comparado con los resultados obtenidos mediante la aplicación de los modelos[12] Sacramento y SIMPA, siendo en ambos casos bastante similares.

Aportaciones por masas de agua subterránea

La no coincidencia entre la superficie total estimada de las cuencas hidrológicas (956,94 km²) y de las masas de agua subterránea (973,30 km²) se debe a una reducida área de la cuenca del río Errobi/Nive, situada en el borde suroriental de la cuenca del Bidasoa, que se incluye dentro de la masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos de Cinco Villas-Quinto Real.

De acuerdo con las cifras obtenidas, los recursos hídricos totales que anualmente se reciben y renuevan en las dos masas de agua subterránea para un año de tipo medio son del orden de los 1.008 hm³/año.

Aportaciones por sistemas acuíferos

En la superficie calculada de los sistemas acuíferos (145,81 km²) se ha considerado solo el área correspondiente a los afloramientos de rocas carbonatadas que se encuentran en ellos (88,44 km²). De ahí que la estimación que se hace de los recursos subterráneos infiltrados en los acuíferos de la zona se corresponda con la más probable, de acuerdo al comportamiento hidrogeológico de las formaciones acuíferas, que es la que se aplica en los balances efectuados. Estas cifras son las que se anotan en los cuadros resumen que se incluyen en los mapas hidrogeológicos elaborados para los distintos sistemas acuíferos y que se describen en el capítulo de hidrogeología.

En los sistemas acuíferos carbonatados delimitados y diferenciados en estas dos masas de agua subterránea se han estimado unos recursos anuales renovables que oscilan entre los 37 hm³ de un año seco y los 88,83 hm³ de un año húmedo, siendo la recarga de un año de tipo medio de 63,46 hm³/año.

[12] El modelo Sacramento fue utilizado en el estudio "Actualización y mejora del Banco de datos hidrológicos y su aplicación informática", realizada por el Gobierno de Navarra en el 2009. Mientras que el modelo SIMPA (Simulación de Precipitación-Aportación), en su versión 3, desarrollado por el CEDEX en el año 2009, ha sido aplicado por la Dirección General de Obras Hidráulicas en la revisión de la Planificación Hidrológica llevaba a cabo, entre los años 2008-2010, en las distintas cuencas hidrográficas españolas.

◄ Tabla 8. Estimación de los recursos hídricos naturales (lluvia útil) por cuencas superficiales, masas de agua subterránea y acuíferos (para años tipo seco, medio y húmedo).

(1) Año seco: P media = 1.257,24 mm; LU media = 603,79 mm.

(2) Año medio: P media: 1.691,62mm; LU media: 1.035,54 mm.

(3) Año húmedo: P media: 2.150,50 mm; LU media: 1.449,45 mm.

Ámbito territorial	Extensión (km^2)	AÑO SECO (1)			AÑO MEDIO (2)			AÑO HÚMEDO (3)		
		RT (hm^3)	ED (hm^3)	I (hm^3)	RT (hm^3)	ED (hm^3)	I (hm^3)	RT (hm^3)	ED (hm^3)	I (hm^3)
ACUÍFEROS DE INTERÉS										
Calizas Paleozoicas entre Lesaka-Arantza	19,13	11,55	3,55	8,00	19,81	6,08	13,73	27,73	8,51	19,22
Dolomías del Devónico en Elizondo	5,53	3,34	1,03	2,31	5,73	1,76	3,97	8,02	2,46	5,55
Sinclinal Cretácico de Bera (solo calizas)	0,81	0,49	0,15	0,34	0,83	0,26	0,58	1,17	0,36	0,81
Sinclinal Cretácico de Zugarramurdi-Urdazubi/Urdax	2,37	1,43	0,44	0,99	2,45	0,75	1,70	3,44	1,05	2,38
Sinclinal Jurásico-Cretácico Ezkurra-Berroeta (solo calizas)	37,80	22,82	7,01	15,82	39,14	12,02	27,13	54,79	16,82	37,97
Sinclinal Jurásico-Cretácico Gaztelu-Arraioz	14,40	8,69	2,67	6,03	14,91	4,58	10,33	20,87	6,41	14,46
Sinclinal Jurásico de Irurita	8,40	5,07	1,56	3,51	8,70	2,67	6,03	12,18	3,74	8,44
Total acuíferos	**88,44**	**53,40**	**16,39**	**37,00**	**91,58**	**28,11**	**63,46**	**128,18**	**39,35**	**88,83**

(1) Año tipo Seco: Lluvia útil media de 603,79 mm. **(2)** Año tipo medio: Lluvia útil media de 1.035,54 mm. **(3)** Año tipo húmedo: Lluvia útil media de 1.449,45 mm. **RT**: Recursos totales. **ED**: Escorrentía directa, 30,7 % de los recursos totales. **I**: Infiltración, 69,3 % de los recursos totales.

Tabla 9. Recursos hídricos totales en los acuíferos de interés, distribuidos entre infiltración y escorrentía directa.

Regulación de las aguas superficiales

Las aportaciones hídricas totales (recursos hídricos totales) que se producen en las cuencas se resumen en la Tabla 10.

Cuencas	Extensión cuenca (km^2)	Año seco (LU media de 603,79 mm) hm^3	Año medio (LU media de 1.035,54 mm) hm^3	Año húmedo (LU media de 1.449,45 mm) hm^3
Total cuenca Bidasoa en Endarlatsa	675,16	407,65	699,16	978,61
Total cuenca Urumea (parte Navarra)	167,85	101,35	173,82	243,29
Total cuencas ríos pirenaicos	113,93	68,79	117,98	165,14
Total cuencas superficiales	**956,94**	**577,79**	**990,95**	**1387,04**

Tabla 10. Aportaciones medias anuales de los años tipo seco, medio y húmedo para el periodo 1980/81-2006/07.

La regulación de estas aportaciones puede hacerse de manera natural a través de los acuíferos (embalses subterráneos) y de manera artificial, mediante la construcción de presas y depósitos para el almacenamiento de las aguas superficiales. Los embalses subterráneos se tratan en el siguiente capítulo; en este apartado solamente se va a indicar la regulación de las aguas superficiales existente.

En el caso de la cuenca navarra del Bidasoa (699,16 hm^3/año de recursos hídricos anuales medios) la regulación del sistema superficial se establece con una serie de embalses y presas de menor entidad, cuyo volumen de almacenamiento global no supera los 10 hm^3, utilizados para la producción de energía hidroeléctrica y el abastecimiento. Los embalses ubicados en el río Endara, San Antón (con 5,1 hm^3 de volumen útil) y Domiko (con 0,4 hm^3), son utilizados para abastecimiento de las poblaciones de Irun y Hondarribia, con un volumen total anual de trasvase de 9,25 hm^3. En cambio, los embalses de Mendaur y Leurtza superior e inferior, todos ellos en la cuenca del Ezkurra y de algo menos de 1 hm^3 de capacidad, son utilizados para la generación de energía hidroeléctrica.

Embalses de Leurtza, utilizados para la generación de energía hidroeléctrica (Urrotz/Labaien).

En la cuenca del Urumea, en uno de sus principales afluentes —el río Añarbe—, se localizan los embalses de Artikutza (de 1,66 hm^3 de capacidad) y Añarbe (con 44 hm^3), ambos utilizados para abastecimiento urbano e industrial de la Mancomunidad de Añarbe, en la provincia de Gipuzkoa, con un volumen total de trasvase de agua de 33 hm^3/año. En el cauce del río Urumea en la provincia de Navarra no existe ninguna regulación. De los 173,82 hm^3/año de aportaciones medias anuales estimadas, los embalses citados regulan unos 46 hm^3/año.

En las cuencas de los ríos pirenaicos, en su demarcación navarra, no existe ninguna regulación para los 117,98 hm^3/año estimados como recursos anuales.

Son muy numerosos (230) los azudes y canalizaciones existentes en las cuencas del Bidasoa y Urumea, utilizados en la mayoría de los casos para la conducción del agua hacia las centrales hidroeléctricas instaladas en los valles de los ríos y regatas de la zona. Salvo siete, que se localizan en los cauces de los ríos pirenaicos, el resto se distribuyen entre las cuencas de los ríos Bidasoa (171) y Urumea (59).

Estas derivaciones de agua, en la práctica, no afectan al volumen de los recursos hídricos almacenados en las cuencas, ya que en su mayoría son derivaciones de agua para uso hidroeléctrico no consuntivo. Sí pueden originar, en algunos casos, la derivación del agua de unos cauces de ríos o regatas a otros, pudiendo afectar a las condiciones ecológicas de algunas de las masas de agua superficial definidas en estas cuencas hidrológicas.

[Capítulo 4]

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

Geología

Masas de agua subterráneas presentes en las cuencas

Relación aguas superficiales-subterráneas

Puntos de agua subterránea

La calidad química de las aguas subterráneas y superficiales

4

CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS

En el presente capítulo se analizan las características hidrogeológicas de las distintas formaciones geológicas que afloran en los dominios hidrográficos de las cuencas de los ríos Bidasoa, Urumea y pirenaicos, en la provincia de Navarra. El objeto de este estudio es determinar y delimitar las que constituyen, por su mayor permeabilidad, acuíferos de interés para estimar los recursos subterráneos que anualmente se recargan, y que potencialemente podrían ser utilizados en la mejor gestión de los recursos hídricos totales de estas cuencas.

Partiendo de la cartografía geológica 1:25.000 del Gobierno de Navarra, y teniendo en cuenta las características de permeabilidad que cada formación litológica presenta, se ha elaborado a la misma escala de trabajo una cartografía hidrogeológica de las cuencas, que es la que sectorialmente se presenta en los mapas hidrogeológicos de los acuíferos incluidos en este libro.

En la elaboración de la cartografía hidrogeológica se ha tratado de identificar, delimitar y agrupar aquellos materiales que, dentro de la misma edad geológica, corresponden a litologías parecidas y que por consiguiente presentan una permeabilidad similar. Esto ha permitido confeccionar un mapa más reducido de afloramientos, litologías y permeabilidades. Además, con el apoyo del inventario de puntos de agua realizado en el proyecto BIDUR y la ejecución de los doce sondeos de reconocimiento perforados, se ha podido determinar el grado de permeabilidad de las formaciones, su importancia como acuífero e incluso, llegar a definir la circulación del agua subterránea en las estructuras hidrogeológicas cartografiadas en la zona. A partir de toda esta información se han identificado, delimitado y descrito los sistemas acuíferos de mayor interés hidrogeológico que se encuentran en las formaciones permeables aflorantes en las cuencas.

GEOLOGÍA

En las cuencas de los ríos Bidasoa, Urumea y ríos pirenaicos en la provincia de Navarra afloran materiales geológicos que abarcan edades desde el Paleozoico al Cuaternario, con ausencia de formaciones sedimentarias correspondientes al Terciario.

A grandes rasgos, el Paleozoico está representado por una amplia serie de formaciones metamórficas que abarcan desde el Ordovícico al Carbonífero, constituidas principalmente por litologías de pizarras con areniscas y grauwacas, pizarras carbonosas, esquistos y esquistos con intercalaciones arenosas de carácter muy poco permeable, que ocupan la mayor parte de la región. En cambio, los afloramientos de areniscas, cuarcitas, dolomías y calizas, de carácter permeable, ocupan una superficie de menor extensión. Las calizas del Carbonífero (Dinantiense-Namuriense) afloran principalmente por el sector central de las cuencas entre las poblaciones de Lesaka y Arantza, en el sector occidental de la cuenca del Bidasoa. Los tramos de areniscas, cuarcitas y dolomías se encuentran hacia el sector suroriental de la cuenca del Bidasoa. Toda la cuenca del río Urumea, así como la zona central y noroccidental de la cuenca del río Bidasoa, están ocupadas por pizarras y esquistos de naturaleza muy poco permeable.

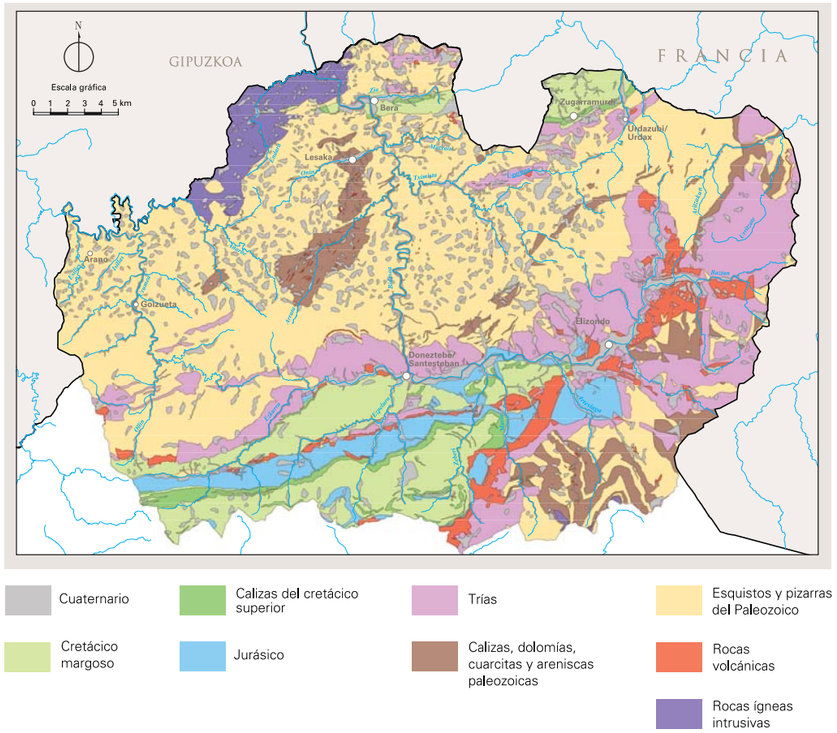
En el sector noroccidental de las cuencas del Bidasoa-Urumea se localizan afloramientos de rocas cristalinas (granitos y granodioritas), que intruyeron a los materiales metamórficos durante la orogenia hercínica.

El Mesozoico, que abarca desde los términos areniscosos y arcillosos del Trías hasta los carbonatados y margosos del Cretácico, se extiende en su mayor parte por el sector meridional y oriental de la zona.

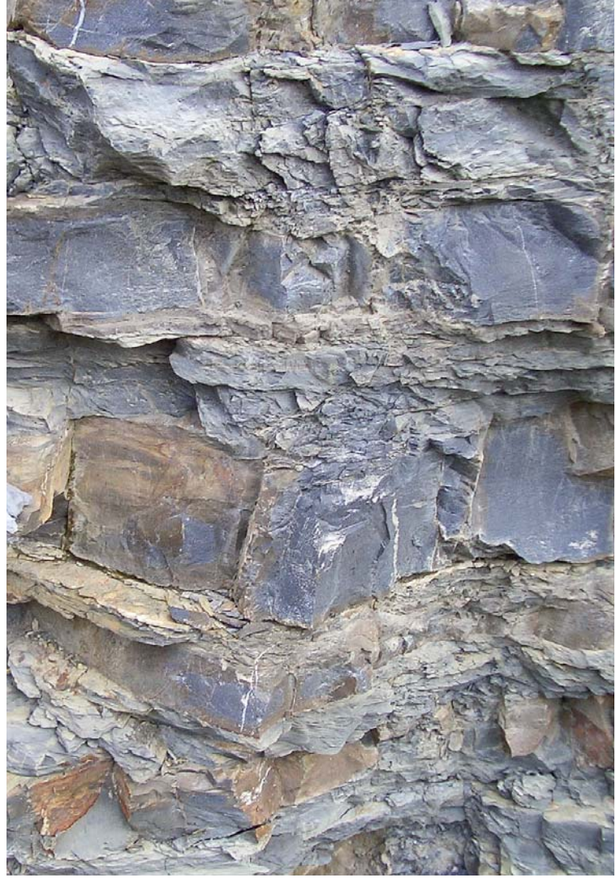
En el sector oriental y suroriental de la cuenca del Bidasoa, y depositadas discordantemente sobre el zócalo paleozoico, se hallan formaciones de reducida permeabilidad del Trías germánico representadas por: las areniscas y arcillas con intercalaciones areniscosas del Buntsandstein, que se extienden ampliamente por el sector; las calizas del Muschelkalk, que aparecen en reducidos afloramientos y las margas y arcillas rojizas con yesos y sales del Keuper, que ocupan reducidas extensiones dentro del sector.

En concordancia con las formaciones triásicas se encuentran las calizas y dolomías del Jurásico inferior (Lías), que constituyen la base de la serie jurásica-cretácica. Es una amplia serie que abarca desde el Jurásico inferior al Cretácico superior, constituida principalmente por formaciones de carácter calcáreo de elevada permeabilidad en las que se intercalan algunos paquetes de materiales margosos y calizo-margosos de baja permeabilidad. En el techo de la serie se encuentra una formación flyschoide, de baja permeabilidad, compuesta de arcillas con algunas intercalaciones areniscosas que pertenecen al Cretácico superior.

La serie jurásica-cretácica se dispone en general, en una gran estructura sinclinal de materiales jurásicos y cretácicos que recorre el sector meridional de la cuenca del Bidasoa, en la dirección OSO-ENE, y en otro sinclinal de menor entidad solo de los niveles cretácicos de dirección E-O que se encuentra



Geología esquemática de las cuencas del Bidasoa, Urumea, Urdazuri/Nivelle y Errobi/Nive en Navarra.



Flysch del Cretácico (f.170) (Zugarramurdi).

dispuesto discordantemente sobre las formaciones paleozoicas, en el sector norte de la cuenca del Bidasoa, áreas de Bera y en las cuencas de los ríos pirenaicos en Zugarramurdi-Urdazubi/Urdax. La continuidad de este sinclinal entre las dos áreas indicadas se establece en territorio francés.

Las rocas volcánicas que aparecen principalmente por los sectores oriental y meridional de la cuenca del Bidasoa están representadas mayoritariamente por ofitas, que fueron intruidas principalmente durante el Jurásico, al que metamorfizaron en sus términos más bajos de la serie (también se encuentran cantos de ofitas en el Cretácico inferior).

Los valles de los ríos y regatas (aluviales), así como las zonas de alteración de las formaciones paleozoicas (pie de monte), están constituidos por materiales detríticos cuaternarios representados por gravas, arenas, arcillas y bloques, de carácter normalmente muy permeable. En general, las potencias son reducidas, encontrándose los espesores mayores (inferiores a los 15 m) en el aluvial del río Bidasoa, en los sectores de Bera-Lesaka, en la confluencia del río Ezkurra y la regata de Ezpelura con el río Bidasoa, y en Elizondo.

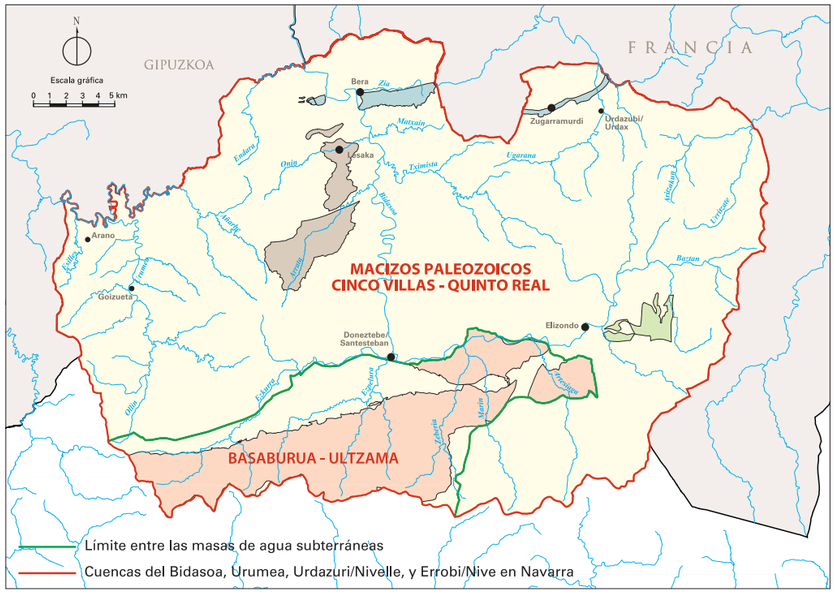
De las formaciones geológicas descritas, solo constituyen acuíferos de importancia las rocas carbonatadas del Jurásico y Cretácico, así como las del Trías (reducidos afloramientos del Muschelkalk) y Palezoico, y los aluviales de los ríos, cuando estos presentan mayor extensión y potencia. Le siguen en orden de importancia las formaciones de areniscas triásicas y cuarcitas paleozoicas, con permeabilidad de grado medio-bajo. Se pueden catalogar como formaciones no acuíferas, en su conjunto, los materiales pizarrosos y esquistosos del Paleozoico, en los que solamente se localizan algunos niveles acuíferos asociados a las zonas de mayor alteración y fracturación de las pizarras y areniscas, desconectados entre sí y con una baja productividad (caudal de surgencia en los manantiales que los drenan generalmente inferior a 1 l/s).

MASAS DE AGUA SUBTERRÁNEAS PRESENTES EN LAS CUENCAS

En el ámbito navarro de las cuencas del Bidasoa, Urumea y ríos pirenaicos, ocupando toda su superficie (figura siguiente) se han delimitado, de acuerdo con los criterios establecidos en la Directiva Marco del Agua, dos masas de agua subterránea[13].

- Macizos Paleozoicos de Cinco Villas-Quinto Real (código 013.010), de 811 km^2 de extensión que ocupan, salvo la zona meridional, todo el ámbito territorial de las tres cuencas.
- Basaburua-Ultzama (código 013.012)[14], de 162 km^2 de superficie, que se extiende por la zona meridional de la cuenca del Bidasoa en su límite con la cuenca hidrográfica del Ebro.

En el conjunto de las dos masas de agua subterránea se han diferenciado una serie de formaciones acuíferas de mayor interés hidrogeológico, asociadas a las formaciones carbonatadas que afloran en las cuencas de los ríos Bidasoa y Urdazuri/Nivelle, y que constituyen las principales reservas de aguas subterráneas de la región. En la Tabla 11 se muestran los principales acuíferos identificados en las dos masas, que serán descritos en sus correspondientes apartados.



Masas de agua subterráneas y principales sistemas acuíferos presentes en las cuencas del Bidasoa, Urumea, Urdazuri/Nivelle y Errobi/Nive en Navarra.

[13] La masa de agua subterránea es un concepto introducido por la Directiva Marco del Agua y hace referencia a "un volumen claramente diferenciado de aguas subterráneas en un acuífero o acuíferos". Las masas de Agua Subterráneas son unidades básicas de gestión y cada una de ellas está identificada con una numeración de seis dígitos. Los tres primeros números designan la cuenca hidrográfica en la que está contenida cada masa y los tres últimos dígitos del código corresponden a la numeración secuencial de cada una de las masas según su posición en general, de O-E y de N-S, dentro de cada una de las cuencas.

[14] Los límites de la masa de agua subterránea de Basaburua-Ultzama utilizados en el presente libro corresponden a los límites modificados en el proyecto BIDUR, que han sido adecuados para ajustarlos a la escala de trabajo. El límite septentrional de la masa de agua ha sido trasladado al contacto que las formaciones cretácicas y/o jurásicas tienen con las formaciones triásicas que afloran en el borde meridional de la masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos de Cinco Villas-Quinto Real.

Masa de agua subterránea	Sistemas acuíferos identificados	Sectores o subunidades destacadas
Macizos Paleozoicos Cinco Villas – Quinto Real	Calizas Paleozoicas de Lesaka-Arantza	Bloque Norte (Lesaka-Igantzi) Bloque Sur (Igantzi-Arantza)
	Dolomías del Devónico en Elizondo	Sector oriental Sector occidental
	Sinclinal Cretácico Bera-Urdazubi/Urdax	Sinclinal Cretácico Bera Sinclinal Cretácico Zugarramurdi Urdazubi/Urdax
Basaburua-Ultzama	Sinclinal Jurásico-Cretácico de Basaburua-Ultzama	Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta Sinclinal Jurásico-Cretácico de Gaztelu-Arraioz Sinclinal Jurásico de Irurita

Tabla 11. Principales acuíferos identificados en las cuencas del Bidasoa, Urumea y cuencas pirenaicas.

En el siguiente apartado se describen estas masas de agua subterránea. Con el fin de mostrar las características hidrogeológicas de cada una de las masas con mayor detalle (zonas de recarga, puntos de descarga, dirección principal del flujo, límites de los acuíferos, etc.) se completa esta publicación con los mapas adjuntos al final del libro, según la distribución que se indica en la siguiente figura.

Distribución de mapas.

Masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos Cinco Villas - Quinto Real

La masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos Cinco Villas-Quinto Real (013.010), de 976,9 km^2 de extensión total, se extiende por las cuencas de los ríos Bidasoa y Urumea. Discurre en su mayor parte por la provincia de Navarra aunque se adentra, por su sector occidental y noroccidental, en la provincia de Gipuzkoa en la cuenca del Urumea. La extensión que abarca en Navarra en las cuencas del Bidasoa y Urumea es de 810,87 km^2 y en ella afloran fundamentalmente formaciones geológicas del Paleozoico y del Triásico.

En esta masa de agua subterránea destacan tres sistemas acuíferos:

- Las Calizas Paleozoicas de Lesaka-Arantza, afloramiento de 19,13 km^2 de extensión, distribuido en dos sectores (Lesaka-Igantzi e Igantzi-Arantza), que hidrogeológica e hidrodinámicamente funcionan independientes entre sí. Se estiman unos recursos hídricos para el año tipo medio de unos 13,73 hm^3/año.
- Las Dolomías del Devónico en Elizondo, afloramiento de 5,53 km^2 de extensión, distribuido en dos sectores hidrodinámicamente independientes entre sí, en los que se estiman unos recursos hídricos para el año tipo medio de unos 3,97 hm^3/año.
- El Sinclinal Cretácico de Bera-Urdazubi/Urdax aflora al norte de la cuenca del Bidasoa y al sur del río Urdazuri/Nivelle, en una alargada estructura sinclinal en la que se pueden distinguir claramente dos sectores independientes: el Sinclinal Cretácico de Bera y el Sinclinal Cretácico de Zugarramurdi-Urdazubi-Urdax. Para el Sinclinal Cretácico de Bera, con una extensión de 5,5 km^2, se estiman unos recursos hídricos para el año tipo medio de unos 0,58 hm^3/año, infiltrados solo en los tramos de 0,81 km^2 de calizas que afloran en los flancos del mismo. Mientras que para el Sinclinal Cretácico de Zugarramurdi-Urdazubi/Urdax, con una extensión de 2,37 km^2 de afloramientos carbonatados en el flanco sur del sinclinal, se estiman unos recursos hídricos para el año tipo medio de 1,70 hm^3/año.

Además de estos tres sistemas acuíferos, en esta masa de agua subterránea se localizan otros acuíferos de menor interés por la baja-media permeabilidad que presentan las formaciones asociadas al resto de los materiales paleozoicos que afloran en la misma (materiales graníticos, pizarras y esquistos paleozoicos, cuarcitas y areniscas paleozoicas, y areniscas triásicas).

Los aluviales de los ríos, por la alta permeabilidad que presentan los materiales detríticos, también son buenos acuíferos aunque de muy limitada extensión. A continuación se describen las características hidrogeológicas de estos acuíferos.

Sistema acuífero del Sinclinal Cretácico de Bera-Urdazubi/Urdax

Este sistema acuífero lo constituyen unos afloramientos de rocas calizas del Cretácico superior, las calizas arrecifales (f.168)[15] y las calizas arcillosas (f.169), que se extienden en la dirección O-E por la zona norte de la masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos Cinco Villas-Quinto Real, entre los municipios de Sara y Ainhoa (en Francia) y de Bera, Zugarramurdi y Urdazubi/Urdax (en Navarra).

Estas calizas permeables, junto con la formación flyschoide de arcillas y areniscas (f.170) que las recubre (de carácter poco permeable), constituyen una estructura sinclinal que se extiende en la dirección O-E a lo largo de 20 km, entre tierras navarras y laportanas, por la cuenca baja del Bidasoa y hasta la cuenca alta del río Urdazuri/Nivelle. La estructura sinclinal va ensanchando su superficie desde el oeste en Bera, hacia el este, de tal manera que en el sector de Zugarramurdi-Urdazubi/Urdax solamente aflora el flanco sur del sinclinal, mientras que su cierre, por el este, y su flanco norte, lo hace en territorio francés.

[15] Junto a la descripción del material rocoso se incluye entre paréntesis el código de la unidad litología. Este código corresponde con la numeración de la leyenda unificada del mapa geológico 1:25.000 del Gobierno de Navarra.

Flysch de arcillas y areniscas del Cretácico superior (f.170) en el barrio de Agerra, en Bera.

Esta estructura sinclinal se puede dividir en tres sectores debido a que la parte intermedia (en Francia) del sinclinal cretácico marca un umbral subterráneo entre los sectores extremos, el occidental y el oriental, del conjunto de la estructura sinclinal que discurre por Navarra.

Sinclinal Cretácico de Bera

Geología y características geométricas

El Sinclinal Cretácico de Bera es el sector occidental del conjunto de la gran estructura sinclinal indicada. En este sector, los afloramientos de las calizas arrecifales (f.168) y de las calizas arcillosas (f.169) suprayacentes, quedan limitados a los flancos sur y norte del mismo, y en extensiones reducidas de afloramiento, que en su conjunto solo alcanzan los 0,81 km^2. Estas rocas carbonatadas cretácicas se apoyan directa y discordantemente sobre el sustrato de los materiales metamórficos (pizarras y esquistos de la formación f.064 del Paleozoico), que hacen de zócalo impermeable de la estructura sinclinal.

El flanco sur del Sinclinal Cretácico de Bera está cabalgado por la formación paleozoica (f.064), que hace desaparecer los afloramientos de las calizas arrecifales (f.168), si es que estaban sin erosionar cuando se produjo el cabalgamiento de los materiales paleozoicos, al final del Cretácico. En el único aflora-miento existente de las calizas arrecifales (de aspecto masivo y compacto, y que es cruzado por el río Bidasoa), se encuentran las explotaciones de las canteras de Arkaitza (en Bera) y Armasa (en Lesaka), ubicadas en ambas márgenes del río. El buzamiento elevado de las calizas, de unos 50-60º N, hace que estas se introduzcan bastante inclinadas hacia el Norte, bajo las arcillas y areniscas del flysch cretácico (f.170). Suprayacentes en este flanco sur, ya que no se encuentran en él las calizas arcillosas (f.169) intermedias estratigráficamente entre ambas formaciones. En la base de las calizas arrecifales de unos 100 m de espesor, que se acuñan lateralmente, se hallan las pizarras y esquistos del Paleozoico (f.064) que actúan de cierre impermeable de la formación acuífera.

En el flanco norte, en las calizas arcillosas (f.169) que tienen unos 50 m de espesor, a veces se observan —en algunos puntos de su afloramiento— ciertos niveles de karstificación. Estas calizas también están bastante inclinadas, buzando unos 50-60º hacia el Sur, e introduciéndose bajo el flysch cretácico (f.170) en profundidad. Esta formación presenta en muchos puntos buzamientos de hasta 75º S y una potencia aparente de 233 m en el centro del núcleo sinclinal, donde se sitúa el sondeo de investigación SG-2B. En este flanco norte no se encuentran las calizas arrecifales (f.168), infrayacentes estratigráficamente, por lo que son las calizas arcillosas (f.169) las que se disponen directamente sobre el zócalo metamórfico paleozoico, como se observa en el sector de Illekueta (valle de la regata Zia).

En las imágenes siguientes se ilustra el aspecto que presentan las formaciones cretácicas descritas.

Flysch de arcillas y areniscas del Turoniense-Campaniense (f.170), presentando un fuerte buzamiento en el flanco norte del sinclinal, en las proximidades del emplazamiento del sondeo SG-2B (Barrio Agerra, en Bera).

Calizas arcillosas del Cenomaniense (f.169), en el flanco norte del sinclinal cretácico (Barrio Zia). Se observan las intercalaciones arcillosas, más oscuras, y algunos niveles de karstificación.

Calizas arrecifales del Turoniense-Campaniense (f.168), de aspecto masivo, en el flanco sur del sinclinal (cantera Arkaitza de Bera), y su contacto con el flysch cretácico (f.170).

En el sector más septentrional de este flanco norte del sinclinal, al norte de Bera, se encuentra un afloramiento de lutitas, limolitas y areniscas (f.151) del Cretácico inferior (siguiente figura). Serían los materiales más antiguos de la estructura sinclinal cretácica en esta zona baja de la cuenca del Bidasoa y se hallan dispuestos discordantemente sobre las formaciones metamórficas del zócalo paleozoico. El hecho de que el límite sur del afloramiento lutítico esté fosilizado por los materiales aluviales de la terraza del Bidasoa no permite ver el contacto de esta formación con las restantes, suprayacentes, del Cretácico.

Lutitas, limolitas y areniscas (f.151) del Cretácico inferior, y su contacto con el zócalo Paleozoico (f.064). Foto tomada al norte de Bera, por encima de la iglesia San Esteban.

Sin embargo, aunque en la cartografía realizada de la zona no aparece su afloramiento, sí que se ha observado en el lecho del río Bidasoa a su paso por el polígono industrial de Alkaiaga, un afloramiento de conglomerado carbonatado (figura inferior); que por su posición estratigráfica podría asociarse al conglomerado basal del Cretácico (f.136 en el afloramiento cartografiado de Zugarramurdi). Esta formación ha sido perforada a 55 m de profundidad en el sondeo piezométrico SB-9, ubicado en la terraza fluvial en la que se asienta el citado polígono industrial.

Detalle del conglomerado calcáreo del Cretácico inferior (f.136), aflorante en el lecho del río Bidasoa a su paso por el polígono industrial de Alkaiaga (Lesaka).

Las diferencias estratigráficas existentes entre los flancos norte y sur de la estructura sinclinal cretácica plantean una serie de incertidumbres sobre la existencia y relación hidrogeológica que las formaciones calizas pudieran tener, en profundidad, hacia el centro del sinclinal.

El conjunto de la estructura sinclinal cretácica va ascendiendo topográficamente desde el valle del río Bidasoa, a su paso por las localidades de Bera y Alkaiaga (barrio de Lesaka), en el Oeste, hasta el límite con la divisoria con Francia, por el Este. En consecuencia, el eje del sinclinal cretácico se hunde hacia el Oeste.

En este sector de Bera-Alkaiaga, la terraza fluvial, ampliada por la formación de un meandro en el curso del río, no permite ver el techo del sinclinal cretácico. Sin embargo, se tiene constancia de él por los sondeos de reconocimiento e investigación perforados en la zona.

Descripción hidrogeológica

• Permeabilidades •

De las formaciones cretácicas descritas, las lutitas, limolitas y areniscas (f.151) y el flysch de areniscas y arcillas (f.170) presentan una baja permeabilidad, que las descarta como acuífero. Solamente presentan un interés hidrogeológico, por su carácter más permeable, las calizas arcillosas (f.169) y las calizas arrecifales (f.168), subyacentes. Estas formaciones carbonatadas, en algunos puntos de sus afloramientos, presentan muestras de una buena karstificación. Es el caso, aunque quedan fuera de este sector occidental del sinclinal cretácico, de las cuevas de Zugarramurdi y Urdazubi/Urdax, que se hallan en el flanco sur del sector oriental del sinclinal, en los términos municipales de las respectivas poblaciones. En general, los fenómenos de karstificación son menos frecuentes hacia los tramos inferiores de la serie carbonatada, lo que hace que disminuya sensiblemente su permeabilidad en profundidad, tal y como se ha podido comprobar en el sondeo de investigación SG-2B.

En la zona del Sinclinal Cretácico de Bera los signos de karstificación se han observado en escasos niveles del afloramiento de las calizas arcillosas (f.169), y también se tiene constancia de estos procesos en algunos de los tramos de reducida potencia, de esta formación, atravesados en el sondeo de reconocimiento SB-1 de Bera (en el tramo superior de las calizas, inmediatamente debajo de los 13,30 m de materiales aluviales atravesados, y entre los metros 49,10 y 52,30 de la profundidad alcanzada por el sondeo de investigación).

• Principales puntos de agua •

A continuación se describen los principales puntos de agua subterránea situados en el acuífero:

Código[16]	Naturaleza	Municipio	Ubicación Toponimia	UTMX	UTMY	Cota	Profundidad (m)	Aprovechamiento	Estado actual
b16	Manantial	Bera	Caserío Garaikotxeko Borda	607740	4792637	60,00	-	Abastecimiento 3 caseríos del barrio Suspela	En uso
b21	Pozo	Lesaka	Polígono industrial Alkaiaga	606071	4793063	34,00	77	Abastecimiento (Polígono Alkaiaga y Bera en verano)	En explotación
SG-2B	Sondeo investigación	Bera	Barrio de Agerra	606771	4792442	43,60	277,80	Piezómetro	En uso
SG-3B	Sondeo investigación	Bera	Polígono industrial de Zalain	605595	4792499	26,60	280	Piezómetro	En uso
SB-1	Sondeo investigación	Bera	Núcleo urbano, junto puente de Zubizabal	606446	4792977	35,20	250,20	Piezómetro	Cegado
SB-9	Sondeo investigación	Lesaka	Junto a pozo de Alkaiaga	606033	4793068	88,15	62,5	Piezómetro	En uso

Tabla 12. Principales puntos de agua inventariados en el acuífero del Sinclinal del Cretácico de Bera.

[16] Código **b**: código asignado a los puntos de agua inventariados en el proyecto BIDUR. **SB**: Sondeos de investigación y explotación perforados en el proyecto BIDUR. **SG**: Sondeos de investigación perforados en el proyecto BIDUR en colaboración con la sección de Geología y Geotecnia de la Dirección General de Obras Pública del Gobierno de Navarra.

