



ESTUDIO SOBRE LA INUNDACIÓN DE LOS POZOS MINEROS EN LA ZONA BARREDO - VALLE DEL TURÓN - VALLE DEL ALLER

TOMO I: MEMORIA

Enero 2009



ESTUDIO SOBRE LA INUNDACIÓN DE LOS POZOS
MINEROS EN LA ZONA BARREDO- TURÓN- ALLER

Convenio de Colaboración entre el Grupo Hulleras del Norte, S. A. (Grupo HUNOSA), la Universidad de Oviedo y el Instituto Geológico y Minero de España para el "Estudio del funcionamiento hidrodinámico, aprovechamiento del CH₄ contenido en las capas de carbón y posibilidad de inyección y secuestro de CO₂ en los yacimientos de la Cuenca Central asturiana".

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	5
2.	ANTECEDENTES.....	7
3.	OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO	11
4.	MARCO GEOGRÁFICO	15
5.	RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	20
6.	CARACTERÍSTICAS DE LAS EXPLOTACIONES	22
6.1.	MINERÍA DE MONTAÑA	22
6.1.1.	<i>Grupos de montaña del valle del río Caudal - zona de Barredo.....</i>	<i>23</i>
6.1.2.	<i>Grupos de montaña del valle del Turón</i>	<i>24</i>
6.1.3.	<i>Grupos de montaña del valle del Aller.....</i>	<i>27</i>
6.2.	POZOS	30
6.2.1.	<i>Pozo Barredo.....</i>	<i>32</i>
6.2.2.	<i>Pozo Figaredo</i>	<i>35</i>
6.2.3.	<i>Pozo San José.....</i>	<i>38</i>
6.2.4.	<i>Pozo Santa Bárbara</i>	<i>40</i>
6.2.5.	<i>Pozos del valle del Aller.....</i>	<i>43</i>
6.2.6.	<i>Conexiones</i>	<i>47</i>
6.3.	VOLÚMENES DE HUECOS.....	50
6.4.	CAUDALES BOMBEADOS	51
7.	MARCO GEOLÓGICO	53

7.1.	ESTRATIGRAFÍA	55
7.2.	TECTÓNICA	60
8.	ESTUDIO CLIMÁTICO	62
8.1.	INTRODUCCIÓN	62
8.1.1.	<i>Precipitaciones</i>	62
8.1.2.	<i>Temperaturas</i>	64
8.1.3.	<i>Balance hídrico</i>	65
8.2.	APLICACIÓN A LA ZONA DE ESTUDIO	66
8.3.	VALIDACIÓN DE DATOS Y OBTENCIÓN DE SERIES COMPLETAS DE PRECIPITACIÓN ..	70
9.	ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO.....	79
9.1.	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE LOS MATERIALES PRESENTES	79
9.2.	CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA	84
9.3.	INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.....	87
9.4.	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO.....	98
10.	BALANCE HÍDRICO.....	103
10.1.	DELIMITACIÓN DE LA CUENCA	103
10.2.	CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN Y LA LLUVIA ÚTIL.....	105
10.3.	CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL	108
10.3.1.	<i>Metodología</i>	108
10.3.2.	<i>Aforo del río Turón</i>	111
10.3.3.	<i>Aforo del río Aller</i>	114
10.4.	CÁLCULO DE LA INFILTRACIÓN	116
11.	ESTUDIO HIDROQUÍMICO	122
11.1.	METODOLOGÍA	122
11.1.1.	<i>Red de calidad, criterios de selección</i>	122
11.1.2.	<i>Muestreo para análisis químico</i>	124

11.1.3.	<i>Análisis químicos Laboratorio del IGME</i>	125
11.1.4.	<i>Interpretación de la información</i>	127
11.2.	RESULTADOS	133
11.2.1.	<i>Determinaciones “in situ”</i>	133
11.2.2.	<i>Análisis químicos</i>	137
11.2.3.	<i>Caracterización hidroquímica, representaciones gráficas, relaciones iónicas y correlación estadística</i>	149
11.2.4.	<i>Estabilidad mineral</i>	158
11.3.	INTERPRETACIÓN HIDROQUÍMICA	160
12.	PROCESO DE INUNDACIÓN	173
12.1.	ESTUDIO DEL PROCESO DE INUNDACIÓN	173
12.2.	MODELO DE INUNDACIÓN	183
12.2.1.	<i>Aplicación del modelo de inundación para la predicción de niveles</i>	187
12.3.	SEGUIMIENTO Y MONITORIZACIÓN	189
12.3.1.	<i>Seguimiento manual</i>	189
12.3.2.	<i>Monitorización automática</i>	200
13.	RIESGOS DE AFECCIÓN DEL PROCESO DE INUNDACIÓN	203
14.	POSIBILIDADES DE APROVECHAMIENTO DEL AGUA	206
15.	CONSIDERACIONES FINALES	211
	BIBLIOGRAFÍA	215

1. INTRODUCCIÓN

En el mes de febrero de 2005, en el transcurso de unas sesiones científico-técnicas relacionadas con la minería y su impacto sobre las aguas subterráneas que se celebraron en la Universidad de Oviedo, se produjo un primer contacto entre técnicos de la Oficina de Proyectos en Oviedo del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y los entonces Director General de Minería y Director Técnico de Aprovisionamiento de la Empresa Nacional Hulleras del Norte, S.A. (HUNOSA).

A partir de ese momento, tuvo lugar una primera reunión de trabajo, celebrada el día 10 de marzo, y otras posteriores, a las que se incorporaron investigadores del Departamento de Explotación y Prospección de Minas de la Universidad de Oviedo, para discutir la redacción de lo que se planteó como un Convenio Marco de colaboración entre el Grupo HUNOSA, el IGME y la Universidad de Oviedo para el desarrollo de trabajos incluidos en proyectos de investigación relacionados con el agua subterránea y la minería de carbón, el posible aprovechamiento del CH₄ contenido en las capas de carbón y la posibilidad de almacenamiento de CO₂ en estructuras geológicas subterráneas adecuadas a tal fin.

Estas gestiones se demoraron en el tiempo por diversas circunstancias, pero finalmente condujeron a la obtención consensuada del articulado definitivo del documento. Así, el día 5 de septiembre de 2006, en las instalaciones del Campus Universitario de Mieres, el Presidente del Grupo HUNOSA, el Rector Magnífico de la Universidad de Oviedo y el Director General del IGME firmaron el Convenio de Colaboración entre el Grupo Hulleras del Norte, S. A. (Grupo HUNOSA), la Universidad de Oviedo y el Instituto Geológico y Minero de España para el "Estudio del funcionamiento hidrodinámico, aprovechamiento del CH₄ contenido en las capas de carbón y posibilidad de inyección y secuestro de CO₂ en los yacimientos de la Cuenca Central asturiana".

Para dar cumplimiento a lo expresado en las cláusulas tercera y cuarta del Convenio, el día 13 de octubre de 2006 tuvo lugar una reunión en la que se constituyeron la Comisión de Seguimiento y el Comité de Dirección de dicho Convenio, formados por representantes de las tres instituciones, que comenzaron su actividad en ese momento dirigidos por D. Claudio Álvarez Rodríguez, Director General de Ingeniería y Nuevos Desarrollos del Grupo HUNOSA. No obstante, y por diversas razones, se puede considerar que el inicio real de esta investigación, con la ejecución de los primeros trabajos incluidos en los distintos proyectos, tuvo lugar en el mes de enero de 2007.

En lo referente al proyecto de investigación hidrogeológica, y una vez desestimada la ubicación geográfica elegida inicialmente para este estudio, se decidió como zona de trabajo, dentro de la Cuenca Carbonífera Central asturiana, el sector comprendido entre el Pozo Barredo y su área de influencia, en Mieres, el valle del río Turón, que incluye los pozos mineros Figaredo, San José y Santa Bárbara, y el sector del valle del río Aller en el que se sitúan los pozos mineros San Antonio, Santiago y San Jorge.

2. ANTECEDENTES

La zona objeto del presente proyecto de investigación se encuentra situada en el sector central de Asturias, en la cuenca del río Caudal y sus afluentes los ríos Aller y Turón, siendo la localidad de Mieres el principal núcleo urbano. En esta zona, eminentemente industrial, la minería de carbón destacó como principal actividad durante la mayor parte del siglo pasado hasta estos últimos años.

Así, en el sector noroccidental del área de estudio, dentro del núcleo urbano de Mieres, se sitúa el Pozo Barredo en la margen derecha del río Caudal. Su actividad extractiva comenzó en el año 1926, como propiedad de la empresa Fábrica de Mieres, S. A., y finalizó en el año 1993 como una de las explotaciones integrantes del Grupo HUNOSA, al que perteneció desde la fundación de esta empresa en el año 1967. No obstante, en el pozo se continuaron realizando labores de desagüe debido a la comunicación interior de esta labor minera con el Pozo Figaredo, por una parte, y a su utilización parcial como Centro de Experimentación Subterránea de la Fundación Barredo (Consejería de Industria y Empleo del Gobierno del Principado de Asturias), hasta que en el mes de diciembre de 2007 dio comienzo el proceso de inundación. Las principales características de su estructura minera se exponen de manera detallada en el apartado 6.2.1 de esta memoria.

Dentro del valle del río Turón, la explotación de los yacimientos de carbón por minería de valle tuvo como principales exponentes a los pozos Figaredo, San José y Santa Bárbara, cuyas estructuras mineras se muestran con detalle en los apartados 6.2.2., 6.2.3. y 6.2.4. de esta memoria, respectivamente.

El Pozo Figaredo, situado al sur del Pozo Barredo, en el tramo final del río Turón antes de su desembocadura en el río Caudal, está formado por dos cañas de pozo vertical: la correspondiente al denominado Pozo San Vicente y la del Pozo San

Inocencio. Perteneciente a la empresa Minas de Figaredo, S. A., desde que comenzó su actividad minera en el año 1957 hasta que pasó a ser propiedad del Grupo HUNOSA en el año 1998, en el año 2007 se puso fin a las labores de extracción de carbón, aunque durante unos meses se continuaron los trabajos de bombeo para seguir con el desagüe de las labores mineras hasta el mes de diciembre de 2007, a partir de cuya fecha se dio comienzo al proceso de inundación de dichas labores.

Situado más al este del anterior, aguas arriba del río Turón y en su margen izquierda, el Pozo San José fue proyectado en el año 1952 y puesto en servicio en el año 1955 por la empresa Hulleras del Turón, S. A., que lo explotó hasta su incorporación al Grupo HUNOSA en el año 1967. Su actividad extractiva se dio por finalizada en el año 1993, continuando las labores de mantenimiento en lo referente al desagüe de la estructura minera, operaciones que finalizaron en el mes de junio de 2008, fecha en la que dio inicio el proceso de inundación.

El Pozo Santa Bárbara se encuentra ubicado al este del anterior, aguas arriba del río Turón y en su margen izquierda. Esta instalación minera, conocida localmente también como La Rabaldana, Grupo Turón o Grupo Santa Bárbara, que consta de dos pozos verticales, empezó su actividad minera en el año 1913 como propiedad de la empresa Hulleras del Turón, S. A., hasta que se incorporó al Grupo HUNOSA en el año 1967. Posteriormente se siguió explotando su yacimiento hasta el año 1994, fecha en la que cesaron las labores extractivas. Para el estudio del sistema de bombeo del Pozo Santa Bárbara se puede dividir el tiempo en tres etapas, que son las que van desde sus comienzos como pozo extractivo hasta su cierre en el año 1994, la siguiente etapa sería la comprendida entre los años 1996 – 2001 y para finalizar la situación desde el año 2001 hasta el cese definitivo del bombeo en agosto de 2008.

La razón de esta división no es otra que los diferentes cambios en el sistema de bombeo. Hasta 1996 el desagüe del pozo se realizaba de forma tradicional y normal mediante las diferentes salas de bombas distribuidas por las plantas. La segunda fase

abarca el tiempo comprendido a los años 1996 – 2001, durante los que se suspende el bombeo en el pozo, ascendiendo el nivel del agua. Finalmente, la tercera fase del bombeo de Santa Bárbara viene dada a partir del año 2001, año en que se decide instalar bombas sumergibles para controlar el nivel de agua en el pozo, manteniéndolo parcialmente inundado, tras comprobarse que los taponos que independizaban este pozo del Pozo San José se encontraban muy deteriorados. (HUNOSA, 2004)

En el valle del río Aller la explotación de los yacimientos de carbón por minería de valle tuvo como principales exponentes a los pozos Santiago, San Jorge y San Antonio, cuyas estructuras mineras se muestran con detalle en el apartado 6.2.5.de esta memoria.

El Pozo San Jorge, el primer pozo vertical de la sociedad Hullera Española, S. A., fue inaugurado en el año 1942, continuando su actividad extractiva desde esa fecha hasta el año 1995, a partir del año 1967 como parte del Grupo HUNOSA. Actualmente forma parte del denominado Pozo Aller como auxiliar del Pozo Santiago y conectado con éste por labores de interior.

El Pozo Santiago comenzó su actividad en el año 1951 explotado por la sociedad Hullera Española, S. A., beneficiando los mismos paquetes mineros que el anterior pero a distintas profundidades de explotación, y a partir del año 1967 se integró en el Grupo HUNOSA. En la actualidad se siguen desarrollando las labores de explotación minera de este yacimiento, siendo el único centro que aún permanece activo en el valle del Aller.

Por último, el Pozo San Antonio desarrolló su actividad minera entre los años 1947 y 2003, hasta el año 1967 como propiedad de la sociedad Hullera Española, S. A., y a partir de esa fecha como parte del Grupo HUNOSA. No obstante, y debido a la conexión por labores de interior con los anteriormente citados, se mantienen las

labores de desagüe a través de los correspondientes equipos de bombeo.

3. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

El objeto del presente Convenio es la colaboración del Grupo HUNOSA, la Universidad de Oviedo y el IGME para la realización del Estudio del funcionamiento hidrodinámico, aprovechamiento del CH₄ contenido en las capas de carbón y posibilidad de inyección y secuestro de CO₂ en los yacimientos de la Cuenca Central asturiana, promovido por el Grupo HUNOSA por ser consciente, en lo que se refiere al estudio de funcionamiento hidrodinámico citado, de la importancia de las aguas subterráneas almacenadas en sus estructuras mineras y de la problemática que podrían generar en su entorno.

Para alcanzar este objetivo, se decidió la realización de una serie de actividades dirigidas fundamentalmente a la consecución de dos fines:

- la elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual y de un modelo hidrodinámico de flujo que permitan determinar las características del proceso de inundación consecuente al abandono de las labores de desagüe en los distintos pozos mineros, y su posible impacto sobre el medio ambiente en el entorno geográfico de los mismos, caracterizando además los depósitos subterráneos que van a resultar de este proceso en la Cuenca Central asturiana, así como la realización de un estudio hidroquímico que permita conocer la calidad de este agua y la distribución espacio-temporal de su composición en dicho ámbito geográfico.
- el análisis de la posibilidad de integrar las aguas sobrantes de la actividad minera y las de desagüe de las instalaciones inactivas, en condiciones óptimas de coste y salubridad, en la gestión global de los recursos hídricos de este sector de la región asturiana como elementos de suministro, regulación, transporte y distribución, entre otros, con el fin de lograr la utilización conjunta de las aguas superficiales y subterráneas en la Cuenca Central.

Para la consecución de estos fines se planificó cuidadosamente un plan de trabajo que incluyó la ejecución de las siguientes tareas:

- Recopilación y tratamiento de toda la información existente, incluyendo fundamentalmente todos los datos geológicos, hidrogeológicos y mineros relacionados con la zona de trabajo.

- Elaboración de un Sistema de Información Geográfico (GIS) para dar soporte a toda la información generada en el proyecto, así como cartografía geológica y modelo geológico en 3D de la Cuenca Central.

- Realización de una cartografía hidrogeológica del área de estudio, a escala 1:25.000.

- Realización de un Inventario de Puntos de Agua con la inclusión de manantiales, sondeos, pozos y labores mineras.

- Elaboración de un estudio climatológico con la confección de mapas de pluviometría, temperatura, lluvia útil, etc. de la Cuenca Central asturiana.

- Realización de un estudio hidrogeológico de la zona de trabajo, que incluirá estudios de funcionamiento hidrogeológico (recarga y descarga de los niveles permeables, caracterización de parámetros hidrogeológicos, etc.), del impacto de la minería en el sistema hidrogeológico en régimen natural y del modelo conceptual de funcionamiento.

- Realización de un estudio hidroquímico, con la definición de una red de control de la calidad química del agua subterránea.

- Elaboración de un modelo matemático de flujo subterráneo que permita, a partir del conocimiento de la situación actual del sistema hidrogeológico, prever la respuesta de este sistema ante el cierre e inundación de las explotaciones mineras, así como ante la posibilidad de aprovechamiento del agua subterránea existente en las labores mineras inactivas.

- Redacción del Informe Final del proyecto, que incluirá una memoria y un anexo de planos, además de los correspondientes que recojan los datos analizados en las distintas labores desarrolladas en el plan de trabajo.

Para llevar a cabo la realización de todas estas tareas se formó un equipo de trabajo, dirigido por D. César Cordero Escosura, Director de Nuevos Desarrollos del Grupo HUNOSA, compuesto por las siguientes personas:

Por parte del Grupo HUNOSA intervinieron Dña. Belén Garzón Súcar y D. Noel Canto Toimil, destinados a la realización de este proyecto con dedicación parcial al mismo.

Por parte de la Universidad de Oviedo participaron Dña. Almudena Ordóñez Alonso, profesora titular, Dña. Isabel Fernández Mairlot, becaria, y D. Luis Manuel Lara Gómez, personal contratado para este proyecto con dedicación exclusiva al mismo, bajo la dirección de D. Jorge Loredo Pérez, Director del Departamento de Explotación y Prospección de Minas.

Por parte del IGME, además de la dedicación exclusiva de Dña. Eva Martos de la Torre, contratada temporal con cargo a este proyecto, intervinieron los técnicos de la oficina de Proyectos de Oviedo Dña. Mónica Meléndez Asensio y D. Antonio Rebollar Quirós, con la colaboración de D. Carlos Zapatero Menchero como auxiliar de campo, todos ellos bajo la dirección de D. Miguel Luis Rodríguez González, jefe

de dicha Oficina de Proyectos. Además, y como asesores del equipo de trabajo en temas puntuales, intervinieron los técnicos del IGME Dña. Carolina Guardiola Albert, D. José Manuel Murillo Díaz y D. Celestino García de la Noceda Márquez.

Además, la empresa SADIM tuvo una participación fundamental en este proyecto con la elaboración del GIS, el modelo hidrodinámico de flujo y las labores informáticas para la confección de las cartografías geológica e hidrogeológica, el modelo geológico 3D, etc. Su equipo de trabajo incluyó a D. Ramón Rodríguez Menéndez, Dña. Arancha García Cachero, D. Román Fernández Reiriz, D. Tomás García Gutiérrez y D. Martín Gaitto Piris.

4. MARCO GEOGRÁFICO

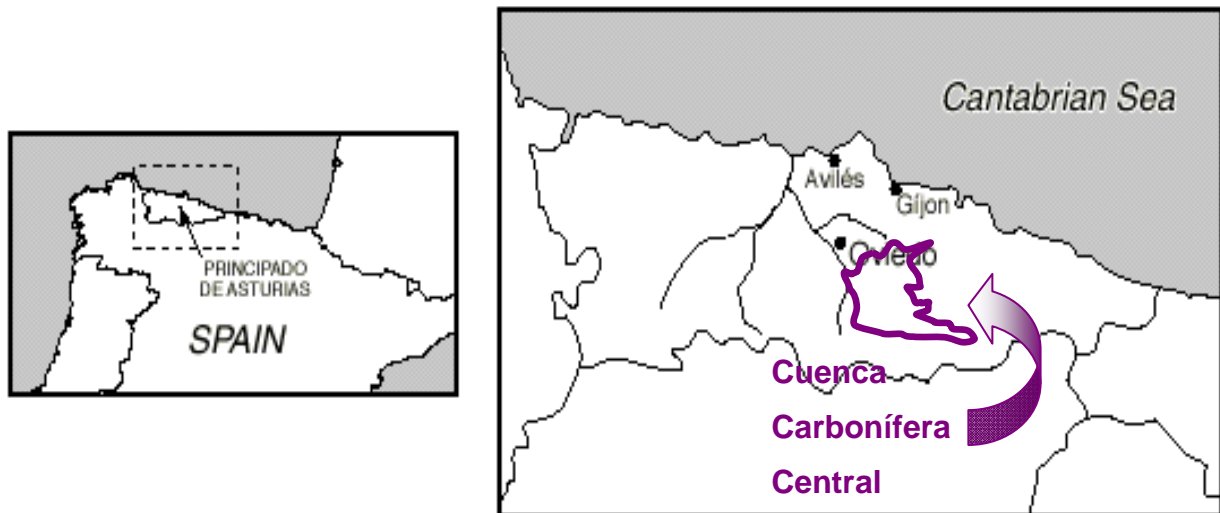


Figura 4-1.- Situación de la Cuenca Carbonífera Central

El área de estudio está localizada en el sector central de Asturias, dentro de la Cuenca Carbonífera Central (Figura 4-1), y más concretamente en la margen oriental del río Caudal, entre los valles de los ríos San Juan, situado al norte del sector, Turón y Aller, este último situado al sur de la zona de trabajo.

La extensión de esta zona se ha definido en función del área de influencia de las labores mineras, tanto de valle como de montaña, que presentan conexiones en este sector, y que pueden afectar o verse afectadas por la inundación de los pozos (Barredo, San José, Santa Bárbara, Figaredo, Santiago, San Jorge y San Antonio).

El área abarca el sur del término municipal de Mieres, el sector noroccidental del término municipal de Aller y una pequeña parte del sector nororiental del término municipal de Lena. La superficie de terreno comprendido entre sus límites supone un área aproximada de 140 km², y está incluido en un rectángulo cuyos vértices son los puntos que tienen por coordenadas aproximadas U.T.M. las siguientes (Figura 4-2):

Punto 1: X: 271.000, Y: 4.793.650 Punto 2: X: 286.950, Y: 4.793.650

Punto 3: X: 286.950, Y: 4.776.550 Punto 4: X: 271.000, Y: 4.776.550

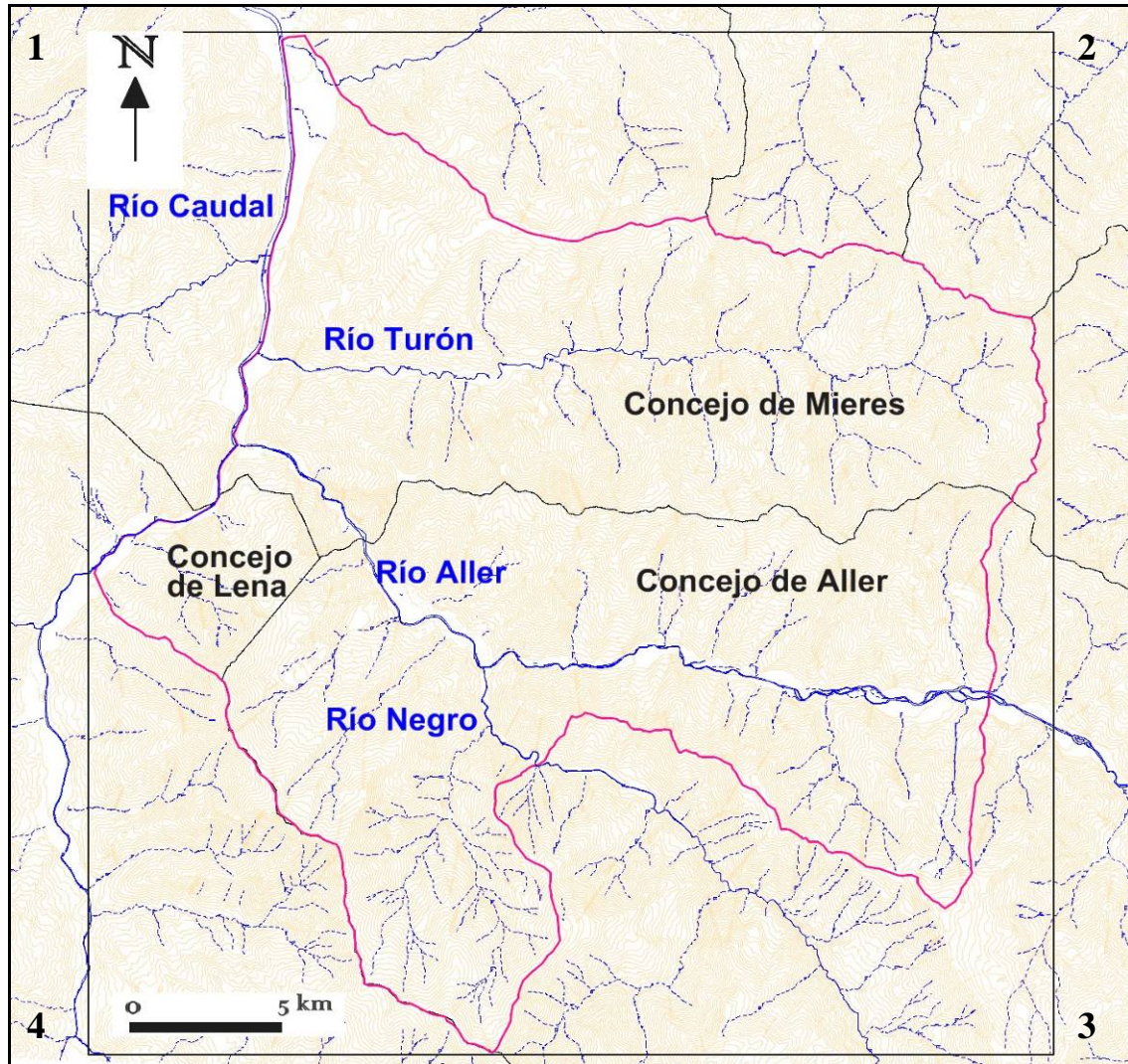


Figura 4-2.- Límites de la zona de estudio

Topográficamente es una zona montañosa abrupta, que puede presentar desniveles superiores a los 1.500 m en distancias de 50 km, como corresponde a una de las regiones con orografía más accidentada de la Península Ibérica, y cuenta con desarrollo de valles con laderas muy pendientes, especialmente en las zonas de cabecera de los ríos que la atraviesan (Figura 4-3).



Figura 4-3.- Orografía de las cuencas de los principales ríos de la Cuenca Carbonífera Central asturiana

Este sector se encuentra situado a unos 70 km de la costa, por lo que el clima se corresponde con el establecido para el dominio oceánico de Europa occidental (Capel Molina, 1981), con precipitaciones abundantes todo el año (pluviometría media en torno a los 1.200 mm/año), temperaturas medias próximas a los 12 °C, baja insolación e inexistencia de aridez. Está condicionado principalmente por la latitud de su ubicación geográfica, la influencia atemperadora del mar y sus características topográficas.

Se puede destacar que la distribución temporal de la precipitación en esta región es fuertemente estacional (Figura 4-4): el invierno y la primavera son habitualmente muy lluviosos, mientras que la llegada del verano y el predominio de masas de aire subtropicales provocan la disminución de la precipitación, solamente reactivada por el efecto orográfico sobre los vientos del norte; en este periodo estival, la frecuencia e intensidad de las precipitaciones aumentan hacia el sector oriental de la Cordillera Cantábrica (Marquínez García *et al.*, 2003).

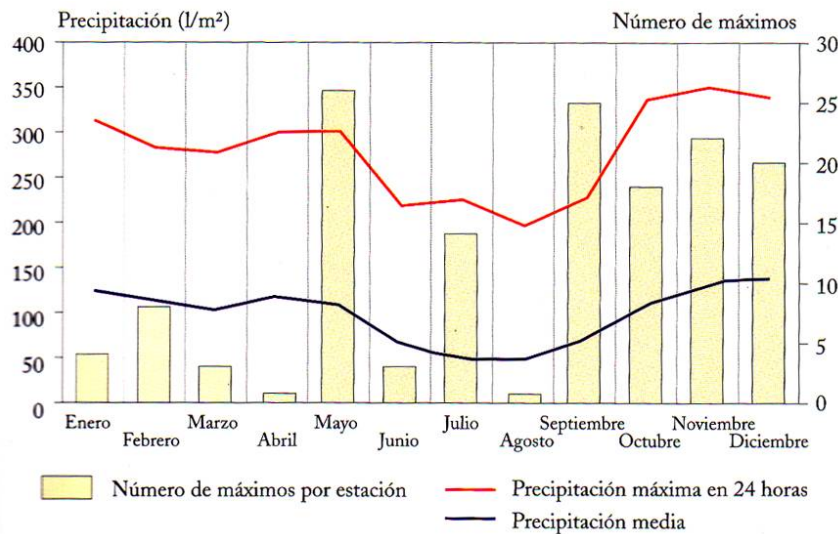


Figura 4-4.- Valores medios mensuales de precipitación máxima en 24 horas, precipitaciones medias y número de máximos por estación elaborados a partir de los datos de 145 estaciones par aun intervalo de 24 años (Marquinez García *et al.*, 2003)

Otra característica de esta zona es la alta densidad de vegetación, que dificulta enormemente la realización de la cartografía geológica y minera y mitiga los impactos de la actividad extractiva (por ejemplo, la relativamente rápida regeneración de las escombreras). Este hecho, junto con las tasas de insolación presentes, da lugar a una cifra elevada de evapotranspiración, que puede superar en ocasiones el 50% de la tasa de precipitación.

Desde el punto de vista hidrográfico, la zona de estudio engloba la cuenca del río Turón, que discurre, desde su nacimiento próximo a la localidad de Urbiés, en dirección E-O, desembocando en el río Caudal a la altura de la localidad de Figaredo, parte de la cuenca del río Aller, que circula en dirección SE-NO hasta unirse al río Caudal en un punto situado unos 400 m al sur de la localidad de Ujo, y la llanura aluvial del río Caudal, que, a su paso por la localidad de Mieres, incluye los alrededores del Pozo Barredo y el entorno de terreno que drena hacia dicho pozo. Todos estos ríos tienen un régimen torrencial, con abundantes aportes procedentes de arroyos.

Desde el punto de vista hidrológico, el área de influencia de la zona de estudio abarca los límites de las cuencas hidrográficas anteriormente mencionadas dentro de las cuales se encuentran las labores mineras que han modificado el carácter hidrológico de dicha zona de estudio, como son los pozos mineros Barredo, San José, Santa Bárbara, Figaredo, Santiago, San Jorge y San Antonio, y las minas de montaña relacionadas con ellos.

5. RECOPIACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Durante la primera fase del desarrollo de este proyecto se ha procedido a la recopilación y tratamiento de la información existente sobre aspectos que se consideraron necesarios para el conocimiento y desarrollo del trabajo. Asimismo se recopiló información geológica, geotécnica, hidrogeológica y otra relacionada con las labores mineras. Esta tarea ha sido dificultosa debido a la variedad de fuentes y lugares donde se encontraba la información y a la falta, en muchos casos, de índices de búsqueda para tal fin. Una parte de los datos requeridos no han podido ser localizados, por lo que este trabajo ha tenido que ser realizado con menos información de la necesaria en algunos aspectos.

Algunas de las fuentes que aportaron información fueron: los servicios de documentación del Grupo HUNOSA, el Instituto Geológico y Minero de España y la Universidad de Oviedo, miembros integrantes del Convenio, así como otros organismos y empresas, como es el caso de FCC Construcciones, el Servicio de Patrimonio de la Consejería de Cultura, Comunicación Social y Turismo del Principado de Asturias, los ayuntamientos de Mieres y de Aller, AQUALIA, el Instituto Nacional de Meteorología, AITEMIN, I.G., INCOSA, INYTRAM, INDUROT e HIPSITEC.

Los datos aportados por el Grupo HUNOSA fueron mapas geológicos, planos de labores y cortes estratigráficos de los pozos, así como esquemas de relación y comunicación con los de su entorno, realizados por la empresa o por otras empresas para el Grupo HUNOSA, como, por ejemplo, los mapas a escala 1:10.000 elaborados por E.N.A.D.I.M.S.A., informes y planos relacionados con las labores mineras y el comportamiento del agua en ellas, etc. Los datos sobre las labores mineras (tanto de montaña como de fondo de valle) se han sintetizado con el fin de obtener una idea

clara de la información existente y poder así facilitar su tratamiento. Para esta labor se ha recurrido al Archivo Histórico del Grupo HUNOSA, situado en las instalaciones del Pozo Fondón, y a los departamentos de Topografía de los pozos situados en la zona de trabajo. Se han considerado de interés, entre otros, los esquemas de labores y conexiones, esquemas de canales de desagüe, datos históricos sobre caudales de bombeo, niveles piezométricos actuales de algunos pozos y volumen de huecos creados por las labores extractivas.

El Instituto Geológico y Minero de España ha aportado toda la información disponible, como el inventario de puntos de agua y escombreras de la zona de estudio, informes de estudios realizados en aguas de mina de la cuenca, mapas de paquetes mineros del área de estudio, etc.

La Universidad de Oviedo ha aportado información bibliográfica relacionada con el tema del trabajo, como es el caso de tesis y proyectos fin de carrera, informes e inventarios de puntos de agua realizados durante la docencia.

También han sido utilizados varios informes geotécnicos aportados por empresas y entidades que han realizado estudios en esta zona, como son I.N.C.O.S.A., I.G. e I.N.Y.T.R.A.M. El INDUROT ha aportado el Mapa de Zonas de Riesgo de Inundación, a escala 1:10:000, que incluye los depósitos cuaternarios de la llanura aluvial de los ríos Caudal, Aller y Turón. La empresa HIPSITEC ha realizado informes relativos al aprovechamiento de las aguas. Por último, los ayuntamientos de Mieres y Langreo, a través de la empresa contratista AQUALIA, han aportado información que ha ayudado a la elaboración del inventario de puntos de agua.

A partir de toda la información geológica recopilada, especialmente el estudio de ENADIMSA, se realizó un mapa geológico digital de superficie en 3D de la zona de estudio (ver Anexo I.2 y II.2). Asimismo, con los datos de geología del subsuelo e información minera se elaboró un modelo 3D de la geología del área estudiada.

6. CARACTERÍSTICAS DE LAS EXPLORACIONES

En esta memoria se mencionan tres tipos de labores mineras, que corresponden a "minería de montaña", "minería de fondo de valle o de pozo" y "minería a cielo abierto". Para su representación gráfica se ha elaborado un mapa de situación de labores mineras (Anexo II.1), en el que se representan pozos mineros, activos e inactivos, y las bocaminas de minería de montaña que han sido localizadas durante la realización del inventario de puntos de agua, del que se hablará con detalle en el capítulo 9.

6.1. MINERÍA DE MONTAÑA

El comienzo de la actividad minera en la Cuenca Carbonífera Central de Asturias tuvo lugar a través de las minas de montaña. Numerosas fueron las capas explotadas tanto por las empresas importantes de la época como por pequeñas explotaciones privadas, por lo que es difícil la recopilación de la información referente a la totalidad de la minería de montaña. En este capítulo se van a mencionar los principales grupos mineros cuyas labores se sitúan dentro de la zona de trabajo, algunos de los cuales dieron paso, posteriormente, a la minería de fondo de valle.

De las labores de montaña que se van a mencionar a continuación, parte han sido representadas en el mapa de labores mineras del Anexo II.3.1 y en las figuras presentadas en el texto (Figura 6-1, Figura 6-2, Figura 6-3, Figura 6-4, Figura 6-5 y Figura 6-6); de otras explotaciones no han podido ser localizados los planos de labores, pero sí se han podido situar geográficamente, al ser mencionadas en los diversos documentos y planos analizados.

6.1.1. GRUPOS DE MONTAÑA DEL VALLE DEL RÍO CAUDAL - ZONA DE BARREDO

La Mina Mariana es una mina de montaña que forma parte del grupo Coruxas-Mariana, representada en color verde en la Figura 6-1, con una estructura que incluye hasta 15 pisos, situada sobre la ladera occidental del “macizo Polio”. Perteneció a la empresa Fábrica de Mieres, S.A., junto con un lavadero puesto en marcha en marzo de 1922 y una central termoeléctrica en 1916. El carbón de los diferentes pisos era transportado por el exterior mediante planos inclinados, llegando el inferior de ellos desde el exterior del 1^{er} piso de Mariana hasta Barredo. Está unida desde tercera planta por un plano con el Pozo Barredo.

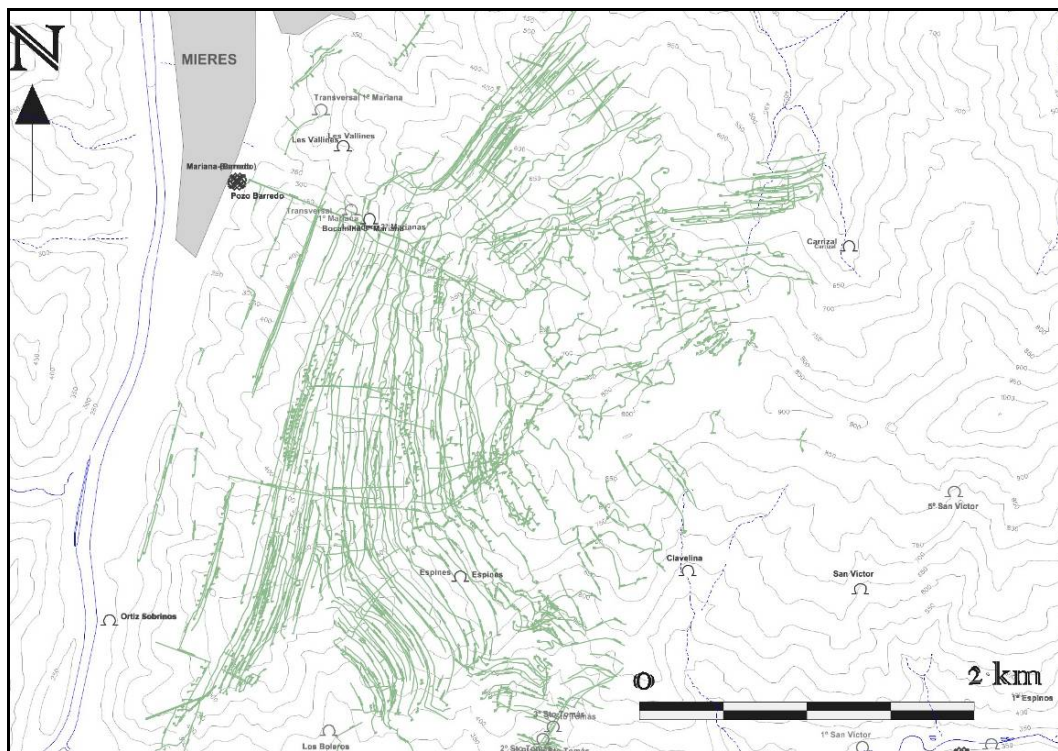


Figura 6-1.- Mapa en planta de las labores mineras de montaña relacionadas con los pozos Barredo y Figaredo-norte (Santo Tomás-Piedrafita)

6.1.2. GRUPOS DE MONTAÑA DEL VALLE DEL TURÓN

Algunos de los grupos de montaña situados en el valle del Turón, explotados por varias empresas mineras, tales como Hulleras del Turón, Fábrica de Mieres y Ortiz Sobrinos, son los denominados Corujas, Escribana, Santo Tomás, San Victor, Espinos, etc.

Situadas en la parte más occidental de valle, relacionadas con el Pozo Figaredo y coincidiendo su representación en planta con parte de las labores de minería de montaña del grupo Coruxas-Mariana, se encuentran las labores mineras de montaña del grupo Santo Tomás (cotas 281 y 398 m s.n.m.), Clavelina (desde Piedrafita hasta la montera), Piedrafita (en el medio) y Riquela, entre otras; las tres primeras están representadas en color azul oscuro y Riquela en color azul claro en la Figura 6-2.

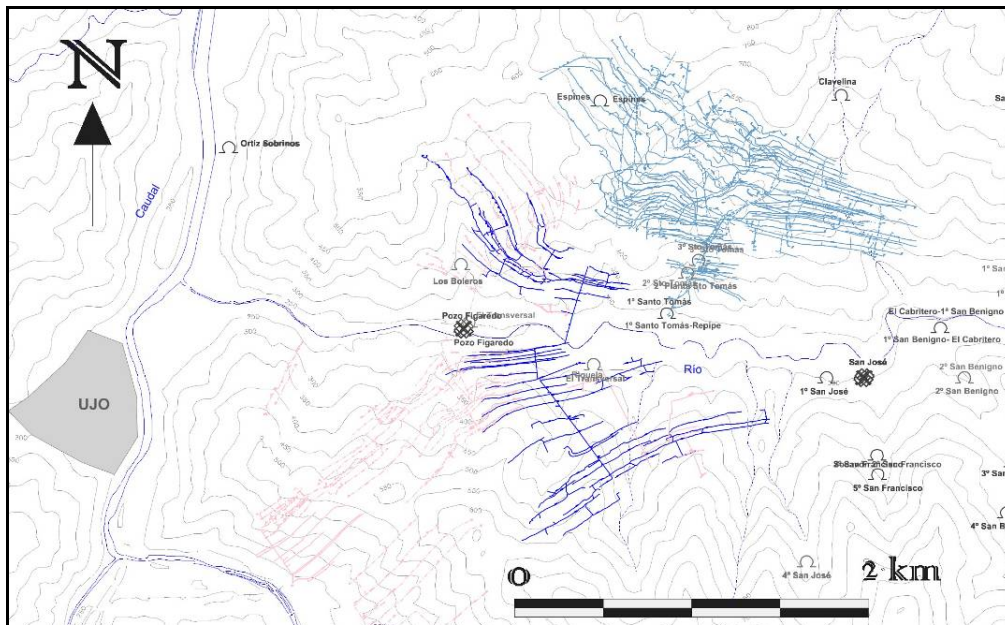


Figura 6-2.- Mapa en planta de las labores mineras de montaña relacionadas con el Pozo Figaredo

Hacia la zona central del valle existen numerosas minas de montaña relacionadas con los pozos San José y Santa Bárbara, como es el caso de los

siguientes grupos: San Vicente (al sur del pico Polio), Polio (al sur del pico Polio) y Carrizal ó San Víctor (ladera septentrional del pico Polio). Están situados ladera arriba del pozo San José. El 1^{er} piso del grupo San Víctor tiene una cota de 315 m s.n.m., el 10^o y último piso de San Víctor, que equivale al piso 0 del Grupo Polio, está a 638 m s.n.m. y el 2^o piso de Carrizal-San Víctor a 700 m s.n.m. Estos grupos no están representados en los mapas de labores, pero sí se conoce su existencia y ubicación a través de diversos informes y documentos, así como la localización de algunas de sus bocaminas; fue parcialmente reconvertida a cielo abierto, pero aún se conserva parte de la minería antigua de montaña. El Grupo Espinos se sitúa en la zona central del valle, representado en color marrón oscuro en la Figura 6-3, y su 1^{er} piso está a cota 352 m s.n.m. En cuanto a los grupos San José y San Benigno, se sitúan en la ladera sur del pozo San José y, al igual que los anteriores, no están representados en los mapas de labores; entre el 1^{er} piso de San José (293 m s.n.m.) y el 2^o piso (360 m s.n.m.) se intercala el 2^o piso de San Benigno (347 m s.n.m.).

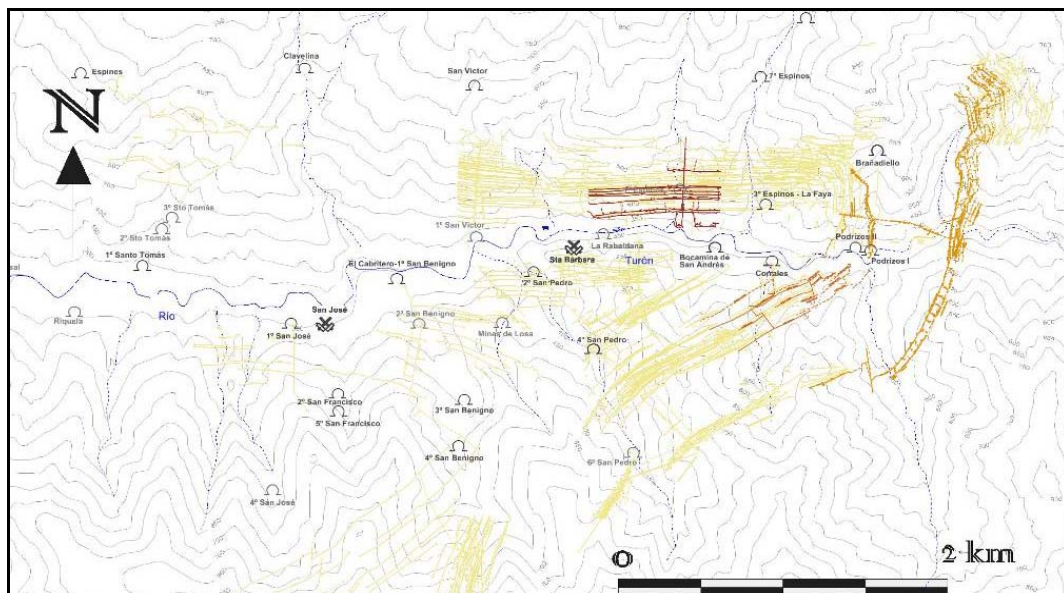


Figura 6-3.- Mapa en planta de las labores mineras de montaña relacionadas con los pozos San José y Santa Bárbara

También existen los grupos San Pedro y afines (Rabaldana y Los Corrales); el

1er piso de San Pedro está a una cota de 311 m s.n.m. De estos solamente está representado en el mapa y en la Figura 6-3, en color marrón claro, el grupo Corrales. Y ya en el cierre oriental del Sinclinal de Turón se encuentran los grupos Podrizos y Fortuna, representados en el mapa de labores II.3.2 y en la Figura 6-3 en color anaranjado. El Pozo Fortuna se abre a la cota del 1er piso de montaña (381 m s.n.m.), estando profundizado hasta 5ª planta (191 m s.n.m.), que equivale a la 3ª planta del Pozo Santa Bárbara. En color amarillo están representadas unas labores que corresponden a la minería de montaña de Santa Bárbara, las cuales no se encuentran diferenciadas por grupos. Finalmente, en la zona más oriental del valle, y correspondiendo con la estructura del Sinclinal de San Fernando, existe una serie de minas de montaña que no tienen relación directa con ninguno de los pozos principales del valle, como son, el Grupo Urbíes (su 1er piso está a 567 m s.n.m. de cota), el Grupo Miravalles, ambos representados en el mapa de labores mineras II.3.2 y en la Figura 6-4 por los colores amarillo y rosa, respectivamente, y el Grupo Piñeres (1er piso a 365 m s.n.m.), entre otros cuyas labores se han ubicado en el entorno pero no se han localizado los mapas de labores.