- El pozo de Alkaiaga (b21), de 77 m de profundidad, está ubicado en el polígono industrial de Alkaiaga y fue perforado en enero de 1996 por la Sección de Geología y Geotecnia del Departamento de Obras Públicas del Gobierno de Navarra. Geológicamente está situado en la terraza próxima al cauce actual del río Bidasoa, en el flanco norte del sinclinal cretácico. En la perforación del pozo se atravesaron 11 m de relleno aluvial, pasando a una alternancia de calizas arenosas, margas y arcillas de 31 m de espesor, que dan paso a otro paquete de 29 m formado por una alternancia de arenas y arcillas. Los últimos 6 m atravesados corresponden a unas calizas oscuras. Teniendo en cuenta que este sondeo fue perforado por el sistema de percusión y que las muestras de los materiales atravesados quedan muy alteradas por el proceso de perforación, se ha utilizado la columna litológica del sondeo SB-9 próximo, que al ser perforado mediante el sistema de rotación sin aporte de agua, genera un testigo continuo muy poco alterado. Resulta por tanto, apropiado para reinterpretar la columna del sondeo de Alkaiaga y así relacionarlo con las formaciones presentes en las inmediaciones. Así, a partir de los materiales atravesados en el SB-9, se puede interpretar que en el pozo de Alkaiaga (b21) los materiales atravesados corresponden a 11 m de materiales aluviales, 60 m de materiales detríticos correspondientes a la formación de lutitas, limolitas y areniscas (f.151) y 6 m de conglomerado carbonatado correspondiente a la formación de f.136. Este pozo suministra agua al polígono industrial de Alkaiaga en Lesaka y, ocasionalmente, en la época estival, a la población de Bera.

- El sondeo de reconocimiento SG-2B se ha perforado en Bera en el marco del proyecto BIDUR, a testigo continuo con la máquina de rotación del SGOP-GN[17], en el centro de la estructura sinclinal. Tras atravesar 5,20 m de la terraza fluvial, la perforación se introdujo en la formación del flysch (arcillas y areniscas) del Cretácico superior (f.170), para alcanzar a los 238,45 m de profundidad las calizas arcillosas, también del Cretácico superior (f.169), y perforarlas hasta los 277,80 m en que finalizó la perforación. Esta formación, a la profundidad alcanzada, presenta un estado masivo y muy poco permeable. En la actualidad, el sondeo se utiliza como piezómetro de observación.

- Sondeo de reconocimiento SG-3B, perforado en Bera por el proyecto BIDUR, a testigo continuo, con la máquina de rotación del SGOP-GN, en el borde meridional de la estructura sinclinal. Tras atravesar 15,60 m del relleno aluvial, la perforación se introdujo en la formación del flysch (arcillas y areniscas) del Cretácico superior (f.170), hasta alcanzar los 280 m de profundidad sin encontrar ninguna variación. En la actualidad se utiliza como piezómetro de observación.

- Sondeo de reconocimiento SB-1, perforado en Bera por el proyecto BIDUR, a testigo continuo con máquina de rotación, en el centro de la estructura sinclinal y en las inmediaciones del cauce del río Bidasoa. Tras atravesar 11,30 m del relleno aluvial, se perforaron 2 m del flysch cretácico (f.170), para posteriormente perforar hasta los 250 m de profundidad la formación de calizas arcillosas del Cretácico superior (f.169). En esta formación se atravesaron, sobre todo en los primeros metros, unos niveles de caliza muy karstificados que le imprimen un carácter más permeable (intercalaciones de poco espesor desde el metro 13,30 al 23,10, y un conducto mayor entre el metro 49,10 al 52,30. En la actualidad el piezómetro no está operativo, ya que fue cegado por actos de vandalismo y posteriormente fue enterrado en las tareas de adecuación del emplazamiento.

- Sondeo piezométrico SB-9 del proyecto BIDUR, perforado a rotación, con pequeño diámetro y extracción de testigo continuo, en el polígono industrial de Alkaiaga (Lesaka), a 23 m del pozo de explotación del polígono industrial (b21). En los 62,5 m de profundidad alcanzados por el piezómetro se han perforado: 6 m de materiales sueltos de relleno detrítico de la terraza fluvial (arcillas arenosas con cantos heterométricos de naturaleza silícea); 49 m de una alternancia de tramos arcillosos y arenas, con cantos heterométricos de naturaleza silícea y lutitas muy alteradas, en general de tonos pardos y rosáceos que se asocian a la formación f.151 del Cretácico inferior (Albiense); 6 m de una caliza

[17] SGOP-GN: Sección de Geología y Geotecnia de la Dirección General de Obras Públicas del Gobierno de Navarra.

Calizas del Cretácico superior en la cantera Arkaitza, en Bera.

conglomerática de color blanco-rosáceo, con aspecto karstificado atribuible al conglomerado calcáreo de la base del Cretácico (f.136); y 1,5 m de un tramo de esquistos-pizarras de color oscuro, atribuibles al Paleozoico del sustrato (f.64). El único nivel acuífero perforado, de aspecto karstificado en el testigo obtenido, corresponde al tramo de conglomerado calizo atravesado entre el metro 55 y el 61 de profundidad. En la actualidad el sondeo se utiliza como piezómetro de observación.

• Balance hídrico •

La disposición estructural, en la base del sinclinal de las calizas arrecifales y de las arcillosas, hace que no se haya localizado ningún punto de surgencia superficial (manantial) en estas formaciones. En principio, los afloramientos existentes de las calizas arcillosas (f.169) se sitúan a cotas topográficas más elevadas de su entorno, por lo que se considera a estos como zonas de recarga e infiltración del agua de lluvia en esta formación. Su descarga natural, de producirse, se debe establecer por las cotas bajas del sinclinal cretácico en la zona de Bera, en la que según los datos obtenidos del sondeo de investigación SB-1, las calizas se ponen en contacto directo con el aluvial del río Bidasoa, de tal forma que a través de él se podría estar descargando el agua subterránea del acuífero en el río.

En las calizas arrecifales (f.168) que afloran solamente en el flanco sur del sinclinal, en las proximidades del barrio de Agerra de Bera (canteras de Arkaitza), la descarga del agua subterránea que pudiese circular por ellas se debe producir en esta zona. Si bien, al no haber alcanzado el sondeo de reconocimiento SG-2B estas calizas en profundidad, no se ha podido determinar su comportamiento hidrodinámico y el nivel piezómetro del acuífero con respecto al nivel de base del río.

Además de estas posibles descargas naturales de agua subterránea del sinclinal cretácico, en las canteras de Bera y probablemente a través del aluvial del río Bidasoa en las investigaciones realizadas en

este sector, se ha detectado la existencia de agua subterránea en la base central del sinclinal en el sondeo SB-1 (de investigación) relacionado con tramos karstificados en las calizas arcillosas (f.169). Por otra parte, el agua subterránea que se explota en el pozo de Alkaiaga (b21) parece estar asociada al conglomerado basal del Cretácico (f.136), perforado a los 55 m de profundidad en el piezómetro de investigación SB-9, formación incluida también en la estructura sinclinal del cretácico de Bera.

La recarga del agua de precipitación estimada en el sinclinal de Bera, en principio se calcula considerando los 5,5 km^2 de extensión total de afloramientos de materiales cretácicos que este presenta, en unos 3,95 hm^3/año para un año de tipo medio y aceptando que se infiltra un 69,30 % de la lluvia útil estimada, según el balance hidrometeorológico efectuado. Sin embargo, dado que la mayor extensión de la superficie del sinclinal está recubierta por la formación de arcillas y areniscas (f.170) de carácter muy poco permeable, se podría considerar que probablemente la recarga más real sea bastante menor. Si se considera solamente la precipitación que se recibe directamente sobre los afloramientos carbonatados, con 0,805 km^2 de extensión, la recarga podría quedar reducida a unos 0,578 hm^3/año (equivalentes a un caudal continuo 18 l/s). En consecuencia, de ser esta hipótesis correcta, este debería ser el volumen máximo de extracción de agua que se podría plantear de este sistema acuífero.

La recarga lateral subterránea, desde la zona central del sinclinal cretácico (la que aflora en Francia) es muy difícil que se produzca, porque además de quedarse cortados los afloramientos de las calizas arcillosas (f.169) permeables antes de alcanzar la divisoria territorial francesa, esta transita por las cotas topográficas más elevadas de los afloramientos cretácicos, coincidiendo con la divisoria hidrológica entre la cuenca del Bidasoa y los ríos pirenaicos franceses. Del mismo modo que ha ascendido topográficamente la estructura sinclinal cretácica, lo ha debido hacer el zócalo paleozoico impermeable; con este esquema estructural, lo más razonable es plantear que el agua subterránea deberá circular hacia uno y otro lado de la frontera, sin que existan trasvases subterráneos entre ambas cuencas.

Las descargas del acuífero se están produciendo de modo artificial en el único punto conocido que explota mediante bombeo el agua de este sistema acuífero, que es el sondeo de abastecimiento del polígono de Alkaiaga (b21), del que se obtiene un caudal continuo equivalente de 3,1 l/s[18], que si se extrapolase a todo el año hidrológico, daría un volumen de extracción de 0,097 hm^3/año. Al ser este volumen de extracción artificial menor que la recarga anual estimada, se considera que la diferencia de 0,481 hm^3/año se deberá estar descargando de manera natural hacia el cauce del río Bidasoa, a través de los depósitos aluviales que recubren el afloramiento de las calizas cretácicas al paso del río por la zona de Bera. Además, en el socavón de la explotación de la cantera de calizas de Bera se aprecia el nivel de agua del acuífero carbonatado, por lo que, con la explotación de la cantera también se afecta de modo artificial la depresión del acuífero, forzando con ello la descarga natural que antes del inicio de la explotación se debería estar produciendo por este punto del afloramiento calizo.

Litología	Calizas del Cretácico
Extensión (km^2)	0,805 de calizas
Potencia (m)	50-100
Precipitación (mm/año)	1691,62
Lluvia útil (l/m^2)	1035,54
Infiltración (% de LLU)	69,30 %
Recursos medios (hm^3/año)	0,578
Descargas (hm^3/año) (Pozo de Alkaiaga (b21) y difusas al río Bidasoa)	0,097 + difusas, estimadas en 0,481

Tabla 13. Balance hídrico del acuífero Sinclinal Cretácico de Bera.

[18] Datos obtenidos de la lectura del caudalímetro del pozo de Alkaiaga durante un año. Periodo de la lectura 29/04/2011–30/04/2011. Volumen registrado: 103.100 m^3.

Piezometría

La falta de una red de datos de niveles de agua representativos del acuífero carbonatado cretácico no permite trazar con rigor un mapa piezométrico de la zona. No obstante, con la estructura hidrogeológica de los afloramientos y las cotas topográficas que alcanzan los mismos, se estima que la recarga del agua subterránea se debe producir por las cotas más elevadas de los afloramientos para organizarse y orientarse en su circulación subterránea hacia el Oeste, buscando para su descarga las cotas más bajas de la estructura sinclinal.

Parámetros hidráulicos

Los bombeos de ensayo realizados en el acuífero del Sinclinal Cretácico de Bera son escasos, por lo que los parámetros hidrodinámicos determinados para este acuífero son igualmente escasos.

Los parámetros hidráulicos obtenidos para este acuífero se han obtenido de los ensayos de bombeo realizados en el pozo del Alkaiaga (b21). En este punto se han realizado dos ensayos de bombeo en distintas épocas: en el mes de marzo de 1996, al finalizar la perforación del sondeo de explotación, y en el mes de abril de 2012, después de finalizar la perforación del piezómetro de investigación SB-9, a 23 m del pozo de Alkaiaga. El piezómetro SB-9 ha sido utilizado como punto de observación de niveles a lo largo del ensayo de bombeo realizado en 2012.

De sus resultados, que han sido muy similares en ambos casos y efectuados con un caudal de 20 l/s durante un tiempo de 48 horas, se ha obtenido una transmisividad del acuífero de 259 m^2/día y un coeficiente de almacenamiento de $1{,}4 \times 10^{-3}$ en el piezómetro (de las gráficas de depresión-tiempo del pozo de bombeo y del piezómetro). Esto es indicativo de un carácter semiconfinado del acuífero ensayado (el conglomerado basal del Cretácico, f.136).

Hay que considerar que el valor de transmisividad (T) obtenido del acuífero en este punto del sinclinal cretácico no puede tomarse como generalizado para todo el conjunto, pues la experiencia demuestra que en los acuíferos carbonatados en los que sus parámetros hidrogeológicos e hidrodinámicos están muy condicionados por el grado de karstificación, los valores van a variar sustancialmente de unos puntos a otros. De hecho, en el sondeo de reconocimiento SG-2B (perforado en el frontón de Agerra), la permeabilidad de la formación de calizas arcillosas (f.169) era prácticamente nula.

Hidroquímica. Calidad

En el acuífero del sinclinal de Bera se ha analizado la calidad química del agua subterránea en dos puntos: el manantial de Garaikoetxeko borda (b16) del que se abastecen tres caseríos y el pozo de Alkaiaga (b21) que suministra agua al polígono industrial de Alkaiaga (en Lesaka) y ocasionalmente en la época estival, a la población de Bera.

La calidad química en ambos puntos es apta para el consumo (de acuerdo al RD 140/2003[19]) al contener una baja mineralización (del orden de los 350 µS/cm de conductividad eléctrica), con predominio de los contenidos de bicarbonatos y calcio (aguas de facies bicarbonatada-cálcica). Se aprecia una ligera presencia de nitratos en el caso del manantial de Garaikoetxeko borda (b16) (de 9 mg/l), al ser este más vulnerable a la contaminación por su localización hidrogeológica más superficial, mientras que en el agua más profunda del sondeo de Alkaiaga, la presencia de los nitratos disminuye (con 2,39 mg/l). En ambos casos las aguas subterráneas se mantienen en buen estado químico.

[19] Real Decreto 140/ 2003: Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

Sinclinal Cretácico de Zugarramurdi-Urdazubi/Urdax

Geología y características geométricas

El Sinclinal Cretácico de Zugarramurdi-Urdazubi/Urdax sería la prolongación geológica hacia el Este, después de pasar por territorio francés, de la misma estructura que aflora en la zona de Bera-Alkaiaga (Lesaka) y que ya ha sido descrita en el anterior apartado.

El acuífero carbonatado del Sinclinal Cretácico de Zugarramurdi-Urdazubi/Urdax, tal y como sucede en el sector occidental, está constituido por los afloramientos de rocas calizas del Cretácico superior, las calizas arrecifales (f.168) y las calizas arcillosas (f.169). Estas calizas permeables, junto con la formación flyschoide de arcillas y areniscas (f.170) que las recubre, de carácter poco permeable, constituyen el sector oriental de la estructura sinclinal que se extiende en la dirección OSO-ENE a lo largo de una longitud de 5,3 km, por los términos municipales de Zugarramurdi y Urdazubi/Urdax.

En realidad, en la zona de Zugarramurdi-Urdazubi/Urdax, solo aflora el flanco sur y central del sinclinal, ya que su cierre por el este, y su flanco norte lo hacen al N y NE de esta zona, en territorio francés. Por el borde este, a la entrada en Francia, ya se inicia el cierre del sinclinal; en esta zona se encuentra en explotación una importante cantera en las calizas arrecifales (f.168).

Los afloramientos de las calizas cretácicas —arrecifales y arcillosas— permeables se disponen en una banda alargada de una potencia máxima de unos 100 m que, buzando hacia el norte con una fuerte inclinación de 70-80º en algunos puntos, se introducen en profundidad bajo la formación del flysch cretácico (f.170). Debajo de las calizas se halla un paquete de lutitas, limolitas y areniscas (f.151) del Albiense (Cretácico inferior), que hacen de base impermeable del acuífero carbonatado. Al SO de Zugarramurdi, que es la zona en la que la serie cretácica se observa completa, afloran también en el contacto con las formaciones triásicas subyacentes (f.104 y f.105 de arcillas y areniscas) unos conglomerados calcáreos (f.136) que son la base del Cretácico.

En las siguientes fotografías se ilustra el aspecto litológico que presentan los materiales cretácicos.

Todos estos materiales están buzando hacia el Norte y en su contacto por el Sur, con las formaciones subyacentes más antiguas, se observan desde contactos discordantes a contactos fallados. Por la zona de Urdazubi/Urdax, se observa el cabalgamiento de los materiales paleozoicos (f.064) sobre las calizas cretácicas. El zócalo del sinclinal cretácico lo constituyen los materiales metamórficos paleozoicos (pizarras y esquistos).

◄ Calizas arrecifales (f.168), buzando fuertemente hacia el N, en las proximidades de Zugarramurdi.

A la izquierda: calizas arcillosas (f.169), a la entrada de la cueva de Urdazubi/Urdax. A la derecha: flysch cretácico (f.170), en las proximidades de Olaberrieta (Zugarramurdi).

En las rocas carbonatadas son muy frecuentes y espectaculares los fenómenos de karstificación que han dado lugar a la gruta de las Brujas (Sorginen Leizea) de Zugarramurdi, las cuevas de Urdax y las cuevas de Sara (situadas en Francia, al Oeste, en el mismo corredor calizo), así como a frecuentes dolinas en su superficie de infiltración, tal y como se muestra en las figuras siguientes.

Entre las dolinas observadas destacan: la situada al SE de Zugarramurdi y la ubicada al sur de la borda de Zelaieta (en la barriada de Alkerdi), ambas recubiertas de materiales cuaternarios de alteración y meteorización (arenas y arcillas de color marrón).

En la dolina de Zelaieta desaparece el agua que circula por el arroyo de Urtxumea al descender del sector del monte Argandoita, a través de un sumidero natural del terreno existente en el afloramiento carbonatado, que cierra el cauce del arroyo por el Este. Según la creencia popular, el agua infiltrada en el acuífero carbonatado es la que aparece posteriormente, y a cota topográficamente más baja, en la cantera de Urdax.

Dolina (sumidero) en el sector por el que discurre el arroyo Urtxumea (al sur del barrio de Alkerdi de Urdazubi/Urdax).

Dolina de Zugarramurdi, vista N-S, en cuyo borde norte se ha perforado el sondeo SB-6. Al fondo las calizas arrecifales (f.168).

Sorginen Leizea, gruta de Zugarramurdi.

Los afloramientos carbonatados de la estructura sinclinal cretácica descrita van descendiendo topográficamente desde las cotas elevadas, sobre los 190 m sobre el nivel del mar (m s.n.m) en los que se ubica Zugarramurdi, hacia el Norte y hacia el Este, para confluir con el cauce de la regata de Ugarana, en Urdazubi/Urdax (cuenca del río pirenaico Urdazuri/Nivelle). El eje del sinclinal cretácico está desplazado hacia el Norte, hacia las proximidades de la frontera con Francia.

Descripción hidrogeológica

• Permeabilidades •

De las formaciones cretácicas descritas solamente presentan un interés hidrogeológico, por su carácter más permeable, las calizas arcillosas (f.169) y las calizas arrecifales (f.168) subyacentes. Estas formaciones carbonatadas presentan en algunos puntos de sus afloramientos muestras de una buena karstificación, que en general, son menos frecuentes hacia los tramos inferiores de la serie carbonatada. Esto hace que disminuya sensiblemente su permeabilidad en profundidad. De hecho, el sondeo de reconocimiento SB-7, así lo ha puesto de manifiesto.

• Principales puntos de agua •

A continuación se describen los principales puntos de agua situados en el acuífero:

Código	Naturaleza	Municipio	Ubicación Toponímia	UTMX	UTMY	Cota (m)	Profundidad (m)	Aprovechamiento	
								Actual	Futuro
SB-6	Sondeo pre-explotación	Zugarramurdi	Junto a patio escuela municipal	618255	4791913	188,00	152	Piezómetro	Abastecimiento de Zugarramurdi y barriada de Alkerdi (Urdazubi Urdax)
SB-7	Sondeo pre-explotación	Urdazubi/ Urdax (Dantxarinea)	Regata Ugarana	621311	4793366	95,80	152	Piezómetro	

Principales puntos de agua del acuífero del Sinclinal Cretácico de Zugarramurdi-Urdazubi/Urdax.

- Sondeo de preexplotación SB-6 del proyecto BIDUR, situado en Zugarramurdi, en el flanco sur del sinclinal cretácico de Zugarramurdi-Urdazubi/Urdax. El sondeo, de 152 m de profundidad, atraviesa 15 m de materiales detríticos sueltos del relleno cuaternario que recubre las rocas calizas y a continuación penetra en esta formación carbonatada del Cretácico superior (f.169) hasta alcanzar los 152 m de profundidad. Las calizas han presentado en su perforación un aspecto masivo y compacto, con un nivel karstificado entre los 71 y 76 m de profundidad, que al estar colmatado de arcilla rojiza y arenas, hacen disminuir su permeabilidad. En la actualidad el sondeo se utiliza como punto de observación pero en un futuro podría utilizarse para abastecimiento del municipio de Zugarramurdi y el barrio de Alkerdi de Urdazubi/Urdax.
- Sondeo de preexplotación SB-7 del proyecto BIDUR, situado en Urdazubi/Urdax, en el borde de las calizas del Cretácico superior, perteneciente al flanco sur del sinclinal cretácico de Zugarramurdi-Urdazubi/Urdax. El sondeo, después de atravesar 7 m de suelo y materiales detríticos sueltos, ha perforado 21 m de arcillas y areniscas de la formación flyschoide del Cretácico superior (f.170) para a continuación penetrar en las calizas arrecifales del Cretácico (f.168) hasta alcanzar los 152 m de profundidad. En la actualidad el sondeo se utiliza como piezómetro de observación.

• Subzonas •

Dentro de la banda de formaciones cretácicas con continuidad geológica de unos 2,37 km^2 de extensión que se extiende y constituye el acuífero cretácico en esta zona de Zugarramurdi-Urdazubi/Urdax, debido a la disposición topográfica en la que se encuentran sus afloramientos, se podrían distinguir dos zonas desde el punto de vista hidrodinámico.

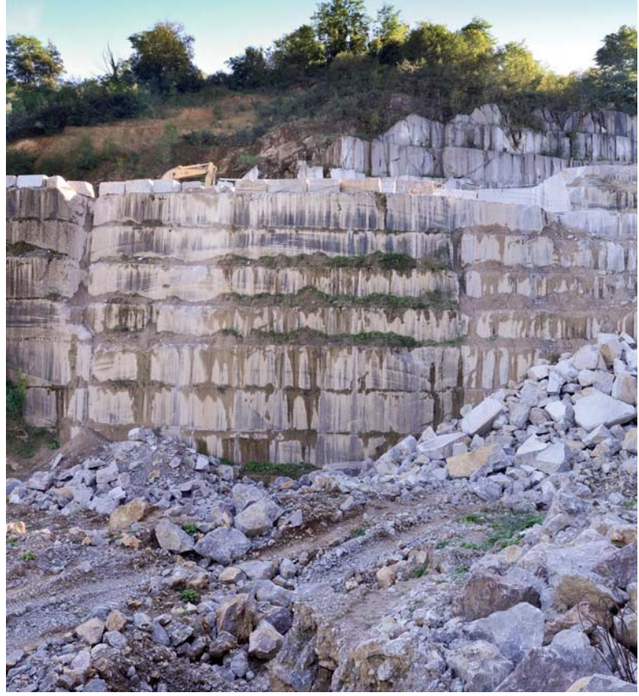
Una occidental, situada a cota topográfica más elevada (sobre los 190 m s.n.m.), donde se localiza la población de Zugarramurdi en la cuenca de la regata Biureta-Errota. En ella, el agua subterránea debe circular hacia el Norte, bajo la formación de arcillas y areniscas (f.170) de carácter impermeable. Esto hace que, consecuentemente con esta disposición de los flujos subterráneos, no se haya inventariado ninguna manifestación exterior de agua subterránea en esta zona en la que se sitúa el sondeo SB-6, con el nivel estático a 11 m de profundidad (a la cota de 177 m s.n.m.).

Y otra oriental, que pudiera abarcar desde el punto topográfico en el que se encuentra la barriada de Alkerdi (sobre los 150 m s.n.m.), hacia el Este. El flujo subterráneo de esta zona se podría estar orientando hacia el ENE, habiéndose detectado dos puntos de drenaje natural del mismo: el correspondiente a la cantera de Urdax, en la que durante la explotación de la piedra —calizas arrecifales (f.168)—, había que estar bombeando el agua subterránea concentrada en el socavón de extracción (situado a unos 130 m s.n.m. de cota) para poder mantenerlo seco; y el del propio cauce de la regata de Ugarana a su paso por el punto topográficamente más bajo del afloramiento calizo, sobre los 80 m s.n.m., que debe ser el principal punto de descarga del acuífero cretácico. En esta zona se sitúa el sondeo SB-7, en el que el nivel piezométrico se encuentra a 5,44 m de profundidad (cota de 90,36 m s.n.m.).

• Balance hídrico •

La recarga del acuífero se produce por la infiltración directa del agua de precipitación que se estima, considerando los 2,37 km^2 de extensión de afloramiento que presentan las formaciones cretácicas, en unos 1,69 hm^3/año para un año de tipo medio (considerando que se infiltra un 69,30% de la lluvia útil estimada, según el balance hidrometeorológico efectuado).

Se desestima la posible recarga lateral subterránea que se pudiese producir desde la zona francesa del sinclinal, ya que por la posición topográfica que presentan los afloramientos, debe ser prácticamente nula. Se podrían considerar como umbrales subterráneos los límites hidrológicos de las cuencas hidrográficas limítrofes que coinciden con los límites territoriales entre Francia y Navarra.



Imágenes de la cantera de Urdazubi/Urdax (en la fotografía izquierda, socavón para el drenaje).

La descarga subterránea natural del sistema acuífero se debe estar originando principalmente por las cotas más bajas de la estructura sinclinal, que es el valle de la regata de Ugarana a su paso por el afloramiento calizo. Se estiman unas descargas mínimas anuales del acuífero hacia la regata de unos 1,12 hm^3/año[20].

No se conocen otras descargas de este sistema acuífero cretácico, ni por manantiales ni pozos.

Puesto que el conjunto acuífero del Sinclinal Cretácico de Zugarramurdi-Urdazubi/Urdax se encuentra en estado hidrodinámico natural, su balance hídrico debe permanecer en equilibrio, de tal modo que las descargas de agua subterránea deben ser similares a la recarga producida y estimada en 1,69 hm^3/año.

Litología	Calizas del Cretácico
Extensión (km^2)	2,37 de calizas
Potencia (m)	100
Precipitación (mm/año)	1.691,62
Lluvia útil (l/m^2)	1.035,54
Infiltración (% de LLU)	69,30 %
Recursos medios (hm^3/año)	1,69
Descargas (hm^3/año) (difusas a la regata de Ugarana)	1,12

Tabla 15. Balance hídrico del acuífero Sinclinal Cretácico de Zugarramurdi-Urdazubi/Urdax.

Piezometría

Los únicos niveles de agua en los que apoyarse para el trazado del mapa piezométrico de la zona son los del sondeo de reconocimiento SB-6 perforado en Zugarramurdi, y los del sondeo SB-7 situado en Urdazubi/Urdax. También, las cotas de surgencia de los dos puntos de descarga natural: el de la cantera de Urdax y el de la regata de Ugarana. Estos puntos dan idea de la orientación que toman los flujos subterráneos en el acuífero, pero son insuficientes para dibujar las isopiezas completas del mismo.

[20] Datos estimados con los aforos diferenciales realizados en septiembre y noviembre de 2011. Al paso de la regata Ugarana por el afloramiento carbonatado, las descargas se han estimado en 35,5 y 14,5 l/s, respectivamente. Como estos meses corresponden a un periodo más bien de estiaje, se estiman unas descargas mínimas anuales del acuífero hacia la regata de unos 1,12 hm^3/año, al considerar el caudal de 35,5 l/s, del mes de septiembre, como representativo de la media anual de las descargas naturales producidas desde el acuífero.

Con estos datos de la estructura hidrogeológica de los afloramientos y las cotas topográficas de los mismos se estima que la recarga del agua subterránea se debe producir por las cotas más elevadas de los afloramientos. De esta manera, se organiza y orienta la circulación subterránea hacia el N, en la zona occidental del acuífero, y hacia el ENE en la zona oriental, buscando para su descarga las cotas más bajas de la estructura sinclinal, que es el valle de la regata de Ugarana a su paso por el afloramiento carbonatado.

Parámetros hidráulicos

Los dos datos valorados de la transmisividad (T) del acuífero carbonatado cretácico, son los obtenidos con los ensayos de bombeo realizados en los sondeos SB-6 y SB-7:

- Sondeo SB-6, en Zugarramurdi: en los diversos ensayos de bombeo escalonados y de larga duración realizados en el sondeo tras un periodo de desarrollo de 200 horas, con aire a presión y con la adición de polifosfatos para la limpieza de las arcillas ocluidas en los niveles de karstificación atravesados, se obtienen gráficas descenso-tiempo que permiten valorar la transmivisidad del acuífero en 29 m^2/día; una transmividad bastante baja para corresponder a la de un acuífero carbonatado.
- Sondeo SB-7, en Urdazubi/Urdax: el ensayo de bombeo realizado en este pozo, tras un desarrollo previo y aplicando el método de cálculo de Jacob a la gráfica descenso-tiempo obtenida, determina una transmisividad de 0,96 m^2/día. Este valor correspondería a un material de muy baja permeabilidad, que no tiene nada que ver con la litología de las calizas perforadas en el sondeo.

Estos dos ejemplos ponen de manifiesto la enorme heterogeneidad que presentan los acuíferos carbonatados en los que, dependiendo de su nivel de fracturación y disolución, se pueden determinar valores muy diferentes de la transmisividad del acuífero. Estos valores vienen a estar condicionados por el grado de karstificación que se desarrolle de unos puntos a otros. En general, estos fenómenos de disolución, disminuyen a mayor profundidad de la formación caliza.

Por ello, aunque los bombeos de ensayo muestran una permeabilidad baja de la formación acuífera, los fenómenos de karstificación presentes en la zona hacen pensar que la permeabilidad de estos materiales es mayor; estimándose esta en media o alta según el grado de desarrollo de la karstificación observada superficialmente en la misma.

Hidroquímica. Calidad

En el acuífero del sinclinal de Zugarramurdi-Urdazubi/Urdax se ha analizado la calidad química del agua subterránea en 2 puntos: el sondeo SB-6, perforado en Zugarramurdi, en las calizas arcillosas del Cretácico superior (f.169) y el sondeo SB-7, perforado en Urdazubi/Urdax, en las calizas arrecifales del Cretácico inferior (f.168).

La calidad química de ambos puntos es apta para el consumo humano, de acuerdo al RD 140/2003, al contener una baja mineralización (del orden de los 460 µS/cm de conductividad eléctrica) con predominio de los contenidos de bicarbonatos y el calcio (aguas de facies bicarbonatada-cálcica). En el caso del sondeo SB-6, ubicado en el borde de una dolina de karstificación en las calizas, se aprecia un contenido de nitratos de grado medio (de 19,6 mg/l), debido a la percolación de los nitratos que se produce a partir de la materia orgánica con la que se abona el prado situado sobre el terreno de la dolina. En alguna de las analíticas realizadas en los dos sondeos se han detectado unos leves contenidos de hierro (0,4 mg/l), superiores al límite de 0,2 mg/l que fija el RD 140/2003, posiblemente de origen coloidal debido a la presencia de la abundante arcilla presente en los conductos de karstificación de las formaciones calizas perforadas. Esta presencia de hierro desaparece con el bombeo continuo del sondeo, cuando el agua sale completamente clara.

Sistema acuífero de las Calizas Paleozoicas de Lesaka-Arantza

Geología y características geométricas

Este acuífero lo constituye un afloramiento de rocas calizas masivas recristalizadas del Carbonífero con aspecto marmóreo (f.065), que se extiende en la dirección N-SSO, intercalado entre las formaciones paleozoicas pizarrosas (f.064) por el sector central de la masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos Cinco Villas-Quinto Real.

La estructura geológica que presenta el afloramiento carbonatado se corresponde con la de dos anticlinales, uno al Norte, alineado en la dirección N-S, y otro al Sur, orientado en la dirección NE-SO, separados por un sinclinal dentro de la serie de esquistos y pizarras metamórficas, de tal modo que tanto su zócalo como su recubrimiento lo constituyen los materiales pizarrosos impermeables de la formación f.064.

El conjunto anticlinorio del afloramiento calizo se halla compartimentado en dos bloques, probablemente desconectados hidrogeológicamente entre sí por una posible fractura tectónica (de la que no se observa en el campo ningún rasgo): un bloque norte, el que va desde Lesaka, al Norte, hasta Igantzi, al Sur, que coincide con la primera estructura anticlinal descrita; y un segundo bloque sur, que va desde el valle del río Arrata, al sur de Igantzi, hasta la zona sur de Arantza, coincidente con la segunda estructura anticlinal indicada. En el pasillo geológico de separación entre ambos bloques de rocas calizas se hallan pizarras y esquistos, buzando hacia el sur, dispuestos estructuralmente encima de las calizas del bloque norte. Hacen de cierre impermeable de este bloque y su probable separación del bloque sur; en la figura siguiente se observa el aspecto y disposición de estos materiales pizarrosos.

La extensión superficial de los dos afloramientos calizos es de 6,56 km^2 para el bloque norte, de Lesaka-Igantzi, y de 12,57 km^2 para el bloque sur, de Igantzi-Arantza. La potencia de esta formación rocosa es de unos 500 m.

Esquistos y pizarras del Paleozoico (f.064), buzando hacia el Sur, en el talud de la carretera NA-4020, de Igantzi a Arantza.

Descripción hidrogeológica

• Permeabilidades •

Las calizas del Carbonífero (f.065) de naturaleza permeable son los materiales que presentan un mayor interés hidrogeológico, mientras las formaciones del Paleozoico (f.064) se consideran de baja permeabilidad.

Las formas kársticas presentes en las cotas altas de los afloramientos dan muestra de la buena permeabilidad que presentan estos materiales en los tramos superiores y aflorantes de la serie carbonatada. En la figura siguiente se muestra la dolina situada en las cotas altas del bloque norte, en las inmediaciones de la borda de Aiestene, a la derecha de la carretera que va de Lesaka a Igantzi.

En las zonas bajas (zona de descarga) en las que se sitúa el sondeo SB-3, en Lesaka, también se han encontrado niveles de karstificación que han permitido valorar una transmisividad del acuífero calizo paleozoico bastante elevada. No obstante, por lo general, los niveles de karstificación de los tramos inferiores de la serie carbonatada son menos frecuentes y se suelen presentar más jerarquizados. Por esto, a veces, son difíciles de perforar con los sondeos de reconocimiento que se realizan en esta formación acuífera.

Dolina en las Calizas Paleozoicas (f.65), a la derecha de la carretera NA-4052, de Lesaka a Igantzi (en la parte alta de la foto se ve el seto de la carretera).

• Principales puntos de agua •

A continuación se describen los principales puntos de agua situados en el acuífero:

Código	Naturaleza	Municipio	Denominación Toponímia	UTMX	UTMY	Cota	Profundidad (m)	Utilidad actual	Observaciones
b28	Manantial	Lesaka	Iturmena	605730	4789702	61,11	-	Abastecimiento de invernadero	Antiguo abastecimiento a Lesaka
b61	Manantial	Igantzi	Arango Elutxa	605840	4787075	218,00	-	Abastecimiento Igantzi	
b73	Manantial	Igantzi	San Juan Xar	605094	4785202	134,50	-	Curativa	
b87	Sondeo piezométrico	Arantza	Inmediaciones de la antigua piscifactoria de Arantza	603499	4784255	190	191	Piezómetro	Piezómetro de MIMAM (SNP-1)
SB-3	Sondeo preexplotación	Lesaka	Pradera Convento Lesaka	605391	4789513	71,50	50	Piezómetro	En futuro se podrá utilizar para el abastecimiento de Lesaka y Bera

Tabla 16. Principales puntos de agua inventariados en el sistema acuífero de calizas paleozoicas de Lesaka-Arantza.

- El manantial Iturmena (b28) está situado en la parte septentrional del bloque norte del acuífero en el municipio Lesaka, en el contacto de las calizas paleozoicas (f.065) con la terraza aluvial del río Onin (f.527). Antiguamente formaba parte del abastecimiento municipal del pueblo, pero en la actualidad se usa para el riego de un vivero de plantas. Este manantial surge en el contacto de las calizas paleozoicas con el cuaternario y presenta un caudal importante que no suele bajar de 14 l/s.
- El manantial Arango Elutxa (b61), ubicado en las cotas topográficas altas de las calizas paleozoicas —en el bloque norte del acuífero en el núcleo urbano de Igantzi—, es una descarga directa de las calizas del Carbonífero superior. Se utiliza para abastecer a la mayoría del municipio principalmente en los periodos en los que disminuye el caudal del resto de los manantiales del sistema de abastecimiento. Este manantial presenta un caudal bastante estable, que varía entre los 3 y 6 l/s.
- El manantial de la Ermita de San Juan Xar (b73) se encuentra en el término municipal de Igantzi en el sector norte del bloque sur de las calizas paleozoicas localizado en el borde del cauce del río Arrata. Este manantial, muy popular en la zona por tener atribuidas propiedades curativas, surge de una cavidad cárstica desarrollada en las calizas del Carbonífero y no suele superar 1 l/s.
- El sondeo b87 o SNP-1 de la red de piezometría de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico (b87), de 191 m de profundidad y situado en el bloque sur, fue perforado en el 2010 por el Ministerio de Medio Ambiente (Dirección General de Agua) en el TM de Arantza, en el valle del río Arrata.
- El sondeo de preexplotación SB-3 fue perforado por el proyecto BIDUR a rotopercusión en el núcleo urbano de Lesaka, en la terraza fluvial de la margen izquierda del río Onin, en la parte septentrional del bloque norte. Después de atravesar 15 m de materiales sueltos de la terraza, la perforación continuó hasta los 50 m de profundidad en la formación de las calizas paleozoicas (f.065). El acuífero carbonatado en este punto del sondeo está bastante karstificada, habiéndose encontrado tres niveles de karstificación; a los 15 m, en el contacto aluvial-calizas y a los 41 y 44 m de profundidad. La gran cantidad de agua aportada por el acuífero durante la perforación dificultó mucho los trabajos de perforación, por lo que esta tuvo que detenerse a los 50 m de profundidad.