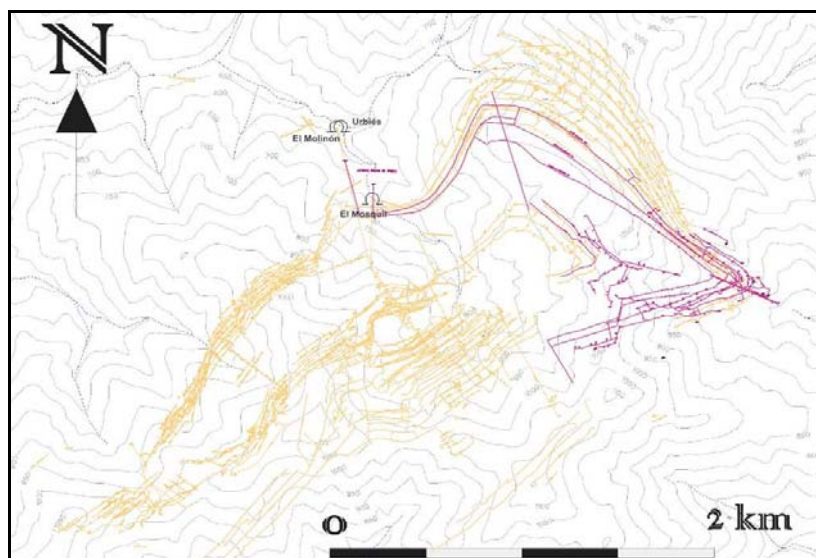


Figura 6-4.- Mapa en planta de las labores mineras de montaña en el entorno del Sinclinal de San Fernando

6.1.3. GRUPOS DE MONTAÑA DEL VALLE DEL ALLER

A cotas de minería de montaña, la explotación del carbón en el valle del Aller ha sido desarrollada por un gran número de grupos mineros, algunos de los cuales son: Mina Marianas, Cutriferá, Felguerúa, Dos Amigos, Catalana, Pomar, Conveniencia, Desquite y Pontones.

En la parte inferior del valle del Aller, zona más occidental, se encuentra el pozo plano de Vanguardia y sus grupos (Vanguardia y Dos Amigos), los cuales no presentan ninguna conexión directa con las principales labores de pozo vertical, según la información oral recogida durante la realización de este trabajo (representado en el mapas de labores mineras de montaña II.3.2 y en la Figura 6-5 en color naranja).

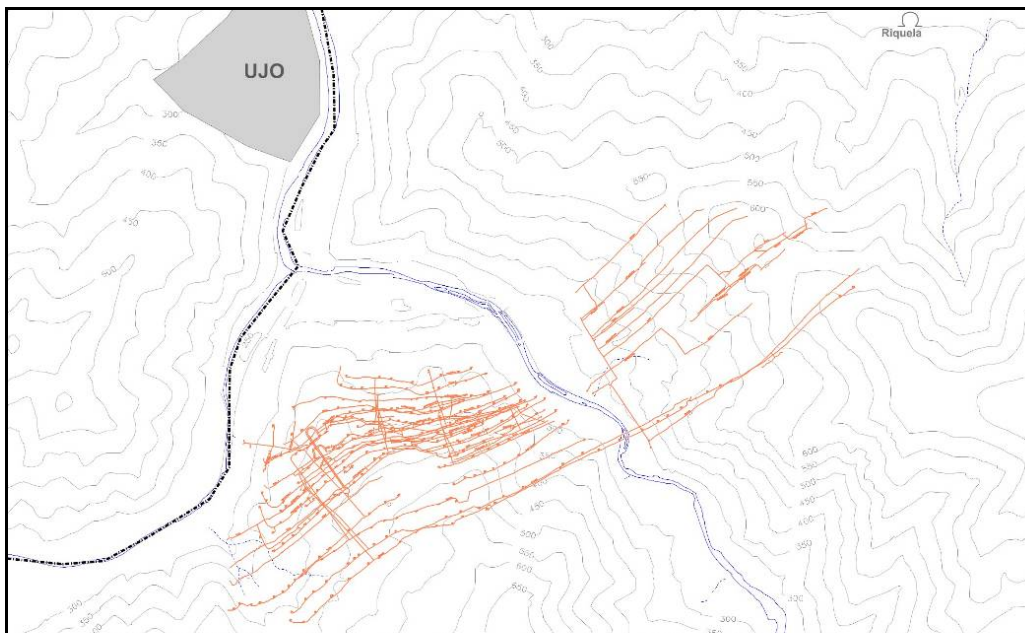


Figura 6-5.- Mapa en planta de las labores mineras de montaña de los grupos Vanguardia y Dos Amigos

En relación con los pozos San Jorge y Santiago, la minería de montaña correspondiente está representada por los grupos Conveniencia y Legalidad, situados al norte del valle, sin estar representados en los mapas sus labores, y los relacionados

con la Mina Marianas, que son los grupos Tarancón, Melendreras y Bóo, representados, en parte, en el mapas de labores mineras de montaña II.3.2 y en la Figura 6-6 en color violeta.

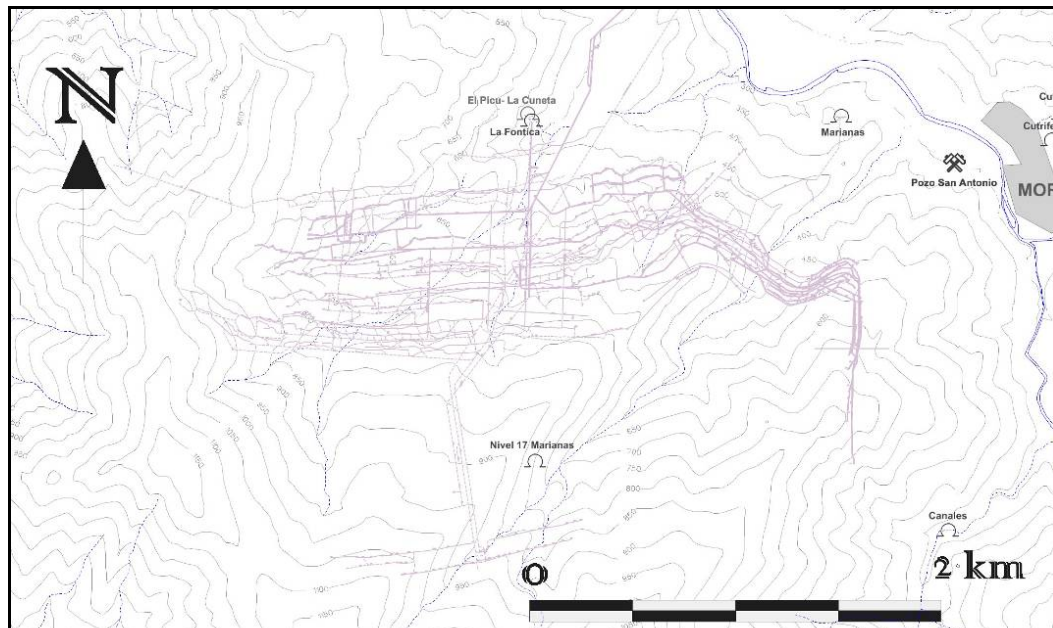


Figura 6-6.- Mapa en planta de las labores mineras de montaña de los grupos Tarancón, Melendreras y Bóo

Relacionados con el Pozo San Antonio, existen los grupos de montaña Santo Tomás-Moreda, Cutrifer, representados en colores rosa y fucsia, respectivamente, en el mapa de labores II.3.2 y en la Figura 6-7, y las minas de la mitad sur del Sinclinal de Moreda, no reconocidas en profundidad, Canales, representado en color morado en la Figura 6-7, Pontones, representado en color gris en la Figura 6-7, así como otras labores que no han sido localizados en el mapa pero sí en documentación escrita sobre ellas, como son San Luís y San Miguel, Campomanes, Felguerúa, Mogote, Campueta y Leoncia, algunas de ellas probablemente representadas en las trazas grises de la Figura 6-7, que se encuentra sin diferenciar los grupos.

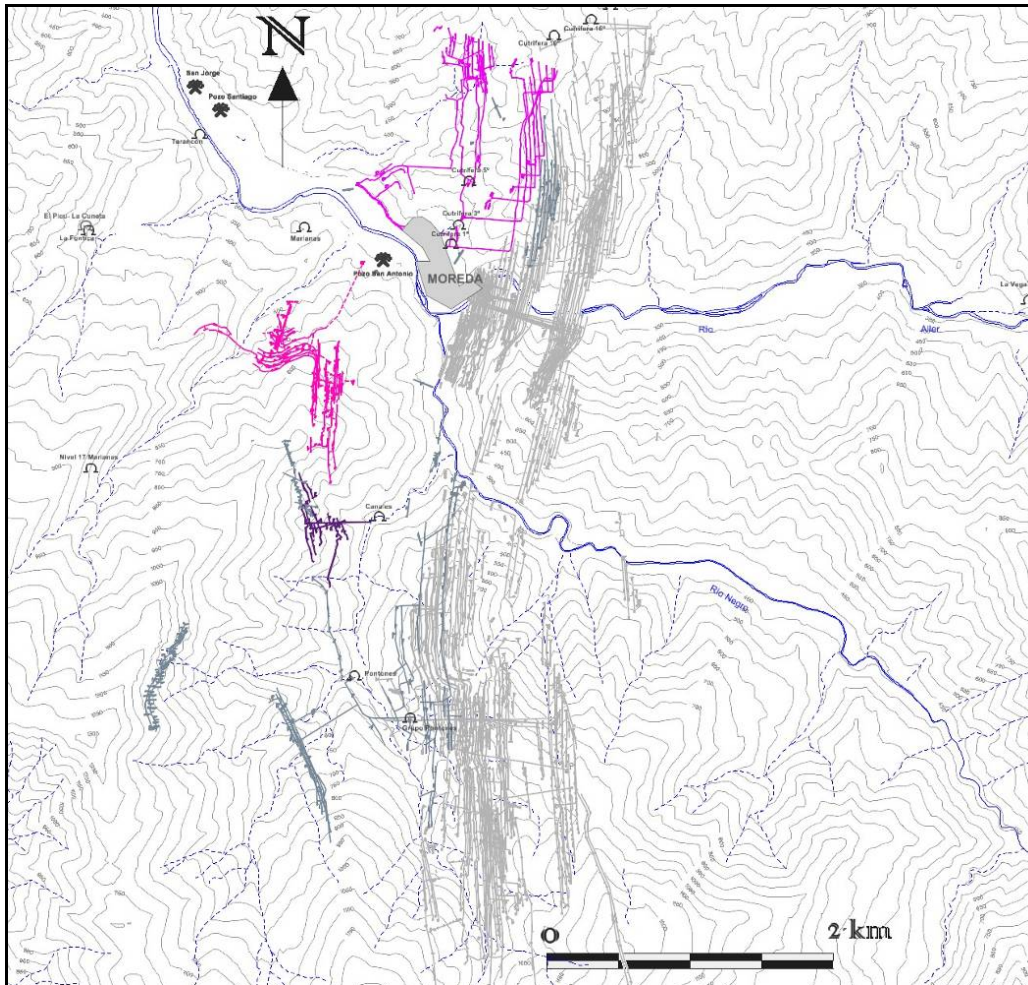


Figura 6-7.- Mapa en planta de las labores mineras de montaña de los grupos Santo Tomás-Moreda, Canales, Cutriferá y Pontones

Existen también, relacionados con el Pozo San Antonio y situados al E del mismo, los grupos ubicados en la estructura del Anticlinal de Desquite (Desquite y La Ceposa).

Finalmente, en la zona más oriental del valle, y relacionado con al Sinclinal de San Fernando, se sitúa el Pozo San Fernando, con un conjunto de labores de montaña asociados que se exponen en la Figura 6-8 en color azul claro.

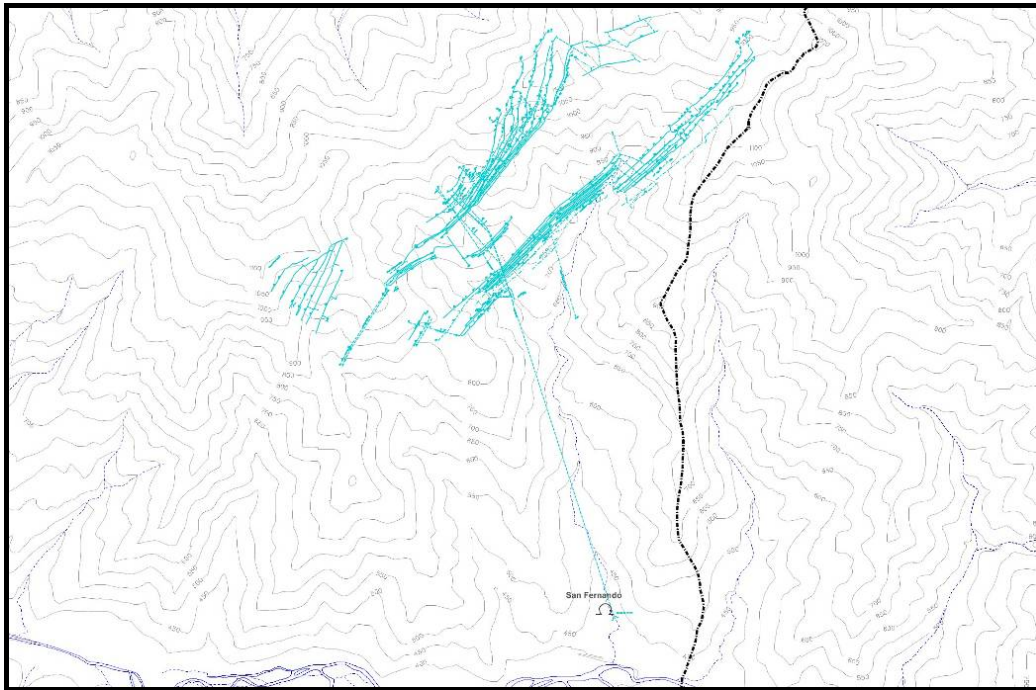


Figura 6-8.- Mapa en planta de las labores mineras de montaña del pozo San Fernando

6.2. POZOS

Como ya se vio anteriormente, además de las explotaciones mineras de montaña existen una serie de pozos mineros, cuyas labores se representan en el mapa escala 1:25.000 situado en el Anexo II.3.2, que en el texto se menciona como minería de fondo de valle, los cuales se van a describir brevemente, así como las conexiones existentes entre ellos.

Como pozos principales, en la cuenca del río Caudal se encuentra el Pozo Barredo. En la cuenca del río Turón se encuentran situados los pozos Figaredo, San José y Santa Bárbara, y en la cuenca del río Aller se encuentran los pozos Santiago, San Jorge y San Antonio (Figura 6-9). Existen también otra serie de conexiones de estos pozos con otros de menor entidad (pozos auxiliares o pozos-plano), que no se describirán por su escasa repercusión para este estudio.

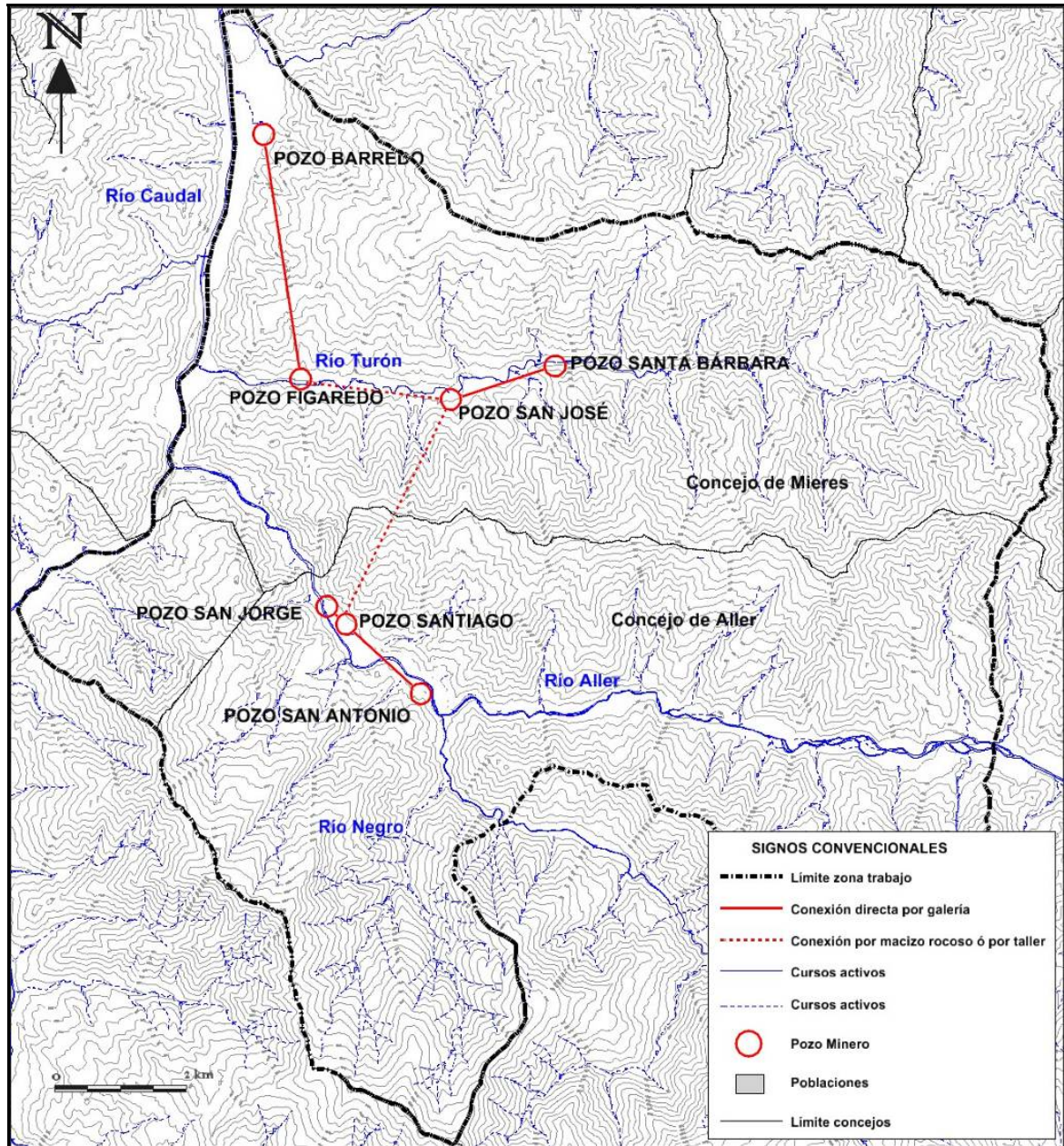


Figura 6-9.- Mapa de situación de los pozos mineros donde se señalan las conexiones en planta de pozos principales

En el trazado de las labores mineras de estos pozos se puede ver un reflejo de las estructuras geológicas que dieron forma a la Cuenca Carbonífera Central asturiana (Figura 6-10).

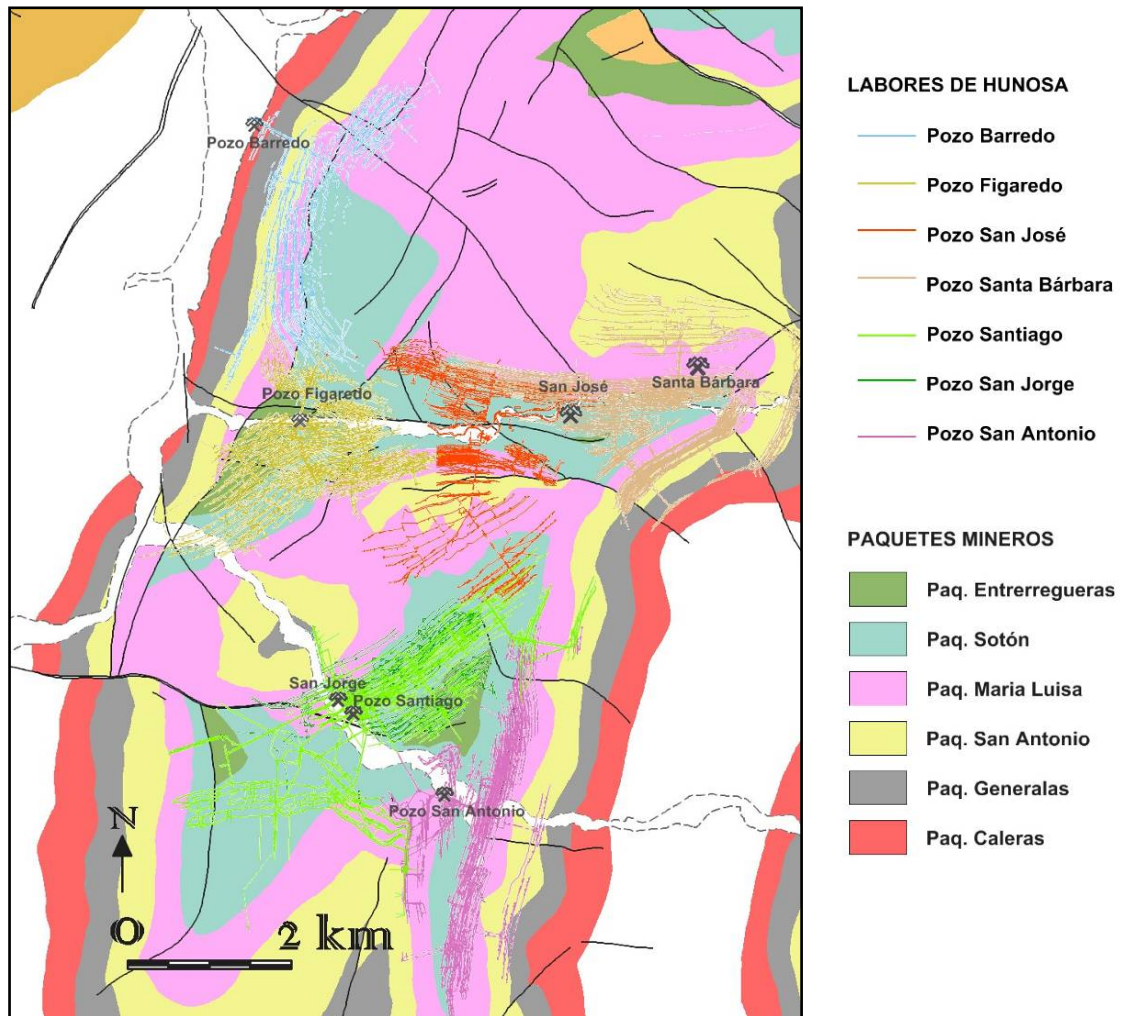


Figura 6-10.- Esquema de labores en planta y estructural de la CCC

6.2.1. POZO BARREDO

El Pozo Barredo (Fotografía 6-1) se sitúa al NO de la zona de estudio, en la margen derecha del río Caudal (en coordenadas U.T.M. $x = 274.848$, $y = 4.791.676$), dentro del casco urbano de la localidad de Mieres (Figura 6-9). Su actividad minera comenzó en el año 1926 por la empresa Fábrica de Mieres, S.A., y finalizó en 1993. En dicho pozo se continuaron realizando labores de desagüe debido a la comunicación interior de esta labor minera con el Pozo Figaredo, por una parte, y a su utilización parcial como Centro de Experimentación Subterránea de la Fundación Barredo

(Consejería de Industria y Empleo del Gobierno del Principado de Asturias), hasta que en el mes abril del 2008 dio comienzo el proceso de inundación.