• Subzonas •

Las dos estructuras geológicas descritas constituyen el conjunto del sistema acuífero que forman las calizas del Carbonífero, independizadas hidrogeológica e hidrodinámicamente entre sí, por las pizarras y esquistos que afloran entre los dos bloques carbonatados. Por tanto, se podrían diferenciar dos sectores acuíferos dentro del mismo sistema.

El bloque norte, de Lesaka-Igantzi y 6,56 km^2 de superficie, se extiende desde el valle del río Onin que pasa por la población de Lesaka (a la cota de unos 80 m s.n.m.), ascendiendo topográficamente en la mayor parte de su afloramiento hasta la población de Igantzi (sobre la cota de 280 m s.n.m.). Desde ahí, desciende hasta el valle del río Arrata que pasa hacia el Sur por el extremo meridional del TM de Igantzi.

El bloque sur, de Igantzi-Arantza y 12,57 km^2 de superficie, se extiende desde el valle del río Arrata —al Norte— hasta la zona sur del TM de Arantza, ascendiendo topográficamente en la totalidad de su afloramiento desde la cota del valle (120 m s.n.m.) hasta el límite meridional del afloramiento, situado al sur de la población de Arantza (400 m s.n.m.).

• Balance hídrico •

Bloque norte, de Lesaka a Igantzi

Dada la distribución topográfica del bloque norte, la recarga del sistema acuífero se establece por las cotas altas del afloramiento y su descarga subterránea, en su mayor parte se organiza hacia el Norte, hacia el curso del río Onin (por Lesaka).

Teniendo en cuenta la extensión del afloramiento de este acuífero —bloque norte—, la recarga subterránea que se establece en los 6,56 km^2 de su superficie aflorante se cuantifica de acuerdo con los coeficientes de lluvia útil e infiltración (el 69,30 % de la LU) que se han estimado en unos 4,71 hm^3/año, para un año de tipo medio. Esta cifra es coherente, y de un orden similar, con la estimada para las descargas naturales aforadas en el río Onin mediante aforos diferenciales de 148 l/s[21], lo que equivaldría a un volumen de descargas medias anuales de unos 4,66 hm^3/año.

Litología	Calizas del Carbonífero
Extensión (km^2)	6,56
Potencia (m)	500
Precipitación (mm/año)	1691,62
Lluvia útil (l/m^2)	1035,54
Infiltración (% de LLU)	69,30 %
Recursos medios (hm^3/año)	4,71
Descargas (hm^3/año) (manantiales y difusas aforadas en el cauce del río Onin)	4,68

Tabla 17. Balance hídrico del acuífero situado en el bloque norte (Lesaka-Igantzi) del sistema acuífero de las calizas paleozoicas de Lesaka-Arantza.

Además de estas descargas naturales difusas, en este sistema acuífero existen diversos manantiales la mayoría de ellos de un caudal escaso (< 10 l/s) pero de los que destaca, con un caudal variable entre 14 y 44 l/s según la época del año, el manantial Iturmena (b28).

Salvo la reducida utilización del agua del manantial Iturmena (b28), para el riego de un pequeño invernadero (aproximadamente 1 l/s), el resto de las descargas subterráneas del acuífero en la actualidad no se usan y van todas a formar parte de la escorrentía superficial que circula por el río Onin, afluente del Bidasoa por su margen izquierda.

Las descargas de este sistema acuífero hacia el Sur, hacia el valle del río Arrata, son mínimas (por lo menos las reconocidas); salvo en el drenaje que produce la explotación de la cantera de calizas que hay en Igantzi (178 m s.n.m.), las salidas subterráneas por este sector sur del afloramiento son escasas.

Bloque sur, de Igantzi a Arantza

Con la distribución topográfica del bloque carbonatado, la recarga del acuífero se establece por las cotas altas del afloramiento y su descarga subterránea se debe orientar hacia el norte, al curso del río Arrata y sus afluentes (la regata del mismo nombre y las de Landondo y Zarate, que circulan por el sector más occidental del afloramiento calizo).

Dada la extensión del afloramiento de este acuífero —bloque sur—, la recarga subterránea que se puede establecer sobre los 12,57 km^2 de superficie de afloramiento calizo se cuantifica, de acuerdo con los coeficientes de lluvia útil e infiltración (el 69,30 % de de la LU), en unos 9,02 hm^3/año para un año de tipo medio.

La descarga debe de efectuarse a lo largo del río Arrata y sus regatas. Los aforos diferenciales realizados en el río Arrata, en su tramo aguas abajo después de la incorporación de la regata Biurri,

[21] En el tramo de río Onin que pasa por el afloramiento de las calizas paleozoicas, se han llegado a contabilizar mediante aforos diferenciales los siguientes caudales: 171,4 l/s (en noviembre 2010), 148 l/s (en agosto de 2010) y 86,5 l/s (en noviembre 2011). De los caudales obtenidos se consideran como representativon de un valor medio los obtenidos en agosto de 2010.

Calizas Paleozoicas (f.065), buzando fuertemente hacia el sur, en la cantera de Igantzi, junto a la carretera NA-4020, de Igantzi a Arantza.

estiman unas descargas subterráneas anuales de solo 0,94 hm^3/año (una cifra muy baja). Esta circunstancia pone de manifiesto que buena parte de los drenajes subterráneos de las calizas de este bloque sur se podría estar originando hacia las subcuencas de las regatas afluentes al río Arrata, antes de su confluencia con el mismo. En el acuífero carbonatado, al estar en un régimen natural, las descargas subterráneas deben ser del mismo orden que la recarga estimada, con objeto de cuadrar su balance hídrico.

Aparte de estas descargas difusas, no se contabilizan otras de importancia a través de manantiales puntuales.[22]

[22] En el proyecto BIDUR en el bloque sur del acuífero paleozoico, solo se ha inventariado un único manantial, el de San Juan Xar (b73), al que se le ha aforado un caudal máximo de 1,1 l/s en enero 2011.

Litología	Calizas del Carbonífero
Extensión (km^2)	12,57
Potencia (m)	500
Precipitación (mm/año)	1691,62
Lluvia útil (l/m^2)	1035,54
Infiltración (% de LLU)	69,30 %
Recursos medios (hm^3/año)	9,02
Descargas controladas (hm^3/año) (difusas aforadas en el cauce del río Arrata)	0,94
Descargas adicionales estimadas (hm^3/año), con objeto de cuadrar el balance hídrico	8,08

Tabla 18. Balance hídrico del acuífero situado en el bloque sur (Igantzi-Arantza), del sistema acuífero de las calizas paleozoicas de Lesaka-Arantza.

Piezometría

El escaso número de puntos de control no permite dibujar un buen mapa de isopiezas que sea representativo de la circulación del agua subterránea que se establece en los dos acuíferos descritos —bloque norte y sur del sistema acuífero de las calizas del Carbonífero—. Teniendo en cuenta la distribución topográfica por la que se extienden los afloramientos carbonatados, lo que sí se puede trazar es la dirección y sentido en los que, grosso modo, se distribuyen los flujos del agua subterránea en el conjunto del sistema acuífero. Estos flujos circulan en su mayor parte, en la dirección N-S y orientados hacia el norte en los dos bloques norte y sur diferenciados, a excepción de una pequeña zona situada al sur de Igantzi (en el bloque norte) en el que los flujos se dirigen hacia el SO. Los flujos subterráneos se organizan descendiendo desde las cotas más elevadas de los afloramientos carbonatados y buscando los puntos de descarga en los sectores topográficos más bajos de los mismos, que constituyen los cauces de los ríos y regatas que circulan por ellos.

Parámetros hidráulicos

Solamente se dispone de un dato valorado de la transmisividad (T) que pueden llegar a alcanzar las rocas carbonatadas del carbonífero en esta zona de la cuenca del Bidasoa; es el correspondiente al ensayo de bombeo efectuado en el sondeo de reconocimiento SB-3, de 50 m de profundidad, situado en Lesaka.

El ensayo de bombeo efectuado al finalizar la obra, durante 67 horas de extracción de agua, permitió obtener un valor de T de 410 m^2/hora (9.840 m^2/día) que corresponde a una elevada permeabilidad (K) del acuífero calizo (2,85.10^{-3} m/s).

Hay que considerar que los valores de T y K obtenidos del acuífero carbonatado en este punto no pueden tomarse como generalizados para todo el conjunto. La experiencia demuestra que en este tipo de acuíferos, en los que sus parámetros hidrogeológicos e hidrodinámicos están muy condicionados por el grado de karstificación, los valores van a variar sustancialmente de unos puntos a otros. El fenómeno de la disolución de las rocas carbonatadas presenta una distribución muy irregular y heterogénea, de tal modo que la T puede variar en más de diez veces, según los distintos puntos o sectores del acuífero. Esto hace que la productividad de los pozos varíe sustancialmente, en función de que en la trayectoria de su perforación se encuentren o no, tramos de karstificación en la roca caliza.

Evolución estacional del sistema acuífero

En general, se aprecia una buena relación entre las descargas subterráneas de los acuíferos (manantiales[23] y difusas) y la precipitación registrada sobre ellos, por lo que los caudales de surgencia aumentan o disminuyen en relación con los periodos estacionales de la precipitación. Esto podría interpretarse como la consecuencia de un flujo subterráneo con baja inercia hidrodinámica, lo que pone de manifiesto la reducida capacidad reguladora del acuífero sobre las precipitaciones. Esta baja inercia hidrodinámica del acuífero suele estar asociada al desarrollo de grandes conductos kársticos en los que la precipitación infiltrada es rápidamente descargada. En otros manantiales (Arango Elutxa b61, San Juan Xar b73) de menor caudal de surgencia, su volumen de salida no experimenta una notable diferencia entre los periodos estacionales, lo que podría achacarse a estar asociados a niveles acuíferos de menor permeabilidad y mayor inercia hidrodinámica en sus circuitos de circulación. Nuevamente se pone de manifiesto la heterogeneidad hidrodinámica de los materiales carbonatados karstificados.

[23] Manantial Iturmena (b28).

El manantial San Juan Xar tiene atribuidas propiedades curativas. La tradición dice que las afecciones cutáneas se curan frotando en ellas un paño mojado en el manantial, después el paño debe dejarse allí mismo.

Hidroquímica. Calidad

En el acuífero de las calizas de Lesaka se ha analizado la calidad química del agua subterránea en 4 puntos: el manantial Iturmena (b28), el manantial Arango Elutxa (b61), el manantial San Juan Xar (b73) y el sondeo de reconocimiento SB-3.

La calidad química de todos los puntos analizados es apta para el consumo humano, de acuerdo al RD 140/2003, al contener una baja mineralización que varía entre los 200 µS/cm de conductividad eléctrica del manantial San Juan Xar (b73) y a los 450 µS/cm del sondeo SB-3. En todas las aguas analizadas predominan los contenidos de bicarbonatos y calcio (aguas de facies bicarbonatada-cálcica). En el caso de los manantiales Iturmena (b28) y Arango Elutxa (b61) se ha detectado una ligera presencia de nitratos (de unos 12 mg/l) cuyo origen debe achacarse a los abonados orgánicos de los prados próximos a su ubicación. En el sondeo SB-3, la presencia de nitratos es menor (unos 4 mg/l).

Tanto en el manantial Iturmena (b28) como en el sondeo SB-3 (próximos unos 430 m), las aguas analizadas en algunas de las campañas realizadas detectan una ligera presencia de manganeso (de 0,92 y 0,2 mg/l, respectivamente), superior al máximo permitido de 0,05 mg/l que exige el RD 140/2003 para las aguas de consumo humano.

Ambos manantiales están en la zona de descarga del bloque norte del acuífero de las calizas de Lesaka y tienen una clara interrelación hidrodinámica, como se ha demostrado durante el ensayo de bombeo efectuado en el sondeo (en el que se vio afectado el manantial en su caudal de surgencia).

Sin embargo, en las últimas analíticas realizadas no se apreciaron contenidos superiores al máximo permitido, por lo que pudo ser algo ocasional que con una mayor explotación del acuífero calizo ha podido desaparecer.

Al manantial de San Juan Xar (b73) se le atribuyen características curativas, que científicamente no se justifican. Es el agua de menor mineralización analizada en el acuífero de las calizas de Lesaka, lo que denota el carácter somero que tiene su circulación subterránea en el mismo.

Sistema acuífero de las Dolomías del Devónico en Elizondo
Geología y características geométricas

Este sistema acuífero está constituido por unos afloramientos de rocas dolomíticas y calizas del Devónico identificados con los códigos 020 y 017 en el Mapa Geológico 1:25.000 del Gobierno de Navarra. Se extiende en la dirección O-E por el sector oriental de la masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos Cinco Villas-Quinto Real, entre las localidades de Elizondo al Oeste y Gorostapolo (Erratzu) al Norte.

En la cartografía geológica de estos afloramientos se pueden distinguir dos sectores acuíferos. Uno occidental, el más próximo a Elizondo, en el que predominan las rocas dolomíticas con intercalaciones de areniscas y cuarcitas (f.020), distribuidas en dos afloramientos: uno al norte del sector, de pequeña extensión, y otro al sur, de mayor superficie. El otro oriental, de mayor extensión, en el que se reparten los afloramientos de calizas con encrinas (f.017) y los de dolomías con intercalaciones de areniscas y cuarcitas (f.020). La unión entre ambos sectores está aparentemente limitada por una falla de dirección NO-SE y por unos afloramientos de arcillas del Pérmico (f.071). La superficie del conjunto es de 5,53 km^2.

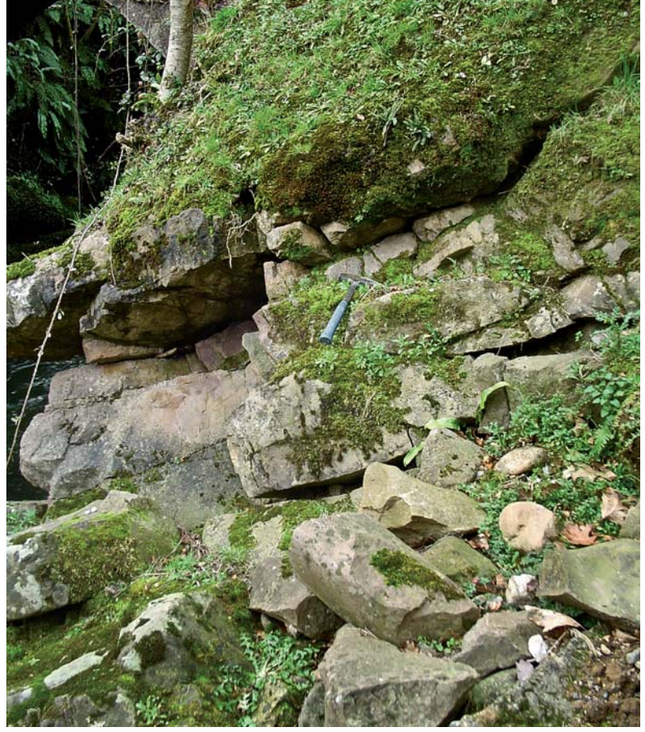
Según la cartografía del Mapa Geológico 1:25.000 del Gobierno de Navarra, estas rocas calizo-dolomíticas permeables, presentan una disposición estratigráfica intercalada entre formaciones de esquistos (f.21) de muy baja permeabilidad, que en esta zona deben hacer de zócalo impermeable de las formaciones acuíferas carbonatadas. Hacia el sur y este del conjunto carbonatado lo que afloran son materiales triásicos, compuestos de areniscas (f.102) y arcillas (f.104), cuyos contactos con la serie paleozoica son de tipo tectónico. Al norte de las formaciones metamórficas de calizas y esquistos se halla una ancha banda de rocas volcánicas (ofitas f.001) que fueron erupcionadas principalmente durante el Trías.

Los contactos de las rocas calizas-dolomíticas con el resto de las formaciones aflorantes en la zona son de tipo tectónico, generalmente por fallas inversas, que suelen montar las rocas calizas sobre otras formaciones estratigráficas más modernas (esquistos paleozoicos y areniscas triásicas). Pueden ser también mediante fallas normales, en el caso del sector de Elizondo en el que el bloque dolomítico queda elevado sobre los materiales más modernos de su entorno (las areniscas del Trías y arcillas del Pérmico).

El borde occidental de este afloramiento dolomítico de Elizondo (que está buzando hacia el Oeste) está fosilizado por el recubrimiento detrítico del aluvial de la regata de Beartzun, que no permite ver el contacto entre esta formación y la de las areniscas triásicas suprayacentes. Con todo, también se le supone tectónico, al considerar que en el mismo plano topográfico se ponen en contacto ambas formaciones, a pesar de la edad estratigráfica que las separa (Trías y Devónico).

El buzamiento de las dolomías en el borde del contacto es menor (del orden de unos 10/20º hacia el Oeste), mientras que el de las areniscas triásicas es de 45º (también hacia el Oeste). Esto hace suponer que el contacto entre ambas formaciones no es meramente estratigráfico, sino que hay una componente tectónica del mismo. En las figuras de la página siguiente se aprecia el aspecto y buzamiento de ambas formaciones.

Además, hay que tener en cuenta la cartografía geológica del resto de formaciones que afloran al sur de esta zona, en el entorno de la regata de Beartzun, en la que los materiales triásicos que se encuentran en la margen izquierda de la regata no coinciden con los que afloran en la margen derecha de la misma. Para justificar estas diferencias estratigráficas sería necesario también, que por el cauce de la regata se disponga de una falla con la que relacionar tectónicamente las formaciones existentes en ambas márgenes. El labio hundido se encontraría en la margen izquierda de la regata.



Areniscas triásicas buzando 45º, por debajo del molino de Etxaide. A la derecha, las dolomías y areniscas del Devónico buzando 20º, en el camino del molino Etxaide de Beartzun al manantial de Bumbulle.

Descripción hidrogeológica

• Permeabilidades •

Las formaciones carbonatadas descritas (rocas dolomíticas con intercalaciones de areniscas y cuarcitas (f.020) y calizas con encrinas (f.017), a pesar del grado de metamorfismo al que han sido sometidas y que les hace presentar un aspecto de rocas compactas y recristalizadas, por la fracturación y estratificación que les afecta, presentan una permeabilidad de grado medio-alto variable, según los sectores, como consecuencia del mayor o menor grado de karstificación que puedan presentar.

• Principales puntos de agua •

A continuación se describen los principales puntos de agua situados en el sistema acuífero:

Código	Naturaleza	Municipio	Denominación/ Toponímia	UTMX	UTMY	Cota	Profundidad (m)	Aprovechamiento actual
b170	Manantial	Baztan	Las Tres Hermanas	622469	4778442	337,01	-	Abastecimiento Elbete (Baztan)
b171	Manantial	Baztan	Las Tres Hermanas	622466	4778422	338,01	-	
b172	Manantial	Baztan	Las Tres Hermanas (Legarrikoturri)	622508	4778513	352,47	-	
b176	Manantial	Baztan	Bumbulle	622032	4777591	238,50	-	Abastecimiento Elizondo y sus barrios Antzanborda, Beartzun, Berro, Etxaide y Quinto Real (Baztan)
b177	Manantial	Baztan	Fuentehermosa	621888	4777699	230,60	-	
SB-8	Sondeo preexplotación	Baztan	Regata Beartzun En el camino de acceso al manantial de Fuentehermosa	621807	4777857	232,80	102	Cementado

Tabla 19. Principales puntos de agua inventariados en el acuífero de las dolomías del Devónico en Elizondo.

Al norte del sector occidental del sistema acuífero, en un pequeño bloque de dolomías e intercalaciones de tramos de areniscas (f.20) y aislado del de mayor tamaño que aflora al sur, se sitúan tres manantiales utilizados para el abastecimiento de Elbete (Baztan) conocidos popularmente como las Tres Hermanas (b170, b171 y b172). De estos, el más caudaloso es el manantial Legarrikoturri[24] (b172). Los tres manantiales se caracterizan por presentar una acidez del agua de surgencia próxima a 5,5.

Los manantiales de Bumbulle (b176) y Fuentehermosa (b177), situados en el borde sur del sector occidental del acuífero, son las tomas principales del sistema de abastecimiento de Elizondo. Dan un buen caudal de agua, que varía de 19,3 a 24,7 l/s, entre los dos, según la época del año.

El sondeo de preexplotación SB-8 perforado en Elizondo (Baztan) en el proyecto BIDUR mediante el método de rotopercusión está ubicado en el sector occidental del acuífero, próximo a los manantiales de Bumbulle (b176) y Fuentehermosa (b177). En su perforación, después de atravesar 7 m del relleno aluvial Cuaternario de la regata de Beartzun, se profundizó hasta alcanzar los 102 m en la formación de dolomías y areniscas metamorfizadas del Devónico (aunque con diferenciación de tramos más dolomíticos o areniscosos que, aparentemente, presentan ciertas diferencias de permeabilidad). Las características químicas e hidrodinámicas[25] del agua cortada por el sondeo muestran que la detectada sería agua subterránea asociada a flujos profundos, de largo recorrido, totalmente distintos a los flujos subterráneos que se descargan por los manantiales de Bumbulle (b176) y Fuentehermosa (b177). Estos flujos subterráneos de mayor envergadura, en su circulación subterránea profunda, probablemente se vean favorecidos por la posible falla de dirección NO-SE que podría existir a lo largo del valle de la regata de Beartzun. Ante la mala calidad del agua detectada en el sondeo SB-8, se detuvo el avance de la perforación a los 102 m y, ante la mala calidad del agua, se cementó la totalidad del mismo.

• Subzonas •

De acuerdo con la descripción geológica efectuada en el conjunto de los afloramientos calizo-dolomíticos de este sistema acuífero se distinguen dos sectores diferenciados:

- El sector occidental, el más próximo a Elizondo, está constituido por un paquete de dolomías e intercalaciones de tramos de areniscas (f.20) distribuido en dos afloramientos de limitada extensión: uno al Norte (de 0,362 km^2 de superficie) en el que se ubican los manantiales "las Tres Hermanas" (b170, b171 y b172), y otro al Sur (de 0,841 km^2 y una potencia máxima estimada de 500 m), en el que se encuentran las surgencias de los manantiales de Fuentehermosa (b177) y Bumbulle (b176). En el borde de su afloramiento sur se perforó el sondeo de reconocimiento SB-8.

- El sector oriental tiene mayor extensión (4,69 km^2) y en él se reparten los afloramientos de calizas con encrinas (f.017) y los de dolomías (f.020), con una potencia máxima estimada de 500 m en el monte Soralar. Este sector está caracterizado por su localización a cotas topográficamente elevadas, sin acceso transitable y ausencia de población, lo que dificulta el paso y por tanto su estudio.

• Balance hídrico •

Sector occidental

La descarga de este sector se realiza principalmente por los manantiales de Fuentehermosa (b177) y Bumbulle (b176), además de los pequeños caudales de surgencia de las Tres Hermanas (b170, b171 y b172). El caudal medio de descarga de los manantiales Fuentehermosa (b177) y Bumbulle (b176), que se han aforado mensualmente en el proyecto BIDUR, es de unos 20,89 l/s (0,693 hm^3/año[26]). Esta descarga no puede únicamente justificarse por la infiltración del agua que se recarga en el afloramiento de dolomías ya que teniendo en cuenta la reducida extensión del afloramiento (de 0,841 km^2) y los coeficientes de lluvia útil e infiltración aplicados, se estima una recarga de 0,603 hm^3/año, para un año de tipo medio. Por tanto, el valor cuantificado de la recarga es ligeramente inferior al volumen de la descarga. Esto hace pensar que posiblemente el sector occidental del acuífero dolomítico, que se descarga directamente por los manantiales citados, debe tener algunas aportaciones laterales subterráneas complementarias, desde el sector del acuífero calizo-dolomítico más oriental. Aunque según la cartografía geológica, la existencia de una fractura y la presencia de arcillas del Pérmico intermedias, se podría pensar en una cierta compartimentación tectónica entre ambos sectores.

Litología	Dolomías del Devónico
Extensión (km^2)	0,84
Potencia (m)	500
Precipitación (mm/año)	1691,62
Lluvia útil (l/m^2)	1035,54
Infiltración (% de LLU)	69,30 %
Recursos medios (hm^3/año)	0,603 más posible recarga lateral desde el sector oriental
Descargas (hm^3/año) (manantiales Bumbulle y Fuentehermosa)	0,693

Tabla 20. Balance hídrico del sector occidental del acuífero de las dolomías del Devónico en Elizondo.

Sector Oriental

La mayor parte de las descargas subterráneas de este sector acuífero deben estar produciéndose hacia los valles de las regatas que circulan por sus afloramientos, en especial hacia la regata de Iñarbegi (donde está la cascada de Xorroxin), situada en el borde oriental de los afloramientos carbonatados. Es la regata que se encaja, de Sur a Norte, por la cota más baja de los mismos.

En los 4,69 km^2 de afloramientos carbonatados se estima una recarga de 3,36 hm^3/año, para un año de tipo medio (de acuerdo con los coeficientes de lluvia útil e infiltración que se han estimado). La compartimentación tectónica que se observa en la cartografía geológica de sus afloramientos puede que haga que la circulación subterránea del agua se vea afectada y orientada hacia distintos puntos de drenaje y descarga.

Como se ha indicado anteriormente, puede ocurrir que una pequeña parte del agua subterránea infiltrada en este sector acuífero oriental se pudiera estar trasvasando, lateral y subterráneamente hacia el sector occidental que es el que se drena por los manantiales de Fuentehermosa (b177) y Bumbulle (b176). Según esta hipótesis, la unión entre ambos sectores, aparentemente limitada por una falla y por unos afloramientos de arcillas del Pérmico (f.071), no debería ser un límite completamente impermeable.

Litología	Dolomías del Devónico
Extensión (km^2)	4,69 de calizas
Potencia (m)	500
Precipitación (mm/año)	1691,62
Lluvia útil (l/m^2)	1035,54
Infiltración (% de LLU)	69,30 %
Recursos medios (hm^3/año)	3,36
Descargas (hm^3/año) (difusas en la regata de Iñarbegi)	No se han podido determinar

Tabla 21. Balance hídrico del sector oriental del acuífero de las dolomías del Devónico en Elizondo.

No se ha podido efectuar una estimación de las descargas totales de este sector acuífero, aunque como se encuentra en régimen natural de drenaje, estas deben ser similares a las de la recarga anual estimada (3,36 hm^3/año).

24 Según caudales aforado el 11/03/2010: 0,85 l/s (b170), 0,72 l/s (b171) y 2,44 l/s (b172).

25 El nivel piezométrico del acuífero perforado el sondeo SB-8, empezó a ser surgente a partir de los 40 m de profundidad, y fue aumentado esta carga a medida que avanzaba la perforación en profundidad, hasta alcanzar una cota de 0,63 m por encima de la del terreno, al finalizar la perforación a los 102 m.

26 En el periodo de control llevado a cabo en los manantiales de Fuentehermosa (b177) y Bumbulle (b176), durante el proyecto BIDUR, se ha aforado un caudal medio anual de unos 20,89 l/s. Los datos de aforos realizados entre los años 2006/07 por la Asociación Iturri-Ederra, encargada del suministro de agua a las poblaciones de Elizondo-Elbete, dan un valor medio de 23,77 l/s.

Piezometría

A partir de las cotas de descarga de los manantiales de Fuentehermosa (b177) y Bumbulle (b176), de la cota topográfica por la que circulan las regatas existentes a su paso por los afloramientos carbonatados y de la cota topográfica que llegan a alcanzar los afloramientos calizos, se ha podido estimar la orientación hidrodinámica e hidrogeológica más razonable de las líneas de flujo subterráneas que se establecen en este sistema acuífero. Se estiman dos orientaciones preferenciales en la circulación subterránea: una desde la cota alta del afloramiento dolomítico del sector occidental, hacia el Oeste, y otra en el sector oriental del acuífero, hacia el NE (a la regata de Iñarbi). Además, se deben considerar otros flujos subterráneos, desde el sector oriental hacia el NO (a la regata de Aintzialde), y hacia el Sur (a la regata de Salbide).

En cuanto a la profundidad alcanzada por los flujos subterráneos en la formación carbonatada, se podrían establecer dos sistemas de flujos: unos de carácter más superficial, de menor recorrido en la formación acuífera, que serían los que más rápidamente se descargan por los manantiales observados en la zona. Otros, de mayor alcance y profundidad en la roca acuífera, que han sido los detectados con la perforación del sondeo de investigación SB-8. La calidad química del agua es diferente en ambos casos: menos mineralizada en los flujos someros, y bastante más mineralizada en los flujos subterráneos más profundos.

Parámetros hidráulicos

No se ha podido disponer de ningún dato de la transmisividad que pueden llegar a alcanzar las rocas carbonatadas de este sistema acuífero.

En el sondeo SB-8 perforado en Elizondo, ante la mala calidad y elevada mineralización del agua encontrada, se decidió cementar la obra con el fin de evitar posibles contaminaciones de los tramos superiores del acuífero carbonatado. En consecuencia, no se ha podido efectuar ninguna determinación hidrodinámica, aunque por los datos de caudal observados durante el avance de la perforación (extraídos con el aire de la rotopercusión), estos no superaban los 5 l/s que corresponderían a transmisividades del acuífero de tipo medio-bajo.

Por las características del drenaje que se produce por los manantiales de Fuentehermosa y Bumbulle, la permeabilidad del acuífero carbonatado es mayor en sus tramos superiores, que se suelen presentar más karstificados. En los tramos inferiores, alcanzados por el sondeo SB-8, la permeabilidad disminuye al presentarse niveles dolomíticos más compactos y menos fisurados.

Evolución estacional del acuífero

En general, los caudales de surgencia de este acuífero aumentan o disminuyen en relación con los periodos estacionales de la precipitación producida, si bien, los caudales de surgencia[27] presentan un decalaje (de algún mes) al momento de la recarga por la infiltración de la lluvia, lo que hace considerar a este sistema acuífero con una relativa inercia hidrodinámica en sus mecanismos de circulación subterránea.

Hidroquímica. Calidad

En el acuífero de las dolomías del Devónico, en Elizondo, se ha analizado la calidad química del agua subterránea en 4 puntos: manantial Legarrikoturri (b172), manantial Bumbulle (b176), manantial Fuentehermosa (b177) y el sondeo de reconocimiento SB-8.

---

[27] En el proyecto BIDUR han sido controlados mensualmente los caudales de los manantiales de Legarrakoturri (b172), Bumbulle (b176) y Fuentehermosa (b177).

◄ Cascada de Xorroxin (Erratzu).

La calidad química de los tres manantiales analizados es apta para el consumo humano, de acuerdo al RD 140/2003, al contener una baja mineralización que varía entre los 35 µS/cm de conductividad eléctrica del manantial Legarrikoturri (b172) y los 180 µS/cm de las surgencias Bumbulle (b176) y Fuentehermosa (b177). El agua del manantial Legarrikoturri (b172), por el pH ácido (5,34) que presenta, debe ser tratada previamente a su uso.

El agua de los manantiales de Fuentehermosa (b177) y Bumbulle (b176) es de facies bicarbonatada cálcica, mientras que la de Legarrikoturri (b172) es clorurada sódica, de muy débil mineralización, muy similar a la del agua de lluvia.

El agua subterránea perforada por el sondeo SB-8 corresponde a un agua sulfatada cálcico-magnésica, con pH ligeramente básico (7,61) y ambiente claramente reductor (-25 mV). La analítica completa del agua perforada da unas concentraciones elevadas de sulfatos (567 mg/l), cloruros (370 mg/l), calcio (229 mg/l) y magnesio (56 mg/l) que la hacen inservible para su uso.

Es evidente, ante las distintas características químicas que presenta el agua del sondeo y la de los manantiales de Bumbulle y Fuentehermosa que estas aguas proceden de dos niveles acuíferos distintos, aunque aparentemente y desde el punto de vista litológico se ubiquen en la misma formación geológica. Las surgencias de los manantiales se corresponden con descargas de carácter libre y más someras del acuífero dolomítico, con poco tiempo de residencia en el medio acuífero. Mientras el agua del sondeo se asocia a flujos de carácter más profundo, de larga duración en su recorrido, que circulan por los tramos acuíferos más profundos de esa misma formación.

Singuralidades encontradas entre los manantiales Fuentehermosa, Bumbulle y el sondeo SB-8

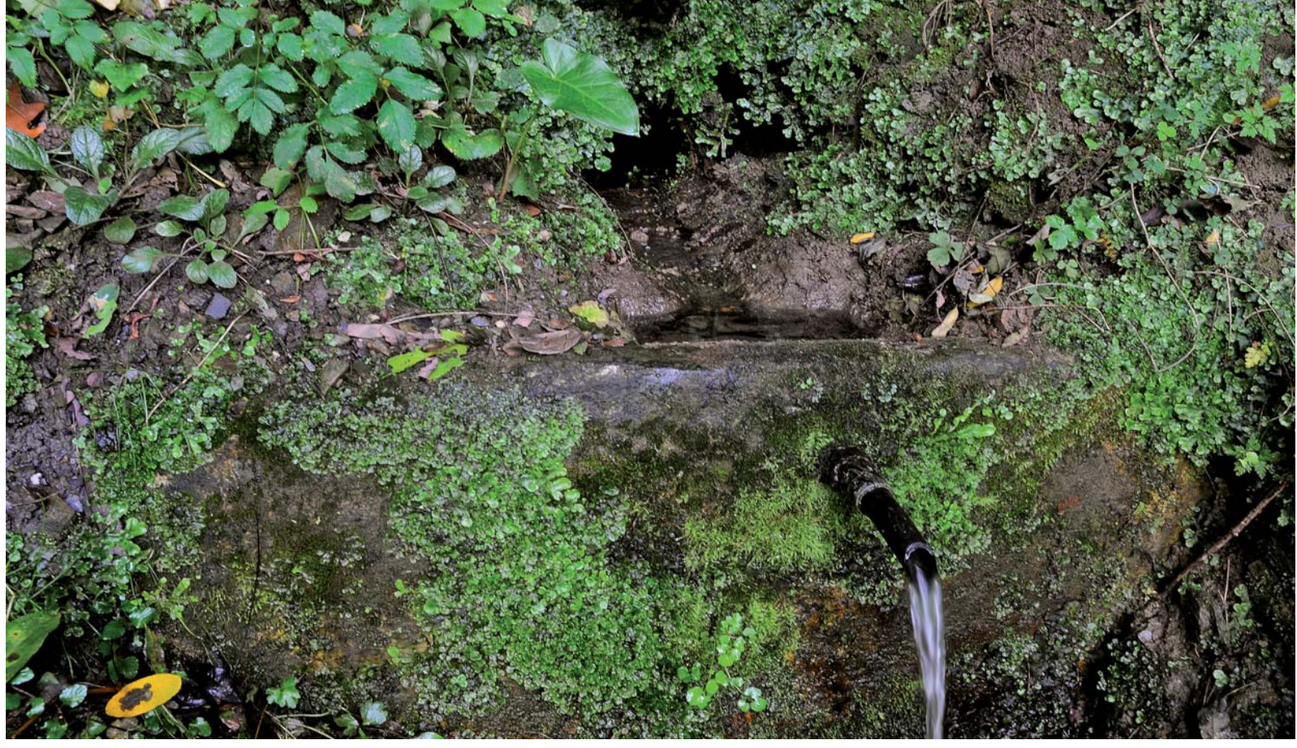
El agua subterránea que se descarga por los manantiales de Bumbulle (176) y Fuentehermosa (177) presenta unas características hidrodinámicas e hidroquímicas propias de flujos subterráneos de carácter superficial, dentro del acuífero calizo. La baja mineralización que presenta el agua de surgencia, con conductividad de 180 µS/cm, se asocia con descargas de agua fluctuantes en el tiempo asociadas con los periodos de lluvias, y cortos recorridos en tiempo y espacio en la roca acuífera.

En el caso del sondeo SB-8, la primera agua que se cortó a los 13 m de profundidad, con conductividad de 550 µS/cm, indicaba que era netamente diferente al agua que surge por los manantiales de Fuentehermosa y Bumbulle. Con el avance de la perforación, y a partir de los 56 m de profundidad, la conductividad del agua pasó a duplicarse, con 1.146 µS/cm. Esta conductividad se mantuvo hasta los 95 m, duplicándose de nuevo hasta los 2.600 µS/cm. La perforación del sondeo se detuvo ante la mala calidad del agua.

El nivel piezométrico del acuífero perforado, a partir de los 40 m de profundidad empezó a ser surgente, según lo apreciado en una larga parada producida al alcanzar la perforación los 50 m de profundidad. Esta carga fue aumentando a medida que avanzaba la perforación en profundidad, hasta alcanzar el agua una cota de 0,63 m por encima de la del terreno. La perforación finalizó a los 102 m.

El hecho de que el acuífero se encuentre bajo presión hidrostática a partir de los 40 m, unido al ambiente reductor (-25 mV) detectado en el agua y a su elevada salinidad, hace considerar la hipótesis de que se trataría de un agua subterránea asociada a flujos profundos, de largo recorrido. Serían flujos totalmente distintos a los subterráneos que se descargan por los dos manantiales citados y que probablemente estarían favorecidos, en su circulación subterránea profunda, por la falla de dirección NO-SE que podría existir a lo largo del valle de la regata de Beartzun.