Fotografía 6-1.- Vista del Pozo Barredo

El pozo Barredo explotó principalmente el flanco occidental, tumbado, del Sinclinal de Barredo (Figura 6-11), que continúa al sur hacia Figaredo, cortado por la Falla de Barredo, falla inversa, paralela y coincidente con el eje del sinclinal, que eleva el flanco oeste. Los paquetes explotados en el Pozo Barredo son Maria Luisa, San Antonio, Generalas y Caleras.

Como se puede ver en la Figura 6-12, este pozo consta de cinco plantas principales. Su brocal se sitúa a + 220 m s.n.m., siendo éste el brocal más bajo de los pozos conectados con él, y que pertenecen a la zona de estudio. La profundidad total de la caña del pozo es de 362 m, estando la zona de embarque en la 5ª planta, situada a una cota de 142 m por debajo del nivel del mar. Está conectado con el Pozo Figaredo (Figura 6-9).

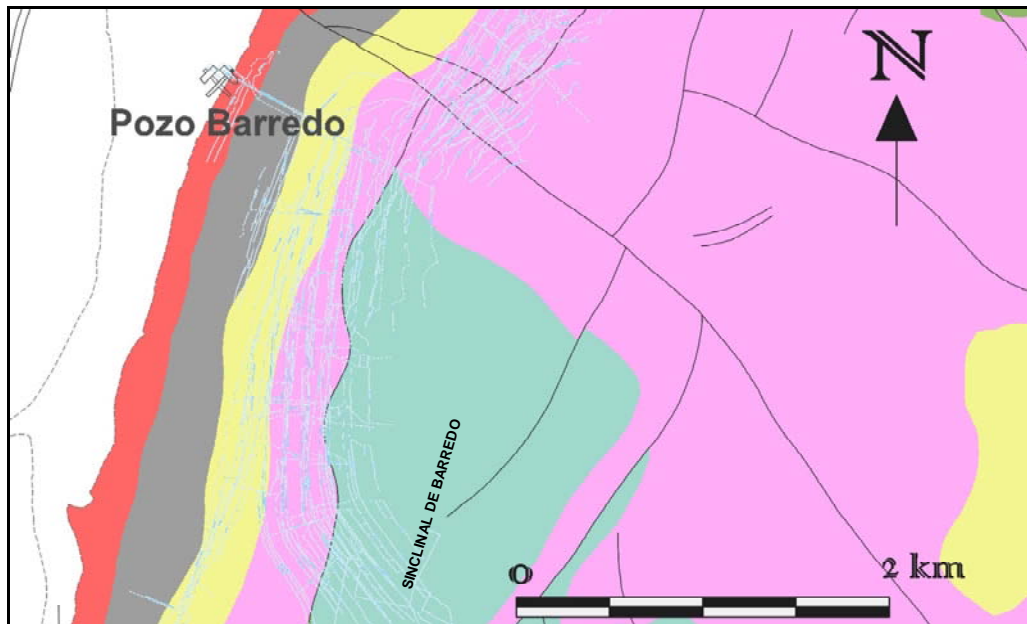


Figura 6-11.- Esquema de labores en planta del Pozo Barredo

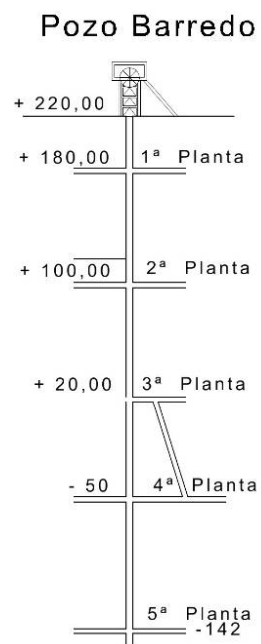


Figura 6-12.- Esquema de labores en perfil del Pozo Barredo

El sistema de desagüe del pozo está formado por una red de tuberías por donde se bombea el agua desde tercera planta hasta un canal de vertido, al que se incorpora asimismo un vertido procedente de la Mina Mariana. De ahí se conduce el agua al

arroyo Duró. Se bombeó una media de 49 L/s en los últimos años (2002 a 2007), siendo el caudal medio de bombeo durante el 2007 de 34 L/s.

6.2.2. POZO FIGAREDO

El Pozo Figaredo (Fotografía 6-2), situado al sur del Pozo Barredo en la parte baja del río Turón (Figura 6-9), en la población de Cortina, término municipal de Mieres (en coordenadas U.T.M. $x = 275.407$, $y = 4.788.068$), está formado por dos cañas de pozo vertical. La primera de ellas, el Pozo San Vicente, cuyo brocal está a cota 279 m s.n.m., tiene una profundidad máxima de 524 m, hasta llegar a cota de 245 bajo el nivel del mar, que se corresponde con la 11ª planta; la segunda, el Pozo San Inocencio, con brocal a cota 254 m s.n.m., tiene una profundidad máxima de 599 m, hasta llegar a cota de 345 bajo el nivel del mar, que corresponde a 9ª planta. Ambas explotaciones constituyen una unidad debido a las numerosas conexiones existentes entre ellas (Figura 6-13). Además, este pozo se encuentra conectado con el Pozo Barredo hacia el norte y con el Pozo San José hacia el este (Figura 6-9).

El Pozo Figaredo es una de las primeras explotaciones mineras del valle de Turón: su origen, en principio relacionado únicamente con la minería de montaña, se remonta a 1867. Con fama de tener uno de los mejores carbones coquizables de España, se construyeron en este emplazamiento las primeras baterías de cok en 1890. En los inicios de los años treinta del pasado siglo se inicia la construcción de los pozos verticales para explotar las reservas situadas por debajo del nivel del río, pero los proyectos se retrasaron debido a la Guerra Civil (<http://www.hunosa.es/es/framework.hps>). La explotación de este conjunto comenzó en 1957 y finalizó a comienzos del 2007, pasando a formar parte del Grupo HUNOSA en 1998. En abril del 2007 comenzó el proceso de inundación del mismo en 10ª planta de San Inocencio, y en abril del 2008 comenzó el cese del bombeo en San Vicente.



Fotografía 6-2.- Vista del Pozo Figaredo

El Pozo Figaredo explotó las capas de carbón emplazadas en el sector occidental del Sinclinal de Turón, estructura cilíndrica ligeramente asimétrica de dirección E-O, situado entre los anticlinales de Polio, al norte, y Revallinas, al sur (Figura 6-14). Los paquetes explotados en el Pozo Figaredo son Sotón y María Luisa.

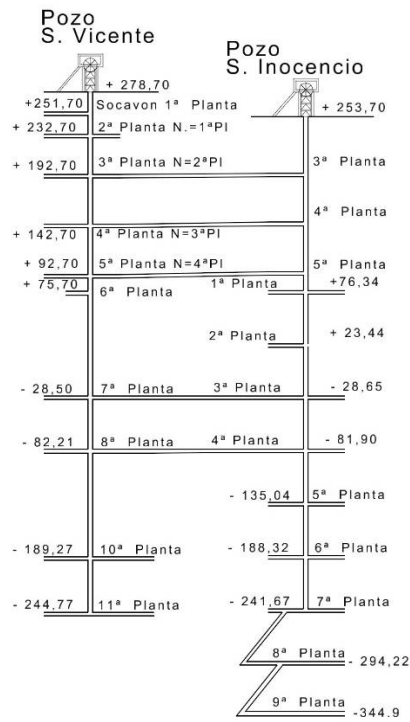


Figura 6-13.- Esquema de labores en perfil del pozo Figaredo

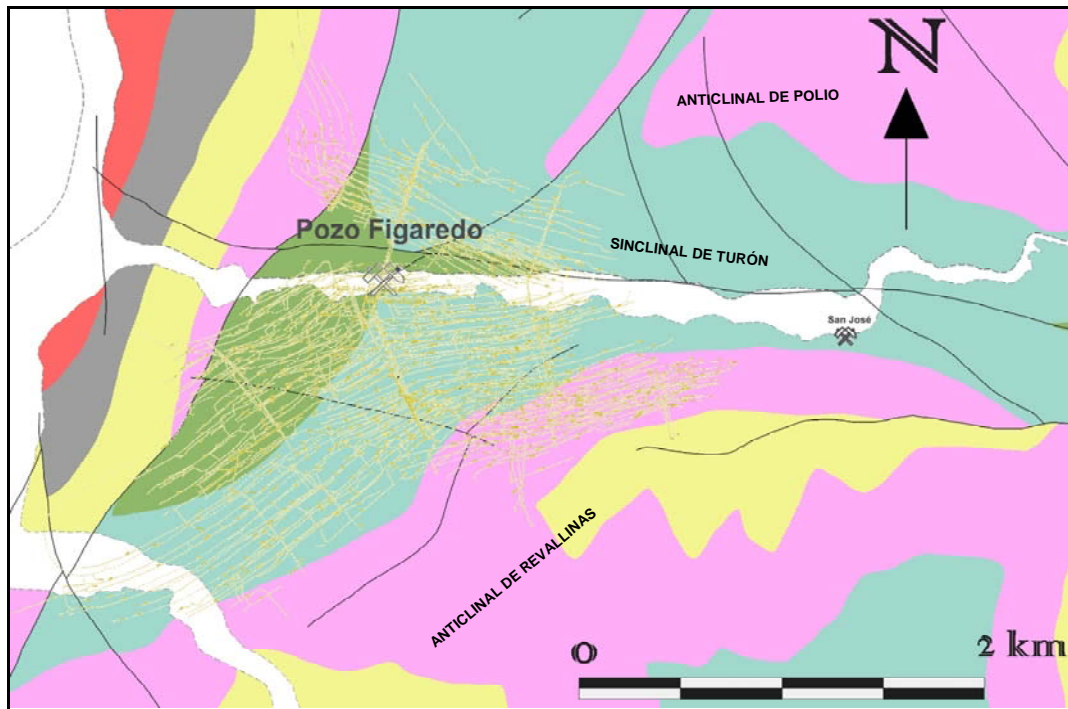


Figura 6-14.- Esquema de labores en planta del Pozo Figaredo

En los últimos años (2002-2007), se bombeó una media de 86 L/s, siendo el caudal medio de bombeo durante 2007 de 71 L/s. El agua bombeada salía por tres tuberías independientes desde 3ª, 5ª y 7ª planta y se vertía directamente al río Turón.

6.2.3. POZO SAN JOSÉ

El Pozo San José (Fotografía 6-3), situado al este del Pozo Figaredo, en el valle del río Turón (en coordenadas U.T.M. $x = 277.671$, $y = 4.787.761$), ha sido explotado entre los años 1955 y 1993. Su brocal se sitúa a cota + 294 m s.n.m.

Está formado por 8 plantas, aunque permanecía inundado hasta 6ª planta desde su cierre. La cota de 8ª planta era de -105 m s.n.m., con una profundidad total de la caña del pozo de 399 m (Figura 6-15). Conecta por el oeste con el Pozo Figaredo, por el este con el Pozo Santa Bárbara y hacia el sur con el Pozo Santiago.



Fotografía 6-3.- Vista del Pozo San José

El Pozo San José explotó principalmente la zona central del Sinclinal de Turón, el Anticlinal de Revallinas y el Sinclinal de Moreda en su zona norte (Figura 6-16). Los paquetes explotados son Sotón, María Luisa, San Antonio y Generalas.

En este pozo, en los últimos años (2002-2007), se bombeó un caudal medio de 118 L/s, siendo el bombeo medio durante el año 2007 de 102 L/s. El bombeo se realizaba desde una sala de bombas instalada en 6ª planta, que impulsaba el agua a través de tubería hasta el río Turón, con la salida a la altura del castillete.

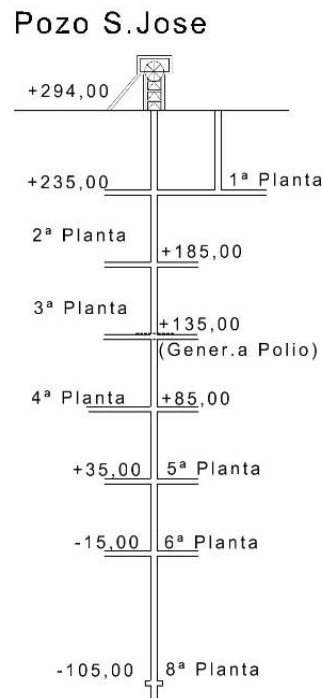


Figura 6-15.- Esquema de labores en perfil del Pozo San José

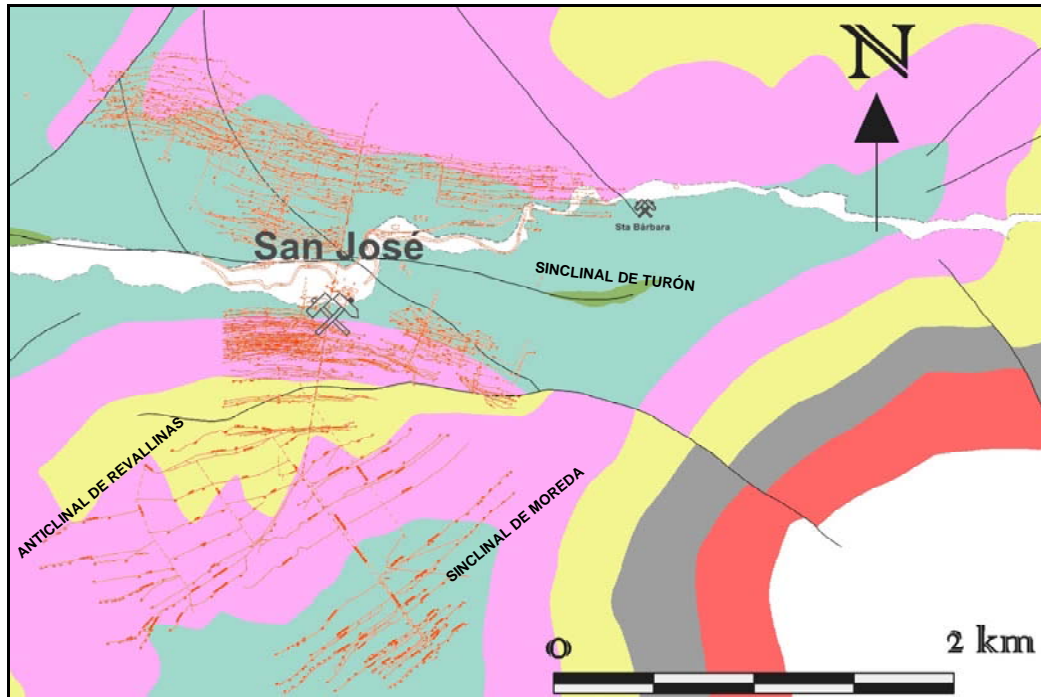
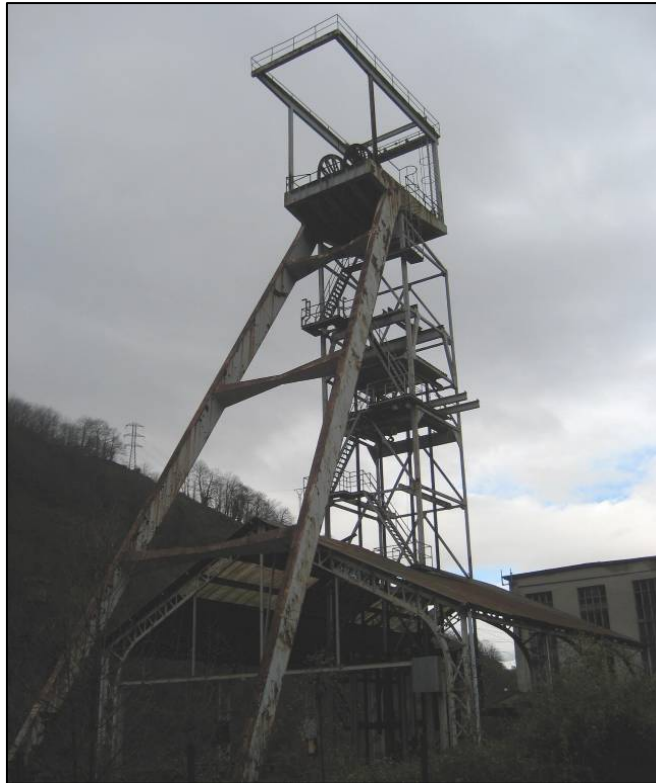


Figura 6-16.- Esquema de labores en planta del Pozo San José

6.2.4. POZO SANTA BÁRBARA

El Pozo Santa Bárbara (Fotografía 6-4), situado en la Rabaldana (Figura 6-9), aguas arriba del valle del río Turón (en coordenadas U.T.M. $x = 279.334$, $y = 4.788.364$), ha sido explotado desde 1913 hasta 1994. Consta de dos pozos, uno maestro y otro para el retorno de ventilación, muy próximos; el primero profundiza hasta 8ª planta (-98 m s.n.m.) y el segundo hasta 11ª planta (-209 m s.n.m.). Su brocal se sitúa a cota + 335 m s.n.m (Figura 6-17). Además consta de un pozo plano denominado Fortuna, que realiza el papel de pozo auxiliar.



Fotografía 6-4.- Vista del Pozo Santa Bárbara

El Pozo Santa Bárbara explotó las capas situadas en la zona oriental del Sinclinal de Turón (Figura 6-18). Los paquetes explotados son Sotón, María Luisa, San Antonio y Generalas.

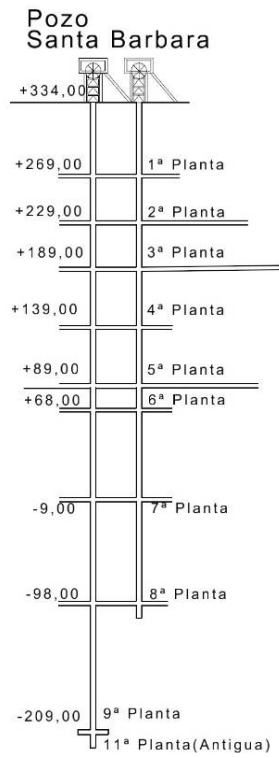


Figura 6-17.- Esquema de labores en perfil del pozo Santa Bárbara

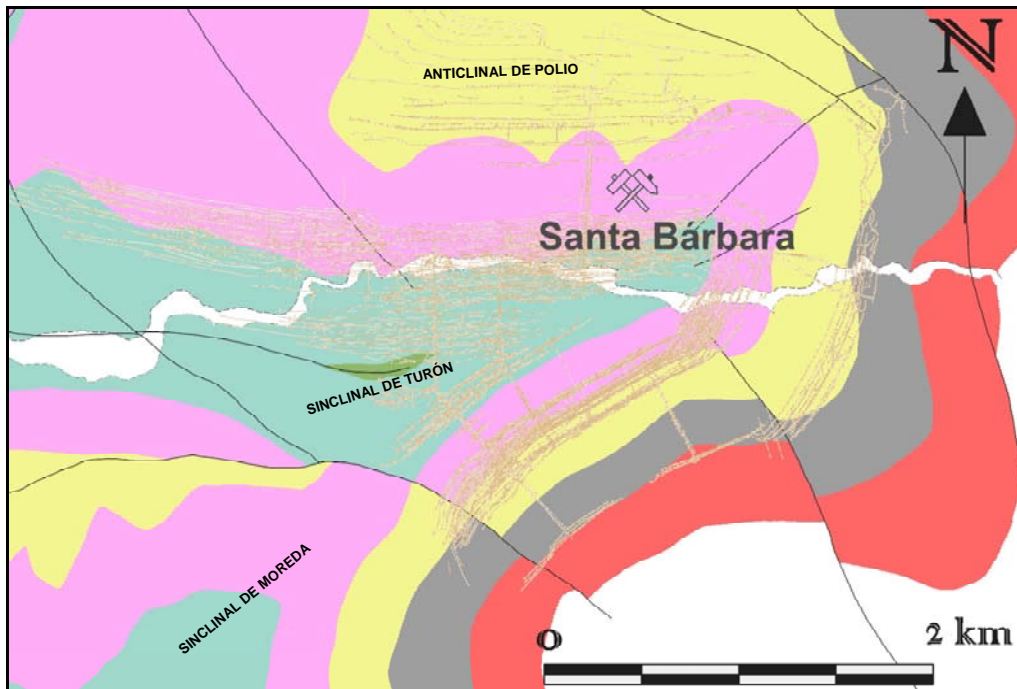


Figura 6-18.- Esquema de labores en planta del Pozo Santa Bárbara

En este pozo se bombeó una media de 27 L/s en los últimos años, siendo el bombeo medio durante el año 2007 de 12 L/s. El agua bombeada se drenaba al río Turón a través de una tubería situada a la altura del castillete.

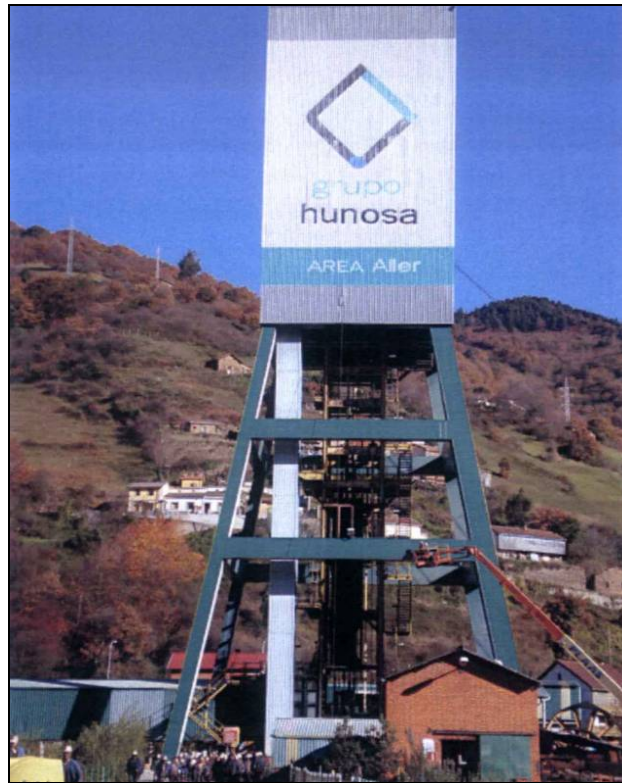
A partir de 1996 se suspende el bombeo debido a que se independiza de las conexiones con el Pozo San José a través de una serie de tapes. A partir del año 2001 cesa el proceso de inundación debido a un incremento del caudal de bombeo en el Pozo San José, reanudándose este proceso en agosto de 2008. A fecha 27 de diciembre de 2007, el nivel piezométrico medido desde la caña del pozo estaba situado a 260,2 m de profundidad (esto indica que el nivel piezométrico estaba a + 74,6 m s.n.m.).

6.2.5. POZOS DEL VALLE DEL ALLER

El carbón en el valle del río Aller ha sido explotado por los pozos Santiago y San Jorge (también llamados Caborana), Aller, San Antonio, Moreda, Vanguardia y San Alejandro. Actualmente sólo permanece en actividad el Pozo Santiago, que ha concentrado yacimientos de los antiguos pozos Aller, San Jorge y San Antonio.

La empresa Hullera Española ejerció en solitario el control de la minería del carbón en el territorio del bajo Aller a través de las instalaciones productivas de los pozos San Antonio, Santiago y San Jorge (<http://www.hunosa.es/es/framework.hps>).