La elevada presencia de sulfatos en el agua del sondeo SB-8 hace pensar en la hipótesis de que el agua detectada en el sondeo, en su recorrido de infiltración y circulación por los materiales acuíferos,



Pequeño manantial en las pizarras y esquistos paleozoicos junto a la Vía Verde del Bidasoa (Lesaka).

haya debido pasar por formaciones de yesos. Solo la disolución de materiales yesíferos justificaría la presencia de sulfatos.

Estos materiales, en la zona geológica en la que se enclava el sondeo SB-8, solamente se encuentran en la formación triásica del Keuper (f.109 de arcillas, yesos y sales), que aflora a cotas topográficamente altas del entorno de la región, en extensiones superficiales no muy amplias. Es el caso de la margen izquierda de la regata de Beartzun, según puede apreciarse en la cartografía geológica disponible de la zona.

Ante las distintas facies químicas que presenta el agua del sondeo (sulfatada-clorurada cálcico-magnésica) y la de los manantiales de Bumbulle y Fuentehermosa (bicarbonatada cálcica), y la diferencia tan acusada de salinidad entre una y otra (2.600 µS/cm y 180 µS/cm respectivamente), parece evidente que estas aguas proceden de dos niveles acuíferos distintos, aunque ambos aparentemente se ubiquen en la misma formación geológica (las dolomías y areniscas del Devónico inferior f.020).

Las surgencias de los manantiales se corresponden con descargas de carácter libre y más somero del acuífero dolomítico, con poco tiempo de residencia en el medio acuífero; mientras que el agua del sondeo se asocia a flujos profundos, de carácter confinado y de larga duración en su recorrido, que circulan por los tramos acuíferos más profundos de esta misma formación. En este caso, posiblemente favorecidos por la fractura ya comentada que podría estar limitando el contacto de la formación dolomítica (f.020) con la de areniscas del Triásico (f.102).

La separación hidrogeológica e hidrodinámica entre los niveles acuíferos superior e inferior, al no existir ninguna formación impermeable evidente entre ambos, podría deberse —entre otras causas— al aislamiento que pudiesen originar los tramos de areniscas/cuarcitas, más compactas y en consecuencia poco permeables, que se hallan intercaladas entre los tramos dolomíticos. Por los datos observados en la columna litológica atravesada por el sondeo, las facies areniscosas son más frecuentes a medida que se profundiza en la formación carbonatada del Devónico inferior.

A la vista de la cartografía geológica existente y de la investigación realizada, esta parece la hipótesis más verosímil; salvo que la tectónica (no visible en la zona) pudiese justificar otro funcionamiento hidrogeológico-estructural que regulase la separación hidrodinámica detectada entre ambos niveles acuíferos, el superior de los manantiales y el inferior perforado por el sondeo.

Regata Beartzun a su paso por el molino de Etxaide (Elizondo).

Formaciones de baja permeabilidad

Además de los acuíferos de interés hidrogeológico descritos en los anteriores apartados, en el resto de las formaciones geológicas que afloran en el ámbito de la masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos Cinco Villas-Quinto Real (a pesar de su carácter poco permeable), se pueden identificar reducidos niveles o tramos acuíferos que pueden tener cierta importancia a la hora de satisfacer necesidades de agua, en puntos de consumo próximos a ellos. Por esta circunstancia hidrogeológica, en la localización e identificación de las fuentes de agua para el abastecimiento a las poblaciones –que se ha realizado en el proyecto BIDUR–, han sido muy numerosas las captaciones de agua subterránea inventariadas y reconocidas.

Es una característica hidrogeológica común a este tipo de formaciones de baja permeabilidad, el que los pequeños niveles acuíferos que se hallan en ellas se presenten aislados y sin ninguna continuidad hidrodinámica entre sí. Por este motivo, no se les puede considerar como un sistema acuífero, entendiendo como tal, "un dominio hidrogeológico continuo y aprovechable, con rendimiento económico de sus recursos de agua subterráneos".

Las características hidrogeológicas que presentan estas formaciones de baja permeabilidad se resumen a continuación.

Materiales graníticos

En los materiales graníticos (f.006) de origen intrusivo, que afloran ocupando una superficie de unos 27,41 km^2 en el borde noroccidental de la cuenca del Bidasoa y Urumea, se suelen encontrar reducidos niveles acuíferos de muy bajo interés hidrogeológico. Estos, suelen estar asociados a los sectores de

mayor fracturación y diaclasación de la roca granítica, y a aquellos en los que se han depositado los materiales detríticos de su alteración (lehm). La poca permeabilidad que se pueda encontrar en la superficie de los afloramientos graníticos se reduce drásticamente en profundidad, por lo que no se la puede considerar un medio acuífero en su conjunto.

En estos materiales se ha inventariado un solo manantial (Gardenzolo, b26), del que se abastecen Nabaz y Katazpegi (barrios de Lesaka), con un caudal inferior a los 2 l/s.

Los recursos de agua que se recogen para un año de tipo medio en esta formación se estiman, de acuerdo con el balance hidrometeorológico realizado, en unos 28,38 hm^3/año (el 3 % de los recursos hídricos totales evaluados en la masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos de Cinco Villas-Quinto Real). Estos recursos, dada la naturaleza de baja permeabilidad de los materiales graníticos, se traducen mayoritariamente en escorrentía superficial directa hacia el cauce del río Endara y regatas de Barraka y Montoia. La escasa infiltración subterránea que se puede producir en los tramos superficiales de la formación, después de un corto recorrido por ella, se descargan hacia los cauces de los arroyos y regatas existentes.

Código	Naturaleza	Municipio	Denominación/ Ubicación	UTMX	UTMY	Cota	Aprovechamiento
b26	Manantial	Lesaka	Gardenzolo	602153	4791987	395	Abastecimiento de los barrios de Nabaz y Katazpegi (Lesaka)

Tabla 22. Principales puntos de agua en los materiales graníticos.

Pizarras y esquistos paleozoicos

En los materiales metamórficos del Paleozoico (formaciones 064, 059 y 054 mayoritariamente) que ocupan el 74 % de la superficie de la masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos Cinco Villas-Quinto Real (unos 629 km^2), aunque la naturaleza de su conjunto pizarroso y arcilloso es muy poco permeable, se pueden identificar reducidos niveles acuíferos. Están asociados a los sectores de mayor fracturación, a las intercalaciones, a veces, de tramos de rocas calizas y conglomerados, y a aquellos sectores en los que se han depositado materiales detríticos cuaternarios de su alteración, en general dispuestos a modo de conos de deyección.

En el conjunto de estas formaciones se han inventariado 118 manantiales, en su mayoría de reducido caudal, asociados principalmente a los sectores donde la alteración de las rocas ha progresado más. En su mayor parte, se usan en el abastecimiento de los núcleos urbanos radicados en las cuencas, y generalmente los puntos de captación se localizan en las cotas topográficas más altas de las mismas, desde donde se conduce el agua por gravedad hasta los depósitos municipales, para distribuirla posteriormente a la población.

Los caudales de surgencia generalmente no superan 1 l/s, aunque en algún caso (manantiales Parazelaieta/Itturmota b106 y de Otsondottiki b154), se han llegado a aforar hasta 12 l/s. Con caudales menores, entre 3 y 6 l/s, están registrados otros cinco manantiales más: Artxata b54, nuevo manantial de Otsondo b155, Xixkirrekoturri b156, Gorospi b206 y Auzko Buelta Mina Zuloa b258.

Durante 14 campañas de medidas efectuadas en BIDUR se han aforado 7 de estos manantiales de las formaciones paleozoicas de mayor caudal, con el objeto de comprobar su evolución estacional y poder analizar la garantía con la que pueden suministrar el agua a las poblaciones que abastecen. En la Tabla 23 se muestran los principales puntos de agua y en la Tabla 24 se representa su evolución estacional, junto con la de los registros de la precipitación mensual producida en el mismo periodo de tiempo en la estación de Etxalar (1009), tomada como la estación representativa de la pluviometría media anual que se registra en estas cuencas.

Código	Naturaleza	Municipio	Denominación/ Ubicación	UTMX	UTMY	Cota	Aprovechamiento
b15	Galería	Bera	Junto regata Bagoibide a la altura del P.K. 5,6 de la NA-1310 (Bera-Ibardin)	606177	4796125	318	Abastecimiento de Ibardin (Bera) en época de estiaje hasta 2011
b29	Manantial	Lesaka	Manantial de Bezerro	605751	4792406	27	Fuente pública
b30	Pozo minero	Lesaka	Mina de Bezerro	605896	4792417	47	Sin uso
b54	Manantial	Etxalar	Regata de Artxata	614524	4787594	319	Sin uso. Posible futuro abastecimiento
b106	Manantial	Zubieta	Parazelaieta/ Itturmota	602312	4776309	264	Hasta 31/12/2009 abastecimiento Zubieta
b154	Manantial	Baztan	Otsondottiki	622735	4789057	196	Abastecimiento Urdazubi/Urdax y los barrios de Landibar y Dantxarinea
b155	Manantial	Baztan	Nuevo manantial de Otsondo	623125	4789257	196	
b156	Manantial	Baztan (Amaiur/ Maya)	Xixkirrekoturri	624069	4786638	390	Abastecimiento Amaiur/Maya
b206	Manantial	Baztan (Irurita)	Gorospi	617879	4770575	660	Abastecimiento Irurita, Lekaroz (incluyendo el colegio), depuradora de Oharriz y barrio Etxerri (Gartzain)
b258	Manantial	Goizueta	Auzko Buelta Mina Zuloa	591299	4779610	381	Abastecimiento de Goizueta
b269	Manantial	Goizueta	Ollin	593666	4776549	262	Sin uso

Tabla 23. Principales puntos de agua de las pizarras y esquistos paleozoicos.

Meses control	Caudal (l/s)							Precipitación
	b54	b106	b154	b155	b156	b206	b258	Etxalar 1009
Feb-may 10	5,00	13,30	12,00	3,34	6,00	7,50	4,50	74,6
Jun-10		4,90		2,72	5,29	7,06	2,26	157
Jul-10	6,43	6,00		2,58	6,02	5,71	2,19	36,1
Ago-10	7,60			1,58	4,29	4,44	1,31	68,1
Sep-10	6,44	3,81		1,43	4,29	3,81	0,99	100,7
Oct-10	7,90	2,11		1,59	4,85	3,33	1,01	136,5
Nov-10	7,70	2,11		2,18	5,16	4,14	3,12	256,6
Dic-10	10,90	6,67		2,84	2,73	8,62	4,00	155,6
Ene-11	10,20	4,00		2,18	3,08	7,06	1,90	45
Jul-11	9,5	1,0		3,22	4,26	5,45	1,67	179,3
Ago-11	14,7	1,1	≈8	3,66	4,51	6,56	3,64	45,1
Sep-11	9,7	3,0		1,92	2,42	4,62	1,90	108,4
Oct-11	8,5	2,9	6,80	2,02	3,13	4,00	1,60	97,4
Nov-11	7,6	10,9		5,01	3,66	3,08	1,70	285,7
Dic-11	8,63	9,2		3,94	2,05	5,33	5,22	217

Tabla 24. Caudales de los principales manantiales en materiales paleozoicos. Realzados en color azul los caudales máximos, y en color amarillo, los mínimos aforados en cada manantial.

Desvío de la regata Ollin, afluente del río Urumea, a través de un túnel excavado en las pizarras y esquistos de paleozoico. (Límite entre los municipios de Leitza y Ezkurra).

En el caudal de los manantiales se aprecia un notable paralelismo entre la precipitación registrada y el caudal mensualmente aforado, lo que pone de manifiesto el escaso almacén subterráneo que suponen los niveles acuíferos drenados y, como consecuencia de ello, la reducción rápida de su caudal cuando escasean las precipitaciones. Esta es la causa de que algunos de los abastecimientos a las poblaciones de la zona tengan problemas de suministro en la época estival, en que las demandas de agua se incrementan y los recursos hídricos disponibles disminuyen.

Los recursos de agua que se recogen en el conjunto de afloramientos de las formaciones paleozoicas de baja permeabilidad, a partir de la precipitación recibida sobre ellos, se estiman en unos 651 hm^3/año. Esto supone el 74 % de los recursos que se han cuantificado para la masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos de Cinco Villas-Quinto Real, para un año de tipo medio y de acuerdo con el balance hidrometeorológico realizado. Dada la naturaleza de baja permeabilidad que en su conjunto presentan los materiales metamórficos paleozoicos, los recursos hídricos evaluados se traducen mayoritariamente, en escorrentía superficial directa hacia los cauces que se encajan por sus afloramientos. La reducida infiltración subterránea que se puede producir en los tramos acuíferos más permeables de esta formación (sectores de mayor alteración y fracturación, y niveles carbonatados), después de un corto recorrido por los medios acuíferos, se descarga hacia los cauces de los arroyos y regatas existentes. Son flujos subterráneos con poca inercia de circulación.

En los niveles permeables explotados en estas formaciones paleozoicas de baja permeabilidad se han muestreado y analizado 7 puntos de agua dispersos por la geografía de sus afloramientos: la galería de antigua mina de Ibardin (b15), de la que se abastece el barrio de Ibardin de Bera; el manantial de Bezerro (b29) y el antiguo pozo minero de Bezerro (b30), localizados en Alkaiaga (Lesaka); el manantial, situado junto al cauce de la regata de Artxata (b54), en el TM de Etxalar; el manantial Xixkirrekoturri (b156), del que se abastece Amaiur/Maya (Baztan); el manantial Auzko Buelta Mina Zuloa (b258), del que se abastece Goizueta, en la cuenca del río Urumea; y el manantial de Ollin (b269), que surge en la escombrera de la antigua mina metálica de Ollin que se explotaba en el TM de Goizueta (cuenca del Urumea).

La calidad química del agua analizada en todos los puntos, salvo la de la galería de la mina de Ibardin (b15) es apta para el consumo humano, de acuerdo al RD 140/2003 al contener una mineralización de muy baja a baja, con conductividades que oscilan entre los 70 µS/cm del manantial Auzko Buelta Mina Zuloa (b258) y los 230 del Xixkirrekoturri (b156). Con pH ligeramente alcalinos (entre 7 y 7,95) y facies bicarbonatada-cálcica. En el caso de la galería de la mina de Ibardin (b15), aunque el agua es de baja mineralización (237 µS/cm) y su pH prácticamente neutro (7,13), la presencia de hierro (2,66 mg/l) y manganeso (2,71 mg/l) en cantidades superiores a sus respectivos límites admisibles (0,2 y 0,05 mg/l según RD 140/2003), la hace no útil para su consumo humano. No obstante, ante el hecho de la falta de agua en esta barriada durante los periodos estivales de mayor consumo, ha sido utilizada mezclada con agua de otros puntos de mejor calidad, para el uso doméstico. Si bien, la obras realizadas recientemente para conectar la red de abastecimiento del barrio con los manantiales de Lesola (b1 y b2), de buena calidad, han dado solución a estos problemas.

La poca mineralización del agua en los puntos analizados en esta formación paleozoica denota el carácter somero de sus circuitos de circulación y la escasa permanencia en el tiempo de su flujo subterráneo por las zonas de mayor fracturación y alteración que se generan en estos materiales.

Cuarcitas y areniscas paleozoicas

Estos materiales son rocas duras del Paleozoico que se presentan en afloramientos significativos (f.009, 028, 030, 032, 033, 034 y 037), en cuanto a extensión y potencia, entre los materiales pizarrosos metamórficos. Se han estimado un total de unos 17,12 km^2 de superficie de afloramientos dispersos entre las pizarras y esquistos. Su presencia es más frecuente en la zona del Macizo Quinto Real que se extiende por la zona suroriental de la cuenca del Bidasoa y en algunos otros afloramientos, por el sector nororiental de la misma cuenca. De acuerdo con la superficie de afloramientos, el orden de los recursos hídricos anuales que se recoge en ellos para un año de tipo medio es de unos 17,72 hm^3/año. Esto supone el 2 % del total de la masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos Cinco Villas-Quinto Real), de los que la mayor parte se traduce en escorrentía superficial directa hacia los cauces de la zona.

Estas rocas duras y muy compactadas pueden dar pequeños caudales de aguas asociados a los niveles de mayor fracturación, que si progresan suficientemente en la roca, llegan a originar reducidos acuíferos con permeabilidad de tipo bajo-medio.

Dado que la mayor parte de los afloramientos existentes de estos materiales se hallan en zonas de difícil acceso y muy poco habitadas, se han inventariado solamente una veintena de puntos de agua en ellas. Se consideran surgencias subterráneas asociadas a los mismos, los manantiales ubicados en la cuenca alta de la regata de Artesiaga, en el TM de Baztan (en la zona de Irurita). Entre estos destacan el manantial Nebusarai (b201) con caudal de 20 l/s y los manantiales de Gorospi (b204, b205 y b206) con caudales de 5-7 l/s.

Código	Naturaleza	Municipio	Denominación/ Ubicación	UTMX	UTMY	Cota	Aprovechamiento
b201	Manantial	Baztan (Irurita)	Nebusarai	621339	4769448	830	Sin uso
b204	Manantial	Baztan (Irurita)	Gorospi	617735	4770593	608	Abastecimiento Irurita, Lekaroz (incluyendo el colegio), depuradora de Oharriz y barrio Etxerri (Gartzain)
b205	Manantial	Baztan (Irurita)	Gorospi	617752	4770595	660	
b206	Manantial	Baztan (Irurita)	Gorospi	617879	4770575	660	

Tabla 25. Principales puntos de agua de las cuarcitas y areniscas paleozoicas.

Areniscas triásicas

Areniscas triásicas (Elgorriaga).

Las areniscas del Buntsandstein (Trías inferior) (f.102 y 103) se extienden a lo largo de una amplia banda de afloramientos, de dirección SO-NE, que recorre la margen izquierda del río Ezkurra y continúa por la margen derecha del Bidasoa en la cuenca media-alta de este río. Sus afloramientos más continuos se cartografían en la franja de unos 700 a 1900 m de ancho y 23 km de longitud, que va desde Arraioz (Baztan) en el Este, hasta Ezkurra, en el oeste de la cuenca. Estratigráficamente, las areniscas del Trías se apoyan en su borde meridional sobre los afloramientos de las pizarras paleozoicas. Constituyen, en muchos puntos de la zona, la base de menor permeabilidad de los afloramientos carbonatados del Mesozoico.

En el conjunto de la masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos Cinco Villas-Quinto Real se ha evaluado una extensión de afloramientos del orden de los 153,44 km^2 —la mayor parte en la franja citada—, en los que se recogen anualmente unos recursos totales de agua de unos 158,89 hm^3, para un año de tipo medio. Es el 18 % de los registrados en la masa de agua subterránea y, dada la baja permeabilidad de los materiales areniscosos, se traduce en escorrentía directa hacia los cauces, siendo menor el agua que acaba por infiltrarse en la formación.

Estos materiales, al igual que las areniscas paleozoicas, son rocas muy duras y compactadas que pueden dar lugar a pequeños caudales de aguas asociados a los niveles de mayor fracturación, que generalmente predominan en los metros superiores de la serie. El agua de lluvia que se infiltra en sus afloramientos circula por la red de fracturación que se genera superficialmente, para surgir por los pequeños manantiales que se originan en la superficie de estas rocas (con poca inercia en el circuito del flujo subterráneo).

En los sectores en los que la fracturación progresa algo más en profundidad, el agua de infiltración profundiza, llegando a originarse en la roca reducidos acuíferos con permeabilidad de tipo bajo. A veces son explotables con sondeos de escaso caudal, como es el caso del sondeo situado junto al caserío Elordiko borda (b209), de 143 m, perforado en la banda de areniscas que aflora por encima de Arraioz (Baztan).

Han sido numerosos los manantiales inventariados (más de 40) en esta formación, la mayor parte de ellos utilizados en abastecimiento urbano, pues la calidad de su agua es buena.

De todos los manantiales registrados destaca por su caudal el de Sastra (b246) que, con un volumen variable entre los 41 a 133 l/s (aforados a lo largo de las 15 campañas de control realizadas), es utilizado en parte para el abastecimiento de Almandoz. El sobrante es utilizado para la producción de energía hidroeléctrica. Se ubica en el borde de un afloramiento de calizas del Muschelkalk (Trías), de extensión no superior a 3 km^2, situado en el Puerto de Belate, en el extremo suroriental de la cuenca del Bidasoa, a 708 m s.n.m. Esta descarga es el drenaje subterráneo de un acuífero carbonatado muy permeable que se sitúa en el contacto tectónico de este con las areniscas del Buntsandstein (Trías inferior).

Del resto de la cuarentena de manantiales inventariados en estos materiales destacan, por su mayor caudal de surgencia, los de Iturmututa (b96), Oloki (b141), Auza (b157 y b158) y el de la regata Artxea (b211 y b212), con caudales comprendidos entre 2 a 10 l/s.

Código	Naturaleza	Municipio	Denominación/ Ubicación	UTMX	UTMY	Cota	Aprovechamiento
b96	Manantial	Elgorriaga	Iturmututa	605889	4777972	426	Hasta otoño 2009, abastecimiento Elgorriaga. Actualmente para emergencias.
b141	Manantial	Bertizarana	Oloki	611026	4777287	244	Hasta el funcionamiento de la potabilizadora abastecimiento Narbarte. Ahora sólo para emergencias.
b157	Manantial	Baztan (Erratzu)	Auza	626493	4780675	489	Abastecimiento Erratzu (Baztan).
b158	Manantial	Baztan (Erratzu)	Auza	626504	4780662	489	
b209	Sondeo	Baztan (Arraioz)	Elordiko borda	615796	4777865	266	Sin explotación. Futuro abastecimiento auxiliar de Arraioz.
b211	Manantial	Baztan (Arraioz)	Manantial de la regata Artxea	615274	4778112	300	Abastecimiento Arraioz.
b212	Manantial	Baztan (Arraioz)	Manantial de la regata Artxea	615289	4778060	278	
b246	Manantial	Baztan (Almandoz)	Manantial	614225	4768983	709	Abastecimiento Almandoz.

Tabla 26. Principales puntos de agua de las areniscas triásicas.

Meses control	Caudal (l/s)					Precipitación (mm)	
	b96	b141	b157	b211	b246	Etxalar 1009	Belate 9259U
Feb-may 10	4,23	5,10	5,00	2,35	68,50	74,6	93,3
Jun-10	3,50	2,67	15,00	1,04	68,50	157	126,9
Jul-10	1,88	2,20	9,60	0,78	55,65	36,1	54,4
Ago-10	1,43	1,03	12,00	0,41	46,40	68,1	53,2
Sep-10	1,00	0,82	8,00	0,19	41,10	100,7	73,1
Oct-10	0,87	0,69	10,00	0,12	45,70	136,5	117,3
Nov-10	3,63	6,00	9,60	0,16	139,50	256,6	348,1
Dic-10	3,01	4,62	10,91	0,84	133,50	155,6	143,3
Ene-11	3,10	3,08	10,91	0,51	113,00	45	56,8
Jul-11	0,60	0,98	9,23	0,34	68,50	179,3	129,8
Ago-11	1,67	1,29	10,00	0,51	75,00	45,1	31,1
Sep-11	1,67	0,84	12,00	0,29	56,60	108,4	66,2
Oct-11	1,00	0,54	6,00	0,19	38,80	97,4	104,6
Nov-11	3,23	5,22	7,74	0,12	138,50	285,7	261,8
Dic-11	2,22	2,09	6,67	0,42	94,60	217	216,3

Tabla 27. Manantiales en areniscas y calizas del Trías. Realzados en color azul los caudales máximos y en color amarillo los mínimos aforados en cada manantial.

En los manantiales controlados, dentro del menor o mayor caudal que cada uno aporta, se aprecian sustanciales diferencias entre los caudales aforados en el estiaje (septiembre y octubre) y los meses de mayor precipitación (noviembre y diciembre). Con ello, se pone de manifiesto la rápida respuesta de los manantiales (poca inercia) a la precipitación o sequía que se produce en la zona, aunque en ningún caso llegan a secarse. Esto permite interpretar que su área de influencia, desde la que reciben el agua subterránea, no tiene que ser muy reducida. En el caso del manantial b246, en calizas, lo que se

manifiesta es la circulación de tipo kárstico por la que se producen las descargas, que hace que su variación estacional también sea muy acusada.

En esta formación de areniscas triásicas de baja permeabilidad se han muestreado y analizado 5 puntos de agua dispersos por la geografía de sus afloramientos: el manantial Iturmututa (b96) del que eventualmente se abastece el pueblo de Elgorriaga; el manantial Oloki (b141), que anteriormente se utilizaba para el abastecimiento de Narbarte (Bertizarana); el manantial Auza (b157), del que se abastece Erratzu (Baztan); el manantial de la regata Artxea (b211), del que se abastece Arraioz (Baztan); y el manantial Sastra (b246) del que, de una parte de su caudal de surgencia, se abastece la población de Almandoz (Baztan). Este último surge en el plano de una fractura que pone en contacto las calizas y dolomías del Muschelkalk (f.107), con las areniscas del Buntsandstein (f.103), en las cotas altas de la zona más meridional de la cuenca del Bidasoa.

La calidad química del agua analizada en todos los puntos, salvo la del manantial de la regata Artxea (b211) en Arraioz, es apta para el consumo humano (RD 140/2003), al contener una mineralización muy baja (conductividad máxima de 125 µS/cm en el manantial b211). Presenta también, pH neutro o ligeramente ácido (entre 7 y 6,5) y facies bicarbonatada-cálcica. En el caso del agua del manantial de la regata Artxea (b211), del que se abastece Arraioz (Baztan), su pH ácido (5,98) inferior al 6,5 que indica el RD 140/2003, hace que no sea muy aconsejable para su consumo doméstico (a pesar de que en el resto de todos sus elementos físico-químicos se encuentra por debajo de los contenidos que fija la normativa).

La poca mineralización del agua en los puntos analizados en esta formación denota el carácter somero de sus circuitos de circulación y la escasa permanencia en el tiempo de su flujo subterráneo por las zonas de mayor fracturación que se genera en estos materiales.

Ofitas (rocas volcánicas)

En estas rocas de origen volcánico (f.001), que afloran en unas bandas alargadas en la dirección SO-NE por la zona suroriental y oriental de la masa de agua subterránea de los Macizos Paleozoicos Cinco Villas-Quinto Real, ocupando una extensión de 29,58 km^2, se han inventariado hasta 28 manantiales. Estos manantiales están relacionados con las zonas de mayor fracturación y diaclasación, que se encuentran en los tramos superiores de sus afloramientos. En profundidad, estos materiales están muy compactados, por lo que es difícil la circulación del agua subterránea por ellos.

Los recursos hídricos que se recogen sobre sus afloramientos son del orden de los 30,56 hm^3/año (el 3,4 % de los registrados en la masa subterránea), que ante la baja permeabilidad de los materiales volcánicos se traducen mayoritariamente en escorrentía directa hacia los cauces.

Todos los manantiales inventariados en esta formación son utilizados para el abastecimiento urbano de algunas de las poblaciones que quedan próximas, dando caudales en general inferiores a 1 l/s. Destacan, con un caudal del orden de los 2-3 l/s los manantiales Uzterte (b232) y Urdenbide (b234), que se utilizan, junto con otros tres manantiales de menor caudal, para el abastecimiento de Aniz (Baztan).

Código	Naturaleza	Municipio	Denominación/ Ubicación	UTMX	UTMY	Cota	Aprovechamiento
b232	Manantial	Baztan (Aniz)	Uzterte	615845	4773241	498	Abastecimiento Aniz
b234	Manantial	Baztan (Aniz)	Urdenbide	616276	4773639	490	Abastecimiento Aniz

Tabla 28. Principales puntos de agua en las ofitas.

Rocas volcánicas (ofitas) en Izpegi.

Acuíferos aluviales

En todos los cauces de los ríos y regatas que circulan por las cuencas de estudio se hallan depositados materiales cuaternarios de origen fluvial que, dependiendo de su extensión y potencia, pueden llegar a constituir acuíferos de cierto interés, relacionados hidrodinámicamente con la circulación del agua superficial que discurre por los cauces (extensión y potencia generalmente mayores cuanto más se ensancha el valle del río y se atenúa su desnivel topográfico).

La existencia de otros acuíferos de mayor interés en estas cuencas hace que estos acuíferos aluviales cuaternarios no tengan ninguna explotación conocida. Muchos de ellos, en los sectores en los que los depósitos aluviales se hallan recubriendo formaciones carbonatadas permeables subyacentes, suelen ser las formaciones en las que se descargan las aguas subterráneas que circulan por los acuíferos carbonatados, enmascarando la visualización directa de estas surgencias subterráneas difusas.

La recarga de los acuíferos aluviales se establece en relación directa con la circulación superficial del cauce, de tal modo que normalmente durante el periodo de crecida el acuífero aluvial se alimenta del río y en los de estiaje, se suele descargar el agua subterránea del acuífero hacia el cauce.

Masa de agua subterránea de Basaburua-Ultzama

La masa de agua subterránea de Basaburua-Ultzama (013.012), de 214,29 km^2 de superficie total entre los afloramientos que se encuentran en la cuenca hidrográfica del Cantábrico y la del Ebro, se extiende sobre unos 162,43 km^2 por el sector más meridional de la cuenca del Bidasoa, sin llegar a alcanzar la cuenca del Urumea. En esta masa de agua subterránea afloran formaciones del Mesozoico (Jurásico y Cretácico, principalmente, y del Triásico), constituyendo estructuras alargadas en la dirección O-E, y buzando, generalmente hacia el Sur.

Los materiales poseen una variada composición litológica y están afectados, en distinta forma, por procesos de karstificación, fracturación y meteorización, que afectan directamente a las características de su permeabilidad[28]. Estas características determinan su potencialidad para constituir acuífero y por tanto su capacidad de almacenar y ceder el agua subterránea. En consecuencia, aquellos acuíferos que tienen una alta permeabilidad presentan unas mejores cualidades para que sus aguas subterráneas sean explotadas.

En la masa de agua subterránea de Basaburua-Ultzama se destaca un único sistema acuífero denominado Sinclinal Jurásico-Cretácico de Basaburua-Ultzama, que está formado por tres conjuntos de acuíferos, hidrodinámicamente independientes entre sí.

A continuación se describen con detalle las características hidrogeológicas de estos acuíferos (zonas de recarga, puntos de descarga, dirección principal del flujo, límites de los acuíferos, etc.).

Sistema acuífero del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Basaburua-Ultzama

El sistema acuífero del Sinclinal del Jurásico-Cretácico del Basaburua-Ultzama ocupa una gran parte de la masa de agua subterránea de Basaburua-Ultzama en la cuenca del Bidasoa-Urumea. Incluye la agrupación de varias formaciones permeables carbonatadas mesozoicas, que en su conjunto constituye el flanco norte de una importante estructura sinclinal (orientada y alargada en la dirección OSO-ENE y buzando principalmente, hacia el Sur).

El conjunto del sistema acuífero mesozoico se halla compartimentado, por la tectónica que afectó a la zona durante el ciclo orogénico alpino, en tres acuíferos que presentan características hidrogeológicas similares por la composición de su litología carbonatada. Estos acuíferos se hallan independizados hidrodinámicamente entre sí por medio de formaciones de carácter impermeable (arcillas y areniscas del Trías) que afloran entre los conjuntos de rocas carbonatadas. Los límites impermeables entre los acuíferos han sido favorecidos (en general) por la presencia de fallas de tipo inverso, que han compartimentado el conjunto de las formaciones mesozoicas. Además, en algunos de los sectores de separación entre los acuíferos, lo que afloran son rocas de tipo volcánico (ofitas) de carácter muy poco permeable.

El sistema acuífero del Sinclinal de Jurásico-Cretácico del Basaburua-Ultzama está formado por los siguientes tres acuíferos: Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta, Sinclinal Jurásico de Irurita y Sinclinal Jurásico-Cretácico de Gaztelu-Arraioz.

El acuífero carbonatado del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta (Baztan) constituye la mayor parte este este sistema acuífero. Ocupa una extensión de 90,48 km^2, de los cuales 37,80 km^2 son afloramientos carbonatados, entre los términos municipales de Ezkurra, al Oeste, y la población de Berroeta, al Este. Se le estiman unos recursos hídricos para el año tipo medio de unos 27,13 hm^3/año.

---

[28] En este caso la permeabilidad hace referencia a la facilidad que un cuerpo rocoso ofrece a ser atravesado por el agua.

En el extremo oriental de esta estructura sinclinal, en el entorno de la regata de Artesiaga en Irurita, se halla otro afloramiento de rocas jurásicas separadas del anterior por las erupciones de rocas volcánicas (ofitas f.001) que afloran en el corredor del valle del río Marin. Esta estructura se denomina Sinclinal Jurásico de Irurita; tiene una extensión de 8,40 km^2 de afloramientos carbonatados y se le estiman unos recursos hídricos de unos 6,03 hm^3/año para el año tipo medio.

En el extremo nororiental del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta, también se observan unos afloramientos de rocas jurásicas y cretácicas. Ocupan el corredor del valle del Bidasoa entre Legasa y Arraioz, y por los contactos tectónicos que la limitan, deben estar hidrogeológica e hidrodinámicamente separados del anterior sinclinal, constituyendo lo que se ha denominado el Sinclinal Jurásico-Cretácico de Gaztelu-Arraioz. Tiene una extensión de 14,4 km^2 de afloramientos carbonatados y se le estiman unos recursos hídricos, para el año tipo medio, de unos 10,33 hm^3/año.

La conexión por el norte de la estructura sinclinal con el resto de las formaciones aflorantes —areniscas triásicas (f.103), margas del Keuper (f.109), ofitas de origen volcánico (f.001) en su mayor parte, margas y calcarenitas cretácicas (f.160), y esquistos paleozoicos (f.064), en unos reducidos puntos—, se establece frecuentemente mediante contacto tectónico. Esto hace que las calizas jurásicas (f.118) se dispongan, por lo general, encima de estas otras formaciones de carácter poco permeable y que hacen de base impermeable del sistema acuífero jurásico-cretácico.

El borde meridional del sistema acuífero se sitúa en las cotas más elevadas de la alineación montañosa que hace de divisoria hidrológica entre las cuencas del Bidasoa (cuenca del Cantábrico) y del Ebro.

Son muy frecuentes las fracturas que afectan a la estructura sinclinal de dirección OSO-ENE y paralelas a la dirección de la estratificación. Pero también se aprecian algunas otras de dirección N-S, que son las que han podido favorecer el encajamiento de los valles de las regatas que atraviesan tangencialmente, de Sur a Norte, la estructura sinclinal. Entre estas regatas se podrían destacar, desde el oeste hacia el este del sinclinal, las de Basakaiz en Ezkurra, Tantadi en Saldias, Amezti en Labaien, Ezpelura en Oitz, Txaruta en Donamaria, Zeberia en Oronoz-Mugairi (Baztan) y el río Marin en Berroeta (Baztan).

Hacia estas regatas se orienta la escorrentía superficial que se genera en los afloramientos del sinclinal, así como la escorrentía subterránea que se descarga de modo puntual por manantiales o, difusamente por los valles más encajados de la zona (que discurren a menor cota topográfica con respecto al resto de la estructura sinclinal).

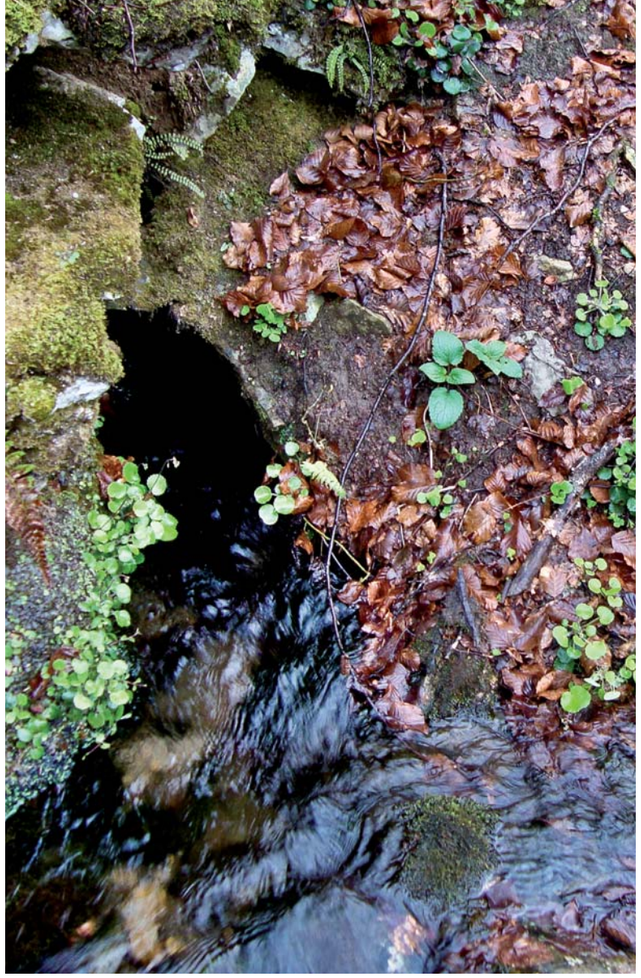
A continuación se describen con más detalle las características de cada uno de los acuíferos que conforman este sistema.

Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta
Geología y características geométricas

El acuífero carbonatado del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta (Baztan) ocupa una extensión de 90,48 km^2, a lo largo de una banda de 23,42 km de longitud y anchura variable (5.9 y 15.3 km), entre los términos municipales de Ezkurra, al Oeste, y la población de Berroeta (Baztan), al Este.