El Pozo Santiago (Fotografía 6-5) está situado en la margen derecha del río Aller, en la localidad de Caborana (en coordenadas U.T.M. $x = 276.029$, $y = 4.784.448$) (Figura 6-9). Tiene una profundidad de caña de 532 m, y está siendo explotado desde 1951 hasta la actualidad, siendo el único pozo de la zona del Aller que permanece aún activo (Figura 6-20).



Fotografía 6-5.- Vista del Pozo Santiago

El Pozo San Jorge (Fotografía 6-6), con una profundidad de 148,15 m, está situado a pocos metros del anterior (en coordenadas U.T.M. $x = 275.852$, $y = 4.784.609$) (Figura 6-9). La profundización del Pozo San Jorge data de 1940 (funcionando plenamente desde el año 1942, cuando se instala la máquina de extracción). Esta obra fue dificultosa por la cercanía del río Aller, que anegaba las obras. La vida productiva del Pozo San Jorge concluye en 1995, cuando se concentra toda la actividad en el Pozo Santiago (<http://www.hunosa.es/es/framework.hps>).

El Pozo San Antonio (Fotografía 6-7), explotado entre 1947 y 2003, se sitúa en la margen izquierda del río Aller, en la población de Moreda (en coordenadas U.T.M. $x = 277.162$, $y = 4.783.406$) (Figura 6-9). Su brocal se encuentra a cota + 302 m s.n.m., consta de 7 plantas y la profundidad de su caña es de 547 m. Los pozos del Aller explotan las capas de carbón presentes en el Sinclinal de Moreda, el Sinclinal de La Cobertoria y el Anticlinal de Desquite (Figura 6-19). Los paquetes mineros

explotados en los pozos del Aller son Sotón, María Luisa, San Antonio y Generalas.



Fotografía 6-6.- Vista del Pozo San Jorge.



Fotografía 6-7.- Vista del Pozos San Antonio.

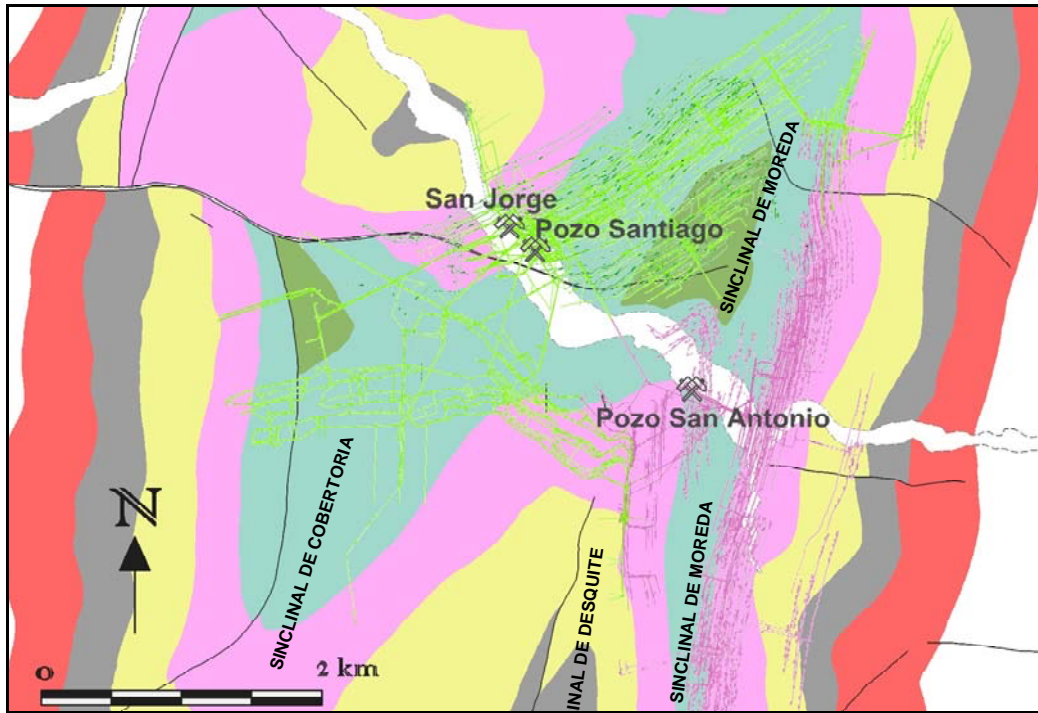


Figura 6-19.- Esquema de labores en planta de los pozos del valle del Aller

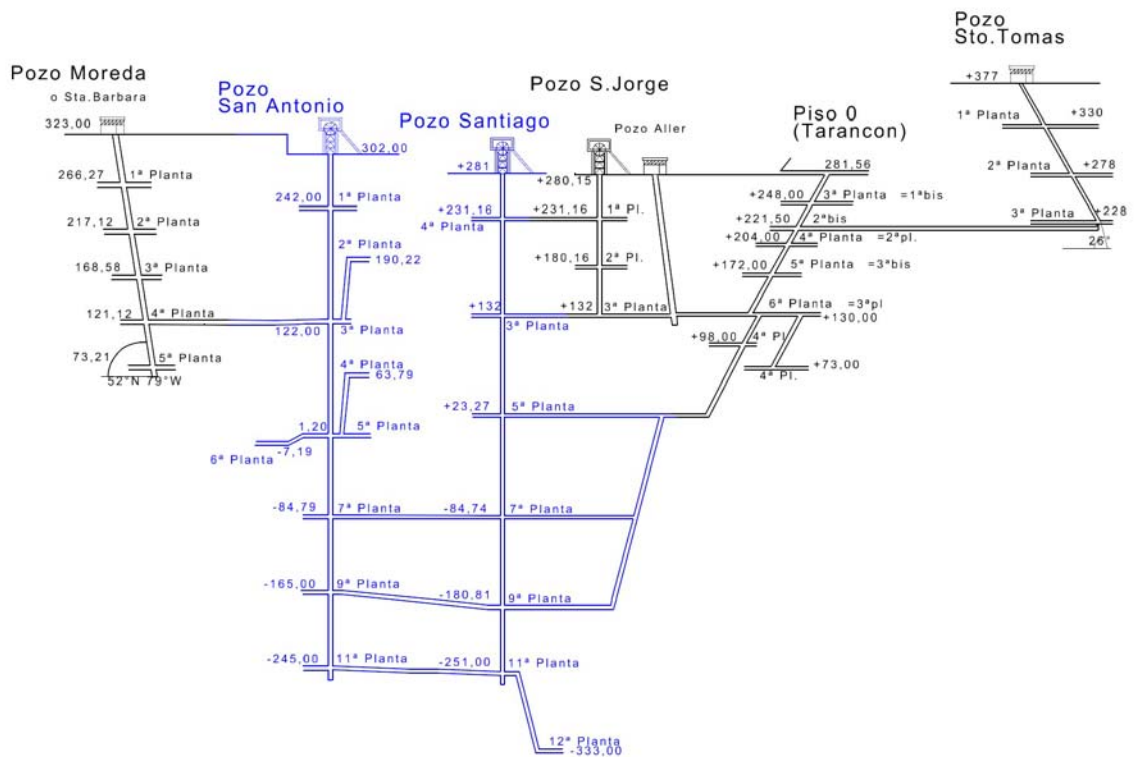


Figura 6-20.- Esquema de labores en perfil de los pozos Santiago, San Jorge y San Antonio

En el conjunto de los pozos Santiago, San Jorge y San Antonio se ha bombeado una media de 172 L/s en los últimos años, siendo el bombeo durante el 2007 de 166 L/s y durante el 2008 de 178 L/s. El agua bombeada desde cada pozo se drena al río a través de tuberías.

6.2.6. CONEXIONES

Las conexiones principales abarcan a los pozos Barredo, Figaredo, San José, Santa Bárbara, Santiago, San Antonio y el auxiliar San Jorge, como se puede ver en la Figura 6-21.

A continuación se hace una breve descripción de las principales conexiones entre los pozos principales situados en la zona de estudio

Entre los pozos Barredo y Figaredo la conexión principal es a través de galería entre 5ª planta pozo San Inocencio (-135 m s.n.m.) y 5ª planta pozo Barredo (-142 m s.n.m.). Entre las plantas 4ª (-50 m s.n.m.) del pozo Barredo y 3ª (+29 m s.n.m.) del pozo San Inocencio existe un cale por taller y entre las plantas 3ª (+20 m s.n.m.) del pozo Barredo y 2ª (+23 m s.n.m.) del pozo San Inocencio existe una posible conexión a través de macizo rocoso (Figura 6-21). En la Figura 6-19 se puede ver en planta la situación de la conexión principal a través de galería entre los pozos Barredo y Figaredo, donde se ve que la distancia entre el punto de conexión y las respectivas cañas de ambas explotaciones es de 3.300 m al pozo Barredo y de 1.050 m al pozo Figaredo.

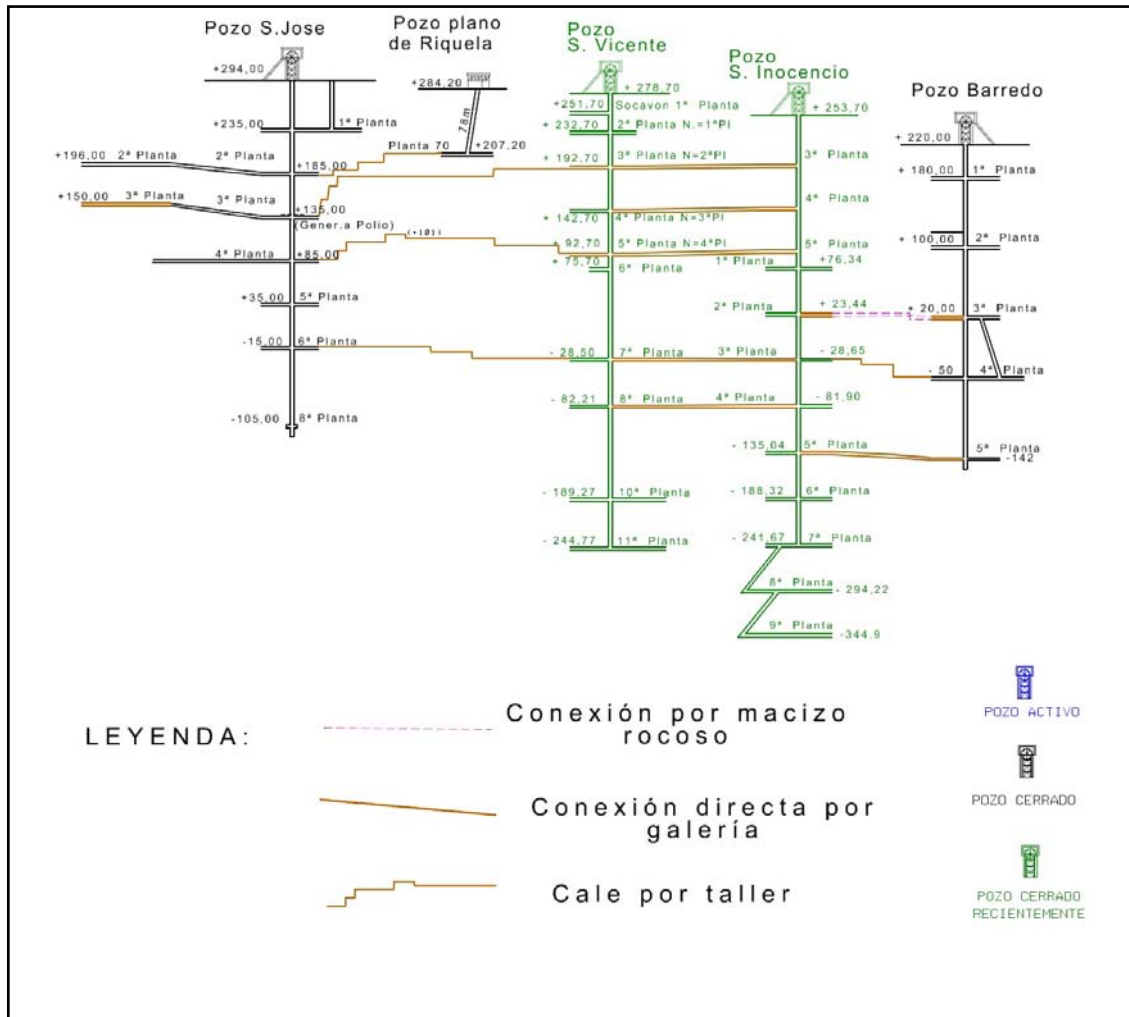


Figura 6-21.- Conexiones entre Barredo, Figaredo y San José

Entre los pozos Figaredo y San José existe conexión a través de tres cales por taller entre: las plantas 7ª (-28 m s.n.m.) del pozo San Vicente y 6ª (-15 m s.n.m.) del pozo San José; las plantas 5ª (+93 m s.n.m.) del pozo San Vicente y 4ª (+85 m s.n.m.) del pozo San José y las plantas 3ª (+193 m s.n.m.) del pozo San Vicente y 3ª (+135 m s.n.m.) del pozo San José. Finalmente la conexión a través de cale por taller entre 1ª planta del pozo-plano Riquela en Figaredo (+207,2 m s.n.m.) con 2ª planta del pozo San José (+185 m s.n.m.) (Figura 6-22). En la Figura 6-9 se puede ver en planta la situación de la conexión entre los pozos Figaredo y San José.

El pozo San José, además de su conexión por el oeste con Figaredo, tiene conexiones con Santa Bárbara por el este y Santiago por el sur. Con Santa Bárbara tiene dos posibles conexiones a través de macizo rocoso: 6ª planta (-15 m s.n.m.) pozo San José con 7ª planta (-9 m s.n.m.) pozo Santa Bárbara, esta conexión es muy dudosa y 4ª planta (+85 m s.n.m.) pozo San José con 5ª planta (+89 m s.n.m.) pozo Santa Bárbara y una tercera conexión por galería entre 3ª planta (+135 m s.n.m.) pozo San José con 3ª planta (+139 m s.n.m.) pozo Santa Bárbara. Con Santiago existe una posible conexión a través de macizo rocoso entre 3ª planta del Pozo San José (+135 m s.n.m.) y 3ª planta del Pozo Santiago (+132 m s.n.m.) y 3ª planta del Pozo Santiago (+132 m s.n.m.). En la Figura 6-22 se puede ver en perfil la situación de la conexión entre los pozos.

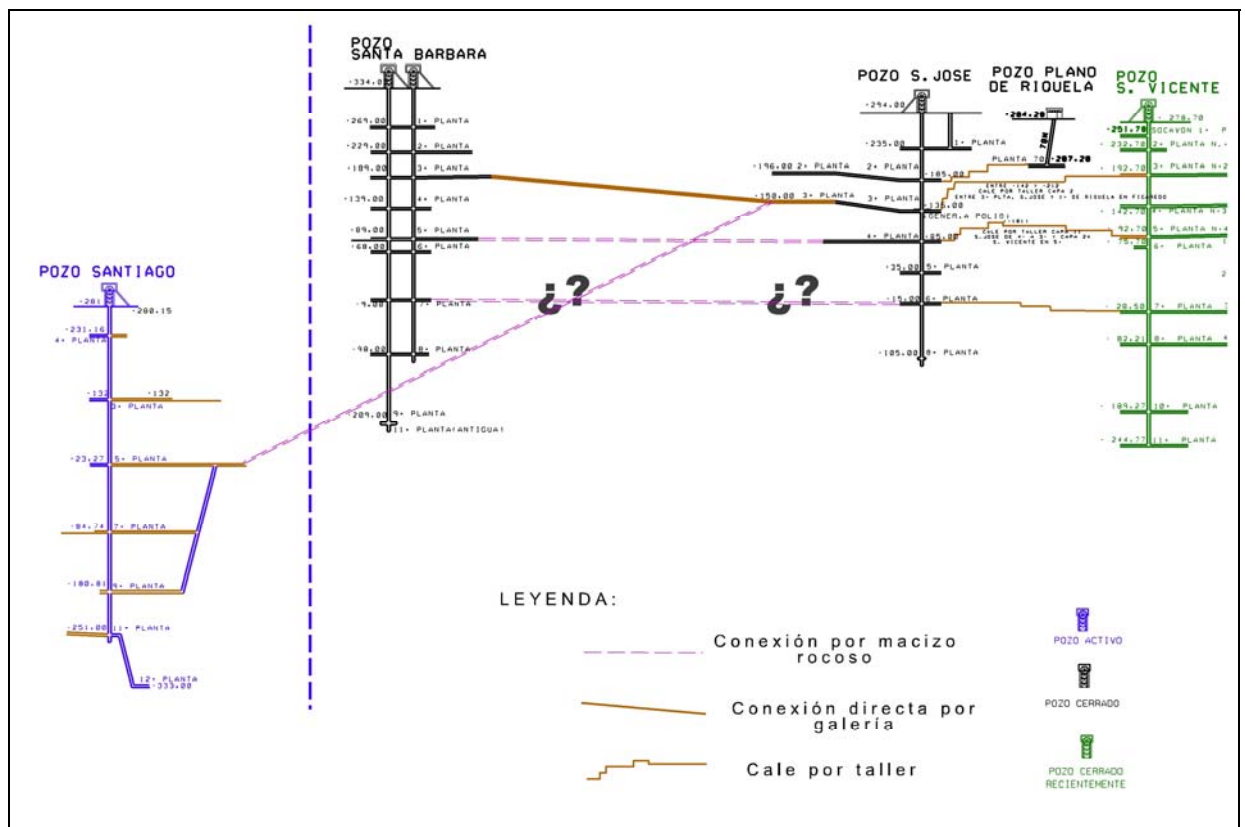


Figura 6-22.- Conexiones entre Santa Bárbara, San José y Santiago

6.3. VOLÚMENES DE HUECOS

El cálculo del volumen de huecos se ha dividido en dos términos: por una parte, se calculó el volumen de huecos que corresponde a galerías mineras a partir de los planos de labores de los distintos pozos, y, de otra parte, se analizó el volumen de huecos correspondiente al área deshullada.

Para el cálculo del primer término del volumen de huecos disponible se realizó el producto de los kilómetros totales de galería de cada pozo (calculados a partir de la longitud de las labores mineras, de la versión digital de los planos de labores), por una sección media de 10 m².

A este volumen se le añade posteriormente un segundo término, correspondiente al volumen de huecos generado por la explotación del carbón (el deshulle), que se calcula considerando los datos de producción de carbón de cada pozo. Este dato presenta una cierta incertidumbre, puesto que se desconoce la producción de los primeros años de vida de los pozos. El volumen de carbón explotado se pondera con un coeficiente corrector que se ha estimado en un 40%, ya que se considera que del volumen de carbón deshullado únicamente queda como hueco un 40%, y que el resto se pierde debido al relleno en determinadas capas, o a los hundimientos en otras, según el método de explotación.

El porcentaje en volumen correspondiente al término de hueco por deshulle en cada pozo está comprendido entre un 24% y un 10% del volumen de hueco de galerías, por lo que el error fruto de las incertidumbres anteriores podría ser asumible.

En la Tabla 6-1 se muestran los valores de volumen de huecos calculados para cada pozo del Grupo HUNOSA pertenecientes a la zona objeto de estudio.

Tabla 6-1.- Volumen de huecos para los pozos de la zona objeto de estudio

Zona del Caudal	Km de galería	Volumen de huecos de galería m ³	Volumen minado m ³	Volumen total m ³
Barredo	147,92	1.479.226	470.408	1.949.634
Figaredo	253,64	2.536.406	419.540	2.955.946
San José	170,72	1.707.245	447.073	2.154.317
Santa Bárbara	347,39	3.473.867	421.681	3.895.548
Santiago	263,39	2.633.945	2.224.234	4.858.178
San Antonio	315,09	3.150.899	547.155	3.698.055
Total:	1498,15	14.981.588	4.530.090,44	19.511.677,34

6.4. CAUDALES BOMBEADOS

Durante los últimos años se han venido realizando constantes estudios para correlacionar los caudales bombeados por cada uno de los pozos, determinándose que en el caso de bocaminas de montaña el tiempo medio de permanencia del agua de lluvia en las minas está comprendido entre 4 y 10 días, recogiendo casi la totalidad del agua de lluvia caída en la superficie abarcada por la explotación (Gutierrez Peinador *et al*, 2004.).

En el caso de los pozos mineros esta correlación es más variada, estimándose tiempos de retención del agua en la mina de entre 15 y 45 días, en función de las características de cada pozo, el macizo entre la superficie y el área deshullada y otros factores que pueden afectar a la infiltración.

El volumen total desaguado anualmente por los pozos del Grupo HUNOSA con autorización de vertido en la zona objeto de estudio supera en la actualidad los 12 millones de metros cúbicos. En la Tabla 6-2 se resumen los caudales aportados por los distintos pozos de la zona de estudio durante el pasado año 2007.

Tabla 6-2: Caudales desaguados en el año 2007 en los pozos del Grupo HUNOSA

CENTRO	Pozo San Antonio	Pozo Santiago	Pozo San Jorge	Pozo Santa Bárbara	Pozo San José	Pozo Figaredo	Pozo Barredo
Enero	170.298	79.996	21.312	-	126.314	155.262	57.167
Febrero	243.526	86.684	31.104	26.224	145.754	143.685	55.266
Marzo	313.733	147.752	37.008	70.145	319.955	190.998	73.542
Abril	365.276	230.420	46.944	79.473	415.939	313.181	188.055
Mayo	390.368	216.390	59.904	80.300	390.572	241.009	135.758
Junio	313.712	189.613	48.960	704	352.188	201.459	109.961
Julio	251.068	139.397	28.512	10.436	289.558	252.580	107.893
Agosto	247.520	118.559	23.904	7.923	260.493	206.667	83.713
Septiembre	234.884	104.254	21.888	9.900	270.033	177.716	67.470
Octubre	236.080	101.760	26.208	8.914	225.462	131.899	65.998
Noviembre	222.060	94.747	28.512	9.372	204.835	104.323	58.292
Diciembre	227.420	101.720	26.784	62.643	218.516	125.156	61.453
TOTAL	3.215.945	1.611.292	401.040	366.033	3.219.619	2.243.937	1.064.567

7. MARCO GEOLÓGICO

Desde el punto de vista geológico, la Cuenca Carbonífera Central (CCC) es una de las regiones definidas por Julivert (1967), situada en la Zona Cantábrica dentro del Macizo Varisco (Lotze, 1945) (Figura 7-1). Constituye una cuenca de tipo sinorogénico formada durante la Orogenia Hercínica y afectada por varias fases de deformación que han originado una estructura fuertemente plegada y fracturada (Marcos y Pulgar, 1982).

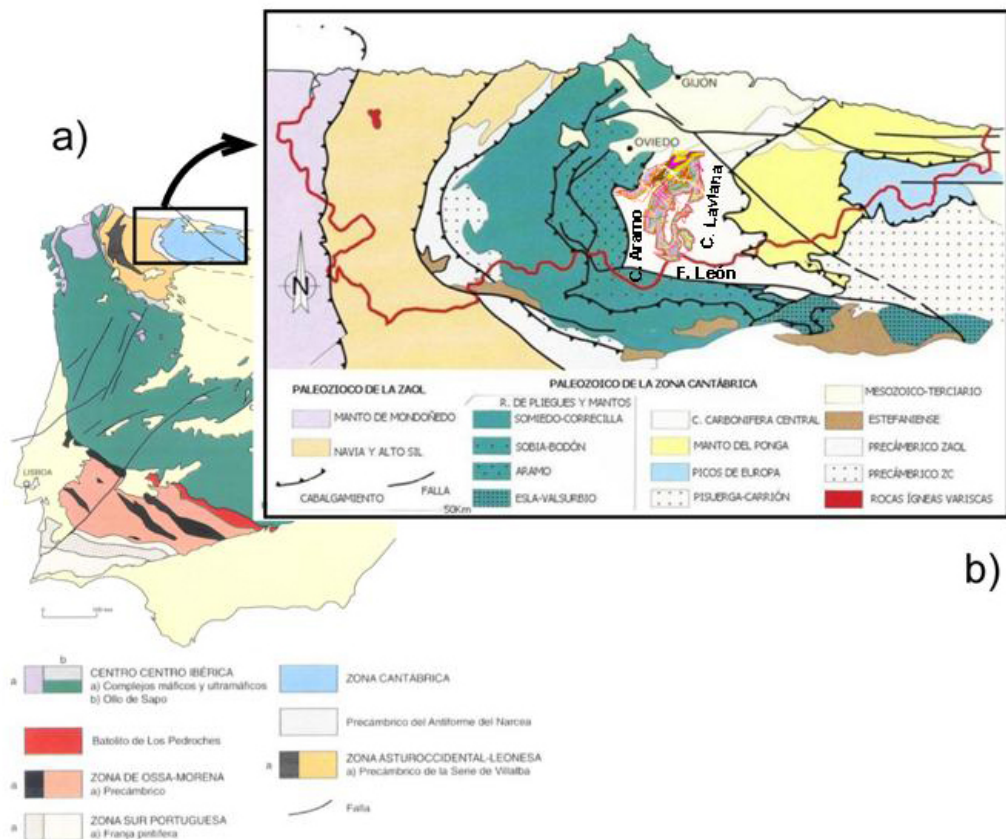


Figura 7-1.- a) Zonación geológica de la Península Ibérica (Bastida y Aller, 1995). b) Unidades geológicas de Asturias (Bastida y Aller, 1995), ubicación de los límites de la CCC y representación de la extensión superficial del ‘Carbonífero Productivo’ (datos del Grupo HUNOSA)

Los límites occidental y meridional los constituyen el cabalgamiento del Aramo y la Falla de León, respectivamente. Estas estructuras separan a la CCC de la Región de Pliegues y Mantos. Hacia el este, el cabalgamiento de Laviana actúa como límite con la Región de Mantos, mientras que al norte, la Cobertera Mesozoico-Terciaria oculta los materiales de la CCC, cuya prolongación es visible, no obstante, gracias a la existencia de algunos afloramientos aislados en la parte septentrional de Asturias.

De acuerdo con las características litoestratigráficas y estructurales, la CCC se ha dividido en tres sectores: Riosa-Olloniego, La Justa-Aramil y Caudal-Nalón, separados entre ellas por fallas mayores que coinciden con la orientación de los cabalgamientos hercínicos (Figura 7-2).

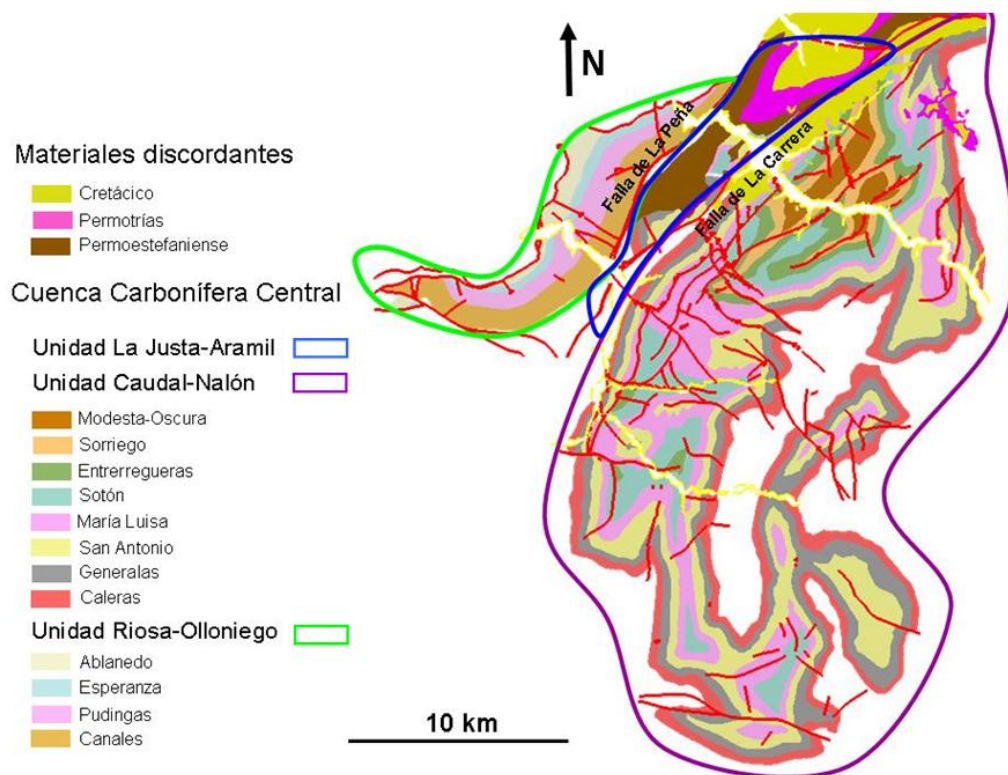


Figura 7-2.- Mapa geológico de superficie donde se muestra las diferentes zonas en las que se subdivide el carbonífero productivo (datos del Grupo HUNOSA)

7.1. ESTRATIGRAFÍA

Los materiales que forman la Cuenca Carbonífera Central son exclusivamente carboníferos, excepto los materiales cámbricos y ordovícicos que forman la base del cabalgamiento de Laviana en la parte más oriental de la misma. Los materiales carboníferos representan un espesor de sedimentos de aproximadamente 6000 metros con edades que van desde el Namuriense B al Westfaliense D (Fernández, 1995). La sucesión se ha dividido en dos grandes conjuntos, uno inferior denominado Grupo Lena, caracterizado por contener calizas y escasas y delgadas capas de carbón, y otro superior denominado Grupo Sama, en el que las calizas son escasas y, en cambio, hay abundantes niveles de areniscas, algunos niveles de conglomerados y capas de carbón explotables. Tanto el Grupo Lena como el Grupo Sama han sido divididos en una serie de unidades litoestratigráficas (Figura 7-3), denominadas “paquetes” en terminología minera (García-Loygorri *et al.*, 1971), que de muro a techo son: Fresnedo, Levinco, Llanón, Tendeyón y Caleras (Grupo Lena), y Generalas, San Antonio, María Luisa, Sotón, Enterregueras, Sorriego, Modesta y Oscura (Grupo Sama). En la zona de la Justa-Aramil y Caudal-Nalón el ‘Carbonífero productivo’ (García-Loygorri, 1974) (conjunto de paquetes sujetos a explotación minera) incluye el paquete superior del Grupo Lena (Paquete Caleras) y todos los paquetes del Grupo Sama. En la zona Riosa-Olloniego se diferencian únicamente cuatro paquetes mineros, que de muro a techo son: Canales, Pudingas, Esperanza y Ablanedo. Actualmente únicamente se explota el Paquete Canales.

El medio deposicional ha sido interpretado como un delta (Sánchez de la Torre *et al.*, 1981, Colmenero y Barba, 1985) o como un ambiente de isla barrera lagoon (Leyva y Sáenz de Santa María, 1983, Luque *et al.*, 1983, Sáenz de Santa María *et al.*, 1983). Según estos últimos autores, la secuencia está formada por ciclos fundamentalmente regresivos que constituyen una gran megasecuencia general que contiene ambientes cada vez más someros. El ciclo sedimentario característico (Figura 7-4) comienza con facies de plataforma (lutitas, calizas y margas), sobre las que se

desarrollan facies de barras arenosas (areniscas) que evolucionan hacia techo a facies de lagoon (lutitas fundamentalmente), finalizando el ciclo con el desarrollo de una capa de carbón.

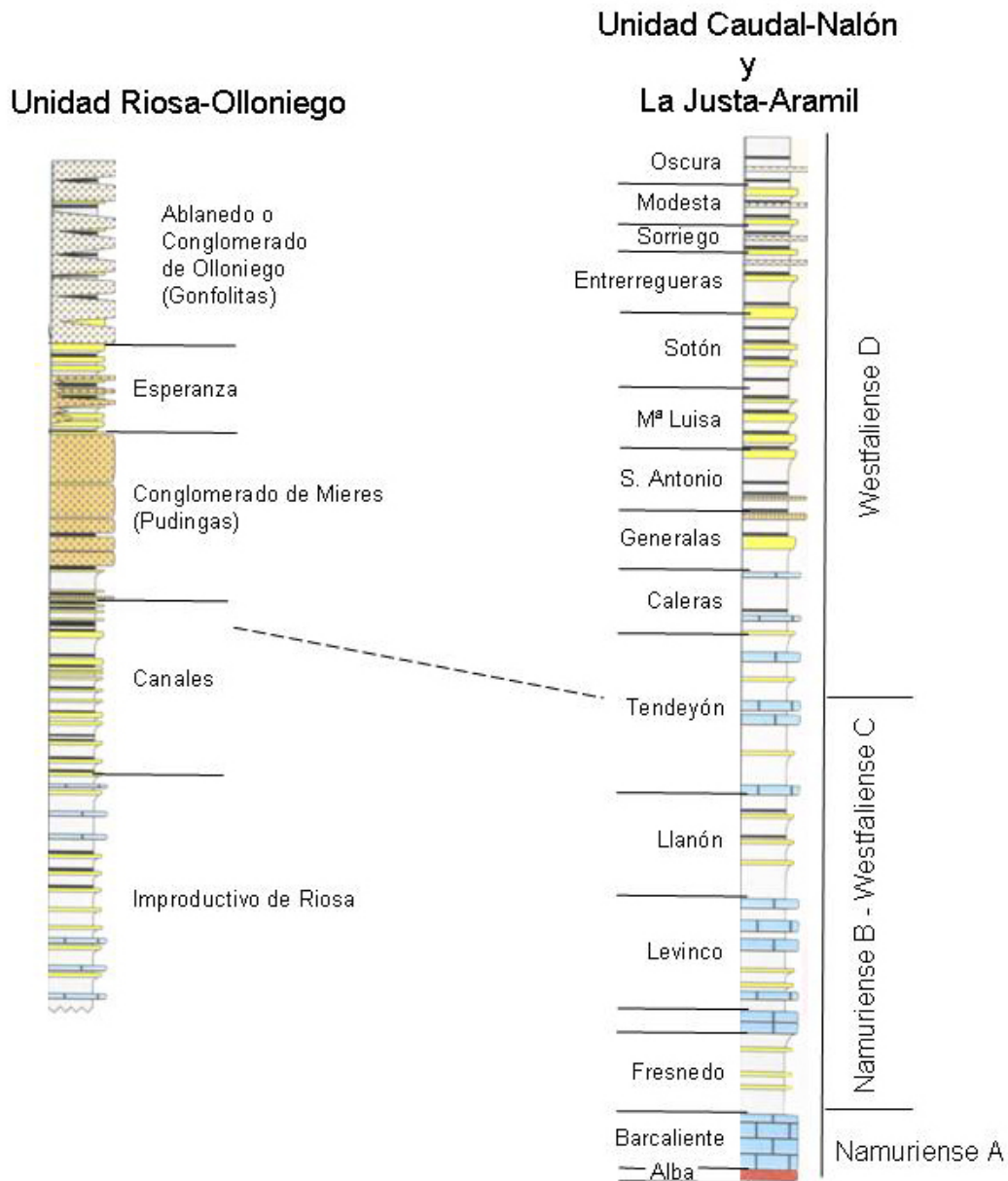


Figura 7-3.- Columnas estratigráficas generales y correlación de distintas unidades de la Cuenca Carbonífera Central (Fernández, 1995)

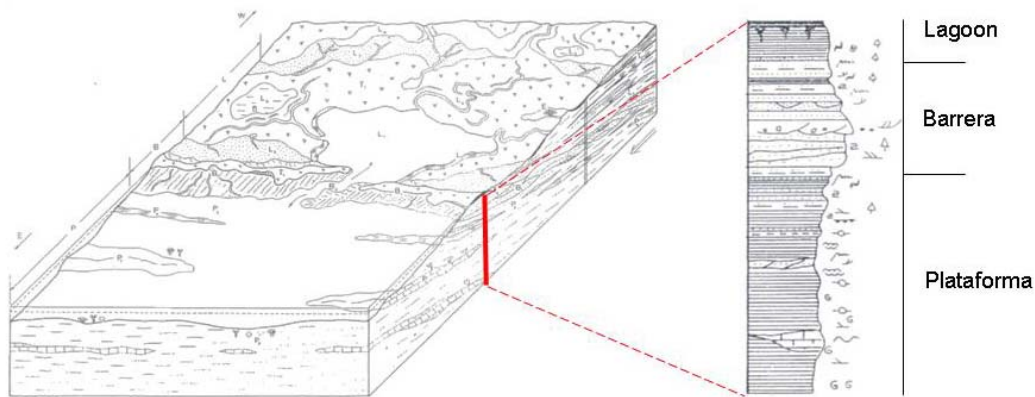


Figura 7-4.- Esquema del ambiente deposicional de la Cuenca Carbonífera Central durante el Westfaliense D y ciclo característico (Sáenz de Santa María *et al.*, 1983)

De acuerdo con Sáenz de Santa María *et al.* (1983), sobre los sedimentos de la plataforma carbonatada y plataforma mixta, correspondientes a los niveles improductivos (Fm. Barcaliente, Fm. Vadeteja, Paquete Fresnedo, Paquete Levinco, Paquete Llanón y Paquete Tendeyón), empiezan a depositarse materiales de isla barrera lagoon, tal y como comienza a observarse a partir de los niveles superiores del Paquete Tendeyón y especialmente a partir del Paquete Caleras. Hasta el Paquete San Antonio incluido, los niveles de lagoon son escasos, existiendo un predominio de los ambientes de mar abierto e isla barrera, lo que hace que las capas de carbón no sean muy abundantes. Este ambiente deposicional se ve interrumpido por la invasión de niveles de conglomerados silíceos (Pudingas de Generalas y San Antonio) originados por abanicos aluviales procedentes del NO. Estos niveles no son continuos en toda la cuenca, sino que desaparecen hacia el E y S de la misma. Los eventos de conglomerados dan paso al desarrollo de los ciclos normales descritos anteriormente. A partir de los potentes sedimentos de barra arenosa que constituyen la Arenisca de la Voz (techo del Paquete San Antonio), comienzan a desarrollarse con más intensidad los ambientes de lagoon y por tanto la presencia de carbón (Paquetes María Luisa, Sotón y Entrerregueras). En la parte basal del Paquete Sorriego existe una fase transgresiva que da lugar a la aparición de sedimentos de plataforma lutítica, próxima a la costa e isla barrera, que rápidamente evolucionan a sedimentos de lagoon con

episodios de deposición de carbón (parte superior del Paquete Sorriego y Paquete Modesta-Oscura). Estas variaciones finales en la sedimentación se ven acompañadas por la llegada de conglomerados calcáreos (gonfolitas) con distribución muy irregular, que reflejan una nueva fase de inestabilidad tectónica del continente.

En la Unidad de Riosa-Olloniego, la secuencia es distinta. Por encima del Grupo Lena, que en la zona se denomina Improductivo de Riosa, se diferencian los paquetes Canales, Pudingas, Esperanza y Ablanado (Figura 7-3). Sedimentológicamente la zona está caracterizada por la presencia de dos potentes niveles de conglomerados que contienen escasas capas de carbón, uno de ellos siliciclástico (Paquete Pudingas, también denominado Conglomerado de Mieres) y otro carbonatado (Paquete Ablanado, también Conglomerado de Olloniego). Por el contrario, los paquetes Canales y Esperanza contienen mayoritariamente lutitas, areniscas y capas de carbón, estructuradas en ciclos similares a los descritos anteriormente.

La datación de los paquetes de esta unidad ha sido determinada basándose en datos paleobotánicos (Jongmans y Wagner, 1957; Caride y García-Loygorri, 1968; Wagner, 1971). De acuerdo con estos autores, el Paquete Canales sería de edad Westfaliense C, si bien su parte superior, así como el resto de los paquetes, ya pertenecen al Westfaliense D.

El rango del carbón presente en la Cuenca Carbonífera Central oscila entre bituminoso de alto contenido en volátiles y antracita, con reflectancias de la vitrinita que varían entre 0.5-2.5 % Ro (Piedad-Sánchez *et al.*, 2004a). El rango del carbón se incrementa hacia el sur. Este aumento no puede ser explicado en términos de evolución orgánica producida únicamente por enterramiento y actuación del gradiente geotérmico normal, sino que debe de existir un segundo evento térmico que origine esta variación. Piedad-Sánchez *et al.* (2004b) sugieren la presencia en la zona sur de un plutón granítico intruido en el Westfaliense D tardío.



	Longitudinales	Transversales
Anticlinales		
Sinclinales		

Figura 7-5.- Pliegues mayores longitudinales y radiales de la Cuenca Carbonífera Central (datos del Grupo HUNOSA). La leyenda de los paquetes mineros es la misma que en la Figura 7-2

El carbón de la Cuenca Carbonífera Central es rico en vitrinita, tiene bajo contenido en azufre y variable de cenizas.

El Grupo HUNOSA explota principalmente el ‘Carbonífero Productivo’, el cual tiene un espesor de unos 2.800 m, con más de 60 capas de carbón de potencias entre 0,5 y 1,5 m, y una extensión de unos 500 km², siendo la mayor cuenca carbonífera de España.

7.2. TECTÓNICA

En líneas generales, la Cuenca Carbonífera Central representa un gran sinforme en cuyo interior existe una compleja estructura de pliegues y fallas. La Cuenca muestra en superficie una morfología en arco con una dirección NE-SO en el sector norte que gradualmente se orienta N-S hacia la zona central y NO-SE hacia el sur.

Dentro del ‘Carbonífero Productivo’ de la CCC existen dos fallas mayores que coinciden con la orientación de los cabalgamientos hercínicos: la Falla de La Carrera y la Falla de La Peña, (Figura 7-2), y que lo subdividen en tres sectores: Unidad de Riosa-Olloniego, Unidad de La Justa-Aramil y Unidad de Caudal-Nalón. Existen además dos sistemas de pliegues, uno paralelo a los cabalgamientos hercínicos (pliegues longitudinales) y otro aproximadamente perpendicular a los mismos (pliegues transversales o radiales) originando figuras de interferencia tipo I de Ramsay (Ramsay, 1967). La Unidad de Riosa-Olloniego está formada por una sucesión monoclinial inclinada en general hacia el NE y está limitada por el Cabalgamiento del Aramo al E y la Falla de la Peña al O. La Unidad de La Justa-Aramil representa un sinclinal donde afloran los paquetes inferiores del ‘Carbonífero Productivo’, la Falla de la Carrera (al este) actúa como límite con la Unidad de Caudal-Nalón. A grandes rasgos, esta última unidad, está constituida por varios sinclinales longitudinales afectados por dos grandes sinclinales transversales (Figura 7-5).

La mayoría de las fracturas son hercínicas y por tanto asociadas al sistema de esfuerzos que originaron los pliegues y los cabalgamientos durante la Orogenia Hercínica. No obstante, aunque con un menor desarrollo, existen también estructuras que se relacionan con una etapa extensional post-Hercínica o con el evento Alpino.

Finalmente, en la parte sur de la CCC, existe un incipiente metamorfismo de bajo grado posiblemente relacionado con intrusiones profundas que se han comentado en el apartado de estratigrafía. La presencia de fallas y otras estructuras también pudieron haber facilitado la circulación de los fluidos (Aller y Brime, 1983; Piedad-Sánchez *et al.*, 2004b).

8. ESTUDIO CLIMÁTICO

8.1. INTRODUCCIÓN

El clima general en Asturias es oceánico, con precipitaciones abundantes repartidas a lo largo del año y temperaturas suaves tanto en invierno como en verano. Debido a lo abrupto de la geografía asturiana hay infinidad de microclimas, pero se distinguen cuatro "microclimas principales": la franja climática del litoral, muy influenciada por el mar, otra franja climática en el Suroeste del Principado, con un clima más continentalizado, la franja central que aunque oceánico, no está tan influenciada por el mar como la litoral y el Clima de Montaña en todas las regiones de la Cordillera Cantábrica, con importantes nevadas, que en cotas no muy altas, pueden comenzar en Octubre y prorrogarse hasta Mayo, e incluso en cotas inferiores a los 2.000 metros en los meses de verano.

El clima de una zona puede descomponerse en una serie de elementos, cuyo conjunto describe las condiciones ambientales generales. Aunque el parámetro más característico de las propiedades dinámicas de la atmósfera es la presión, desde el punto de vista climático las diferenciaciones suelen establecerse en función de las precipitaciones y de las temperaturas, que constituyen los factores más importantes a la hora de definir las condiciones ambientales físicas de un lugar.

8.1.1. PRECIPITACIONES

La zona cantábrica, aunque no uniforme, se define por precipitaciones abundantes, nubosidad persistente y, por tanto, escasa aridez. Son tres factores generales los que condicionan la totalidad de los parámetros del clima oceánico ibérico: la situación latitudinal, la influencia del mar y la topografía. La cornisa cantábrica se encuentra en plena zona de circulación de las borrascas, que la afectan

especialmente en los meses invernales, en los que los vientos de componente Oeste, al llegar a la costa cargados de humedad, aportan abundantes precipitaciones. Los meses estivales son períodos anticiclónicos y de vientos del Nordeste, de origen continental y escasa humedad, lo que se traduce en un descenso generalizado de precipitaciones. Esta situación general explica la característica esencial de la curva de precipitaciones en la cornisa cantábrica: máximos invernales y un sensible descenso en la época estival. Las lluvias durante la estación fría llegan a saturar el suelo y a partir de ese punto cualquier nuevo aporte se pierde por escorrentía y no puede ser aprovechado. En el verano, sin embargo, la demanda de agua es mucho mayor debido al calor, por lo que las posibles lluvias adquieren una enorme importancia y actúan como un factor limitante. La cordillera cantábrica constituye un obstáculo orográfico que actúa como una barrera ante los movimientos de las capas atmosféricas superficiales. Las procedentes del Norte y Noroeste se la encuentran frontalmente, lo que origina inicialmente un persistente estancamiento de las masas nubosas contra ella. La cornisa cantábrica constituye, debido a este motivo, la región con menos insolación de la Península. De acuerdo con los datos recogidos en los más de 160 pluviómetros repartidos por la región, las lluvias anuales en nuestra región varían desde los 900 hasta más de 2000 mm ó L/m².

Existe una estrecha relación entre la precipitación y la altitud, de forma que los mínimos se registran en la costa y los máximos en las zonas más elevadas de la montaña. Este es el rasgo más importante del reparto de las lluvias en Asturias, cuyo origen está en un fenómeno denominado “efecto de ladera”. Éste se produce cuando una masa de aire cargada de humedad se ve obligada a ascender al encontrarse con una barrera montañosa. Al aumentar la altitud, la presión se hace progresivamente menor y se produce un descenso de la temperatura generalizado para toda la masa de aire. Si la temperatura desciende por debajo del punto de rocío, el vapor de agua se condensa y se forman las nubes. Si la ascensión forzada y el enfriamiento continúan se desencadenan las lluvias. El gradiente de precipitaciones en relación con la altitud es variable según las zonas, pudiendo calcularse una media para Asturias de unos 100

L/m² para un incremento de 100 m de altitud. Sin embargo, existe una gran variabilidad, que complica el trazado de las “isoyetas” (curvas de igual precipitación), ya que los gradientes sólo son válidos localmente y el relieve asturiano es especialmente complejo. Las precipitaciones máximas en Asturias son difíciles de precisar entre otras cosas por la ausencia de estaciones en las zonas más altas de la montaña, donde la precipitación desciende, tanto por haber desaparecido una buena parte del contenido en agua de la masa de aire, como porque las cumbres ya no constituyen un obstáculo neto y las masas nubosas tienden a rodearlas más que a superarlas.