En el Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta, de acuerdo con el buzamiento hacia el Sur que presentan las formaciones mesozoicas de muro a techo, se pueden diferenciar los siguientes materiales:

- Calizas, brechas y dolomías del Jurásico inferior-Triásico superior (f.113), con una potencia muy variable según los sectores, entre los 50 y 400 m. Constituyen el acuífero basal del sinclinal en el que se han localizado importantes surgencias de agua subterránea, entre otras, el manantial de Leza (b128) en Urrotz. Estas surgencias están localizadas en las cotas topográficamente más bajas de los valles de las regatas que atraviesan esta formación.



A la izquierda detalle del manantial Anizpe (b127), en la margen derecha de la regata. A la derecha vista general de la regata Anizpe (Urrotz).

- Margas y calizas margosas del Jurásico inferior (Lías) (f.114) que afloran con poca potencia (10-50 m según los puntos), concordantemente con la anterior formación, y constituyen el tramo de baja permeabilidad de la serie jurásica.
- Calizas, margas y calizas margosas del Jurásico medio (Dogger) (f.115), de potencia menor (variable entre los 70 y 200 m), concordante con la anterior formación y caracterizada por una baja permeabilidad.
- Calizas arenosas tableadas del Jurásico superior (Malm) (f.116 y 118), también concordante con la anterior formación y con una potencia máxima de 200 m. Esta formación presenta una elevada permeabilidad, por fisuración y karstificación. Se han reconocido algunos manantiales en esta formación, presentando un mayor caudal los ubicados a cota topográfica más baja, en los valles de las regatas que la atraviesan. Es el caso del manantial de Errotaburu (b272), localizado en el valle de la regata de Ezpelura.
- Arcillas (f.128) y margas (f.134) del Cretácico inferior, de naturaleza muy poco permeable y reducida potencia en muchos sectores, que separan el techo del Jurásico permeable de las calizas del Cretácico, también permeables.
- Calizas arrecifales (f.133) principalmente y mármoles (f.138) en algunos sectores, con potencia total máxima estimada entre 100 a 300 m, del Cretácico inferior. Presentan una permeabilidad de tipo medio-alto, por fisuración y karstificación, habiéndose inventariado algún punto de agua en estas

formaciones; entre otras, la importante surgencia de agua que se produce en la base de la formación de las calizas arrecifales (f.133) en el valle del río Marin, por el manantial que abastece el canal del antiguo molino de Xubiondo (b243).

- Coronando la serie y la estructura sinclinal se encuentra una formación de margas, calizas margosas y arenas (f.140) del Cretácico superior, con potencia que puede alcanzar en algunos sectores los 300 m. Es de carácter poco permeable en su conjunto, aunque localmente se encuentren niveles permeables, que dan origen a los manantiales que se han reconocido e inventariado en esta formación. Entre otros, los de Tantadi (b135), Izturra (b124), Arrikateio (b125), e Iturria Trosketa (b114), pertenecientes a la red de hidrometría establecida en el acuífero en el proyecto BIDUR.

En las siguientes fotografías se ilustra el aspecto litológico que presentan los materiales jurásicos y cretácicos que afloran en el corte geológico descrito y realizado en el trazado por el que discurre la carretera de Saldias a Orokieta, que atraviesa la estructura sinclinal en dirección N-S (en la vertiente del Ebro).

Calizas y dolomías del Jurásico inferior (f.113).

Calizas del Jurásico medio (f.116).

Calizas del Cretácico inferior (f.113).

Margas y arcillas del Cretácico inferior (f.134).

Manantial en el prado de Errotazar (b113), en Donamaria.

Descripción hidrogeológica

• Permeabilidades •

De las formaciones jurásicas y cretácicas referenciadas en el anterior epígrafe, algunas presentan un gran interés hidrogeológico por su carácter muy permeable: las calizas, brechas y dolomías del Jurásico inferior (f.113), las calizas arenosas del Jurásico superior (Malm) (f.116 y 118) y las calizas arrecifales (f.133) del Cretácico inferior. Además de estas formaciones permeables se encuentran otras de carácter más margoso (f.114, f.115, f.128, f.134 y f.140), y de menor permeabilidad, que pueden ocasionar una cierta separación hidrogeológica entre los tramos acuíferos más permeables.

No obstante, dada la reducida potencia que suelen presentar los tramos margosos y la tectónica de fallas que los afecta, es factible la hipótesis de considerar a todo el conjunto carbonatado como un solo acuífero, de permeabilidad media-alta, a efectos de determinar la recarga y descarga conjunta que se produce del mismo.

• Principales puntos de agua •

En el acuífero del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta se han inventariado una treintena de manantiales distribuidos por las distintas formaciones permeables. Destacan, por su caudal de surgencia, los manantiales del prado de Errotazar (b113), Leza (b128) (con unos 233 l/s de caudal medio anual), Agorteneko borda (b271) y Errotaburu (b272), que se ubican en las calizas del Jurásico inferior;

También, el manantial de Goraba o Irauntza (b129) y otros dos situados en las inmediaciones del antiguo molino de Xubiondo (b241 y b242) en el Jurásico medio-superior así como los manantiales de Trosketa (b108), Anizpe (b127), Tantadi (b135) y el que abastece al canal del antiguo molino de Xubiondo (b243) (con 311 l/s de caudal medio anual), en las calizas arrecifales del Cretácico.

A continuación se describen los principales puntos de agua inventariados en el Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta.

Código	Naturaleza	Denominación/ Toponimia	Municipio	Cota (m.s.n.m.)	Caudal (l/s)	Fecha	Acuí-fero	Uso
b108	Manantial	Trosketa	Donamaria	458,03	6,84	3-3-10	Ci	Abastecimiento Donamaria
b111	Manantial	Errotazar	Donamaria	189,00	-	-	Ji	Abastecimiento caseríos Santesteban. Hasta sept. 2009 abastecimiento Santesteban
b113	Manantial	Prado de Errotazar, por detrás del Convento	Donamaria	304,60	52,60	30-4-10	Ji	Sin uso. Descarga a la regata Txaruta
b114	Manantial	Iturria Trosketa	Oitz	554,14	9,75	10-3-10	Ci	Abastecimiento Oitz
b115	Manantial	Miatxolota	Oitz	353,00	8,00	10-3-10	Ci	Abastecimiento caserios Oitz
b116	Manantial	Txokoko Iturria	Oitz	232,00	4,60	10-3-10	Ji	Antiguo abastecimiento Oitz
b124	Manantial	Izturra	Urrotz	722,00	5,70	4-3-10	Ci	Abastecimiento Urrotz
b125	Manantial	Arrikateio	Urrotz	591,00	9,20	9-3-10	Ci	Abastecimiento Urrotz
b127	Manantial	Anizpe	Urrotz	574,70	26,80	10-3-10	Ci	Sin uso
b128	Manantial	Leza	Urrotz	345,00	571,80	4-5-10	Ji	Central Hidroeléctrica de Oitz
b129	Manantial	Goraba o Irauntza	Labaien	446,00	15,87	26-2-10	Jm	Abastecimiento barrio Labaien
b135	Manantial	Tantadi	Saldias	668,60	18,00	25-1-11	Ci	Abastecimiento Saldias y Eratsun
b241	Manantial	Frente a Molino, por debajo de la N-121	Baztan	253,7	27,90	7-4-10	Js	Sin uso
b242	Manantial	Aguas arriba del b241, a unos 30 m	Baztan	250	16,00	15-6-10	Js	Sin uso
b243	Manantial	Canal del Molino de Xubiondo	Baztan	309,70	334,50	1-5-10	Ci	Sin uso. Antiguo abastecimiento del molino de Xubiondo (Berroeta)
b271	Manantial	Junto al caserío Agorteneko borda	Oitz	205	35,00	17-9-10	Ji	Abastecimiento a un caserío
b272	Manantial	Regata Ezpelura (Errotaburu)	Oitz	195	14,10	17-9-10	Ji	Sin uso
b275	Manantial	Beheko Iturri	Saldias	528	1,16	13-12-2010	Ji	Antiguo abastecimiento del lavadero; actual abastecimiento de varias viviendas
SB-4	Sondeo preexplotación	Regata Txaruta	Donamaria	204,40	3 a 5,5	25-12-11	Ji	Piezómetro de 150 m de profundidad

Punto de red de control hidrométrico en el proyecto BIDUR Destacan manantiales de mayor caudal

Ji: Calizas y dolomías Jurásico inferior. **Jm**: Calizas y margas del Jurásico medio. **Js**: Calizas arenosas del Jurásico superior

Ci: Calizas arrecifales del Cretácico inferior. **Cs**: Margas y areniscas del Cretácico superior.

Tabla 29. Principales puntos de agua del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta.

En el acuífero del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta existe un piezómetro situado en Donamaria, en el valle de la regata de Txaruta, que ha sido perforado con el proyecto BIDUR. El sondeo de reconocimiento (SB-4), de 150 m de profundidad, está ubicado geológicamente en la formación de calizas y dolomías del Jurásico inferior (Trías sup.-Sinemuriense medio) (f.113); perforó 16 m de materiales aluviales del relleno de la regata, y el resto, 136 m, en la formación carbonatada. El comportamiento hidrogeológico de las calizas-dolomías ha sido en este punto, de muy masivo y compacto, con síntomas de baja permeabilidad. No se ha apreciado el paso de ningún nivel karstificado dentro de esta formación.

Balance hídrico

La recarga del sistema acuífero del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta se establece por la infiltración directa del agua de precipitación que se estima (considerando los 90,48 km^2 de extensión) en unos 64,65 hm^3/año, para un año de tipo medio (suponiendo que se infiltra el 69,30 % de la lluvia útil estimada, según el balance hidrometeorológico efectuado). Dado que la extensión exclusiva de afloramientos carbonatados es algo más reducida (unos 37,8 km^2), la recarga efectiva pudiera ser algo menor; unos 27,13 hm^3/año si se aplica el mismo porcentaje de infiltración de la lluvia útil, o 29,35 hm^3/año, si se aplica un porcentaje de infiltración mayor (del 75 %, que se considera razonable al ser los afloramientos calizos bastante más permeables en su superficie).

Las salidas de este acuífero carbonatado, con circulación subterránea de origen kárstico, favorecen la concentración de las surgencias en determinados puntos y una rápida descarga. Las mayores descargas se establecen en los valles de las regatas y ríos que atraviesan las formaciones carbonatadas, en los puntos de cota más bajos con respecto al resto del afloramiento. Esta circunstancia se comprueba ante el hecho demostrado de que las principales surgencias del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta se producen hacia la mitad oriental del mismo y por su borde nororiental, que sería por donde se hallan las cotas topográficas más bajas con respecto al conjunto de la estructura sinclinal.

A partir de los datos disponibles de la treintena de manantiales inventariados se estima un volumen anual medio de descargas puntuales de este acuífero de unos 662 l/s, equivalentes a 20,87 hm^3/año. Aunque esta descarga sea representativa de la mayor parte de los manantiales existentes en la zona, existen otros manantiales menores que no se han considerado, por lo que la cifra de descargas anuales evaluadas debería considerarse como un valor mínimo del total de las salidas puntuales producidas del sistema carbonatado del sinclinal.

Además de estas descargas puntuales, focalizadas en los manantiales, se producen otras descargas de tipo difuso, hacia los cauces de las regatas que se encajan en los afloramientos carbonatados. Esto ocurre sobre todo en los sectores del valle en los que las cotas descienden más, coincidiendo normalmente con los tramos más inferiores de las series carbonatadas; que en unos casos son las calizas-dolomías del Jurásico (en las regatas de Basakaiz, Tantadi, Amezti, Ezpelura, Txaruta, Zeberia) y en otros, las calizas arrecifales del Cretácico (en el río Marin).

A partir de aforos diferenciales realizados en las regatas Ezpelura, Txaruta y río Marin se obtienen unos volúmenes de descargas[29] representativos de una aportación media del Sinclinal Jurásico-Cretácico de 308 l/s, que equivale a unos 9,7 hm^3/año de descargas difusas a través de los cauces aforados.

[29] En el proyecto BIDUR, se realizaron varios aforos diferenciales en las regatas de Ezpelura, Txaruta y río Marin valorando la descarga del acuífero a los cauces en: 233 l/s (57,6 l/s Ezpelura, 41,5 l/s Txaruta, 134 l/s Marin) y 308 l/s (65,8 l/s Ezpelura, 75,5 l/s Txaruta, 167,4 l/s Marin). El primer caudal fue aforado en septiembre de 2011 y se considera representativo del estiaje, mientras que el segundo valor, de noviembre de 2011, se considera como representativo de la aportación media anual.

Litología	Calizas y dolomias del Jurásico y calizas del Cretácico sup.
Extensión (km^2)	37,8 de afloramientos carbonatados
Potencia (m)	400-800
Precipitación (mm/año)	1691,62
Lluvia útil (l/m^2)	1035,54
Infiltración (% de LLU)	75 %
Recursos medios (hm^3/año)	29,35
Descargas (hm^3/año) (manantiales y difusas a cauces Ezpelura, Txaruta y Marin)	30,57

Tabla 30. Balance hídrico del acuífero del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta.

Para contabilizar las descargas totales del sistema acuífero hay que añadir a las descargas difusas (9,7 hm^3/año), las descargas puntuales (20,87 hm^3/año), por lo que el cómputo total de las salidas subterráneas se podría estimar en un máximo de unos 30,57 hm^3/año.

Al estar este sistema acuífero hidrodinámicamente funcionando en régimen natural, las descargas deben ser similares a las recargas producidas, por lo que si se comparan las cifras de ambos términos (valoradas con distintos procedimientos), se aprecia una cierta similitud entre las mismas. Esto hace suponer que no deben encontrarse muy alejadas de la realidad.

Piezometría

Teniendo en cuenta tanto la estructura hidrogeológica de los afloramientos y las cotas topográficas de los mismos, como la ubicación de los manantiales inventariados y del sondeo SB-4, se han estimado unas direcciones razonables del flujo subterráneo (se representan en el mapa del sistema acuífero). La recarga del agua subterránea se produce por las cotas más elevadas de los afloramientos, para organizarse y orientarse en su circulación subterránea: hacia el N, en el sector occidental y central del sistema acuífero, y hacia el ENE, en el sector oriental. En este último, buscando para su descarga las cotas más bajas de la estructura sinclinal, que son los valles de las regatas que lo cruzan.

Parámetros hidráulicos

Solo se dispone de los datos valorados de la transmisividad del acuífero carbonatado jurásico obtenidos con el ensayo de bombeo realizado en el sondeo SB-4, en Donamaria. Tras un desarrollo previo, y aplicando los diferentes métodos de interpretación de los gráficos descenso-tiempo, se obtiene una transmisividad de 7,2 m^2/día.

Esta transmisividad tan baja del acuífero jurásico, perforado en el sondeo SB-4, contrasta con el funcionamiento de circulación karstificada que en el mismo acuífero corresponde al manantial ubicado a cota topográfica más baja de la que se sitúa el sondeo, en el prado de Errotazar (b113) (a una distancia de unos 700 m al norte del sondeo SB-4). Esta circunstancia pone de manifiesto la gran heterogeneidad que suelen presentar los acuíferos carbonatados; dependiendo de su grado de karstificación (con una distribución muy irregular y anisótropa), la permeabilidad de la formación varía sustancialmente de unos puntos a otros.

Evolución estacional del sistema acuífero

En la Tabla 31 se muestra, para los manantiales más importantes del acuífero, la evolución mensual de su caudal durante 14 meses. Esta información se relaciona con la precipitación registrada sobre la estructura sinclinal, durante el mismo periodo de tiempo, en las estaciones pluviométricas 9259U Belate (Venta de Ultzama) y 1032V Leitza (Luis Emborda), situadas en las cotas topográficas más elevadas del ámbito hidrogeológico del sistema acuífero.

Meses control	Caudal de manantiales (l/s)												Precipitación	
	b108	b111	b114	b124	b125	b127	b128	b129	b135	b241	b243	Total mes	Belate 9259U	Leitza 1032V
Feb-may 10	6,84	52,6	9,75	5,7	9,2	26,8	571,8	15,87		27,9		726,46	93,3	123,2
Jun-10	20,89	52,60	6,32	3,64	7,06	26,80	170,50	8,00	13,49	27,90	334,50	671,69	126,9	236,4
Jul-10	20,89	40,00	6,00	2,73	6,32	7,30	135,00	6,42	12,75	9,90	215,00	462,30	54,4	43,9
Ago-10	15,63	27,00	4,14	1,92	4,49	20,30	72,50	3,33	7,99	2,00	248,00	407,31	53,2	70,9
Sep-10	11,31	13,60	2,03	1,26	2,77	5,40	63,50	2,50	10,91	0,00	186,50	299,79	73,1	87,3
Oct-10	10,38	13,70	2,69	0,98	2,25	12,30	61,20	5,08	6,80	0,00	247,00	362,38	117,3	168,4
Nov-10	16,57	16,20	3,00	1,33	6,67	46,80	337,50	12,00	21,18	27,40	496,50	985,15	348,1	381,2
Dic-10	20,00	60,70	6,32	5,22	10,91	55,80	329,00	11,82	16,13	27,60	356,50	899,99	143,3	175,4
Ene-11	20,00	63,70	6,00	4,27	7,50	44,00	358,00	6,67	18,00	29,20	380,50	937,84	56,8	75,2
Jul-11	21,2	23,6	5,6	1,9	3,6	18,40	125,50	2,93	8,39	0,0	362,00	573,14	129,8	239,6
Agos-11	18,5	24,5	2,6	2,1	5,7	29,8	200,50	4,72	6,00	27,6	311,50	633,49	31,1	28
Sep-11	12,6	17,4	2,9	1,7	3,9	20,7	106,50	2,12	7,21	0,0	311,50	486,51	66,2	133
Oct-11	12,1	15,2	2,9	1,6	3,2	18,4	70,50	2,06	6,25	0,0	201,50	333,65	104,6	118,5
Nov-11	20,6	53,4	7,5	5,3	13,3	43,0	112,50	3,79	7,40	22,3	314,50	603,63	261,8	373,8
Dic-11	22,0	34,0	4,0	3,0	7,5	34,9	229,50	64,00		28,1	271,50	698,49	216,3	347,6

Tabla 31. Red de Manantiales del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta. Realzados en color azul los caudales máximos, y en color amarillo, los mínimos aforados en cada manantial.

En todos los manantiales, dentro del rango de caudal que cada uno aporta, se aprecian notables diferencias entre los aforados en el estiaje (septiembre y octubre) como respuesta a los meses de menor precipitación (de julio a septiembre), y los mayores caudales aforados (de noviembre a enero), asociados a los meses de mayor precipitación. Dos de los manantiales, los situados en las inmediaciones del antiguo molino de Xubiondo (b241 y b242), llegan a secarse en los meses de estiaje. La respuesta del caudal de surgencia frente a los episodios pluviométricos suele ser rápida, lo que denota el carácter de circulación subterránea por conductos karstificados de alta permeabilidad dentro de la formación caliza.

Los manantiales de mayor caudal son el de Leza (b128), situado en Urrotz, en la base de las calizas-dolomías del Jurásico inferior, y el manantial que abastece al canal del molino Xubiondo (b243), ubicado en la base de las calizas cretácicas, en el valle del río Marin.

Manantial Leza (b128) en Urrotz, mayo de 2010.

Manantial del molino Xubiondo (b243) en el valle del río Marin, noviembre de 2011.

Los aforos realizados en el manantial de Leza (b128) muestran una gran variabilidad producida por la rápida respuesta del acuífero a los momentos de lluvia[30]. Esto pone de manifiesto el importante sistema kárstico por el que se drena (en este punto) el acuífero de las calizas del Jurásico inferior, en el contacto de estas con las areniscas triásicas de su base impermeable.

A estos dos manantiales le siguen, en cuanto a un caudal mayor de surgencia aforado, los manantiales del prado de Errotazar (b113) y el de Anizpe (b127).

El manantial del prado de Errotazar (b113), situado en la regata de Txaruta (Donamaria), es la mayor descarga que se produce en esta zona del acuífero calizo del Jurásico inferior. Mientras que el manantial de Anizpe (b127) es la descarga muy afectada estacionalmente, de un tramo carbonatado superior del Cretácico, que posiblemente se encuentre en contacto y alimentado en profundidad por un paquete de calizas del Jurásico que se hallan aflorando al Oeste, a cota topográfica más elevada que el punto de descarga. En este afloramiento jurásico se ubican los embalses de Leurtza, a través de los cuales es probable que se incremente la infiltración subterránea en las calizas.

Manantial del prado de Errotazar (b113) en Donamaria.

En general, se puede comprobar que las surgencias de mayor caudal se suelen localizar en los sectores topográficos más bajos de los afloramientos, en los valles de las regatas. Sería el caso ya comentado de los manantiales de Leza (b128) y canal del molino Xubiondo (b243). Sin embargo, los manantiales b241 y b242, ambos ubicados en el valle de la regata del río Marin (frente al antiguo molino de Xubiondo) llegan a secarse a pesar de ser la cota topográfica más baja de las surgencias de todos los manantiales inventariados en este sistema acuífero. La razón de ello puede estar en que su área concreta de recarga y alimentación sea más reducida, probablemente desde el afloramiento de las calizas arenosas jurásicas (f.118) que se hallan en la margen derecha del río y, por consiguiente, más vulnerable a los periodos secos del estiaje.

[30] El 6 de mayo de 2010, dos días después del aforo realizado en el proyecto BIDUR en el que se aforaron 571 l/s en el manantial de Leza (b128) y tras las fuertes precipitaciones producidas en la zona, el caudal del manantial superó los 1.000 l/s. El canal de la central hidroeléctrica que habitualmente recoge todo su caudal no era capaz de derivar toda el agua, por lo que se desbordó hacia la regata Iturrioz, afluente de la regata Amezti, y esta de la regata Ezpelura.

Hidroquímica. Calidad

En el acuífero del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta se ha analizado la calidad química del agua subterránea en 8 puntos: el manantial del prado de Errotazar (b113), el de Anizpe (b127), el de Leza (b128), el situado frente al antiguo molino de Xubiondo (b241), el que antiguamente abastecía el molino de Xubiondo (b243), el de Agorteneko borda (b271), el de Beheko Iturri (b275) y el sondeo de reconocimiento SB-4.

La calidad química de todos los puntos analizados es apta para el consumo humano, de acuerdo al RD 140/ 2003, al contener una baja mineralización, variable entre los 174 µS/cm de conductividad eléctrica del manantial situado frente al antiguo molino de Xubiondo (b241), y los 470 µS/cm del manantial de Agorteneko borda (b271). En todas las aguas analizadas predominan los contenidos de bicarbonatos y calcio (aguas de facies bicarbonatada-cálcica), y solamente en el caso del manantial de Agorteneko borda (b271) se aprecia un contenido medio de nitratos (24 mg/l) que se debe a la contaminación producida por el abonado orgánico del prado situado por encima del punto de surgencia, en la terraza fluvial de la regata de Ezpelura. En el sondeo SB-4 las aguas —debido a su carácter más profundo— están más mineralizadas (540 µS/cm), pero su calidad también es buena para el consumo doméstico.

Sinclinal Jurásico de Irurita

Geología y características geométricas

El Sinclinal Jurásico de Irurita se sitúa en el extremo oriental del sistema acuífero del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Basaburua-Ultzama, al este del acuífero del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta y separado geológicamente de este por la erupción de rocas volcánicas, ofitas (f.001), que afloran en el corredor del valle del río Marin. Este conjunto de rocas jurásicas afloran en el entorno de la regata de Artesiaga, en Irurita (Baztan), y constituyen una estructura sinclinal de interés hidrogeológico incluida dentro de los límites de la masa de agua subterránea de Basaburua-Ultzama.

El afloramiento de rocas jurásicas del Sinclinal Jurásico de Irurita se dispone en una estructura de forma rectangular orientada en la dirección O-E, de unos 4,2 km de longitud y 2,3 km de ancho, ocupando una extensión superficial de 8,4 km^2.

La mayor parte de la superficie del sinclinal está ocupada por las calizas-dolomías del Jurásico inferior (f.113), y solo hacia la zona central del mismo se observan unos afloramientos menores de las margas y calizas margosas (f.114) y de las calizas del Jurásico superior (f.118), todas ellas litologías de carácter más o menos permeable.

El contacto de las calizas-dolomías del Jurásico inferior (f.113) con la base subyacente, de baja permeabilidad, de las areniscas del Buntsandstein (f.103) se observa al sur y este de la estructura sinclinal mediante contacto de tipo tectónico; mientras que al norte del sinclinal, la formación que predominantemente aflora debajo de esta estructura son las margas y arcillas con yesos del Keuper (f.109). Su flanco oeste está limitado por las ofitas volcánicas que lo aíslan de la estructura acuífera del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta.

Descripción hidrogeológica

• Permeabilidades •

Las calizas-dolomías del Jurásico inferior (f.113), las margas y calizas margosas (f.114) y las calizas del Jurásico superior (f.118), presentan un carácter permeable que hace de esta estructura un buen acuífero.

Principales puntos de agua

A continuación se describen los principales puntos de agua situados en el acuífero:

Código	Naturaleza	Municipio	Ubicación Toponímia	UTMX	UTMY	Cota (m)	Profundidad (m)	Aprovechamiento	
								Actual	Futuro
b270	Manantial	Baztan (Irurita)	Regata de Artesiaga	618082	4775998	200	-	Sin uso	
SB-5	Sondeo preexplotación	Baztan (Irurita)	PK 2 de la carretera comarcal NA-174, de Irurita a Eugi	618708	4774815	223	101	Piezómetro	Abastecimiento Irurita, Ziga, Lekaroz y Arraioz

Tabla 32. Principales puntos de agua inventariados en el acuífero Sinclinal Jurásico de Irurita.

Solo se reconoce un importante manantial en estos materiales permeables: el b270, que surge directamente al cauce de la regata de Artesiaga (en esta zona llamada también río Ibur), en el punto de contacto entre las calizas jurásicas y el Trías subyacente. Su caudal de salida en época de estiaje[31] es de unos 90 l/s.

En este acuífero se ubica el sondeo de reconocimiento SB-5, en Irurita (Baztan) en el valle de la regata Artesiaga, que ha sido perforado a rotopercusión en el proyecto BIDUR. Tiene 101 m de profundidad y geológicamente está ubicado en la formación de calizas y dolomías del Jurásico inferior (f.113). El sondeo atravesó 15 m de materiales aluviales del relleno de la regata, 47 m en la formación carbonatada y 39 m en las areniscas triásicas (f.103) de la base del sinclinal. El aspecto hidrogeológico de las calizas-dolomías en este punto fue muy masivo y compacto habiéndose perforado solamente, en el metro 48 de profundidad, un nivel más karstificado que es el que aporta la mayor parte del agua a la captación.

A pesar de esta heterogeneidad, el funcionamiento hidrogeológico del acuífero jurásico perforado en el sondeo, una vez desarrollado el mismo, ha sido el correspondiente al de un acuífero de alta permeabilidad. Aspecto contrastado también, por la circulación kárstica del mismo acuífero, que se aprecia en el manantial b270 ubicado en el borde del afloramiento carbonatado a la cota de unos 200 m s.n.m., y a unos 2.600 m por debajo del emplazamiento del sondeo SB-5.

Litología	Calizas y dolomias del Jurásico
Extensión (km^2)	8,4
Potencia (m)	60-200
Precipitación (mm/año)	1691,62
Lluvia útil (l/m^2)	1035,54
Infiltración (% de LLU)	69,30 %
Recursos medios (hm^3/año)	6,03
Descargas (hm^3/año) (manantial b270 y difusas a la regata de Artesiaga)	5,74

Tabla 33. Balance hídrico del acuífero del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Irurita.

Balance hídrico

La recarga del sistema acuífero del Sinclinal Jurásico de Irurita se establece por la infiltración directa del agua de precipitación. Considerando los 8,40 km^2 de extensión, se estima en unos 6,03 hm^3/año para un año de tipo medio, equivalentes a un caudal continuo de descargas del orden de los 191 l/s (suponiendo que se infiltra el 69,30 % de la lluvia útil estimada, según el balance hidrometeorológico efectuado).

Los afloramientos carbonatados son atravesados tangencialmente por la regata de Artesiaga que funciona como colector de las aguas subterráneas que, de modo difuso, se descargan del acuífero calizo. Los aforos diferenciales realizados en la regata Artesiaga permiten evaluar las salidas subterráneas difusas, que desde los materiales calizos jurásicos y a través del aluvial, se están produciendo al cauce de la regata de Artesiaga (se estiman en unos 182 l/s de descargas medias[32] anuales).

Dado el régimen natural en el que se halla el sistema hidrodinámico del acuífero sinclinal, las descargas subterráneas deben ser del mismo orden de magnitud que las recargas evaluadas. Además se deben producir hacia el curso de la regata de Artesiaga, que circula por las cotas topográficas más bajas del afloramiento. De hecho, ambas estimaciones de descarga (5,74 hm^3/año) y de recarga (6,03 hm^3/año), realizadas con distintos procedimientos, son muy similares.

Piezometría

Teniendo en cuenta la estructura hidrogeológica de los afloramientos, las cotas topográficas de los mismos, la trayectoria de la regata de Artesiaga al cruzar la estructura sinclinal, el nivel en el piezométro SB-5 y la ubicación topográfica del manantial b270, se estiman unas direcciones razonables del flujo subterráneo del agua. La recarga del agua subterránea se produce por las cotas más elevadas de los afloramientos, para organizarse y orientarse en su circulación subterránea preferentemente hacia el Norte, para desembocar en el cauce de la regata.

Parámetros hidráulicos

Solo se ha podido disponer de los datos valorados de la transmisividad (T) del acuífero carbonatado jurásico a través de los ensayos de bombeo realizados en el sondeo SB-5. En este sondeo se han efectuado dos ensayos de bombeo, separados por un episodio de desarrollo con aire a presión (100 horas). La comparación de los datos de transmisividad (T) de las gráficas de descenso-tiempo elaboradas, demuestra que el sondeo ha sido mejorado considerablemente en sus condiciones

Embalses de Leurtza (Urrotz y Labaien).

[31] El manantial b270 fue aforado en 93,70 l/s en septiembre de 2010, cuando la regata Ibiur (Artesiaga) en este tramo estaba seca.

[32] De los aforos realizados en la regata Artesiaga durante el proyecto BIDUR se considera que el caudal de 92 l/s y 82 l/s (aforados en septiembre de 2010 y en septiembre de 2011, respectivamente) es el correspondiente al estiaje, y que el de 282 l/s (aforado en noviembre de 2011, después de unas recientes lluvias) podría corresponder al de aguas altas. Por lo que se estiman unos volúmenes de descargas medios anuales de unos 182 l/s, representativos de las aportaciones subterráneas. En las descargas aforadas se incluye el volumen de agua que aporta, al tramo aforado, el manantial situado en la propia regata de Artesiaga (b270).

hidrodinámicas, al haberse desarrollado y limpiado los conductos kársticos de las calizas jurásicas atravesados por la perforación.

De la interpretación de la gráfica semilogarítmica de descenso-tiempo obtenida del segundo ensayo de bombeo, se ha determinado un valor de transmisividad del acuífero jurásico de 89 m^2/hora, equivalente a 2.136 m^2/día. Esto corresponde a una permeabilidad de grado alto, de unos 1,8-10^{-4} m/s, para un espesor saturado medio perforado por el sondeo de 47 m.

Singularidades hidrológicas de la regata Artesiaga

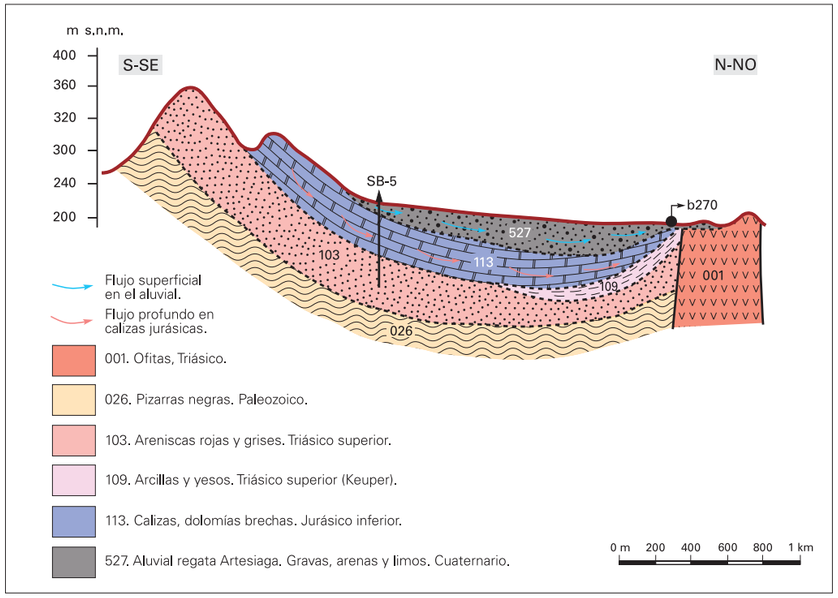
El tramo bajo de la regata Artesiaga, comprendido entre el punto en el que se encuentra el sondeo SB-5 y la surgencia del manantial b270 (a unos 1.350 m aguas abajo del sondeo), es frecuente que se seque en estiaje como consecuencia del funcionamiento hidrogeológico del sistema. El agua superficial circulante por la regata va disminuyendo su caudal poco a poco, hasta secarse el cauce en ciertos momentos.

Esto es debido a que el agua de la regata se va infiltrando en la terraza aluvial, cuaternaria, que se extiende en su mayor superficie en el sector bajo de la misma. El agua vuelve a surgir aguas abajo, en el propio cauce aluvial, posiblemente como consecuencia de un estrechamiento y cierre de la terraza aluvial depositada en este sector bajo de la cuenca (sobre materiales impermeables del Keuper, f.109). La recuperación progresiva del caudal de agua infiltrada anteriormente en el cauce de la regata ocurre en el mismo sector en que surge el manantial b270, proveniente de las calizas jurásicas. En las figuras siguientes se muestran las fotos tomadas el día 15 de septiembre de 2010, aguas arriba y abajo de la salida del manantial, donde pueden verse estos episodios del cauce de la regata de Artesiaga.

Regata de Artesiaga prácticamente seca en la zona en que se infiltra, a la altura del sondeo SB-5.

Aportaciones a la regata desde el manantial b270 (en calizas) y de la descarga difusa del acuífero aluvial.

Regata de Artesiaga en el punto bajo del tramo aforado, con caudal 135 l/s (15-9-2010), aguas abajo de las descargas del manantial b270 y del acuífero aluvial.



Esquema del funcionamiento hidrogeológico de la regata Artesiaga.

Hidroquímica. Calidad

En el acuífero del Sinclinal Jurásico de Irurita se ha analizado la calidad química del agua subterránea del sondeo de reconocimiento SB-5 y resulta apta para el consumo humano (de acuerdo al RD 140/ 2003), al tener una mineralización baja (329 µS/cm de conductividad eléctrica), de facies bicarbonatada-cálcica y pH alcalino (7,81). Aunque al inicio del ensayo de bombeo efectuado en el sondeo, el agua salía turbia y presentaba una conductividad mayor (564 µS/cm) debido a la presencia de abundante arcilla en los conductos de karstificación de las calizas, después del desarrollo del mismo y de un tiempo prolongado de la extracción del agua, esta quedaba limpia y con menor conductividad; por tanto, útil para su consumo doméstico.

Sinclinal Jurásico-Cretácico de Gaztelu-Arraioz

Geología y características geométricas

En el extremo nororiental de la estructura Sinclinal Jurásica-Cretácica de Ezkurra-Berroeta se hallan unos afloramientos de rocas jurásicas y cretácicas, que ocupan el corredor del valle del Bidasoa, entre Gaztelu-Arregi (Bertizarana) y Arraioz (Baztan). La naturaleza litológica de estas formaciones es exactamente igual a la existente en el acuífero Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta.

Los afloramientos jurásicos-cretácicos del corredor del Bidasoa se disponen en una estructura sinclinal, orientada en la dirección O-E, de unos 18,3 km de longitud y por 2,8 km de ancho. El contacto de las calizas-dolomías del Jurásico inferior (f.113) con la base de baja permeabilidad de las areniscas del Buntsandstein (Trías inferior) de la f.103 se produce por la zona en la que se encaja el cauce del Bidasoa, quedando el contacto encubierto por los depósitos cuaternarios del aluvial del río. Solo en el tramo comprendido entre Arraioz y Oronoz-Mugairi, el río circula sobre los términos carbonatados del jurásico, que constituyen el flanco norte de la estructura sinclinal.

Los términos más antiguos del Jurásico afloran al norte del sinclinal, mientras que hacia el Sur, se van hallando los términos más recientes, del final del Cretácico.

La relación geológica existente entre la estructura sinclinal que aquí se describe y la correspondiente al Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta descrita anteriormente, viene marcada por una serie de fallas (algunas de carácter inverso) que hacen levantar el zócalo triásico (f.103) del acuífero carbonatado y que también favorecen la erupción de las rocas volcánicas (ofitas, f.001), durante el Trías. Estas dos circunstancias geológicas hacen que desde el punto de vista hidrogeológico las dos estructuras acuíferas, que constituyen las rocas carbonatadas de los dos sinclinales, queden hidrodinámicamente separadas entre sí.

Por el sector más oriental del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Gaztelu-Arraioz, y limitando su flanco sur, afloran las ofitas volcánicas (f.001) que hacen de cierre impermeable por este sector del acuífero carbonatado.