8.1.2. TEMPERATURAS

El régimen térmico de una zona depende sobre todo de la radiación solar que recibe. La latitud de Asturias, cercana a los 45° N implica una fuerte estacionalidad en la radiación, ya que la duración de los días, así como de las horas de sol recibidas, es muy variable. Cabría esperar que las temperaturas en Asturias siguiesen una pauta similar a la radiación. Sin embargo, la presencia del mar amortigua las fluctuaciones de temperatura de tal forma que, probablemente, la costa cantábrica tiene el régimen térmico más templado de Europa. Asturias, por tanto, tiene un clima típicamente oceánico, donde los contrastes de temperaturas siempre son moderados, especialmente en la costa. Hacia el interior los contrastes aumentan, tanto en los valles interiores como en la montaña, pero sin llegar nunca a los extremos observables en las localidades continentales de la montaña leonesa o de la meseta. Se observa con las temperaturas un efecto similar, aunque invertido, al de las precipitaciones: existe una fuerte relación con la altitud, de forma, que la temperatura disminuye unos 0,5°C por cada 100 m de elevación. Este gradiente se manifiesta de forma bastante regular en la región y, junto con la influencia del mar, explica una buena parte de la distribución regional de las temperaturas.

8.1.3. BALANCE HÍDRICO

Las lluvias constituyen el único aporte de agua de importancia para la vegetación. Una fracción importante de este volumen de agua es utilizada por las plantas y devuelta a la atmósfera por evaporación y transpiración. Ambos procesos se denominan conjuntamente como evapotranspiración. Ésta no sólo desempeña un papel en el balance hídrico sino también en las temperaturas, ya que la energía implicada en el proceso es muy alta, consecuencia del alto valor del calor de vaporización del agua.

Se habla de “aridez” cuando la vegetación no dispone de agua suficiente para mantenerse en su situación óptima. Para evaluar estas situaciones suele compararse la disponibilidad de agua con la evapotranspiración potencial (aquella propia de una capa de vegetación en equilibrio con el medio y con una disponibilidad de agua no limitada), estimada mediante fórmulas contrastadas experimentalmente, como la de Thorntwaite.

El clima en Asturias, a pesar de ser lluvioso y moderado en sus temperaturas, presenta regularmente situaciones de aridez, al menos en las estaciones de baja altitud. El déficit hídrico siempre es estival, coincidiendo con la época de menos lluvias y temperaturas más altas y tiene una duración máxima de tres meses (Julio a Septiembre). Finaliza con las lluvias otoñales, que recargan rápidamente la reserva en el suelo, llegando a saturarlo hasta el verano siguiente. Las situaciones de sequía en la costa se deben más bien al menor aporte de precipitaciones, mientras que en los valles interiores se deben a un régimen térmico más severo, con temperaturas máximas elevadas que provocan altos valores de evapotranspiración. En la montaña, la aridez se hace menos frecuente debido al efecto conjunto de la elevación de las precipitaciones y el descenso de las temperaturas (Felicísimo, 1992).

8.2. APLICACIÓN A LA ZONA DE ESTUDIO

Para el estudio climático, en primer lugar, se realizó una selección de las estaciones termopluviométricas incluidas en la red controlada por el Instituto nacional de Meteorología (INM), dentro un entorno amplio de la zona de estudio (cuenca del río Caudal). Concretamente, tras calcular las coordenadas UTM de cada estación, fue seleccionada el área limitada por las coordenadas:

- X: de 254.713,964 a 296.796,330
- Y: de 4.762.086,325 a 4.804.181,141

Esta área corresponde aproximadamente a la cuadrícula representada en la Figura 8-1 y el número de estaciones incluidas en la misma es de 48, tal y como se recoge en la Tabla 8-1.

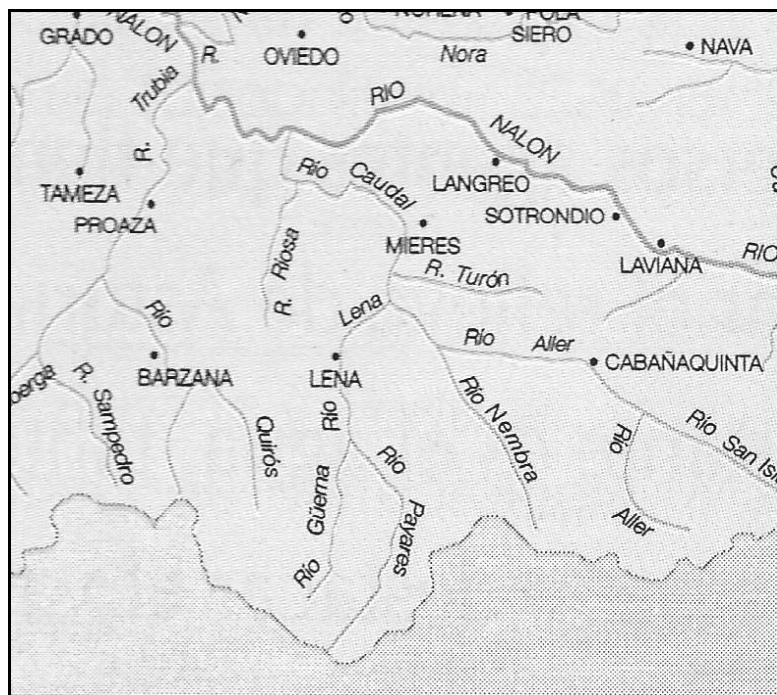


Figura 8-1: Área total considerada para la petición de datos climáticos al INM

La solicitud de los datos meteorológicos fue tramitada dentro del apartado de prestaciones para ‘Proyectos de investigación no lucrativos realizados por organismos de investigación oficialmente reconocidos’, en este caso, la Universidad de Oviedo y aprobada por la Subsecretaría de Medio Ambiente en Mayo de 2007, comprometiéndose los solicitantes a citar la fuente de tales prestaciones en cualquier trabajo o publicación derivados del uso de las mismas, así como a remitir al INM dicha(s) publicación(es) si existieran.

Antes de realizar la petición se comprobó la base de datos, correspondiente a peticiones de prestaciones anteriores al INM que obraba en poder del Grupo HUNOSA y la Universidad de Oviedo, por lo que en alguna de las estaciones sólo fue necesario actualizar dicha base de datos.

En la mayoría de las estaciones se solicitaron variables mensuales de precipitación y temperatura –cuando fuese posible-, excepto en cuatro de ellas (La Nava de Langreo, Oviedo ‘El Cristo’, Pumardongo de Mieres y Santa Cruz de Mieres), en las que fue posible obtener datos diarios. En todos los casos se solicitaron los datos completos durante todo el periodo de funcionamiento de la estación –si ésta ya no estaba activa- y hasta la actualidad en aquellas estaciones en funcionamiento, que en el momento de la petición quedó restringido a Abril de 2007. Además, se solicitó que los datos de las estaciones fuesen facilitados si al criterio del responsable de otorgar la prestación, podían considerarse como fiables y siempre que el periodo de registro superase al menos 4 años.

Con estos condicionantes, los datos correspondientes a 16 de las estaciones solicitadas no fueron facilitados (aparecen sombreadas en la Tabla 8-1), quedando a base de datos limitada entonces a los correspondientes a 32 estaciones. El periodo de funcionamiento de una de ellas, denominada Lada ‘Grupo Escolar’, es de 1951 a 1965, no coincidente con el de ninguna otra estación -y por tanto no correlacionable-, por lo que no sus datos no fueron considerados en el estudio que se describirá a

continuación. La ubicación de las 31 estaciones restantes, así como sus características y periodo del que se dispone información, se muestran, respectivamente en la Tabla 8-1 y la Figura 8-2. Los datos facilitados fueron tratados y archivados en un idéntico formato para cada una de las estaciones.

Tabla 8-1: Estaciones pluviométricas y termopluviométricas incluidas en el área seleccionada para petición de datos climáticos. Estos no fueron facilitados en el caso de las estaciones sombreadas

	C-IND	NOMBRE	TIPO	CUEN.PAR.	LONGITUD	LATITUD	X UTM	Y UTM	ALTITUD	1/50000	1/200000	FUNC.
1	1 221D	PAJARES-VALGRANDE	A	153	05-46-42W	42-58-37	273441,162	4762086,325	1480	103	14	S
2	1 220O	LENA BOCA N. NEGRON	TP	153	05-49-57W	42-58-40	269027,014	4762326,437	1162	103	14	N
3	1 222O	LENA BOCA N PANDO	TP	154	05-49-07W	43-00-40	270283,925	4765990,368	1040	78	14	N
4	1 221A	PAJARES 'G.C.'	P	153	05-46-22W	43-01-00	274039,923	4766482,938	1000	78	14	S
5	1 221	PAJARES	P	153	05-46-25W	43-01-00	273972,009	4766485,182	1000	78	14	N
6	1 221E	EL NOCEDO DE LENA	P	153	05-47-32W	43-01-05	272460,395	4766689,732	900	78	14	N
7	1 222E	TUIZA DE ARRIBA	P	154	05-55-17W	43-01-40	261971,507	4768127,875	1240	77	13	N
8	1 223E	ESPINEDO	TP	154	05-49-50W	43-03-50	269508,193	4771884,733	540	78	14	N
9	1 225	LA PARAYA 'C.E.'	P	156	05-34-27W	43-04-20	290415,338	4772137,339	640	78	14	N
10	1 222U	SOTIELLO DE LENA	P	154	05-49-47W	43-05-10	269659,370	4774350,497	420	78	14	N
11	1 223	CAMPOMANES 'G.C.'	P	154	05-49-07W	43-06-15	270631,321	4776325,315	380	78	14	N
12	1 222	LINARES DE LENA	P	153	05-46-17W	43-06-30	274489,612	4776659,872	920	78	13	N
13	1 227	COLLANZO DE ALLER 'G.C.'	P	158	05-33-52W	43-07-25	291381,594	4777820,390	530	78	14	N
14	1 236E	RICABO DE QUIROS	P	167	05-58-37W	43-06-50	257784,326	4777850,800	680	77	13	N
15	1 223O	VEGA DEL REY DE LENA	P	155	05-48-57W	43-07-40	270945,534	4778940,034	340	78	14	N
16	1 227I	ALLER 'COTO BELLO'	P	158	05-38-17W	43-08-10	285436,757	4779394,647	1300	78	14	N
17	1 223U	TABLADO DE LENA	TP	155	05-52-47W	43-08-30	265801,246	4780659,328	640	77	13	S
18	1 228	NEMBRA	P	159	05-42-37W	43-09-00	279612,292	4781124,784	380	78	14	N
19	1 237O	VILLANUEVA DE TEVERGA	TP	168	05-58-27W	43-09-00	258152,813	4781853,423	660	77	13	N
20	1 236I	LLANUCES	TP	167	05-55-27W	43-09-20	262240,401	4782327,184	860	77	13	N
21	1 224	POLA DE LENA	P	155	05-49-47W	43-09-30	269930,384	4782371,724	317	78	14	N
22	1 236O	BARZANA DE QUIROS 'G.C.'	P	167	05-58-17W	43-09-25	258406,087	4782616,682	466	77	13	N
23	1 227E	SERRAPIO	P	158	05-37-57W	43-10-00	285995,347	4782773,999	460	78	14	N
24	1 229	MOREDA	TP	160	05-44-27W	43-10-00	277188,142	4783056,736	300	53	14	N
25	1 229U	SANTA CRUZ DE MIERES C.T.	TP	160	05-46-17W	43-11-20	274785,801	4785606,628	280	53	14	S
26	1 237	LAS AGUERAS DE QUIROS	P	167	06-00-07W	43-11-50	256082,091	4787178,801	340	52	13	N
27	1 231	SAN ANDRES DE MIERES	TP	162	05-42-47W	43-12-50	279616,505	4788227,814	340	53	14	N
28	1 218D	MUNERA	TP	150	05-31-40W	43-14-08	294740,154	4790162,518	318			S
29	1 218	POLA DE LAVIANA 'G.C.'	P	150	05-33-47W	43-14-45	291910,424	4791391,239	295	53	4	S
30	1 232	MIERES	TP	163	05-46-37W	43-14-40	274539,251	4791791,836	220	53	14	N
31	1 234	LA FOZ DE MORCIN	P	165	05-52-17W	43-15-00	266892,095	4792668,035	260	52	13	N
32	1 239I	PROAZA	TP	169	06-01-17W	43-15-00	254713,964	4793097,512	195	52	13	S
33	1 233	MIERES 'MORGAO'	P	164	05-46-27W	43-15-30	274816,007	4793326,911	290	53	14	N
34	1 218V	BLIMEA-EL PARQUE	TP	150	05-35-17W	43-16-40	289990,541	4795001,667	260	53	4	N
35	1 234P	PUMARDONGO DE MIERES	P	165	05-49-07W	43-16-30	271270,659	4795298,762	180	53	14	N
36	1 234R	PARTEAYER	P	165	05-52-37W	43-16-55	266563,259	4796231,479	146	52	13	N
37	1 234O	EL PADRUN DE MIERES	P	165	05-48-37W	43-17-10	271988,470	4796510,031	380	53	14	N
38	1 219I	SAMA DE LANGREO 'G.C.'	P	152	05-41-02W	43-17-40	282273,235	4797098,193	214	53	4	N
39	1 220	LADA 'GRUPO ESCOLAR'	P	152	05-42-27W	43-18-10	280387,747	4798085,582	210	53	4	N
40	1 220A	LADA 'QCF'	TP	152	05-42-27W	43-18-10	280387,747	4798085,582	200	53	4	N
41	1 195I	MELENDREROS	P	143	05-31-57W	43-18-40	294611,102	4798565,607	600	53	4	N
42	1 235	SOTO DE RIBERA	TP	165	05-52-27W	43-18-40	266900,195	4799463,141	127	52	13	S
43	1 219U	LA NAVA DE LANGREO	TP	152	05-40-07W	43-19-30	283621,179	4800452,118	350	53	4	N
44	1 196	NAVA DE NAVA	P	143	05-31-57W	43-20-40	294723,458	4802267,761	245	29	4	N
45	1 235U	LATORES	P	166	05-52-47W	43-20-15	266550,766	4802409,594	254	28	3	N
46	1 196A	NAVA DE NAVA 'G.C.'	P	143	05-30-27W	43-21-30	296796,330	4803749,111	245	30	4	N
47	1 240	TRUBIA DE OVIEDO	P	169	05-59-17W	43-20-50	257806,778	4803798,331	97	28	3	N
48	1 249I	OVIEDO 'EL CRISTO'	CPE	173	05-52-24W	43-21-13	267130,364	4804181,141	336	28	4	S

La Organización meteorológica Mundial recomienda la existencia de un pluviómetro cada 250 km² en zonas de topografía suave. Este no es exactamente el caso de la zona de estudio pero, teniendo en cuenta el número de estaciones

consideradas para un área total de unos 1770 km², la densidad de pluviómetros es de uno cada 37 km². Por otra parte, dada la complejidad que entraña extender el estudio hacia la Cordillera Cantábrica, lo cual se aleja de la zona de estudio, se ha preferido confeccionar los mapas resultado del estudio limitando el área original por el Sur, a una coordenada Y mínima de 4.768.500,0. El área entonces representada abarca unos 1500 km². La densidad en este caso, considerando además las estaciones no disponibles, es de un pluviómetro cada 48 km².

- 1 Oviedo-Cristo
- 2 Nava de Nava 'G.C.'
- 3 La Nava de Langreo
- 4 Soto de Ribera
- 5 Lada 'OCF'
- 6 Sama de Langreo 'G.C.'
- 7 El Padrún de Mieres
- 8 Parteayer
- 9 Pumaradongo de Mieres
- 10 Blimea-El Parque
- 11 Mieres (Morgao)
- 12 Proaza
- 13 La Foz de Morcín
- 14 Pola de Laviana 'G.C.'
- 15 Muñera
- 16 San Andrés de Mieres
- 17 Las Agueras de Quirós
- 18 Sta. Cruz Mieres
- 19 Moreda
- 20 Bárzana de Quirós
- 21 Pola de Lena
- 22 Tablado de Lena
- 23 Aller (Cotobello)
- 24 Ricabo de Quirós
- 25 Collanzo de Aller
- 26 Campomanes 'G.C.'
- 27 Sotiello de Lena
- 28 La Paraya 'C.E.'
- 29 El Nocedo de Lena
- 30 Pajares (G.C.)
- 31 Pajares (Valgrande)

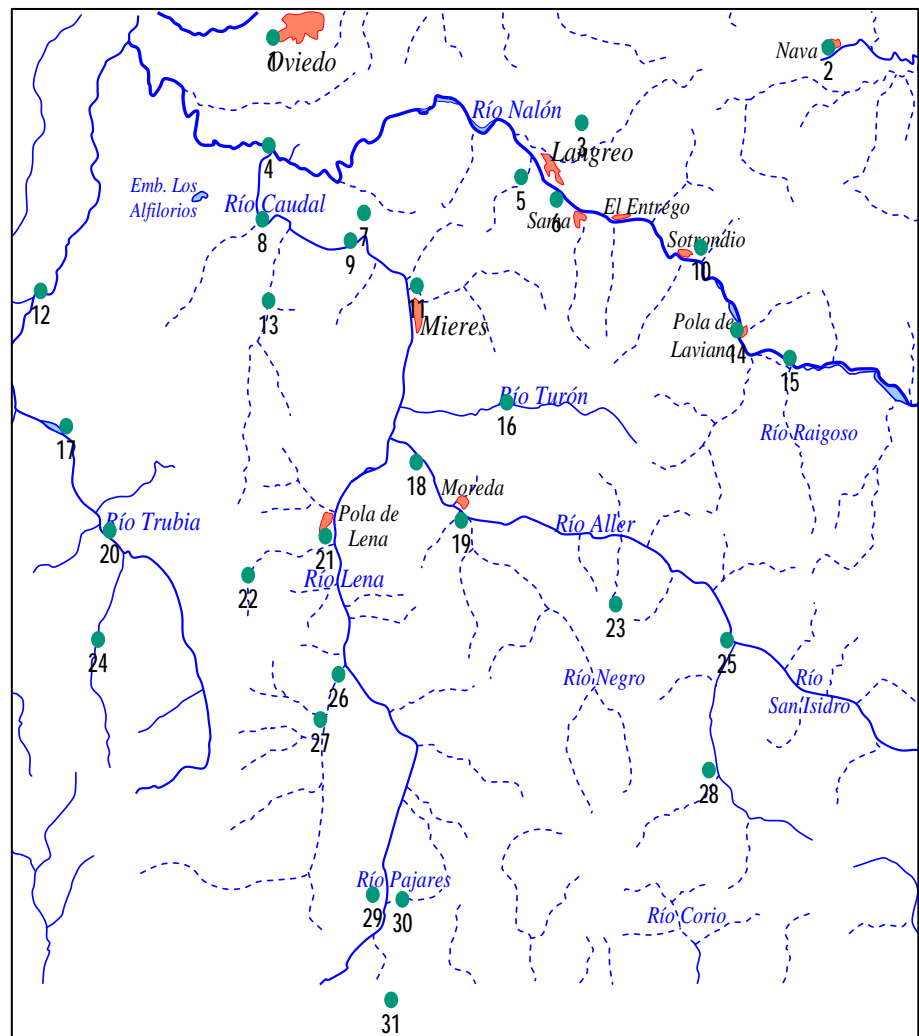


Figura 8-2.- Estaciones consideradas en el estudio climático

Tabla 8-2: Características y periodo de funcionamiento considerado para las estaciones utilizadas en el estudio climático

	C-IND	NOMBRE	TIPO	CUEN.PAR.	LONGITUD	LATITUD	X UTM	Y UTM	ALTITUD	FUNC.	DATOS
1	1 227I	ALLER 'COTO BELLO'	P	158	05-38-17W	43-08-10	285436,8	4779394,6	1300	N	1984-1992
2	1 236O	BARZANA DE QUIROS 'G.C.'	P	167	05-58-17W	43-09-25	258406,1	4782616,7	466	N	1971-1990
3	1 218V	BLIMEA-EL PARQUE	TP	150	05-35-17W	43-16-40	289990,5	4795001,7	260	N	1987-1998
4	1 223	CAMPOMANES 'G.C.'	P	154	05-49-07W	43-06-15	270631,3	4776325,3	380	N	1971-1996
5	1 227	COLLANZO DE ALLER 'G.C.'	P	158	05-33-52W	43-07-25	291381,6	4777820,4	530	N	1971-1988
6	1 221E	EL NOCEDO DE LENA	P	153	05-47-32W	43-01-05	272460,4	4766689,7	900	N	1976-1996
7	1 234O	EL PADRUN DE MIERES	P	165	05-48-37W	43-17-10	271988,5	4796510,0	380	N	1973-1981
8	1 234	LA FOZ DE MORGAO	P	165	05-52-17W	43-15-00	266892,1	4792668,0	260	N	1947-1993
9	1 219U	LA NAVA DE LANGREO	TP	152	05-40-07W	43-19-30	283621,2	4800452,1	350	N	1979-1988 (d)
10	1 225	LA PARAYA 'C.E.'	P	156	05-34-27W	43-04-20	290415,3	4772137,3	640	N	1973-2003
11	1 220	LADA 'GRUPO ESCOLAR'	P	152	05-42-27W	43-18-10	280387,7	4798085,6	210	N	1951-1965
12	1 220A	LADA 'OCF'	TP	152	05-42-27W	43-18-10	280387,7	4798085,6	200	N	1957-1972
13	1 237	LAS AGUERAS DE QUIROS	P	167	06-00-07W	43-11-50	256082,1	4787178,8	340	N	1955-1980
14	1 233	MIERES 'MORGAO'	P	164	05-46-27W	43-15-30	274816,0	4793326,9	290	N	1972-1999
15	1 229	MOREDA	TP	160	05-44-27W	43-10-00	277188,1	4783056,7	300	N	1970-1989
16	1 218D	MUNERA	TP	150	05-31-40W	43-14-08	294740,2	4790162,5	318	S	2001-2007
17	1 196A	NAVA DE NAVA 'G.C.'	P	143	05-30-27W	43-21-30	296796,3	4803749,1	245	N	1971-1994
18	1 249I	OVIEDO 'EL CRISTO'	CPE	173	05-52-24W	43-21-13	267130,4	4804181,1	336	S	1972-2007 (d)
19	1 221A	PAJARES 'G.C.'	P	153	05-46-22W	43-01-00	274039,9	4766482,9	1000	S	1971-2007
20	1 221D	PAJARES-VALGRANDE	A	153	05-46-42W	42-58-37	273441,2	4762086,3	1480	S	2000-2007
21	1 234R	PARTEAYER	P	165	05-52-37W	43-16-55	266563,3	4796231,5	146	N	1987-1995
22	1 218	POLA DE LAVIANA 'G.C.'	P	150	05-33-47W	43-14-45	291910,4	4791391,2	295	S	1971-2007
23	1 224	POLA DE LENA	P	155	05-49-47W	43-09-30	269930,4	4782371,7	317	N	1951-1978
24	1 239I	PROAZA	TP	169	06-01-17W	43-15-00	254714,0	4793097,5	195	S	1969-2007
25	1 234P	PUMARDONGO DE MIERES	P	165	05-49-07W	43-16-30	271270,7	4795298,8	180	N	1979-1996 (d)
26	1 236E	RICABO DE QUIROS	P	167	05-58-37W	43-06-50	257784,3	4777850,8	680	N	1970-1979
27	1 219I	SAMA DE LANGREO 'G.C.'	P	152	05-41-02W	43-17-40	282273,2	4797098,2	214	N	1971-2004
28	1 231	SAN ANDRES DE MIERES	TP	162	05-42-47W	43-12-50	279616,5	4788227,8	340	N	1972-1976
29	1 229U	SANTA CRUZ DE MIERES C.T.	TP	160	05-46-17W	43-11-20	274785,8	4785606,6	280	S	1979-2007(d)
30	1 222U	SOTIELLO DE LENA	P	154	05-49-47W	43-05-10	269659,4	4774350,5	420	N	1978-1983
31	1 235	SOTO DE RIBERA	TP	165	05-52-27W	43-18-40	266900,2	4799463,1	127	S	1960-2007
32	1 223U	TABLADO DE LENA	TP	155	05-52-47W	43-08-30	265801,2	4780659,3	640	S	1978-2007

(d) diarios; en otro caso, mensuales

8.3. VALIDACIÓN DE DATOS Y OBTENCIÓN DE SERIES COMPLETAS DE PRECIPITACIÓN

En toda red pluviométrica existen estaciones especialmente cuidadas en lo que se refiere a la fiabilidad de sus datos y suelen denominarse estaciones base. Éstas se utilizan para validar los datos obtenidos en otras estaciones de su entorno, generalmente mediante el método de dobles masas o dobles acumulaciones,

comparando la serie pluviométrica de la estación problema con la misma medida en la estación base (Martínez-Alfaro *et al.*, 2006). Se puede de este modo comprobar si los datos de una determinada estación se pueden considerar como válidos o si existe un error de tipo aleatorio o sistemático, en cuyo caso podría corregirse.