Descripción hidrogeológica

• Permeabilidades •

De las formaciones jurásicas y cretácicas descritas, por su carácter permeable, presentan un interés hidrogeológico las siguientes: las calizas, brechas y dolomías del Jurásico inferior (f.113), las calizas arenosas del Jurásico superior (Malm) (f.118) y las calizas arrecifales (f.133) del Cretácico inferior. Separando a estas formaciones permeables se encuentran otras de carácter más margoso (f.114 y f.134) y de menor permeabilidad, que pueden ocasionar una cierta separación hidrogeológica entre los tramos acuíferos más permeables.

Principales puntos de agua

A continuación se describen los principales puntos de agua situados en el acuífero:

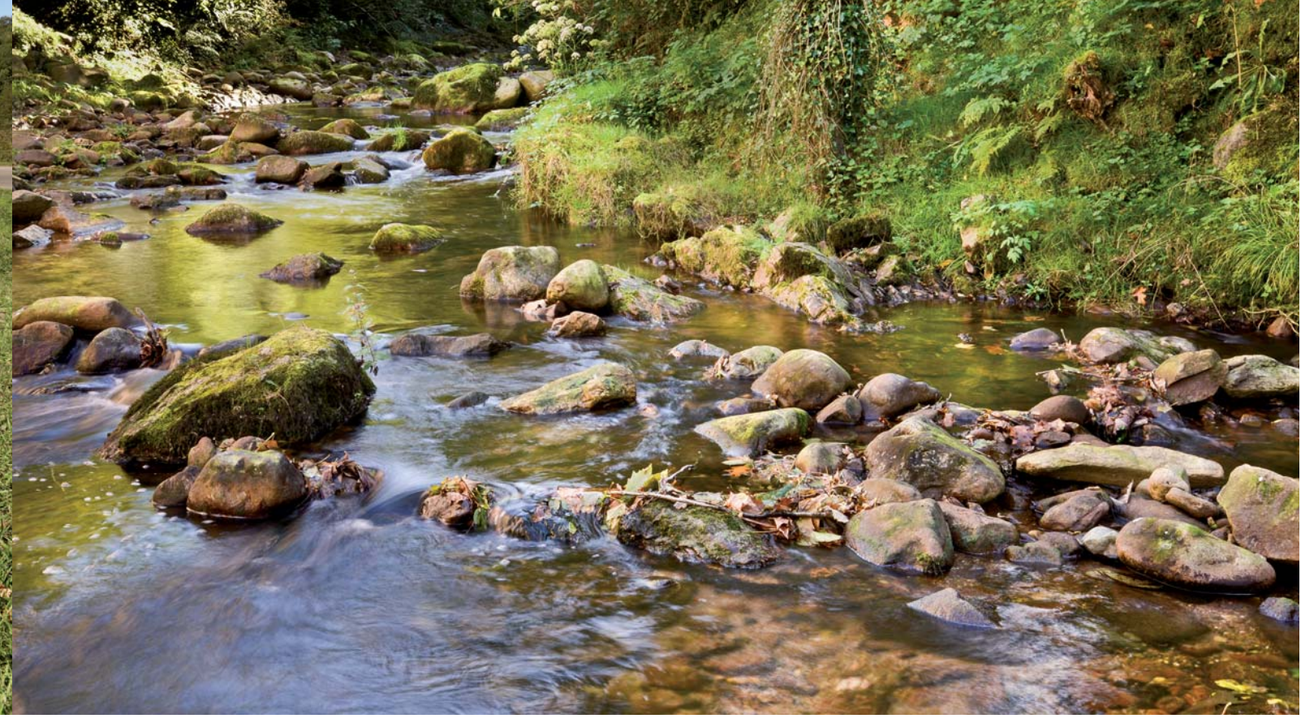
Código	Naturaleza	Municipio	Denominación Toponímia	UTMX	UTMY	Cota	Profund. (m)	Aprovechamiento	Ubicación geológica
b138	Manantial	Bertizarana (Legasa)	Astondo	609696	4776161	127	-	Actualmente sin uso. Antiguamente se utilizaba para abastecimiento de Legasa	Calizas arenosas Jurasico sup. (f.118)
b139	Manantial	Bertizarana (Legasa)	Errekaza	610510	4776328	137	-		
b215	Sondeo explotación	Baztan (Arraioz)	En Nazeta (junto al centro comercial)	616087	4777477	171,00	≈ 70	Todavía no está en explotación. Abastecimiento Centro Comercial Arraioz	Terraza aluvial del río Bidasoa y calizas-dolomías del Jurásico inferior

Tabla 34. Principales puntos en el acuífero Sinclinal del Jurásico-Cretácico de Gaztelu-Arraioz.

No se reconocen importantes manantiales en estos materiales permeables, aunque pueden destacarse los manantiales Astondo (b138) y Errekaza (b139), de unos 2 l/s, que antiguamente abastecían a Legasa (ambos ubicados en el extremo occidental de la estructura sinclinal). También se ubica en estos materiales un sondeo de explotación (b215), de reciente construcción, perforado para el abastecimiento del centro comercial en Arraioz y que según información aportada por el titular, todavía no estaba en explotación.

◄ Infernuko erreka (Baztan).

Tramo bajo de la regata Artesiaga, seco en estiaje por infiltración del agua en el acuífero aluvial.



Regata Beartzun.

Balance hídrico

La recarga del acuífero del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Gaztelu-Arraioz se establece por la infiltración directa del agua de precipitación, que considerando los 14,40 km^2 de extensión, se estima en unos 10,33 hm^3/año, para un año de tipo medio (suponiendo que se infiltra el 69,30 % de la lluvia útil estimada, según el balance hidrometeorológico efectuado).

Los afloramientos carbonatados son cruzados tangencialmente, en dirección S-N, por algunas regatas entre las que destacan las de Zeberia, Marin, Aranea y Artesiaga (por su borde oriental), y por el río Bidasoa, que atraviesa el acuífero jurásico longitudinalmente. Hacia estos cauces se orientan tanto las aguas superficiales de la escorrentía que se genera a partir de la precipitación en la superficie del sinclinal, como las surgencias subterráneas de las aguas infiltradas en las formaciones acuíferas calizas que lo componen.

Las salidas subterráneas difusas, que desde los materiales calizos jurásicos y a través del aluvial se descargan al cauce del río Bidasoa, han sido evaluadas mediante la realización de aforos diferenciales efectuados en el tramo de río comprendido entre el puente de Arraioz (situado aguas abajo de la confluencia de la regata de Artesiaga) y el punto del cauce situado aguas abajo del puente de Oronoz (antes de la confluencia de la regata de Aiantsoro, que desciende por la margen derecha del río). Los aforos diferenciales realizados consideran que el caudal descargado al río Bidasoa en aguas bajas (agosto 2010) es de 332 l/s, mientras que en aguas medias (septiembre 2011, después de algunas lluvias) es de 733,5 l/s. Por tanto, se estiman unos volúmenes de descargas mínimas anuales de unos 10,47 hm^3/año, representativos de las aportaciones subterráneas difusas desde la estructura carbonatada al río.

Litología	Calizas y dolomías del Jurásico y calizas del Cretácico sup.
Extensión (km^2)	14,4
Potencia (m)	150-200
Precipitación (mm/año)	1691,62
Lluvia útil (l/m^2)	1035,54
Infiltración (% de LLU)	69,30 %
Recursos medios (hm^3/año)	10,33
Descargas (hm^3/año) (difusas al cauce del río Bidasoa)	10,47

Tabla 35. Balance hídrico del acuífero del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Arraioz-Gaztelu.

El acuífero Sinclinal del Jurásico-Cretácico de Arraioz-Gaztelu se considera que está en régimen natural, lo que implica que las descargas subterráneas que se realizan deben ser del mismo orden de magnitud que la recargas evaluadas. Estas descargas subterráneas van preferentemente hacia el curso del Bidasoa (que circula por las cotas topográficas más bajas del afloramiento), y en menor proporción, hacia el cauce de la regata de Zeberia (que circula por el sector occidental del mismo). Los distintos términos del balance (recarga y descarga) estimados mediante diferentes procedimientos, parecen confirmar el comportamiento hidrodinámico natural del acuífero.

Piezometría

Teniendo en cuenta la estructura hidrogeológica de los afloramientos y las cotas topográficas de los mismos, así como la ubicación de los manantiales inventariados en su borde occidental, se han estimado unas direcciones razonables del flujo subterráneo. Según estas, la recarga del agua subterránea se debe producir por las cotas más elevadas de los afloramientos, para organizarse y orientarse en su circulación subterránea, preferentemente hacia el N y NE, hasta confluir en el cauce del río Bidasoa.

Parámetros hidráulicos

No se ha podido disponer de datos valorados de la transmisividad (T) del acuífero carbonatado jurásico.

Hidroquímica. Calidad

En el acuífero del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Gaztelu-Arraioz no se ha analizado la calidad química del agua subterránea en ningún punto. Ahora bien, puesto que la litología de las formaciones que constituyen esta estructura acuífera es la misma que la de los dos anteriores acuíferos (ya analizados), es razonable suponer que la calidad química del agua subterránea también en este caso deberá ser apta para el consumo humano (según RD 140/2003).

Cuevas de Urdax, conocidas también como cuevas de Ikaburu, en formación desde hace varios cientos de miles de años gracias a la erosión del río Urtxume.

RELACIÓN AGUAS SUPERFICIALES-SUBTERRÁNEAS

Dado el régimen natural en el que se encuentran todos los acuíferos identificados y estudiados en las dos masas de agua subterránea que se distribuyen por las cuencas del Bidasoa, Urumea, Urdazuri/Nivelle y Errobi/Nive, se puede afirmar que las aguas infiltradas en las formaciones permeables cartografiadas acaban por surgir, de manera puntual (por manantiales) o difusa hacia los cauces de los ríos que atraviesan estas formaciones acuíferas.

Este agua infiltrada surge después de un recorrido más o menos largo de su flujo subterráneo y, en general, con poco tiempo de residencia en la roca acuífera. Así lo demuestra la analítica de las aguas con baja mineralización y la respuesta rápida de las descargas subterráneas (manantiales) frente a la precipitación infiltrada.

La mayor parte de los ríos y regatas, en su cabecera, circulan por formaciones de baja permeabilidad en las que predomina la escorrentía directa de la precipitación hacia los cauces, frente a la infiltración. En sus cotas más bajas, los cauces que atraviesan formaciones permeables, y que constituyen acuíferos de diferente entidad, suelen circular suficientemente encajados en estas formaciones como para recoger las salidas subterráneas que se producen desde los acuíferos. En los mapas incluidos en este libro, en el que se muestra la cartografía hidrogeológica de los distintos acuíferos de interés estudiados, está representada la dirección de los flujos subterráneos establecidos en ellos, apreciándose que en todos los casos los ríos son receptores del agua subterránea que se descarga desde los acuíferos.

En consecuencia, se puede considerar que prácticamente la totalidad de los cauces que constituyen la red fluvial de las cuencas de estudio, son ríos ganadores.

En todos los aforos diferenciales efectuados en el proyecto BIDUR a lo largo de ocho tramos de los principales cauces (Onin, Arrata, Ezpelura, Txaruta, Marin, Artesiaga, Ugarana y Bidasoa entre Arraioz y Oronoz-Mugairi) se han constatado aportaciones subterráneas, de mayor o menor entidad, a los cauces a su paso por la formación acuífera, generalmente carbonatada.

En los tramos bajos de ríos, en los que a veces se atraviesan valles aluviales con una mayor extensión y espesor de depósitos detríticos fluviales, los cauces superficiales pueden actuar como drenaje de las aguas subterráneas del acuífero aluvial (en los meses de mayor escorrentía, periodos de lluvia), o de recarga de estos, en los meses de escasa escorrentía (periodos de estiaje). Como los acuíferos aluviales de estas cuencas no han sido estudiados en detalle, no se ha llegado a comprobar en qué cauces de los ríos de estas cuencas se pudiera estar produciendo esta circunstancia. Por tanto y de momento, se plantea simplemente como una hipótesis del funcionamiento hidrodinámico, que habitualmente suele ocurrir en la relación estacional río-acuífero aluvial. Si bien, en el sistema acuífero del Sinclinal Jurásico de Irurita, en el cauce bajo de la regata de Artesiaga (Irurita, en Baztan), sí que se pone de manifiesto esta relación río-acuífero aluvial; es habitual que en la época de mayor estiaje se seque un tramo de la regata Artesiaga, como consecuencia de la infiltración del agua de la regata en el acuífero aluvial.

PUNTOS DE AGUA SUBTERRÁNEA

Captaciones de agua inventariadas

A lo largo de las cuencas del Bidasoa, Urumea, Urdazuri/Nivelle y Errobi/Nive existen númerosos manantiales. El proyecto BIDUR ha podido inventariar un total de 228 manantiales. Estos, junto con las 31 captaciones de aguas superficiales en pequeñas regatas (utilizadas en el abastecimiento doméstico de las poblaciones) y los sondeos de explotación, han dado lugar al inventario de 275 puntos de agua. En la Tabla 36 se presenta el uso de los puntos inventariados y en la Tabla 37 su ubicación hidrogeológica.

El 43,38 % de las captaciones inventariadas se sitúan sobre formaciones metamórficas del Paleozoico de baja permeabilidad (pizarras, esquistos, grauvacas), el 20,59 % se hallan en materiales triásicos (areniscas y calizas), el 10,29 % sobre rocas de tipo volcánico (ofitas), el 9,56 % en rocas carbonatadas del Cretácico, el 8,83 % en rocas carbonatadas del Jurásico, el 5,88 % están en rocas carbonatadas del Paleozoico y un reducido 1,1 % en materiales de tipo aluvial.

Uso	Nº puntos de agua*
Abastecimiento actual	210
Antiguo abatecimiento	19
Futuro abastecimiento	8
Industria	6
Agricultura/Ganadería	5
Servicios/Recreo	11
Control piezométrico	2
Sin uso	14
Total	**275**

* En esta tabla no se contabilizan los sondeos de reconocimiento y explotación perforados durante el proyecto BIDUR.

Tabla 36. Usos de los puntos de agua inventariados.

Formaciones Geológicas		Nº de puntos
Código	Litología y Edad	
Q	Cuaternarios (arenas, gravas y arcillas)	3
PZ	Paleozoico (esquistos, pizarras, grauvacas y niveles de areniscas)	121
PZc	Calizas paleozoicas	16
Tb	Areniscas y arcillas del Buntsandstein	43
Tm	Calizas del Muschelkalk	7
Tk	Arcillas y yesos del Keuper	6
Ji	Calizas y dolomías del Jurásico inferior	16
Jm	Calizas y margas del Jurásico medio	2
Js	Calizas arenosas del Jurásico superior	6
Ci	Calizas arrecifales del Cretácico inferior	18
Cs	Margas y areniscas del Cretácico superior	8
G	Granitos	1
RV	Rocas volcánicas: Ofitas	28
	Total	**275**

Tabla 37. Ubicación hidrogeológica de los puntos de agua inventariados.

Esta distribución porcentual de los puntos de agua sobre la cartografía geológica se puede estimar lógica, si se considera que de las superficies de afloramiento que presentan las distintas formaciones, la de mayor extensión se corresponde con los materiales metamórficos del Paleozoico. Por otro lado, el hecho de que la mayor parte de la población urbana se asiente sobre estos terrenos paleozoicos, ha hecho que la búsqueda de la solución a sus abastecimientos se haya planteado —inevitablemente— desde los manantiales que surgen de estos materiales.

◄ Proximidades a la cascada de Xorroxin (Erratzu).

Además, la concentración de puntos de agua en estas formaciones de baja permeabilidad también es razonable si se tiene en cuenta que, desde el punto de vista del funcionamiento hidrogeológico de los acuíferos, cuanto menor es la permeabilidad de los materiales mayor será la presencia de los manantiales de reducido caudal, asociados a los sectores de mayor alteración y/o fracturación de las rocas. Sin embargo, en las formaciones acuíferas más permeables, las salidas naturales se suelen concentrar en pocos puntos preferenciales pero con mayor caudal de surgencia.

La mayoría de las captaciones utilizadas en el abastecimiento se sitúan en cotas altas, ya que tradicionalmente la distribución del agua se ha hecho por gravedad. Esto implica que los manantiales se sitúen en cotas topográficas más elevadas que los núcleos de población, con la problemática que esto puede ocasionar, en cuanto a la dificultad de acceso hasta el punto de surgencia y por el mantenimiento de los largos trazados de las conducciones hasta los depósitos de regulación en las poblaciones.

El hecho de que un buen número de los puntos de abastecimiento de naturaleza manantial se encuentre en materiales paleozoicos de baja permeabilidad origina que el caudal de estos manantiales que habitualmente es reducido (inferior a los 2-3 l/s), disminuya y se agote en algunos casos durante el estiaje. Sobre todo si este es prolongado, con el consiguiente riesgo de que el suministro para el abastecimiento urbano se vea afectado. Pero como en las condiciones climatológicas de la zona los estiajes no suelen ser severos, tradicionalmente el uso de estos manantiales ha sido efectivo. Con todo, hay que considerar que los problemas en el suministro se pueden presentar en los estiajes extremos, o si se incrementara la actual demanda de agua de la población.

La circulación del agua subterránea por las formaciones paleozoicas, salvo en las calizas del Paleozoico, es de tipo somero y con poca capacidad de almacenamiento. Esto, normalmente, solo permite la organización de flujos subterráneos de poca entidad y baja inercia en su circulación. Los manantiales que se encuentran en las zonas en las que abundan los materiales de alteración de las rocas paleozoicas (coluviones cuaternarios, depósitos de ladera) suelen presentar mayores caudales y más consistencia en su permanencia.

Los mayores caudales de surgencia se encuentran en los puntos de agua (manantiales) ubicados en las formaciones carbonatadas del Jurásico y Cretácico, que al presentar una alta permeabilidad, permiten disponer de mayores volúmenes de almacenamiento y circulación del agua subterránea. El origen kárstico de muchas de estas surgencias hace que la inercia de los acuíferos mesozoicos tampoco sea muy elevada, aunque con bastante más capacidad de regulación que la de los limitados niveles acuíferos paleozoicos.

Naturaleza	Caudales aforados (febrero-mayo 2010)									
	Q<1 l/s	1- 2 l/s	2- 5 l/s	5-10 l/s	10- 30 l/s	30-50 l/s	50-100 l/s	Q>100 l/s	Sin aforo	Total
Manantial	59	21	28	14	10	1	3	2	90	228
Río y regata	2	1	2		3		1		23	32
Galería									3	3
Pozo y sondeo			1		1				7	9
Otros									3	3
Total	**61**	**22**	**31**	**14**	**14**	**1**	**4**	**2**	**126**	**275**

Tabla 38. Caudales aforados en los puntos de agua inventariados en el proyecto BIDUR.

En la Tabla 38 se resume el régimen de los caudales que se han podido aforar en los puntos de agua inventariados en el proyecto BIDUR. En algunos casos no se dispone de datos, por la dificultad de realizar el aforo.

Manantial Leza (b128) en Urrotz.

Los caudales superiores a los 10 l/s solo se han encontrado en 21 puntos de los inventariados: 16 manantiales (Iturmena b28, Bezerro b29, Parazelaieta/Itturmota b106, prado de Errotazar b113, Anizpe b127, Leza b128, Goraba o Irauntza b129, Otsondo b154, Bumbulle b176, Nebusarai b201, b241, b242, canal del molino de Xubiondo b243, Sastra b246, de la regata de Artesiaga b270, Agorteneko borda b271, Errotaburu b272); 4 regatas (Matxain b19, Olazar o Zela b33, Goikiraga o Iraga b34, presa soldado en un afluente del Uraundi b273) y 1 pozo de explotación del polígono industrial de Alkaiaga en Lesaka (b21). Estos puntos se hallan ubicados en los siguientes tipos de acuíferos: 12 en las rocas carbonatadas del Cretácico y Jurásico, 3 en afloramientos de las calizas paleozoicas, 5 en materiales paleozoicos y 1 en las calizas del Muschelkalk. Para abastecimiento urbano se utilizan 7 de los 21 (Iturmena b28, Parazelaieta/Itturmota b106, Goraba o Irauntza b129, Otsondo b154, Bumbulle b176, Sastra b246 y Agorteneko borda b271); del resto, 2 son aprovechados en saltos hidroeléctricos (Leza b128, en Urrotz, y Sastra b246, en Almandoz) y los otros 12 no tienen ningún uso, circulando el agua hacia los cauces de las regatas en los que se localizan las surgencias.

Los manantiales más caudalosos (que superan los 50 l/s) son 5 (el del prado de Errotazar b113, Leza b128, canal del molino de Xubiondo b243, Sastra b246 y el de la regata de Artesiaga b270), y de entre estos destacan tres:

- El manantial de Leza (b128), situado en Urrotz, en la cuenca de la regata de Ezpelura (afluente del río Ezkurra). Es utilizado por una central hidroeléctrica y puede llegar a superar los 1.000 l/s tal y como se observó en mayo de 2010.
- El manantial que abastece al canal del antiguo molino de Xubiondo en Berroeta (b243), situado en el río Marin, actualmente sin uso[33]. Con un aforo máximo registrado de entorno a los 500 l/s[34], que drenan rocas carbonatadas del Jurásico inferior y del Cretácico inferior, pertenecientes al acuífero del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta.
- El manantial de Sastra b246, en Almandoz. Es utilizado en parte para el abastecimiento a esta población y el sobrante, para la producción de energía hidroeléctrica. Está ubicado en calizas del Trías de la zona del puerto de Belate y se tiene registrado un caudal máximo de 133 l/s.[35]

[33] El manantial que abastece al canal del antiguo molino de Xubiondo (b243) estaba libre de tomas de agua hasta el junio de 2011. En esas fechas se instala una toma de agua para el abastecimiento de la población de Oronoz-Mugairi, pero del que todavía no se aprovecha el agua.

[34] El manantial que abastece al canal del antiguo molino de Xubiondo (b243) ha sido aforado en el proyecto BIDUR. Destaca un caudal máximo de 496 l/s en noviembre del 2010.

[35] El manantial de Sastra ha sido aforado en el proyecto BIDUR. Caudal máximo de 133 l/s en diciembre 2010.

En las siguientes imágenes se muestran distintas surgencias.

Manantial Leza (b128), en Urrotz. El agua es captada por una central hidroeléctrica.

Manantial del antiguo molino de Xubiondo (b243), en Berroeta.

Manantial Sastra (b246), en Almandoz.

Sondeos de reconocimiento perforados en el proyecto BIDUR

Con el objeto de investigar las características hidrogeológicas de las formaciones carbonatadas cartografiadas en los diferentes sistemas acuíferos definidos y estudiados en las cuencas del Bidasoa, Urumea, Urdazuri/Nivelle y Errobi/Nive, se han perforado doce sondeos de reconocimiento (en el proyecto BIDUR). De estos: cinco han sido de investigación y se han perforado a rotación con extracción de testigo continuo y pequeño diámetro (100 mm); y siete de preexplotación, perforados a rotopercusión, con diámetro de 250 mm (han quedado entubados con tubería de acero de 200 mm). Al finalizar la ejecución de estos últimos, se ha efectuado un ensayo de bombeo para valorar los parámetros hidrodinámicos del acuífero penetrado (transmisividad, permeabilidad, coeficiente de almacenamiento), con el fin de determinar el caudal de explotación que se podría extraer de la captación en el supuesto de su uso para abastecimiento urbano.

Perforación a rotopercusión del sondeo SB-6 (Zugarramurdi).

Muestras de testigo continuo obtenido de la perforación a rotación en el sondeo SG-2B (Bera).

En la Tabla 39 se resumen las características de obra de los sondeos perforados y en la Tabla 40 se anotan los resultados obtenidos de los ensayos de bombeo efectuados en los sondeos de preexplotación.

De los doce sondeos de reconocimiento perforados en el proyecto BIDUR, nueve están disponibles para la incorporación en la red de control de las aguas subterráneas del Gobierno de Navarra. El sondeo de investigación SB-1 no está operativo porque fue cegado; el sondeo de preexplotación SB-2 ha sido cementado por problemas en la construcción; y el SB-8 de Elizondo, también ha sido cementado por presentar sus aguas una calidad no adecuada para su explotación.

Código	Natu-raleza	Municipio	UTMX	UTMY	Cota	Acuífero	Prof. Obra (m)	Sist. Perf.	Diámetro		Prof. NP. (m)
									Perf. (mm)	Entuba final (mm)	
SG-1B	SI	Bera	605942	4793171	31,10	Pizarras y esquistos paleozoicos	207,30	RTC	100	80	1,8
SG-2B	SI	Bera	606771	4792442	43,60	Sinclinal Cretácico de Bera	277,80	RTC	100	45	4,05
SG-3B	SI	Bera	605595	4792499	26,60	Sinclinal Cretácico de Bera	280	RTC	100	80	
SB-1	SI	Bera	606446	4792977	35,20	Sinclinal Cretácico de Bera	250,20	RTC	100	80	1,6
SB-2	SP	Bera	606471	4792979	32,00	Sinclinal Cretácico de Bera	35	RP y P	250/400	cementado	2,02
SB-3	SP	Lesaka	605391	4789513	71,50	Calizas Paleozoicas de Lesaka-Arantza	50	RP	380/320	250	5,2
SB-4	SP	Donamaria	608111	4773079	204,40	Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta	150	RP	380/250	200	1,48
SB-5	SP	Irurita Baztan	618708	4774815	222,70	Sinclinal Jurásico de Irurita	101	RP	380/250	200	10,4
SB-6	SP	Zugarramurdi	618255	4791913	188,00	Sinclinal Cretácico de Zugarramurdi Urdazubi/ Urdax	152	RP	380/320/ 250	200	9,1
SB-7	SP	Urdazubi Urdax	621311	4793366	95,80	Sinclinal Cretácico de Zugarramurdi Urdazubi/ Urdax	152	RP	250	200	5,44
SB-8	SP	Elizondo Baztan	621807	4777857	232,80	Dolomías del Devónico en Elizondo	102	RP	250	cementado	surgente
SB-9	SI	Lesaka	606033	4793068	88,15	Sinclinal Cretácico de Bera	62,5	RTC	131/86	50	9,84

Naturaleza
SI: Sondeo de Investigación.
SP: Sondeo de preexplotación.

Sistema de perforación
RTC: Rotación con testiguo continuo.
RP: Rotopercusión.
P: Percusión.

Tabla 39. Sondeos de reconocimiento perforados en el proyecto BIDUR.

Los ensayos de bombeo realizados en los sondeos han permitido determinar la transmisividad de los distintos acuíferos, así como el caudal máximo que se podría extraer de cada uno de ellos en caso de utilizarse para el abastecimiento.

En el caso del sondeo SB-3 de Lesaka, la alta transmisividad de las calizas paleozoicas podría permitir extraer el caudal máximo que puede dar una bomba colocada en los 250 mm de diámetro de la entubación del sondeo, que sería de 50 l/s.

Código sondeo	Acuífero de explotación	Datos del ensayo de bombeo								Q estimado de explota-ción (l/s)
		Fecha ejecución	Profund. colocación bomba (m)	Caudal (Q) (l/s)	NP inicial (m)	Duración (min.)	ND alcanzado (m)	T estimada (m^2/día)	T estimada (m^2/h)	
SB-3	Calizas Paleozoicas (f.065)	abr-11	37	50	5,56	4.020	6,37	9840	410,00	50
SB-4	Calizas y dolomías del Jurásico inf. (f.113)	ene-11	118	5	2,38	540	35,86	7	0,30	3 a 5,5
SB-5	Calizas y dolomías del Jurásico inf. (f.113)	ene-11	64	20	14,20	480	59,86	84	3,50	7,8
				10	14,25	120	14,56	84		
		mar-12	64	20	14,49	1.200	5,18	2136	89,00	20,0
SB-6	Calizas arcillosas. Cret. Sup. (f.169)	ene-11	125	12	12,5	750	50,45	22	0,9	-
		mar-12	64	7	12,08	1.440	20,87	29	1,2	3,0
SB-7	Calizas arrecifales del Cret. inf. (f.168)	ene-11	136	1	11,74	420	49,21	0,96	0,04	0,4
Pozo b21/ SB-9	Niveles arenosos en arcillas y lutitas Cret. inf. (f.151). Conglomerado carbonatado Cret. inferior (f.136)	abr-12	62	20	9,61	3.480	14,54	259	10,80	20

Tabla 40. Resultados de los ensayos de bombeo realizados en los sondeos de preexplotación perforados en el proyecto BIDUR.

En el caso del sondeo SB-4 de Donamaria, con la baja transmisividad que presentan las calizas y dolomías del Jurásico inferior, en el sector en el que se ubica el sondeo, el caudal máximo de agua que se podría extraer del mismo se ha evaluado entre 3 a 5,5 l/s, según el régimen de extracción que se estableciera en él. En otros puntos de su afloramiento se aprecian evidencias de una buena karstificación.

El sondeo SB-5 de Irurita, después de un intenso desarrollo con aire a presión de la captación (tras los primeros ensayos de bombeo de enero de 2012), ha permitido el desarrollo significativo de las calizas y dolomías del jurásico inferior. El caudal de extracción con el que se podría explotar el sondeo sería de 20 l/s.

En el sondeo SB-6 de Zugarramurdi, a pesar de los desarrollos (mediante sobrebombeo y con aire a presión) y varios ensayos de bombeos efectuados, no ha terminado de desarrollar y limpiar las calizas del Cretácico superior, por lo que a determinados caudales, el agua presenta problemas de arrastre de finos. Por ello, los diferentes ensayos de bombeo realizados a distinto caudal han determinado que el caudal máximo de extracción, que no presente problemas de turbidez en el agua, es de 3 l/s.

En el sondeo SB-7 en Urdazubi/Urdax, la transmisividad estimada es tan baja que, prácticamente se podría considerar el sondeo como nulo a efectos de la explotación de agua. El caudal estimado, con la transmisividad obtenida, sería de unos 0,4 l/s durante 8 horas de explotación; esto haría poco rentable su instalación y explotación.

El ensayo de bombeo realizado en el pozo de Alkaiaga en el proyecto BIDUR ha permitido confirmar que la viabilidad de explotación del agua subterránea del acuífero conglomerado calcáreo del Cretácico inferior, después de un periodo de 16 años, no ha variado y que las condiciones hidrodinámicas del pozo que lo explota tampoco lo han hecho. Por tanto, no parece que exista ningún problema para seguir garantizando su funcionamiento con los mismos caudales de producción.

LA CALIDAD QUÍMICA DE LAS AGUAS SUBTERRÁNEAS Y SUPERFICIALES

Características físico-químicas de las aguas

Las aguas subterránea y superficiales de las cuencas del Bidasoa, Urumea, Urdazuri/Nivelle y Errobi/Nive, presentan en general las siguientes características: débil mineralización (conductividades <500 µS/cm); valores de pH dentro de la normativa de calidad y de los estándares característicos de las aguas subterráneas (6,5-9,5); elevada oxigenación del agua (≥8 mg/l de O_2 disuelto) y composición química clorurada sódico-cálcica o bicarbonatada cálcica, sin contaminación en ninguna de las especies de nitrógeno analizadas (nitratos, nitritos o amonio). Estas características físico-químicas del agua indican trayectorias de flujo muy someras o cortas, tanto en los muestreos en acuíferos de materiales metamórficos y detríticos, como en los acuíferos carbonatados.

A continuación se describe, de forma algo más detalla, la calidad físico-química de las aguas agrupadas según su origen.

Aguas superficiales

En general, presentan una mineralización muy débil a débilmente mineralizadas (conductividad eléctrica[36] media menor que 100 µS/cm o ligeramente superior), pH neutro a débilmente básico (7,0-7,6), sobreoxigenadas (≥10 mg/l de O_2 disuelto), con una composición muy similar al agua de precipitación (cloruradas-bicarbonatadas sódico-cálcicas) o con una interacción muy poco significativa con el sustrato metamórfico por el que fluyen (esto le confiere una composición bicarbonatada cálcica). No se ha registrado contaminación en nitratos, nitritos o amonio.

Aguas subterráneas muy someras

Estas aguas son de mineralización muy baja (C.E inferior a 100 µS/cm), pH débilmente ácido (6,2-6,8), sobreoxigenadas (11 mg/l de O_2 disuelto), con una composición muy similar al agua de precipitación (cloruradas sódico-cálcicas). En ciertas ocasiones, de manera excepcional, el pH ha resultado menor que 6,5. Tienen un buen estado químico en cuanto a su contenido en nitratos, nitritos o amonio y al resto de los elementos químicos analizados.

Aguas subterráneas con mayor recorrido en la formación acuífera

Las aguas subterráneas con un mayor recorrido en las distintas formaciones acuíferas analizadas se caracterizan por una mineralización, en general débil (C.E. ≈ 150-500 µS/cm), pH neutro a débilmente básico (7,1-7,9), muy oxigenadas (≈ 8 mg/l de O_2 disuelto), con una composición bicarbonatada cálcica propia de los materiales metamórficos y sedimentarios por los que circulan. Es indicativo de trayectorias de circulación cortas o intermedias, tanto menores cuanto menor es su mineralización. De acuerdo con los parámetros analizados, presentan en general un buen estado químico.

Aguas subterráneas profundas de los sondeos de reconocimiento

La calidad del agua subterránea más profunda se ha podido estudiar gracias a los sondeos de reconocimiento perforados en el proyecto BIDUR, mediante muestreos efectuados durante la ejecución de los ensayos de bombeo en estas obras (una vez finalizada su construcción y desarrollo).

---

36 La conductividad eléctrica (C.E.) es una variable que mide la capacidad de una solución para conducir la electricidad. Depende de la cantidad de sales disueltas presentes en un líquido y es inversamente proporcional a la resistividad del mismo.

Los resultados obtenidos de las analíticas efectuadas se resumen en la Tabla 41.

Código sondeo	Conductividad (µS/cm)	Facies química	Cumplimiento del RD 140/2003
SB-3	412	bicarbonatada cálcica	Apta
	374	bicarbonatada cálcica	Apta
SB-4	496	bicarbonatada cálcica	Apta
SB-5	715	sulfatada cálcica	Apta
	304	bicarbonatada cálcica	Apta
	260	bicarbonatada cálcica	Apta
SB-6	426	bicarbonatada cálcica	Apta, salvo en el Fe, que supera en 0,2 mg/l
	384	bicarbonatada cálcica	Apta
	380	bicarbonatada cálcica	Apta
SB-7	419	bicarbonatada cálcica	Apta, salvo en el Fe, que supera en 0,19 mg/l
SB-8	550-2600	sulfatada cálcico magnésica	No apta
Pozo Alkaiaga (b21)/SB-9	330	bicarbonatada cálcica	Apta

Tabla 41. Calidad del agua extraía en los sondeos perforados durante el proyecto BIDUR.

Las aguas subterráneas perforadas son mayoritariamente bicarbonatadas cálcicas con una mineralización moderada y con una conductividad inferior a los 500 µS/cm. La única agua con elevadas concentraciones de sulfatos, cloruros, calcio y magnesio, se ha perforado en el sondeo SB-8 de Elizondo, que ante la mala calidad del agua subterránea profunda, ha sido cementado completamente para evitar cualquier futura contaminación que se pudiese ocasionar.

Calidad de las aguas

Algunas aguas subterráneas presentan un mal estado químico, por la presencia de hierro y/o manganeso en concentraciones superiores al límite paramétrico establecido en el RD 140/2003[37] y en la DMA 2000/60[38], o por su pH ácido. Es el caso de los siguientes puntos:

- El manantial de la mina de Ibardin (b15) de Bera, que debe la presencia de hierro al dique de mineralización que atraviesa las rocas metamórficas de la mina.
- El manantial de mayor caudal de los tres que abastecen a Elbete (las Tres Hermanas: b170, b171, b172) y el de Legarrikoturri (b172), al igual que el resto, se caracteriza por una mineralización muy exigua (30 µS/cm), en la que únicamente hay calcio, sodio, bicarbonatos y cloruros en disolución, en concentraciones entre 2 y 7 mg/l. Esto le confiere una composición química como la del agua de lluvia —clorurada sódica—, y un pH ácido (5,3), que provoca la disolución de hierro y manganeso. En general las concentraciones de hierro y manganeso son bajas, por lo que su mal estado químico en cuanto a la potabilidad del agua se refiere, solo se debe a su pH (que se mantiene ácido).

[37] RD 140/ 2003: Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano.

[38] DMA 2000/60: Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. Comúnmente conocido como "Directiva Marco del Agua-DMA".

Labaien en primer plano, y Beintza al fondo.

- El manantial de la regata de Artxea (b211), situado en areniscas del Trías y del que se abastece Arraioz (Baztan), tiene un mal estado químico por la acidez de sus aguas (pH< 6,5).

El problema de las concentraciones en hierro y/o manganeso superiores al límite paramétrico (de 0,2 y 0,05 mg/l, respectivamente) se debe probablemente a la presencia natural de óxidos de hierro y manganeso en el sustrato rocoso. Aunque ocurre en varios manantiales y pozos, no es una problemática común, presentándose como un problema puntual e incluso no continuo en el tiempo.

Como puntos de agua o acuíferos con características singulares destaca entre todos, por su elevada concentración de mineralización, el sondeo del Balneario de Elgorriaga (b97). En este sondeo de 70 m de profundidad, en el que se miden valores superiores a los 30.000 µS/cm de conductividad eléctrica (equivalentes a un residuo seco de unos 213 g/l), puede decirse que el agua es "tipo salmuera". El alto contenido en cloruros (189.286 mg/l), sulfatos (9.200 mg/l) y sodio (178.990 mg/l), indica que esta agua pueda proceder de la disolución de algún depósito de sales asociado a la formación triásica del Keuper (arcillas rojas, yesos y sales), subyacente en la zona de perforación al cuaternario aluvial del río Ezkurra. Las características peculiares del agua la hacen adecuada para uso terapéutico y actualmente es explotada por el Balneario de Elgorriaga.

Las aguas subterráneas y superficiales en general, con independencia de que haya escasez de precipitaciones o de que estas sean abundantes, no presentan significativas oscilaciones estacionales en la composición química de las muestras analizadas; incluidas las concentraciones en nitratos, que en cualquier caso, son reducidas (valor medio de 3 mg/l).

Panorámica de Lesaka.

Aptitud de las aguas para distintos usos

Las aguas de las cuencas estudiadas, por su mineralización en general baja, con una composición bicarbonatada cálcica o sódica y con concentraciones pequeñas en sodio (<200 mg/l), presentan características adecuadas para ser utilizadas para abastecimiento a la población y para riego. Solamente tres de los manantiales inventariados, que actualmente se utilizan en el abastecimiento, incumplen el RD 140/2003: la galería de Ibardin en Bera (b15), por concentraciones de hierro y manganeso; el manantial Iturmena en Lesaka (b28), por concentraciones de manganeso; y el manantial Legarrikoturri en Elbete, Baztan (b172), por pH ácido. A estas aguas, para ser utilizadas sin problemas en el consumo doméstico, sería recomendable aplicarles un tratamiento previo para la mejora de su calidad.

De los sondeos de reconocimiento perforados en el proyecto BIDUR que podrían ser utilizados en el abastecimiento urbano, todos ellos presentan una buena calidad química de sus aguas, cumpliendo los límites exigidos por el RD 140/2003.

En el caso del sondeo del Balneario de Elgorriaga (b97), por las características hidroquímicas que le proporcionan una elevada mineralización (33.000 µS/cm de conductividad), es una captación muy adecuada para el uso terapéutico.

Presiones a la calidad del agua

Se ha considerado que, de forma general, las presiones más relevantes sobre la calidad de las masas de agua son las debidas a los vertidos urbanos e industriales.

En relación a los vertidos urbanos, para los 140 núcleos urbanos existentes en las cuencas y que producen aguas residuales, en la actualidad hay construidas 17 depuradoras. A través de ellas pasan las aguas urbanas de las poblaciones de mayor número de habitantes, antes de su vertido a los cauces.

En las depuradoras de algunos municipios se concentran también las aguas residuales de los núcleos de menor entidad (barrios, núcleos menores, etc.) que se hallan en el municipio y que no se encuentran muy dispersos en su territorio.

En los barrios de los correspondientes municipios (núcleos de población inferior, normalmente a los 100 habitantes), que se encuentran geográficamente más dispersos, lo normal es que se disponga de fosas sépticas particulares con las que filtrar las aguas de cada vivienda o caserío.

Los núcleos urbanos de pocos habitantes (inferior a 50) son los menos y vierten directamente las aguas urbanas a los cauces de pequeñas regatas, o al monte o prado.

En la actualidad, está pendiente resolver el tratamiento de las aguas residuales de algunos municipios de cierta importancia, como es el caso de Arraioz, Almandoz, Irurita, Oronoz-Mugairi, Legasa, Narbarte, Oieregi y la Comarca de Malerreka.

La industria se localiza pricipalmente en las localidades mayores de la cuenca del Bidasoa. En general, la cabecera de la cuenca tiene poca concentración industrial, mientras que en zonas más bajas, a partir de Oronoz-Mugairi, aparecen más núcleos con industrias de tamaño importante como ocurre en Lesaka, Legasa, Bera, etc.

También se pueden considerar como fuentes de contaminación puntual los vertederos de residuos urbanos, gasolineras, extracciones mineras y explotaciones ganaderas.

En las cuencas, solo se hallan dos vertederos de residuos sólidos urbanos; uno en la cuenca del Bidasoa, situado en Bera y recientemente clausurado, y el otro en la del Urumea, en el TM de Goizueta, en el que se depositan los residuos de Goizueta y Arano.

En relación a las gasolineras, están inventariadas una decena y respecto a las explotaciones mineras, la mayoría están relacionadas con la extracción de piedras calizas (canteras) y una asociada al Balneario de Elgorriaga (aguas salinas). En la zona han existido numerosas minas asociadas principalmente a la extracción de hierro, plomo y zinc en los materiales paleozoicos, que actualmente están abandonadas y pueden ser un potencial foco de contaminación. Como ejemplo está la antigua Mina de Ollin, en la cuenca alta del río Urumea, abandonada en la década de los años 70 y en la que los residuos sólidos o estériles de la mina fueron depositados a lo largo de los márgenes del cauce de la regata.

En las cuencas del Bidasoa-Urumea hay 4.060 explotaciones ganaderas, en su mayoría de ganado vacuno. Aunque el ganado suele estar estabulado, con frecuencia se mueve pastando por los prados de la explotación, con lo que podría considerarse como una fuente difusa de contaminación de las aguas.

[Capítulo 5]

BALANCE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LAS CUENCAS DEL BIDASOA, URUMEA Y RÍOS PIRENAICOS

Usos y demandas del agua en las cuencas estudiadas

Recursos para atender las demandas del agua

Balance de recursos-demandas

5

BALANCE DE LOS RECURSOS HÍDRICOS EN LAS CUENCAS DEL BIDASOA, URUMEA Y RÍOS PIRENAICOS

En el presente capítulo se realiza un análisis de la situación en la que se halla el balance (entradas-salidas) de los recursos de agua en las cuencas de estudio. Para lograrlo, se contrasta la cifra obtenida de los recursos hídricos totales evaluados en la cuantificación de recursos hídricos (pág. 35), con la de las demandas y usos consuntivos valorados en el proyecto BIDUR.

USOS Y DEMANDAS DE AGUA

Los usos del agua son las distintas clases de utilización del recurso, así como cualquier actividad que tenga repercusiones significativas en su estado. Dentro de estos usos se distinguen:

- Usos consuntivos: son aquellos en los que el agua es consumida por la actividad (beber, cocinar, evaporación, etc.) o su calidad se deteriora de modo que no puede volver a utilizarse sin tratamiento previo. Aquí se distingue entre usos urbanos, industriales y agrarios (agrícola y ganadero).
- Usos no consuntivos: son aquellos en los que el agua es usada para algún propósito y después sigue su curso, sin merma en su cantidad, pero en algunos casos sí en su calidad, aunque sin una alteración significativa de la misma. Entre los usos no consuntivos se encuentran, los recreativos, los productivos (generación de energía y transporte), la navegación, la acuicultura, etc.

Por otro lado, la demanda de agua es el volumen de agua, en cantidad y calidad, que los usuarios están dispuestos a adquirir para satisfacer un determinado objetivo de producción o consumo; incluye los excesos de recursos necesarios en concepto de pérdidas en la explotación del sistema.

Aunque es más preciso estimar la demanda mediante la evaluación de los volúmenes realmente consumidos a la salida de los depósitos de regulación existentes en las poblaciones de la zona, esto no siempre es factible, ya que como se ha comprobado en el proyecto BIDUR con frecuencia los sistemas de abastecimiento carecen de dispositivos de control del caudal suministrado. Y en el caso de tenerlos, casi nunca se hace un registro continuo del consumo. Por ello, para el cálculo de la demanda, se han utilizado las dotaciones o asignaciones de volúmenes de agua teóricos, para tipo de uso, establecidos en el Plan Hidrológico del Cantábrico Oriental.

Usos consuntivos del agua en las cuencas estudiadas

La principal demanda de agua, de tipo consuntivo, que se genera en las cuencas del Bidasoa, Urumea y ríos pirenaicos (Urdazuri/Nivelle y Errobi/Nive) en Navarra, es la necesaria para cubrir el consumo urbano o doméstico de las poblaciones y caseríos que hay radicados en estas cuencas. En el uso urbano, además del agua que se utiliza en las viviendas y la utilizada en la provisión de instalaciones públicas locales e institucionales, se consideran aquellos usos comunes o de servicios públicos como el riego de jardines, limpieza viaria, protección contra incendios, etc. También se consideran como uso urbano aquellas actividades industriales y/o comerciales de consumos no muy elevados ubicadas en zonas urbanas y conectadas a la red municipal de suministro.

Molino de Zubieta.

Central Irun-Endara.

Las cuencas del Bidasoa, Urumea y ríos pirenaicos están constituidas por 23 municipios, con una población en torno a los 24.000 habitantes (censo del 2010). Según la estimación del PHDHCO (Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental), 5,25 hm^3/año son utilizados en el abastecimiento urbano de estos municipios.

La actividad industrial más importante está centrada en los municipios de Legasa, Lesaka y Bera, y una parte importante de la demanda de agua para la industria se realiza actualmente a través de la red pública de abastecimiento. El PHDHCO estima la demanda industrial en 0,5 hm^3/año.

Los consumos agrícolas para riego de cultivos en las cuencas son mínimos y abastecidos con las aguas superficiales de algunos de los canales construidos.

Los consumos ganaderos también son reducidos, siendo generalmente abastecidos a partir del agua subterránea de pequeños manantiales diseminados por la zona.

En la Tabla 42 se resumen las demandas de agua evaluadas en la Planificación Hidrológica de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental, abastecidas con las aguas superficiales y subterráneas de las cuencas.

Sistemas de explotación	Urbana		Agrícola		Ganadera hm^3/año	Industrial hm^3/año	Demanda Total hm^3/año
	Habitantes INE 2008	Demanda hm^3/año	Superficie ha	Demanda hm^3/año			
C. Bidasoa	22.000	5,25	74,13	0,50	0,33	0,5	6,58
C. Urumea	936	0,19	-		0,08		0,27
Ríos pirenaicos	688	0,06	6	0,03	0,11	0	0,20
Total	**23.624**	**5,50**	**80,13**	**0,53**	**0,52**	**0,5**	**7,05**

Tabla 42. Demandas de agua en las cuencas según uso (Fuente PHDHCO).

La demanda total de agua en los tres sistemas de explotación estudiados asciende a 7,05 hm^3/año, de los que más del 75% son utilizados en el abastecimiento urbano de los 23 municipios existentes.

En términos generales se puede decir que las poblaciones no presentan grandes problemas de abastecimiento. La problemática más común en la poblaciones es la escasez de agua en épocas de estiaje, solucionada en varios de los municipios tras la reforma reciente de las redes de distribución, que han tratado de reducir las fugas de agua y problemas de presión debidos a la proliferación de viviendas situadas a cotas superiores a la del depósito. También son comunes las quejas debidas a las deficientes condiciones en las que se encuentran las instalaciones, sobre todo en lo que respecta a los puntos de toma; a veces, también referidas a las conducciones y los depósitos.

Usos no consuntivos del agua

La mayor parte del agua que se genera en las cuencas está destinada a usos no consuntivos, como son los saltos de agua de las 41 centrales hidroeléctricas implantadas en las cuencas del Bidasoa (36), Urumea (4) y Urdazuri/Nivelle (1), y a las necesidades de agua de las 3 piscifactorías existentes en la cuenca del Bidasoa, cuyos volúmenes de concesión se indican en la Tabla 43.

Sistemas de explotación	Hidroeléctrica caudal máximo turbinado (l/s)	Piscifactoría caudal máximo concedido (l/s)
C. Bidasoa	97.547	1.167
C. Urumea	4.025	0
Ríos pirenaicos	3.010	0
Total	**104.582**	**1.167**

Tabla 43. Usos de agua no consuntivos.

El uso de estos volúmenes de agua no afecta al balance hídrico global de los sistemas de explotación, aunque en el caso de las derivaciones mediante azudes del agua que se conduce hasta las centrales hidroeléctricas, sí que llega a afectar. En muchos casos, el caudal que circula por determinados tramos de ríos y regatas en periodos de estiaje, se llega a reducir sensiblemente, peligrando las condiciones ecológicas del tramo afectado.

RECURSOS PARA ATENDER LAS DEMANDAS DE AGUA

La asignación de recursos en cada una de las cuencas se establece mediante un balance entre recursos y demandas, como se verá en el apartado siguiente, teniendo en cuenta tanto los derechos y prioridades, como las infraestructuras de regulación y conducción existentes.

Los recursos de cada unidad hidrológica se han determinado en el apartado cuantificación de recursos hídricos totales (pág. 35), a partir del balance hidrometeorológico efectuado de la precipitación registrada en las cuencas de estudio, para el periodo de años 1980/81-2006/07. Esto permite hallar la aportación mensual (lluvia útil) como exceso entre la pluviometría y la evapotranspiración real, teniendo en cuenta la reserva del suelo. El resumen de las aportaciones totales obtenidas, para un año tipo medio, se presentan en las Tablas 8 (pág.36) y 9 (pág. 38).

Los recursos hídricos en régimen natural se han calculado por:

- **Cuenca hidrológica**: El volumen total de recursos hídricos anuales que se recoge en las cuencas es de 990,95 hm^3 para un año tipo medio. De los cuales 699,16 hm^3 corresponden a los recursos generados en la cuenca del Bidasoa, 173,82 hm^3 a los de la cuenca del Urumea y los 117,98 hm^3 restantes pertenecerían a las cuencas pirenaicas.
- **Masa de agua subterránea**: Los recursos hídricos que anualmente se generan en las dos masas de agua subterránea, para un año de tipo medio, son del orden de los 1.007,89 hm^3/año.
- **Acuífero**: En los acuíferos carbonatados delimitados y diferenciados en estas dos masas de agua subterránea, se han estimado unos recursos de agua subterránea por infiltración para un año tipo medio de 63,46 hm^3/año (Tabla 9, pág. 38).

BALANCE DE RECURSOS-DEMANDAS

Balance general de las cuencas

En este apartado se establece el balance de los recursos que se generan en las cuencas del Bidasoa, Urumea y ríos pirenaicos (cuencas atlánticas), contrastando las cifras estimadas de las aportaciones anuales producidas en las cuencas, para un año de tipo medio, y las demandas de agua generadas en las mismas (según los datos aplicados en la Planificación Hidrológica de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental).

Las cifras de los balances se plantean de manera independiente para cada uno de los sistemas de explotación diferenciados en las cuencas, y sus resultados se presentan en la Tabla 44.

Cuenca	Extensión cuenca (km^2)	RECURSOS año tipo medio (hm^3/año)		DEMANDAS consuntivas (hm^3/año)			TRASVASES fuera cuencas (hm^3/año)	BALANCE (hm^3/año)
		P media	LU media	Urbana	Agrícola y Ganadera	Industrial		
Bidasoa en Navarra	675,16	1142,11	699,16	5,25	0,83	0,50	9,25	683,63
Urumea en Navarra	167,85	283,94	173,82	0,19	0,08		33,00	140,55
Atlánticas/Ríos Pirenaicos en Navarra	113,93	192,73	117,98	0,06	0,14			117,78
Total cuencas	**956,94**	**1618,78**	**990,95**	**5,50**	**1,05**	**0,50**	**42,25**	**941,65**

P media: Precipitación media cuencas de 1.691,62 mm; **LU media**: Lluvia útil media cuencas de 1.035,54 mm.

Tabla 44. Balance recursos-demandas de las cuencas del Bidasoa, Urumea y ríos pirenaicos en Navarra.

Embalse de Artikutza.

Con las demandas consuntivas establecidas, los balances de las cuencas son netamente positivos, estando los recursos hídricos de los tres sistemas de explotación con un porcentaje de utilización muy bajo.

La demanda total de agua para los tres usos consuntivos existentes en las tres cuencas es de unos 7,05 hm^3/año y el volumen de agua otorgada, en concesiones de consumo fuera del ámbito de las cuencas estudiadas (como trasvases), es de 42,25 hm^3/año. Estas derivaciones se establecen a partir de los embalses de San Antón y Domiko (9,25 hm^3/año), en la cuenca del Bidasoa, empleados en el abastecimiento urbano de Irun. Y de los de Añarbe y Artikutza (33 hm^3/año), en la cuenca del Urumea, utilizados en el abastecimiento de la Mancomunidad de Añarbe.

Balance de los acuíferos carbonatados

Los siete sistemas acuíferos carbonatados diferenciados en las cuencas del Bidasoa y ríos pirenaicos se encuentran en la actualidad en un régimen natural de funcionamiento hidrodinámico. La única descarga que se produce de los mismos se establece por manantiales de localización puntual, y a través de salidas subterráneas de tipo difuso, que se originan hacia los cauces de los ríos y regatas que atraviesan estas formaciones acuíferas. La única extracción artificial que se ha inventariado en las cuencas estudiadas ha sido la del pozo de Alkaiaga (b21), situado en el polígono industrial del mismo nombre, que explota aguas subterráneas del Sinclinal Cretácico de Bera.

Con esta situación hidrodinámica todas las entradas del agua infiltrada en los acuíferos (recarga) debe ser igual a las salidas que se producen de los mismos (descargas), por lo que su balance hídrico, al final, debe resultar equilibrado.

Para comprobar esta situación, además de evaluar la infiltración o recarga mediante el balance hidrometeorológico efectuado, se han intentado localizar todas las descargas puntuales (mediante el

inventario de puntos de agua) y las difusas hacia los cauces (mediante la realización de los aforos diferenciales realizados en algunos de ellos). Los resultados de estos datos se reflejan en la Tabla 45.

Nombre	Extensión cuenca (km^2)	ENTRADAS Recarga año tipo medio			SALIDAS estimadas (hm^3/año)	Diferencia entradas-salidas controladas (hm^3/año)	Observaciones en las salidas
		P media (hm^3/año)	LU media (hm^3/año)	I (hm^3/año)			
Sinclinal Cretácico de Bera	0,81	1,36	0,83	0,58	0,097	0,48	Pozo de Alkaiaga (b21). Difusas río Bidasoa sin controlar.
Sinclinal Cretácico de Zugarramurdi Urdazubi/Urdax	2,37	4,01	2,45	1,70	1,2	0,50	Difusas a regata Ugarana.
Calizas Paleozoicas Lesaka-Arantza	19,13	32,36	19,81	13,73	5,6	8,13	Difusas al río Arrata. No totalmente controladas.
Dolomías del Devónico de Elizondo	5,53	9,35	5,73	3,97	0,693	3,28	Manantiales Bumbulle (b176), Fuentehermosa (b177). Difusas sin controlar.
Sinclinal Jurásico Cretácico de Ezkurra-Berroeta	37,80	63,94	39,14	27,13	30,57	-3,44	Difusas a regatas Ezpelura, Txaruta y río Marin y manantiales.
Sinclinal Jurásico de Irurita	8,40	14,21	8,70	6,03	5,74	0,29	Difusas a la regata de Artesiaga y manantial b270.
Sinclinal Jurásico-Cretácico Gaztelu-Arraioz	14,40	24,36	14,91	10,33	10,47	-0,14	Difusas al río Bidasoa.
Total Acuíferos	**88,44**	**149,60**	**91,58**	**63,46**	**54,37**	**9,09**	Sin poder controlar buena parte de las salidas.

P media: Precipitación media cuencas de 1.691,62 mm.

LU media: Lluvia útil media cuencas de 1.035,54 mm.

I: Infiltración, 69,30% de lluvia útil.

Salidas estimadas: Salidas estimadas con manantiales y aforos diferenciales.

Tabla 45. Balance hídrico de los acuíferos de interés.

En algunos casos, las cifras de infiltración son bastante similares a las de salida (en la columna de Diferencia entradas-salidas controladas aparece 0), lo que hace pensar que la estimación de los recursos hídricos evaluada a partir del balance hidrometeorológico efectuado, puede estar bastante ajustada a la realidad. En los casos en que el resultado del balance hídrico es positivo, ha ocurrido que no se han llegado a localizar y contabilizar todas las salidas difusas del acuífero. Esta diferencia positiva no debería ser tal, ya que en un régimen natural hidrodinámico como en el que se encuentran todos los acuíferos carbonatados estudiados, anualmente, las entradas de agua infiltradas deben ser equivalentes a las salidas producidas.

El valor negativo (-3,44) del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta se debe posiblemente, a que el coeficiente de infiltración en las calizas sea algo mayor que el aplicado en los cálculos del balance hidrometeorológico efectuado (69,30 % de la lluvia útil producida). Como se explicó en el epígrafe del Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra-Berroeta del capítulo 4 (página 93) si en lugar de aplicar este coeficiente de infiltración, se aplicara el del 75 % (coeficiente de infiltración que ha sido contrastado, mediante modelización matemática, en acuíferos carbonatados de similar grado de permeabilidad del que aquí se trata), la recarga subterránea estimada sería de 30,57 hm^3/año, con lo que el balance de salidas-entradas, quedaría bastante equilibrado.

En resumen, lo que pone de manifiesto este balance hídrico es la capacidad hidráulica de los acuíferos carbonatados de las cuencas del Bidasoa, principalmente, y de los ríos pirenaicos. Con estos acuíferos se podrían regular hasta un máximo de 63 hm^3 en un año de tipo pluviométrico medio, que serían los recursos renovables.

No obstante, el recurso susceptible de explotación es el denominado recurso disponible, que según se refiere en la Instrucción de Planificación hidrológica[39] (IPH) es el recurso renovable menos las necesidades ambientales (salidas subterráneas al río); que en una primera aproximación, y a falta de datos más precisos, se han estimado en un 20 % del recurso renovable. Por tanto, el recurso disponible sería el 80 % del recurso renovable (63 hm^3/año) lo que equivaldría a un volumen total de unos 50 hm^3/año.

En todos los casos, el recurso disponible es superior a la explotación actual, por lo que puede considerarse que hay un notable margen para abordar estrategias de explotación conjunta y/o para emplear las aguas subterráneas como recursos de apoyo y emergencia.

[39] Según el artículo 5.2.4.1 de la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica.

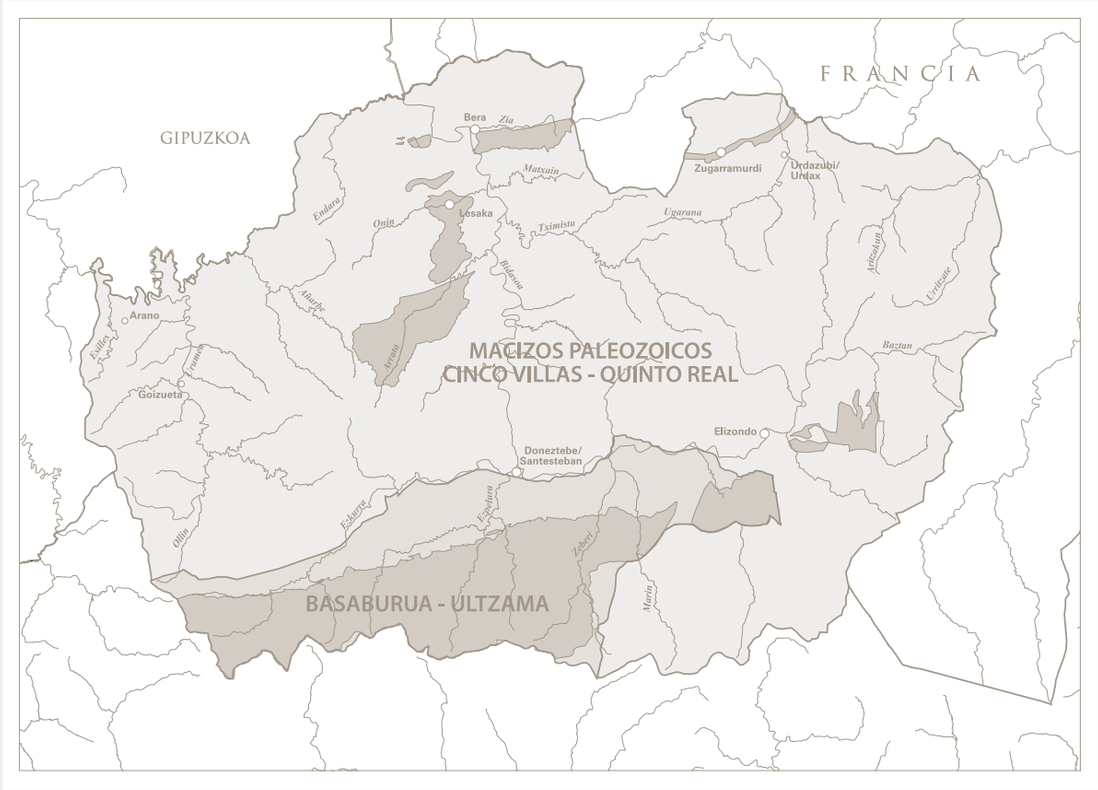
REFERENCIAS

- Actualización y mejora del banco de datos hidrológico y su aplicación informática. Gobierno de Navarra, 2009.
- Ampliación del estudio geológico e hidrogeológico en el vertedero de residuos sólidos urbanos de la Mancomunidad de Servicios Cinco Villas (Navarra). GEEA Geólogos, diciembre 2009.
- Ampliación y actualización de los estudios hidrogeológicos de la Unidad Aralar-Ultzama. Gobierno de Navarra, 1999.
- Ampliación del periodo de seguimiento de la red de control cuantitativa y de la calidad definidos para las cuencas del Bidasoa y Urumea. Proyecto BIDUR. Gestión Ambiental de Navarra e IDRENA. Gobierno de Navarra, marzo 2012.
- Apoyo técnico para el control y vigilancia de las obras complementarias a realizar en el proyecto BIDUR. Gestión Ambiental de Navarra e INFRAECO (Infraestructuras y Ecología S.L.). Gobierno de Navarra, julio 2012.
- Banco de Datos Hidrológicos de la Sección de Recursos Hídricos (Servicio de Aguas) del Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente. Gobierno de Navarra, 2009.
- Buscando soluciones al Bidasoa. Gobierno de Navarra, 2008
- Cálculo de regímenes de caudales ecológicos en puntos de la red fluvial de Navarra. Gobierno de Navarra, 2003.
- Caracterización de las Demarcaciones Hidrográficas de la Comunidad del País Vasco. Gobierno Vasco, 2005.
- Columnas litológicas y ensayos hidrodinámicos realizados en 6 sondeos de reconocimiento e investigación perforados en el TM de Bera, por la máquina de sondeos de la Dirección General de Obras Públicas, a través de la Sección de Geología y Geotecnia del Servicio de Proyectos, Ferrocarriles y Obras.
- Consulta pública y participación activa de DMA en la CHN. Demarcación Hidrográfica del Cantábrico, 2008.
- Documento Técnico para la Participación Pública en la Cuenca del Bidasoa. Foro del Agua de Navarra. Gobierno de Navarra, 2007.
- El Bidasoa que vemos: problemas que hay o pensamos que hay en el río Bidasoa. Foro del Agua de Navarra, 2007.
- Esquema Provisional de Temas Importantes. CHN, 2008
- Estudio general sobre la Demarcación Hidrográfica del Norte. CHN, 2007.
- Estudio de determinación de índices biotícos en 81 puntos de los ríos de Navarra. Memoria final. Ekolur, 2003.
- Estudio de las captaciones y consumos de agua del municipio de Bera (Navarra). UPV/EHU, 2005.

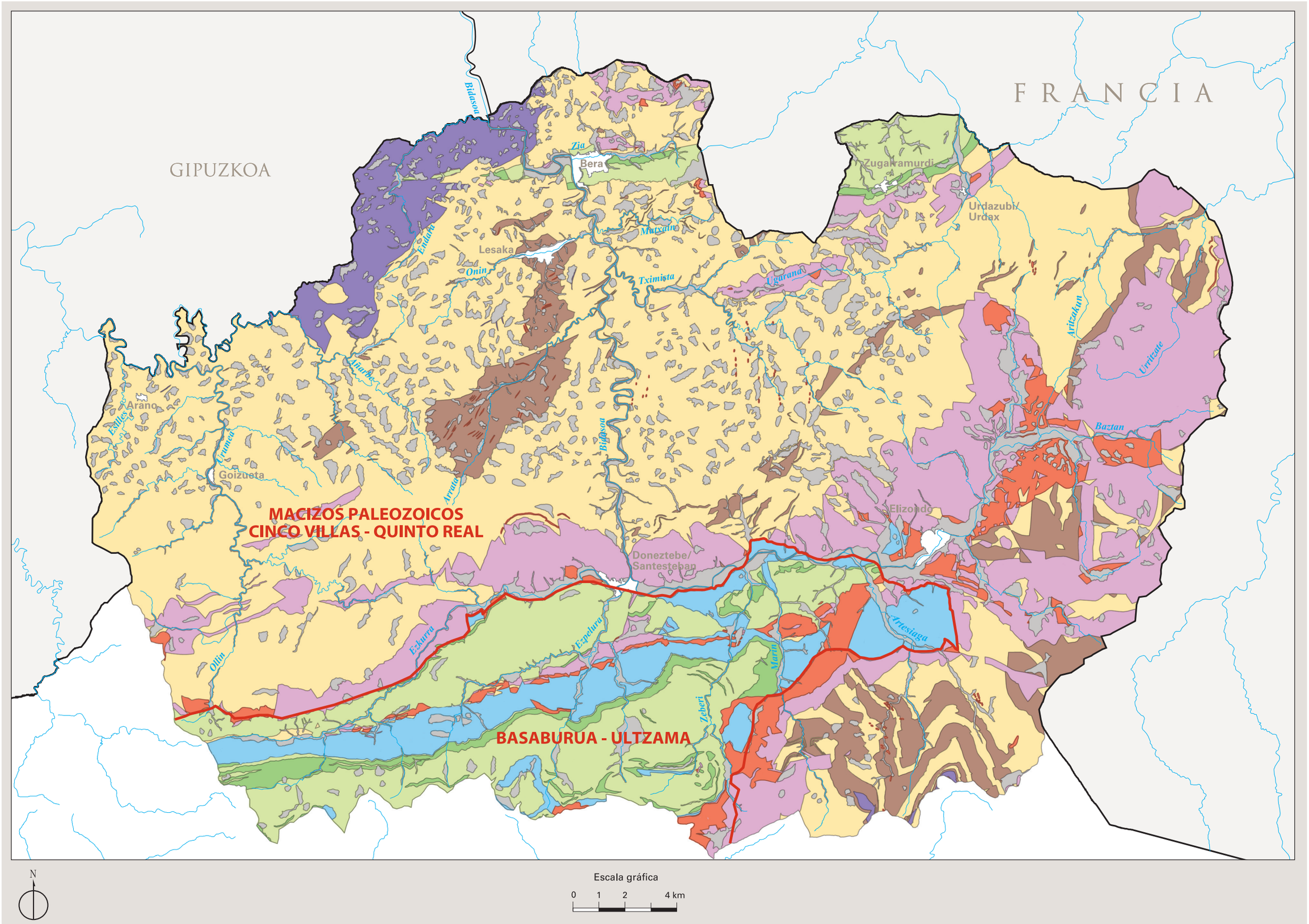
- Estudio de las repercusiones de la actividad humana en el estado de las aguas superficiales. Caracterización adicional del riesgo, en especial de las masas de agua en riesgo, en estudio de la Confederación Hidrográfica del Norte. IMPRESS-2. MMAM, 2009.
- Estudio Geológico-Geotécnico. Proyecto de Obras de Urbanización y de ejecución de las Naves en la Unidad de Suelo CI-2. Polígono Industrial de Bera, julio 2008.
- Estudio de evaluación de recursos subterráneos, análisis de usos y demandas e identificación de presiones e impactos sobre las aguas. Proyecto INTERREG IVa BIDUR. Gestión Ambiental de Navarra e IDRENA. Gobierno de Navarra, noviembre 2011.
- Evaluación y mejora del estado de los ríos de Navarra según la Directiva Marco de Agua. Gobierno de Navarra, 2006.
- Introducción a los Objetivos Medioambientales, Exenciones y Programas de Medidas. Ámbito de participación territorial del País Vasco-Navarra. Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental, febrero 2011.
- Inventarios de puntos de agua (realizados anteriormente en la zona, en distintas épocas), entre otros: P-0001, P-1977, P-1985a, P-1985b, P-1986, P-1988, P-1991, P-1994, P-1997, P-1999 y P-2000. Gobierno de Navarra.
- Las Aguas en Navarra. Proyecto Hidrogeológico. Diputación Foral de Navarra. Dirección de Obras Públicas. Servicio Geológico. 1982
- Listado de Medidas Foro Agua Subcuenca del Bidasoa. CRANA, 2007.
- Mapas topográficos, a escala 1:50.000 y 1:25.000, de toda la zona de estudio. Servicio Geográfico del Ejército.
- Mapas topográficos, a escala 1:25.000, en formato digital (dgn). Gobierno de Navarra.
- Mapas geológicos a escala 1:25.000, en formato digital (dgn). Gobierno de Navarra.
- Mapas geológicos MAGNA, a escala 1:50.000, de las hojas topográficas nº: 64 San Sebastián, 65 Vera de Bidasoa, 66 Maya del Baztán, 89 Tortosa, 90 Sumbilla, 91Valcarlos. IGME.
- Mapas litológicos del País Vasco, en formato digital. Ente Vasco de la Energía (EVE). Gobierno Vasco.
- Memoria de Hojas Geológicas (escala 1:25.000). Gobierno de Navarra.
- Ortofotogramas, realizados, en diferentes vuelos y épocas, por el Gobierno de Navarra, entre los que destaca el ejecutado en el año 2008.
- Planes de Ordenación Territorial de Navarra (POT). Gobierno de Navarra, 2009.
- Planes y programas de la CCAA relacionadas con el agua al incorporar en el Plan Hidrológico (Abastecimiento y saneamiento) Gobierno de Navarra.
- Plan especial de actuación en situación de alerta y eventual sequía de la Cuenca Hidrográfica del Norte. MMAM, marzo 2007.
- Plan Hidrológico Norte III. Estudios de planificación por sistemas de explotación de recursos. Sistema 1: Bidasoa. Confederación Hidrográfica del Norte, 1997.
- Presentación enfoque sobre la participación pública en CHN. MMAM, 2007.

- Recopilación, actualización y homogenización del inventario de puntos de agua de la Comunidad Foral y elaboración de un sistema de información hidrogeológica de Navarra. Departamento de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio y Vivienda. Gobierno de Navarra, 2001.
- Redes de control: históricos de cantidad de agua, calidad fisicoquímica del agua, índices bióticos. Gobierno de Navarra, 2009.
- Red de seguimiento del estado ecológico de los ríos de la Comunidad Autónoma del País Vasco. Tema 15: Unidad Hidrológica del Bidasoa. ONDOTEK, UTE II. Bilbao, mayo 2006.
- Usos y Demandas de agua. Demarcación Hidrográfica del Cantábrico, (borrador) 2009.

Geología esquemática de las cuencas del Bidasoa, Urumea, Urdazuri/Nivelle y Erro/Nive en Navarra



Geología esquemática de las cuencas del Bidasoa, Urumea, Urdazuri/Nivelle y Errobi/Nive en Navarra



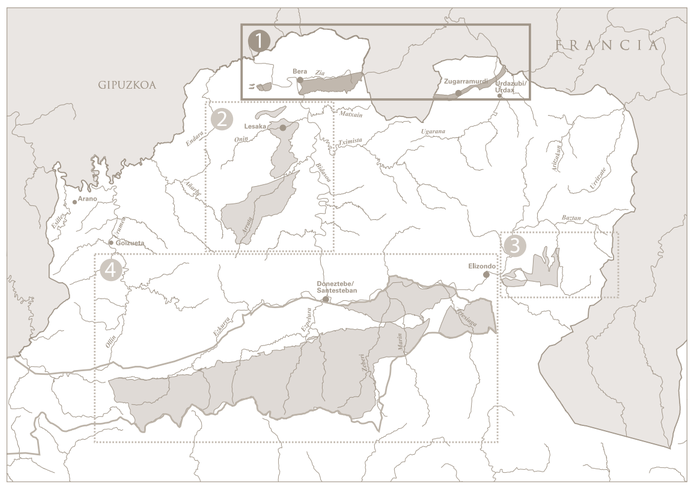
LEYENDA GEOLÓGICA

- Cuaternario
- Cretácico margoso
- Calizas del cretácico superior
- Jurásico
- Triásico
- Calizas, dolomías, cuarcitas y areniscas paleozoicas
- Esquistos y pizarras del Paleozoico
- Rocas volcánicas
- Rocas ígneas intrusivas
- Límite de masas de agua subterránea
- Límite fronterizo y autonómico

1

Sistema acuífero
del sinclinal
cretácico de

Bera - Urdazubi/Urdax



1 Sistema acuífero del sinclinal cretácico de Bera - Urdazubi/Urdax

LEYENDA GEOLÓGICA

CUATERNARIO

- 524,527, 536 Aluviales y terrazas de ríos. Permeabilidad: Alta-Muy alta.
- 543, 544, 545, 547, 550 Coluviones, depósitos de ladera, 534 Glacis. Permeabilidad: Media-Alta.
- 523 Arcillas de decalcificación (dolinas). Permeabilidad: Baja.
- 534 Glacis actual o de cobertera. Permeabilidad: Media-Alta.

CRETÁCICO

- 170 Flysch de arcillas y areniscas. Permeabilidad: Baja-Muy baja.
- 169 Calizas arcillosas. Permeabilidad: Media-Baja.
- 168 Calizas arrecifales. Permeabilidad: Media-Alta.
- 151 Lutitas, limolitas y areniscas. Permeabilidad: Baja.
- 136 Conglomerados calcáreos. Permeabilidad: Media.

TRIÁSICO

- 109 Arcillas, yesos y sales. Permeabilidad: Baja-Muy baja.
- 107 Dolomías y calizas. Permeabilidad: Media-Alta.
- 105, 104 Arcillas y areniscas. Permeabilidad: Baja-Muy baja.
- 101, 103 Conglomerados cuarcíticos. Areniscas rojas y grises. Permeabilidad: Baja.

PALEOZOICO

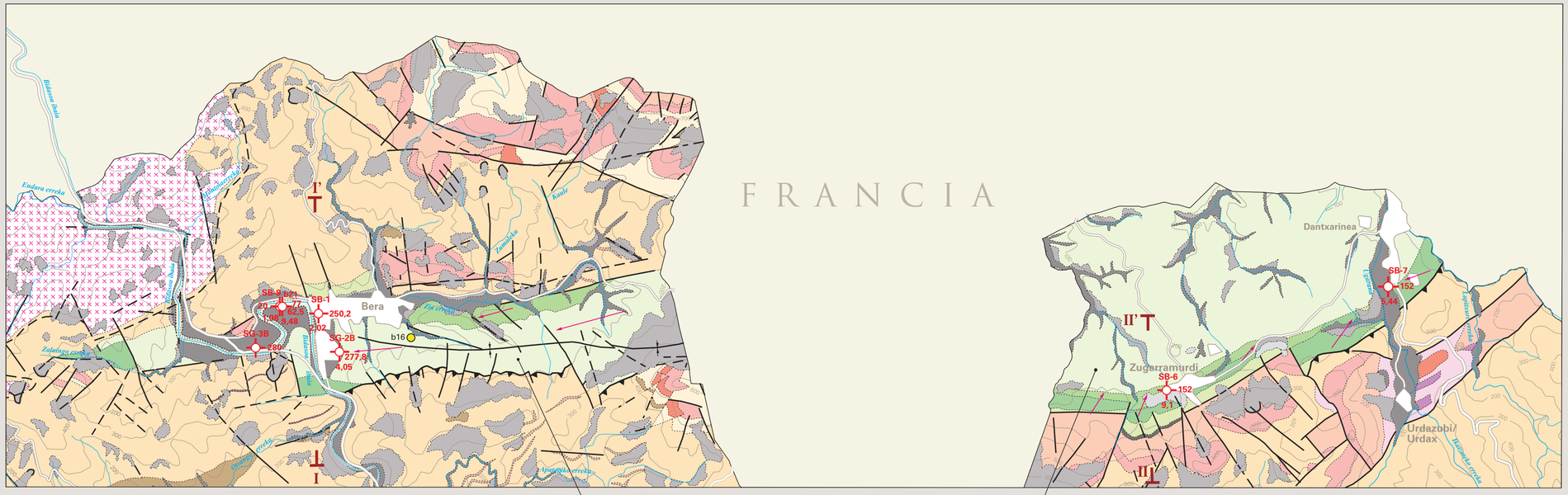
- 071 Arcillas. Permeabilidad: Muy baja.
- 65, 70 Calizas y brechas carbonatadas. Permeabilidad: Alta.
- 068 Conglomerados. Permeabilidad: Baja-Media.
- 59, 64, 69 Esquistos, pizarras. Permeabilidad: Baja-Muy baja.

ROCAS ÍGNEAS

- 002 Intrusiones graníticas y filones. Permeabilidad: Muy baja.

ROCAS VOLCÁNICAS

- 001, 004 Ofitas. Basaltos. Permeabilidad: Baja.
- 007 Cuarzo. Permeabilidad: Muy baja.



Signos convencionales

- Contacto normal
- Falla
- Falla supuesta
- Sinclinal
- Cabalgamiento

Manantiales representativos

- < 5 l/s

Obras de captación

- SB-9 20 77 1,08 — Sondeo
- 1 Nombre, 2 Profundidad, 3 Nivel estático, 4 Caudal (l/s)

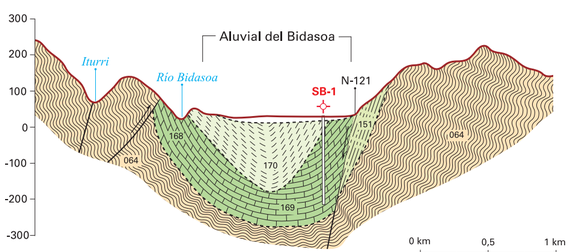
Hidrogeología

- Dirección de flujo subterráneo
- Hidrología

Otros símbolos

- Núcleo de población
- Carretera
- Curva de nivel. Equidistancia 100 m.

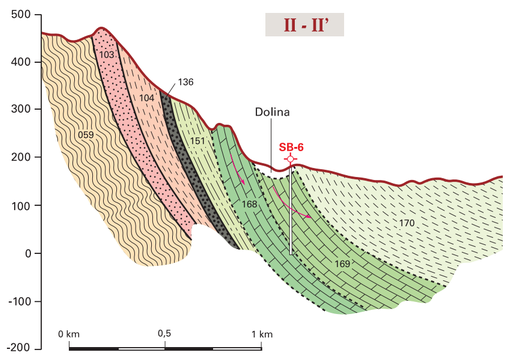
I - I'



Acuífero Sinclinal Cretácico en Bera	
Litología	Calizas del Cretácico
Extensión (km²)	0,805 de calizas
Potencia (m)	50-100
Precipitación (mm/año)	1691,62
Lluvia útil (l/m²)	1035,54
Infiltración (% de LLU)	69,30 %
Recursos medios (hm³/año)	0,578
Descargas (hm³/año) (Pozo de Alkaiaga (b21) y difusas al río Bidasoa)	0,097 + difusas estimadas en 0,481

Acuífero Sinclinal Cretácico en Zugarramurdi-Urdazubi/Urdax	
Litología	Calizas del Cretácico
Extensión (km²)	2,37 de calizas
Potencia (m)	100
Precipitación (mm/año)	1691,62
Lluvia útil (l/m²)	1035,54
Infiltración (% de LLU)	69,30 %
Recursos medios (hm³/año)	1,69
Descargas (hm³/año) (difusas a la regata de Ugarana)	>1,12

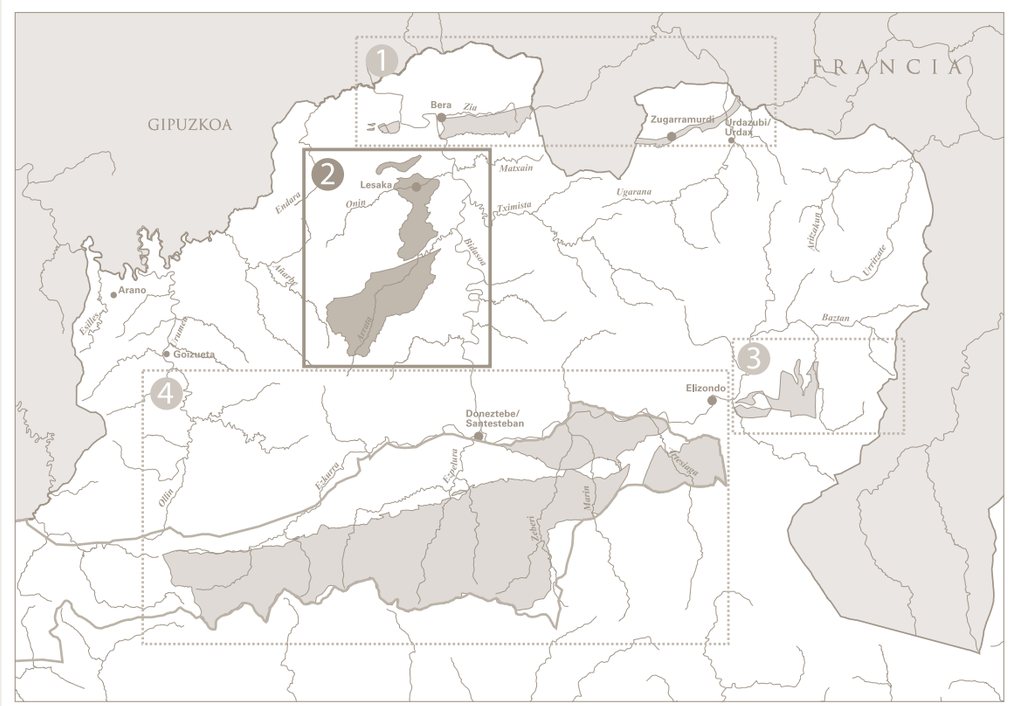
II - II'



2

Sistema acuífero de las calizas paleozoicas de

Lesaka - Arantza



2 Sistema acuífero de las calizas paleozoicas de Lesaka - Arantza

LEYENDA GEOLÓGICA

CUATERNARIO

- 523 Arcillas de decalcificación. Dolinas. Permeabilidad: Baja.
- 524, 527 Bloques, cantos, gravas y arenas. Aluviales. Permeabilidad: Alta-Muy alta.
- 543 Coluviones. Cuaternario. Permeabilidad: Media-Alta.

TRIÁSICO

- 101 Conglomerados cuarcíticos. Permeabilidad: Baja.

PALEOZOICO

- 065, 067 Carbonífero superior. Calizas tableadas. Permeabilidad: Alta.
- 068 Conglomerados. Permeabilidad: Baja.
- 064 Esquistos, pizarras y grauvacas. Devónico-Carbonífero. Permeabilidad: Baja-Muy baja.

ROCAS ÍGNEAS

- 002 Intrusiones graníticas. Permeabilidad: Muy baja.
- 005, 006 Filón intrusión ígnea. Permeabilidad: Muy baja.
- 007 Cuarzo. Permeabilidad: Muy baja.

Signos convencionales

- Contacto normal
- Falla
- Falla supuesta
- Sinclinal
- Anticlinal

Manantiales representativos. Caudal (l/s)

- < 5
- 5 -10
- 10 - 30

Obras de captación

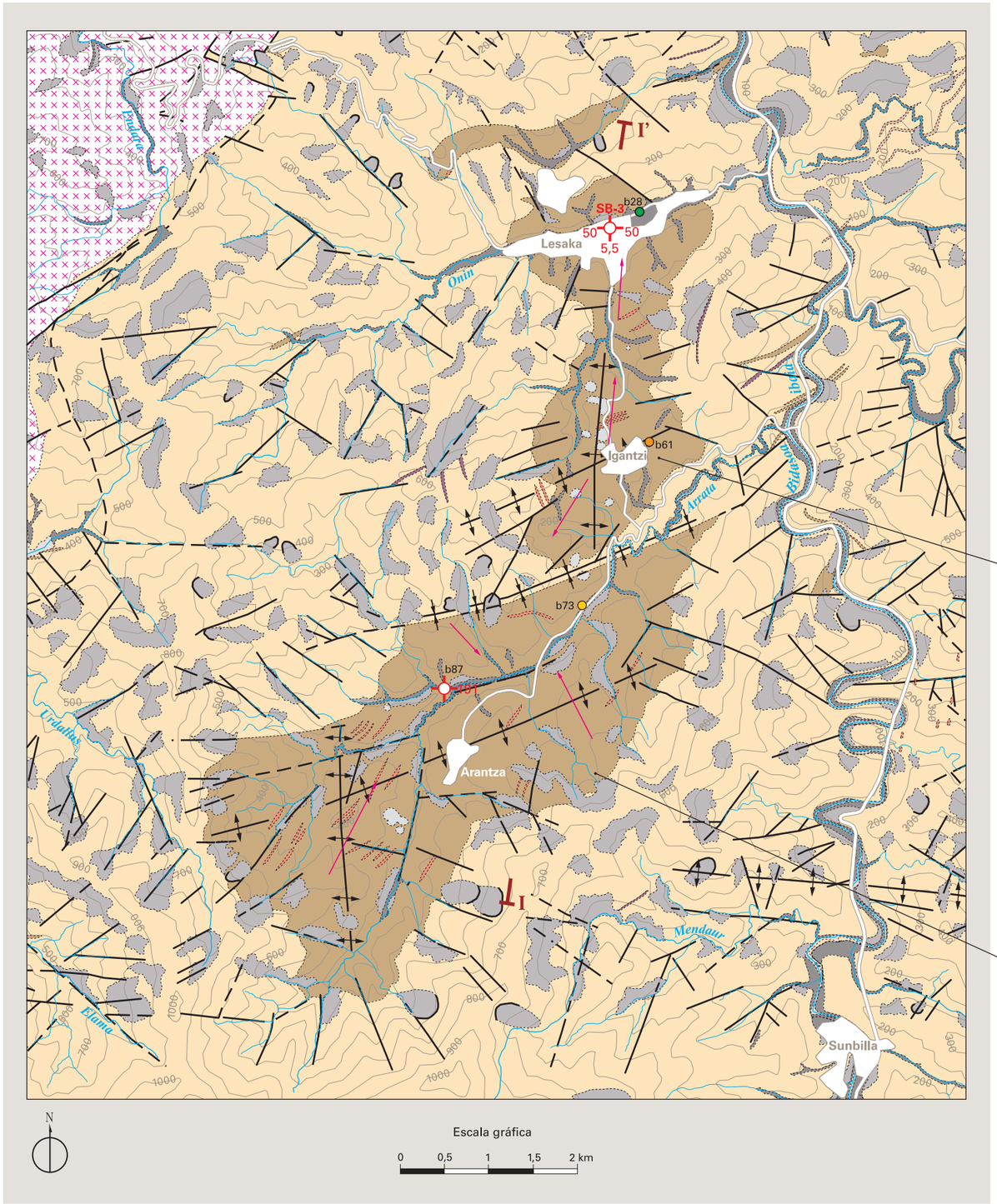
- SB-3 (50 / 50 / 5,5) Sondeo
- 1 Nombre, 2 Profundidad, 3 Nivel estático, 4 Caudal (l/s)

Hidrogeología

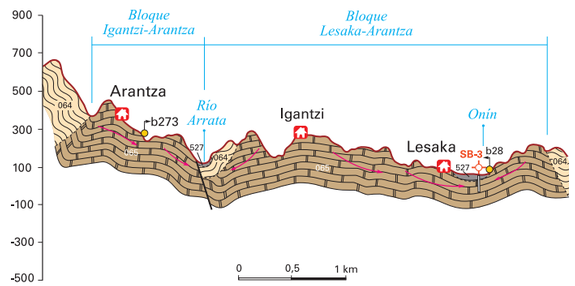
- Dirección de flujo subterráneo
- Hidrología

Otros símbolos

- Núcleo de población
- Carretera
- Curva de nivel. Equidistancia 100 m.



I - I'



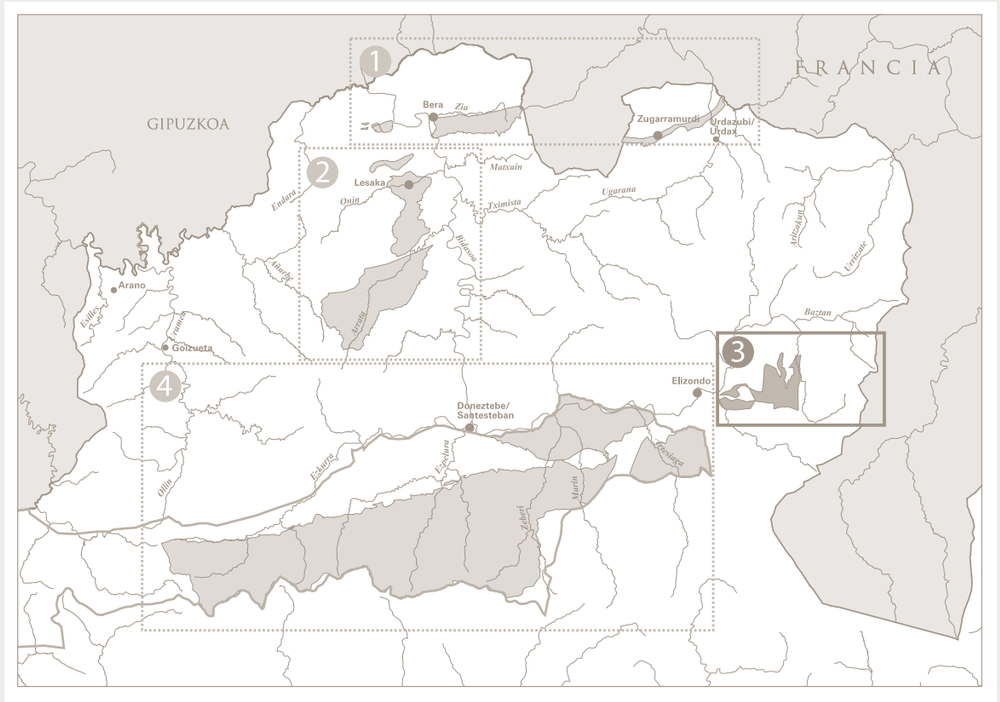
Acuífero Bloque Norte (Lesaka - Igantzi)	
Litología	Calizas del Carbonífero
Extensión (km²)	6,56
Potencia (m)	500
Precipitación (mm/año)	1691,62
Lluvia útil (l/m²)	1035,54
Infiltración (% de LLU)	69,30 %
Recursos medios (hm³/año)	4,66
Descargas l/s (manantiales y difusas aforadas en el cauce del río Onin)	150 l/s

Acuífero Bloque Sur (Igantzi - Arantza)	
Litología	Calizas del Carbonífero
Extensión (km²)	12,57
Potencia (m)	500
Precipitación (mm/año)	1691,62
Lluvia útil (l/m²)	1035,54
Infiltración (% de LLU)	69,30 %
Recursos medios (hm³/año)	9,02
Descargas l/s (manantiales y difusas aforadas en el cauce del río Arrata)	0,94
Descargas adicionales estimadas (hm³/año) con objeto de cuadrar el balance hídrico	8,08

3

Sistema acuífero de las dolomías del Devónico en

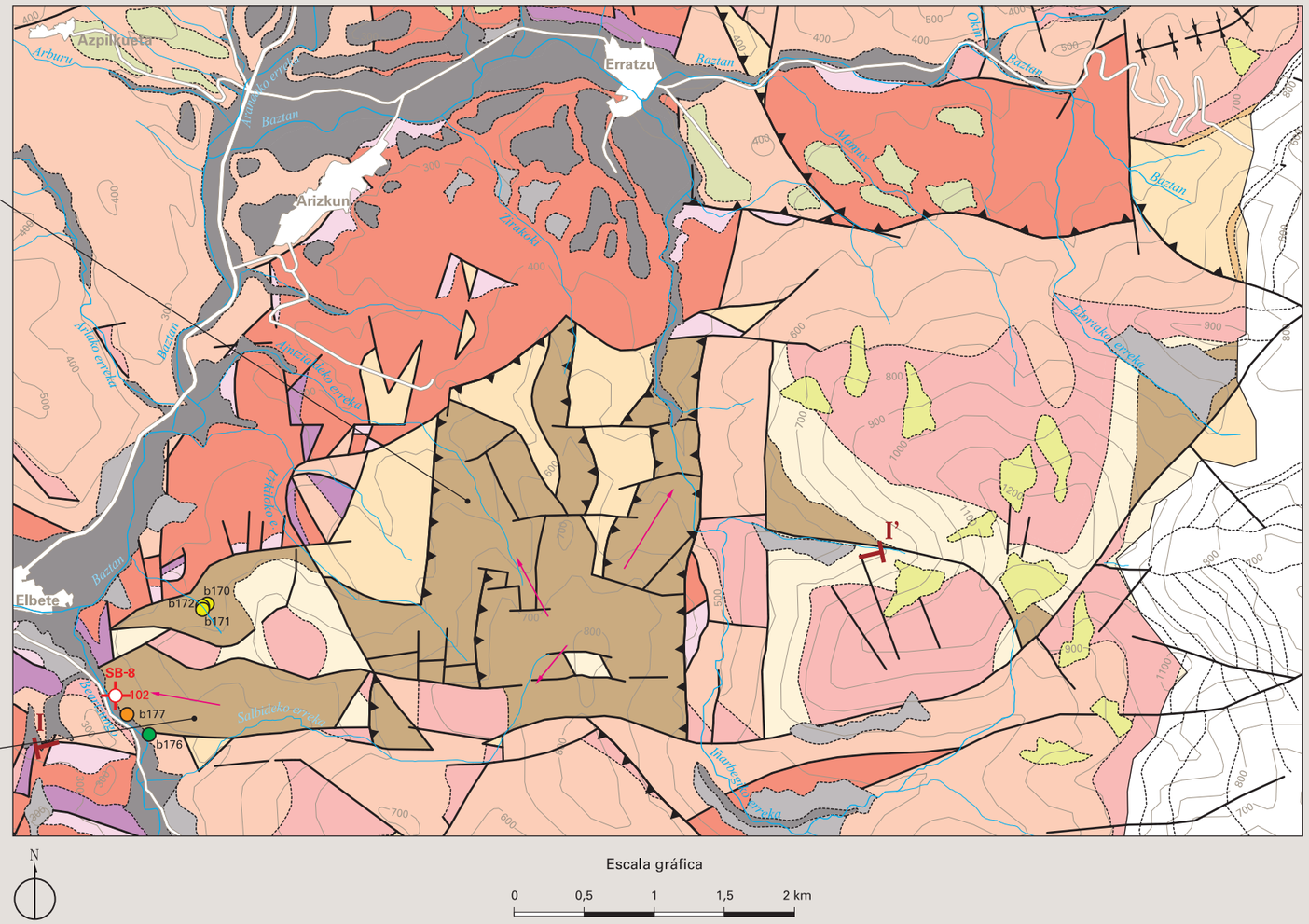
Elizondo

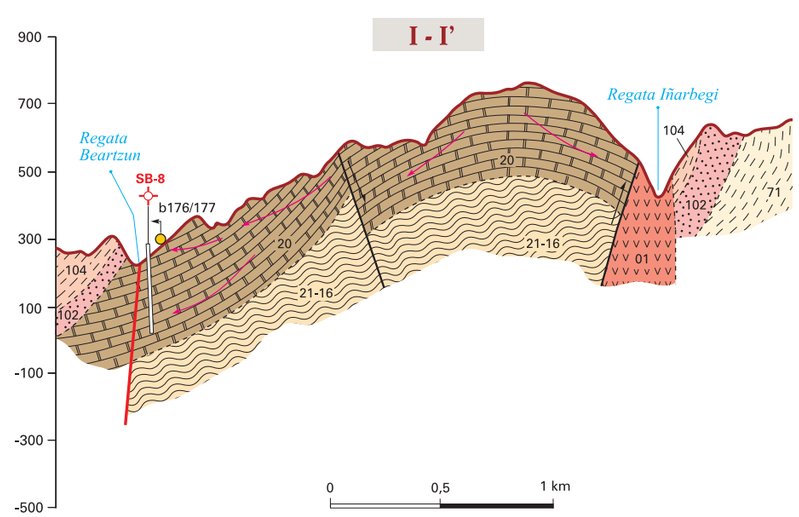


3 Sistema acuífero de las dolomías del Devónico en Elizondo

Acuífero de las Dolomías en el Sector Oriental	
Litología	Dolomías del Devónico
Extensión (km²)	4,69 de calizas
Potencia (m)	500
Precipitación (mm/año)	1691,62
Lluvia útil (l/m²)	1035,54
Infiltración (% de LLU)	69,30 %
Recursos medios (hm³/año)	3,36
Descargas (hm³/año) (difusas a la regata de Iñarbegi)	No se han podido determinar

Acuífero de las Dolomías en el Sector Occidental	
Litología	Dolomías del Devónico
Extensión (km²)	0,84
Potencia (m)	500
Precipitación (mm/año)	1691,62
Lluvia útil (l/m²)	1035,54
Infiltración (% de LLU)	69,30 %
Recursos medios (hm³/año)	0,603 + posible recarga lateral desde el sector oriental
Descarga (hm³/año) (manantiales Bumbulle b176 y Fuentehermosa b177)	0,693





LEYENDA GEOLÓGICA

CUATERNARIO

- 527, 536, 524, 530, 526 Aluviales y terrazas. Permeabilidad: Alta-Muy alta.
- 543, 537 Depósitos cuaternarios. Permeabilidad: Media-Alta.
- 548 Canchales. Brechas calcáreas. Permeabilidad: Media-Alta.
- 519, 534 Glacis. Permeabilidad: Media-Alta.

TRIÁSICO

- 109 Arcillas, yesos y sales. Permeabilidad: Baja-Muy baja.
- 107 Dolomías y calizas. Permeabilidad: Media-Alta.
- 104, 105 Arcillas rojas y areniscas. Permeabilidad: Baja-Muy baja.
- 101, 102, 103 Areniscas rojas y conglomerados. Permeabilidad: Baja.

PALEOZOICO

- 071 Arcillas. Permeabilidad: Muy baja.
- 020, 017, 070 Dolomias, calizas y brechas carbonatadas. Permeabilidad: Media-Alta.
- 012 Cuarcitas. Permeabilidad: Baja.
- 011, 013, 016, 021, 050, Esquistos. Permeabilidad: Baja-Muy baja.
- 001 Ofitas. Permeabilidad: Baja.

Signos convencionales

- Contacto normal
- Falla
- Falla supuesta
- Sinclinal
- Cabalgamiento

Manantiales representativos. Caudal (l/s)

- < 5
- 5 -10
- 10 - 30

Obras de captación

SB-8 102 Sondeo

1 Nombre
2 Profundidad
3 Nivel estático
4 Caudal (l/s)

Hidrogeología

- Dirección de flujo subterráneo
- Hidrología

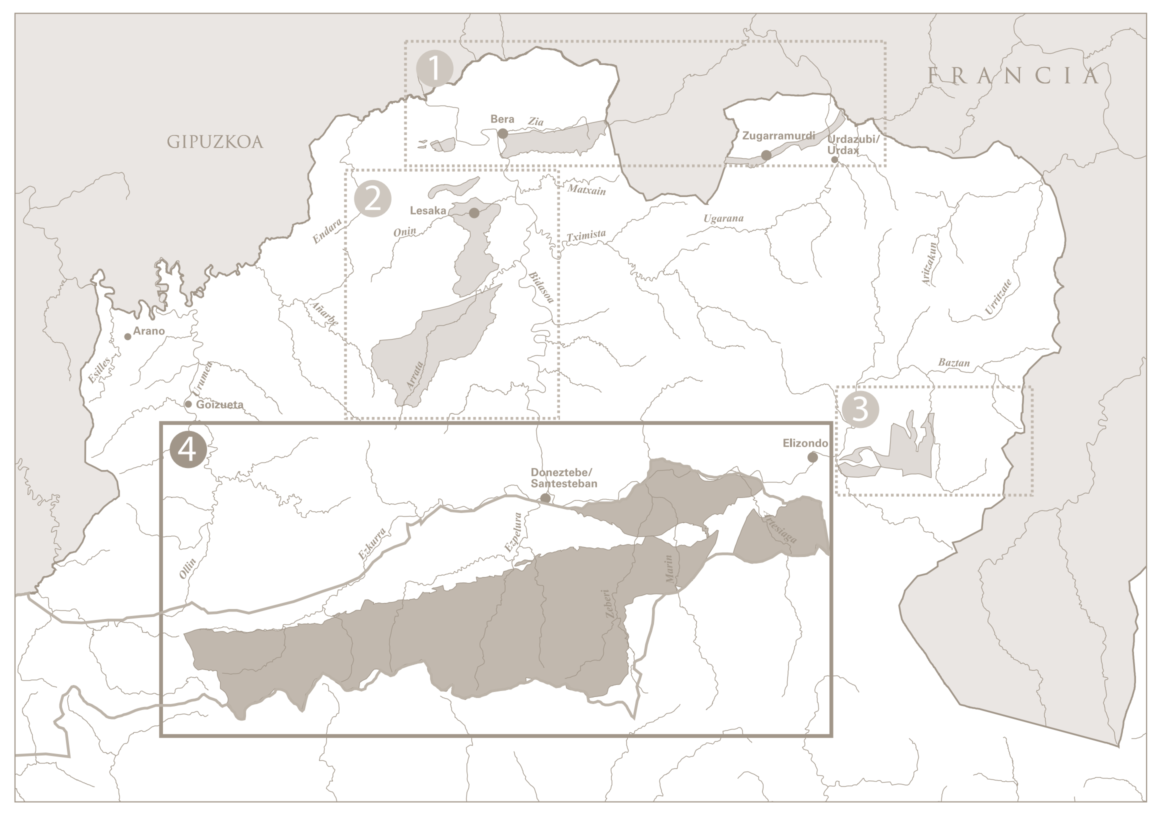
Otros símbolos

- Núcleo de población
- Carretera
- Curva de nivel. Equidistancia 100 m.

4

Sistema acuífero
del sinclinal
jurásico-cretácico de

Basaburua - Ultzama



4 Sistema acuífero del sinclinal jurásico-cretácico de Basaburua-Ultzama

LEYENDA GEOLÓGICA

CUATERNARIO

- 548 Canchales y brechas calcáreas. Permeabilidad: Media-Alta.
- 524, 526, 527, 530, 536 Aluviales y terrazas de río. Permeabilidad: Alta-Muy alta.
- 537, 543, 544, 545, 547, 550 Coluviones, depósitos de ladera. Permeabilidad: Media-Alta.
- 523 Arcilla de descalcificación (dolinas). Permeabilidad: Baja.
- 519, 534 Glacis. Permeabilidad: Media-Alta.

CRETÁCICO

- 134, 140, 160 Margas, calizas margosas y arenas. Permeabilidad: Baja.
- 133, 143, 145, 158 Calizas. Permeabilidad: Media-Alta.
- 138 Marmol. Permeabilidad: Media-Alta.
- 128 Arcillas y margas. Permeabilidad: Baja-Muy baja.
- 126 Calizas, margas y areniscas. Permeabilidad: Media-Baja.

JURÁSICO

- 116, 118 Calizas. Permeabilidad: Alta.
- 114, 115 Calizas, margas y calizas margosas. Permeabilidad: Media-Baja.
- 113 Calizas, dolomías y brechas. Permeabilidad: Alta.

TRIÁSICO

- 108, 109 Arcillas abigarradas y yesos. Permeabilidad: Baja-Muy baja.
- 107 Dolomías y calizas. Permeabilidad: Media-Alta.
- 104, 105 Arcillas rojas con areniscas. Permeabilidad: Baja-Muy baja.
- 101,102, 103 Arcillas rojas y conglomerados. Permeabilidad: Baja.

PALEOZOICO

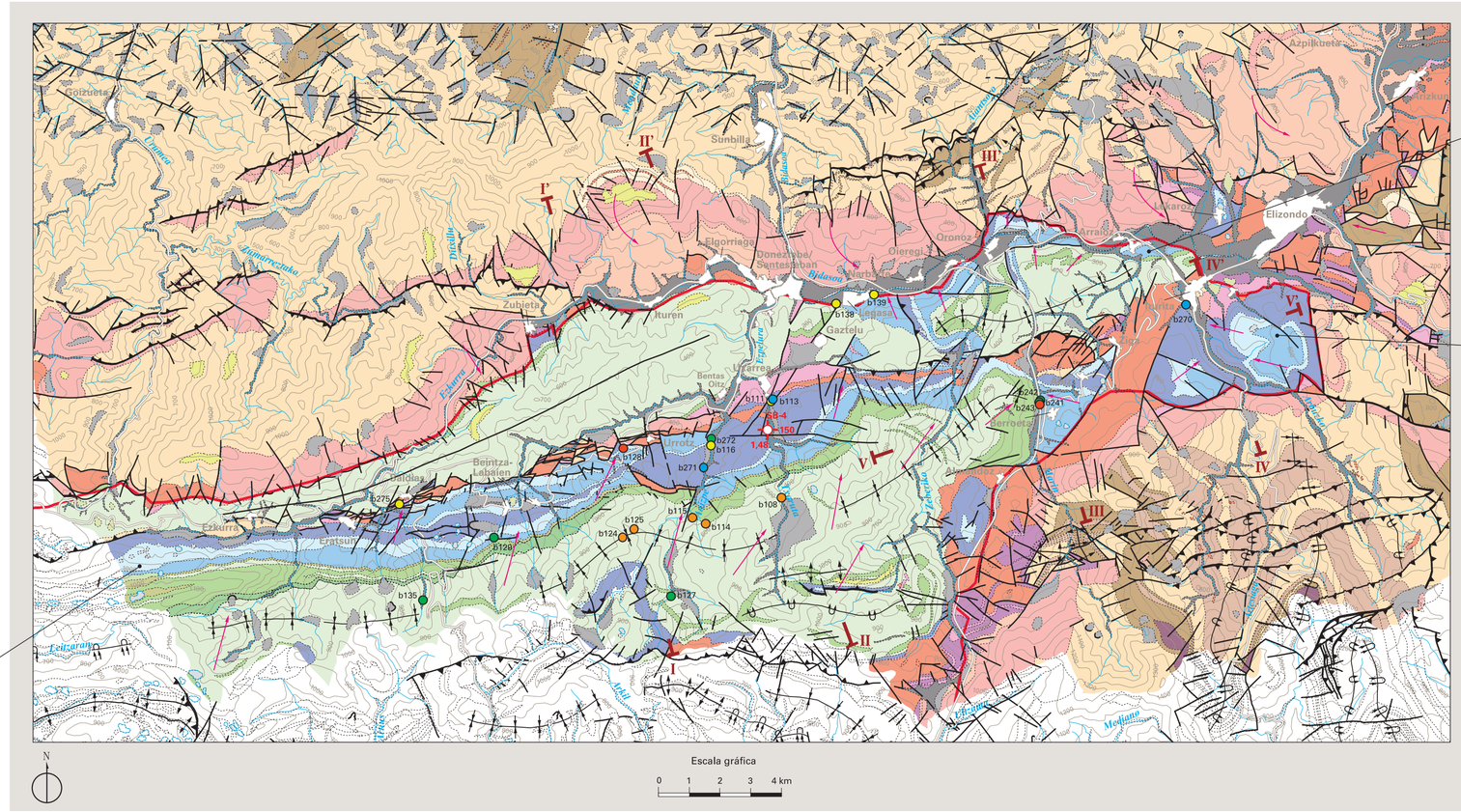
- 071 Arcillas. Permeabilidad: Muy baja.
- 17, 20, 22, 36, 41, 44, 45, 47 56, 58, 60, 65, 67, 70 Calizas, dolomías y brechas carbonatadas. Permeabilidad: Alta-Muy alta.
- 28, 30, 32, 33, 34, 37, 53, 61, 63, 68 Areniscas y cuarcitas. Permeabilidad: Baja
- 15, 16, 21, 24, 26, 31, 35, 43, 49, 50, 52, 57, 59, 62, 64 Pizarras y esquistos. Permeabilidad: Baja-Muy baja.

ROCAS ÍGNEAS

- 007, 046 Intrusiones graníticas y filones. Permeabilidad: Muy baja.

ROCAS VOLCÁNICAS

- 001, 002, 003, 004 Ofitas. Diabasas. Lherzolitas. Basaltos. Permeabilidad: Baja.



Sinclinal Jurásico-Cretácico de Gaztelu - Arraioz	
Litología	Calizas y dolomías del Jurásico y calizas del Cretácico sup.
Extensión (km²)	14,4
Potencia (m)	150-200
Precipitación (mm/año)	1691,62
Lluvia útil (l/m²)	1035,54
Infiltración (% de LLU)	69,30 %
Recursos medios (hm³/año)	10,33
Descargas (hm³/año) (difusas al cauce del río Bidasoa)	10,47

Sinclinal Jurásico de Irurita	
Litología	Calizas y dolomías del Jurásico
Extensión (km²)	8,4
Potencia (m)	60-200
Precipitación (mm/año)	1691,62
Lluvia útil (l/m²)	1035,54
Infiltración (% de LLU)	69,30 %
Recursos medios (hm³/año)	6,03
Descargas (hm³/año) (manantial b270 y difusas a la regata de Artesiaga)	5,74

Sinclinal Jurásico-Cretácico de Ezkurra- Berroeta	
Litología	Calizas y dolomías del Jurásico y calizas del Cretácico sup.
Extensión (km²)	37,8 de afloramientos carbonatados
Potencia (m)	400 - 800
Precipitación (mm/año)	1691,62
Lluvia útil (l/m²)	1035,54
Infiltración (% de LLU)	75 %
Recursos medios (hm³/año)	29,35
Descargas (hm³/año) (manantiales y difusas a cauces Ezpelura, Txaruta y Marin)	30,57

Símbolos convencionales

- Contacto normal
- Falla
- Falla supuesta
- Anticlinal
- Anticlinal tumbado
- Sinclinal
- Sinclinal tumbado
- Dolina
- Límite de masas de agua subterránea

Obras de captación

SB-4 150 1,48 Sondeo

1 Nombre
2 Profundidad
3 Nivel estático
4 Caudal (l/s)

Manantiales representativos. Caudal (l/s)

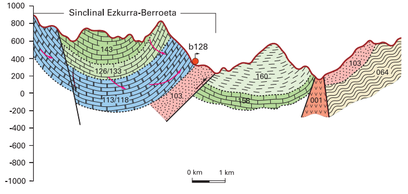
- < 5
- 5 -10
- 10 - 30
- 30 - 100
- > 100

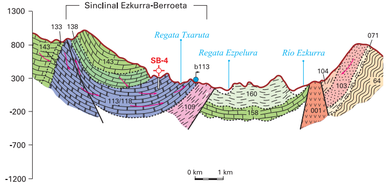
Hidrogeología

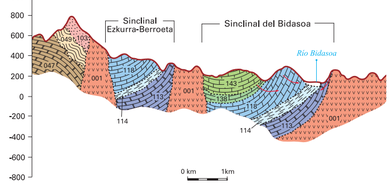
- Dirección de flujo subterráneo
- Hidrología

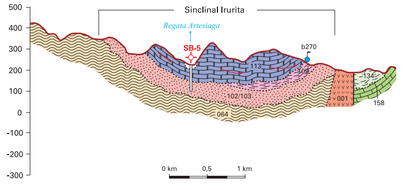
Otros símbolos

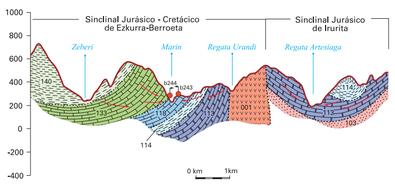
- Núcleo de población
- Carretera
- 700 Curva de nivel, Equidistancia 100 m.











ISBN: 978- 84- 616- 6582-2

9 788461 665822