Es frecuente la necesidad de completar los datos correspondientes a la serie en algunas estaciones en las que pueden existir ‘lagunas’ en las medidas, por averías puntuales o causas diversas. El método más habitual de resolver este problema es establecer una correlación lineal entre una estación (problema) y otra (base), de análogas características climáticas, que cuente con los datos correspondientes a las lagunas e la estación problema. La fiabilidad de los datos obtenidos puede medirse fácilmente a partir del coeficiente de correlación entre ambas series. Al no ser la precipitación una variable continua ni espacial ni temporal, no cabe la aplicación de métodos geoestadísticos de interpolación (Martínez-Alfaro *et al.*, 2006).

En este caso, se han tomado como estaciones base las de Oviedo ‘El Cristo’ y Santa Cruz de Mieres, por su prolongado periodo de funcionamiento y la fiabilidad contrastada de sus datos. Los datos del resto de estaciones han sido validadas con los de ambas estaciones, eligiéndose para completar los datos faltantes en las mismas, aquella de las dos estaciones base con la que hubiese un mayor periodo común de datos y un mayor coeficiente de correlación entre los mismos.

En este proceso, se han desechado, para fases posteriores aquellas estaciones con un periodo de registro limitado, aquellas cuyos datos no correlacionan bien con los de las estaciones base y, en el caso de las precipitaciones, se han restringido los valores de las estaciones que impidan alcanzar una elevada correlación positiva entre precipitación media y altitud de la estación, de forma que dicho coeficiente de correlación fuese al menos de 0,7.

En este estudio se han utilizado los datos mensuales y en aquellas estaciones

con series incompletas de datos, se realizó una recta de regresión con los datos de la Estación de referencia, para completar la serie. Como ejemplo, se muestra en la Figura 8-3 la correlación de datos de las estaciones de Oviedo ‘El Cristo’ (base) y Soto de Ribera (problema), con 448 y 445 datos, respectivamente, durante el periodo 1970-2006.

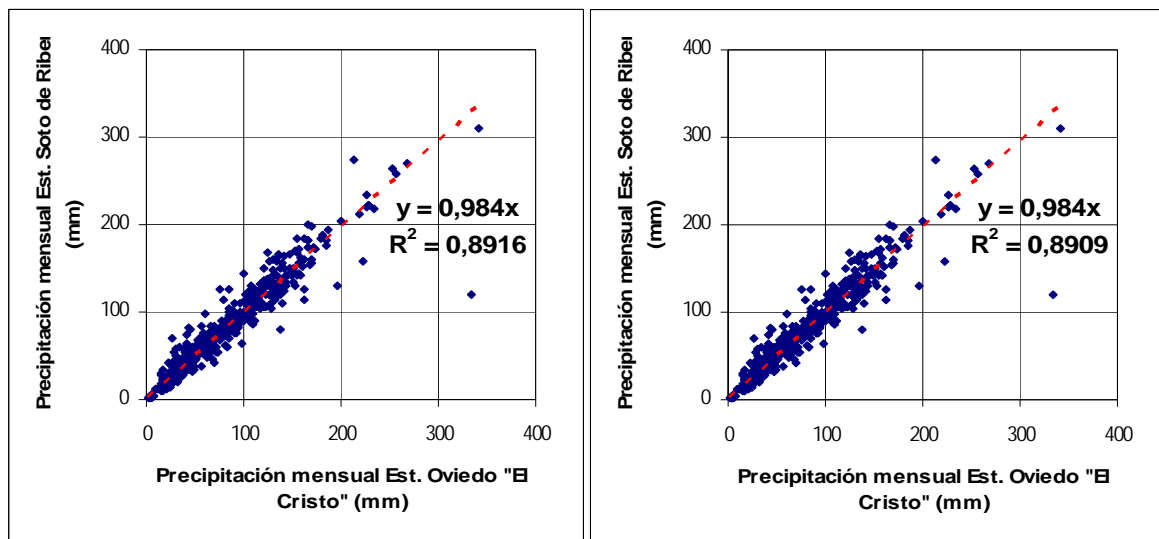


Figura 8-3: Correlación y ecuación de la recta de regresión entre los datos brutos (izda.) y los datos completados (dcha.) de una estación problema y una estación base para una misma serie

Una vez completadas las series de las estaciones seleccionadas, se procedió a calcular las precipitaciones medias mensuales para el periodo considerado, así como anuales (tanto como media de todos los valores anuales, como a partir de la suma de los valores medios mensuales de todo el periodo). Asimismo, se hicieron los cálculos por año natural y por año hidrológico (octubre a septiembre), para el periodo 1970/71 – 2005/06.

Con la serie de datos pluviométricos completa y depurada, éstos se extrapolaron a toda el área de estudio, realizándose una correlación con la altitud, para lo cual se tuvo en cuenta la topografía del terreno. Ello fue realizado digitalizando las curvas de nivel y asignando aproximadamente –y con las salvedades comentadas en el

primer apartado - la misma precipitación a puntos de igual cota. La interpolación fue realizada mediante el programa informático SURFER y posteriormente, la malla obtenida fue depurada una serie de veces hasta obtener una malla coherente de 8100 puntos, cuya representación en forma de isolíneas (Isoyetas), se muestra, para valores medios anuales, en la Figura 8-4. El trazado realizado resulta coherente con el que aparece en publicaciones anteriores (MOPU, 1988, IGME, 1984, Marquínez *et al.*, 2003).

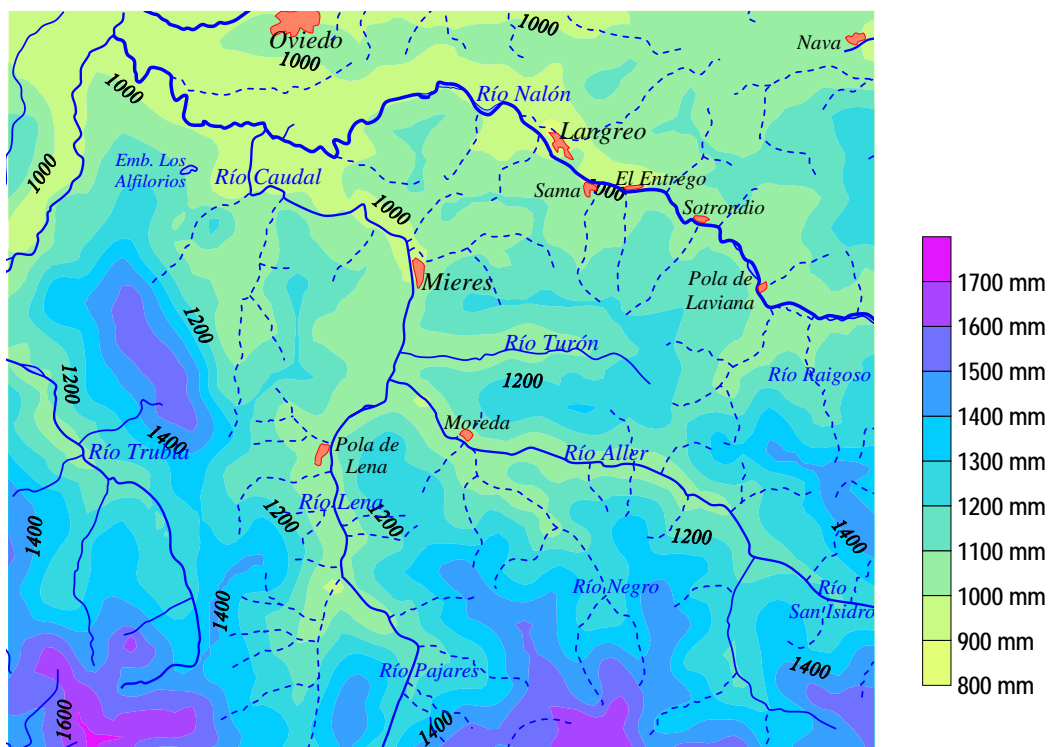


Figura 8-4: Isoyetas medias anuales (periodo 1970/71 – 2005/06)

Posteriormente, fueron realizados los mapas de isoyetas de año seco y año húmedo (aquellos en los que llueve, respectivamente, un 25% menos y un 25% más que en un año medio). Estos mapas se muestran en la Figura 8-5 y la Figura 8-6.

La anterior metodología para completar datos faltantes fue aplicada análogamente a los datos de temperaturas disponibles, muy inferiores en número a los

de precipitaciones.

Con las series completas se realizaron medias mensuales y anuales, así como el cálculo de la evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite. Igualmente, teniendo también en cuenta los datos de precipitación de cada estación, fue calculada la evapotranspiración real y la “lluvia útil” (precipitación menos evapotranspiración real, que dará lugar a escorrentía superficial y subterránea), el balance hídrico, reservas, déficit y superávit en cada estación termopluviométrica. Este cálculo fue realizado para cada uno de los años hidrológicos del periodo y para cada una de las estaciones, así como utilizando por otra parte, los valores medios mensuales de precipitación y temperatura calculados. Estos datos puntuales fueron extrapolados al área de estudio, al igual que se hiciera con las precipitaciones, teniendo en cuenta la influencia de la altitud, como se explica en el primer apartado.

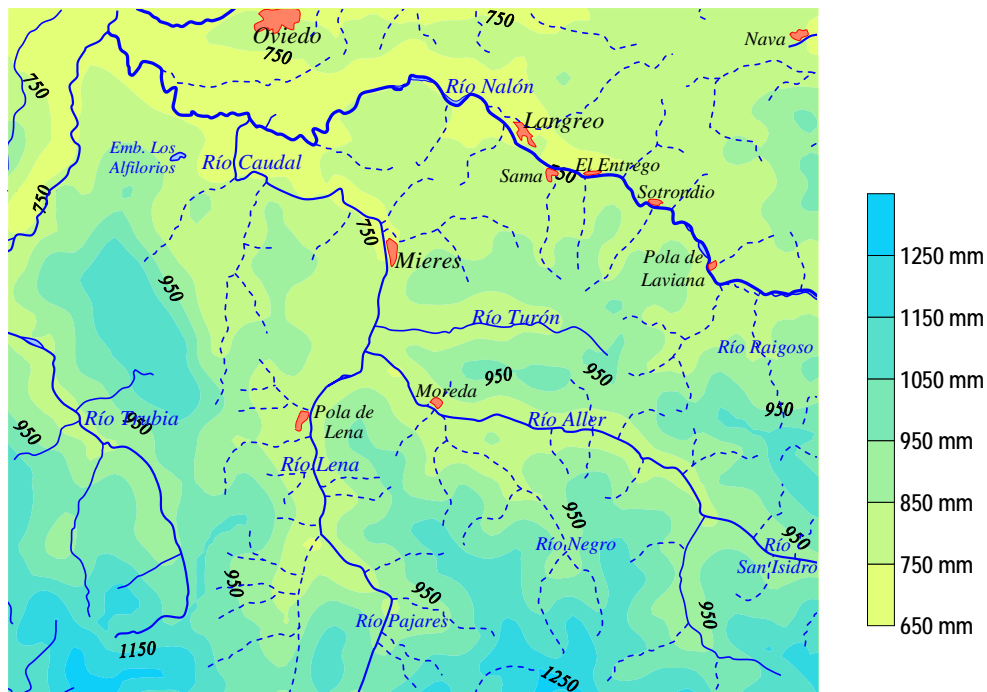


Figura 8-5: Isoyetas del año seco (periodo 1970/71 – 2005/06)

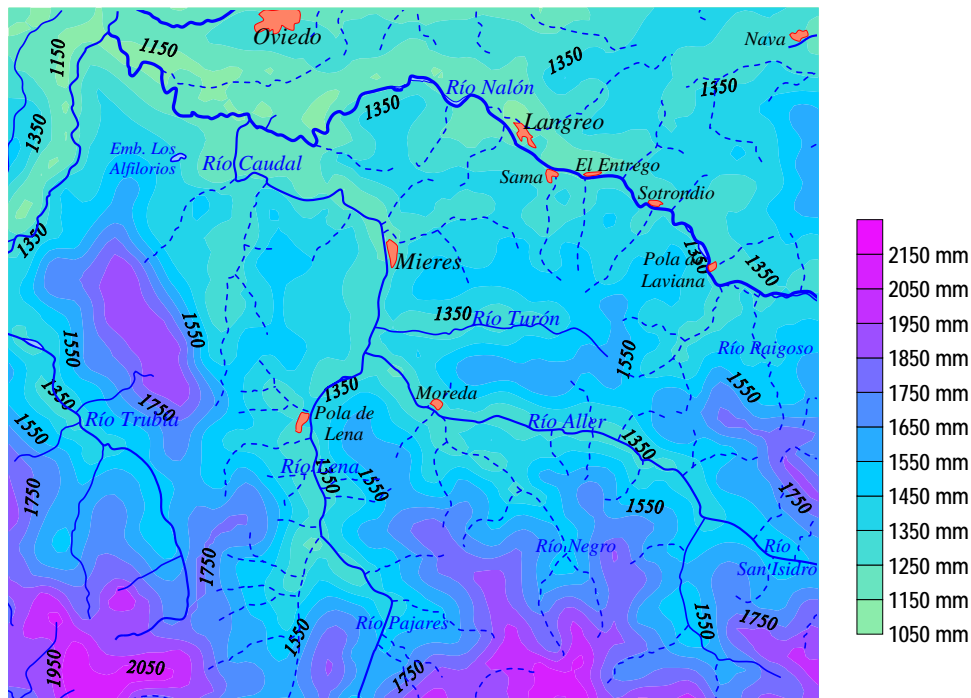


Figura 8-6: Isoyetas del año húmedo (periodo 1970/71 – 2005/06)

Como ejemplo se recoge a continuación el balance medio anual realizado con los datos de la Estación de "San Andrés de Mieres", en el Valle del Turón (Tabla 8-3).

Tabla 8-3: Valores climatológicos para un año hidrológico medio en la estación de 'San Andrés de Mieres'

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	AÑO
Precipitación (mm)	112,3	123,5	104,5	97,8	96,9	92,9	115,2	100,6	61,4	56,2	56,4	68,7	1086,5
Precipitación año seco (mm)	84,2	92,6	78,4	73,4	72,7	69,7	86,4	75,4	46,1	42,2	42,3	51,5	814,9
Precipitación año húmedo (mm)	140,4	154,3	130,7	122,3	121,2	116,1	144,0	125,7	76,8	70,3	70,6	85,8	1358,1
Temperatura media (°C)	15,1	10,7	8,1	7,2	7,9	9,9	10,8	14,2	17,7	20,3	20,8	19,1	13,5
Evapotranspiración Potencial (mm)	59,2	31,4	20,2	17,8	20,9	35,0	43,5	71,4	98,7	121,3	116,0	89,9	725,5
Evapotranspiración Real (mm)	59,2	31,4	20,2	17,8	20,9	35,0	43,5	71,4	98,7	118,9	56,4	68,7	642,3
Precipitación útil (mm)	53,0	92,0	84,3	80,0	76,1	57,9	71,7	29,1	0,0	0,0	0,0	0,0	444,2
Reserva (mm)	0,0	53,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	62,7	0,0	0,0	815,7
Déficit (mm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	2,4	59,6	21,2	83,2
Superávit (mm)	0,0	45,1	84,3	80,0	76,1	57,9	71,7	29,1	0,0	0,0	0,0	0,0	444,2

Se puede observar que la precipitación de un año hidrológico medio es de unos 1080 mm, de los cuales, se evapotranspira casi un 60%, con lo que se tiene una lluvia útil anual de 440 mm. Por otra parte, el balance hecho mes a mes, permite estimar que la reserva del suelo está llena 7 meses al año (se ha tomado un valor de 100 mm de

reserva útil), mientras que existirá déficit en los meses de Julio, Agosto y Septiembre (únicos meses en los que la evapotranspiración real es inferior a la potencial) y superávit (exceso que generará escorrentía) en el periodo que va de Noviembre a Mayo. Además, la lluvia útil es inexistente los meses de verano. Estos resultados se representan gráficamente en la Figura 8-7.

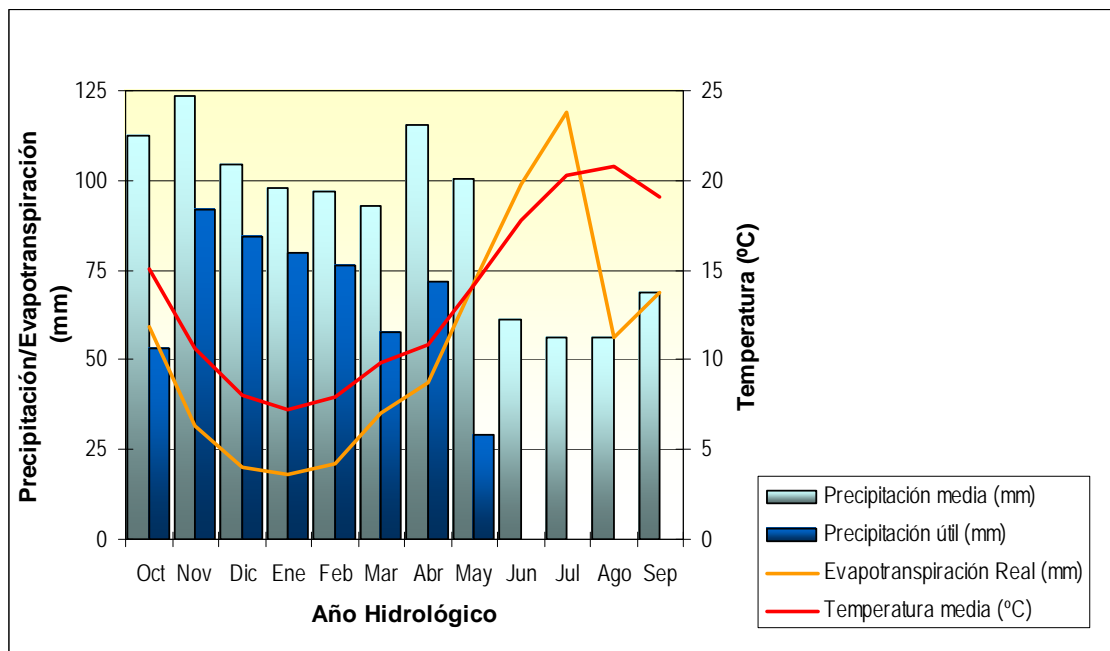


Figura 8-7: Variación de precipitación, temperatura y evapotranspiración real a lo largo de un año hidrológico medio la estación de 'San Andrés de Mieres'

En las siguientes figuras (Figura 8-8, Figura 8-9, Figura 8-10 y Figura 8-11) se muestran los mapas de isotermas medias anuales de la zona de estudio, así como la distribución espacial de los valores medios de evapotranspiración potencial y real en la zona. Finalmente se incluye un mapa de isólinas de precipitación útil media anual en el área estudiada.

Todos los mapas se han integrado en un SIG (ver Anexo I.1), desarrollado conjuntamente con la empresa Sadim.

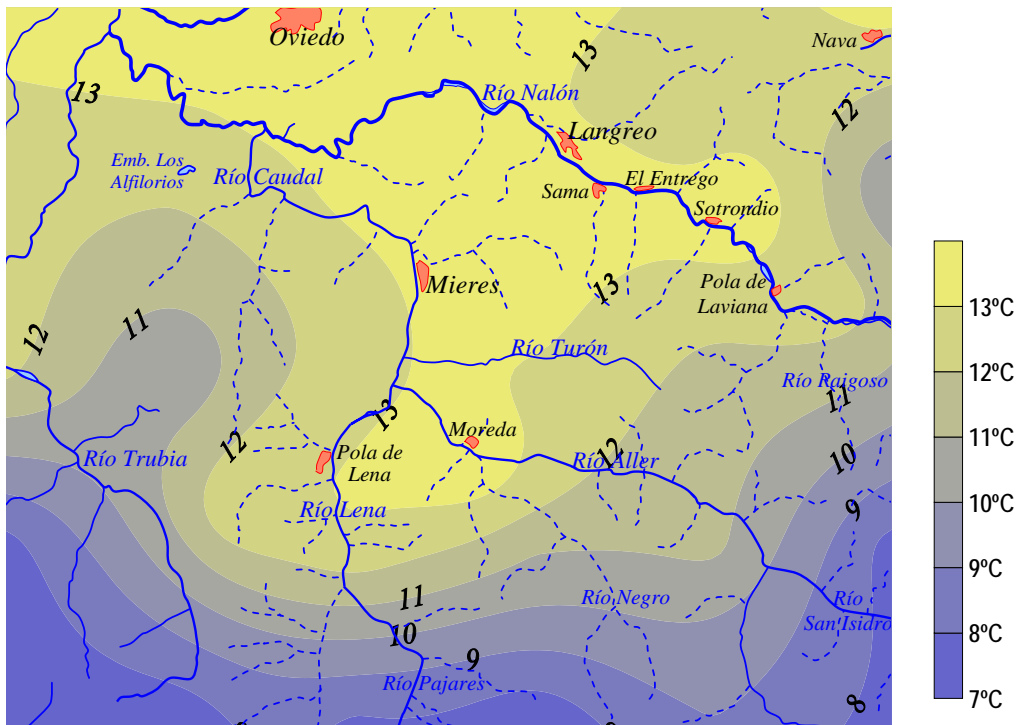


Figura 8-8: Isothermas medias anuales (periodo 1970/71 – 2005/06)

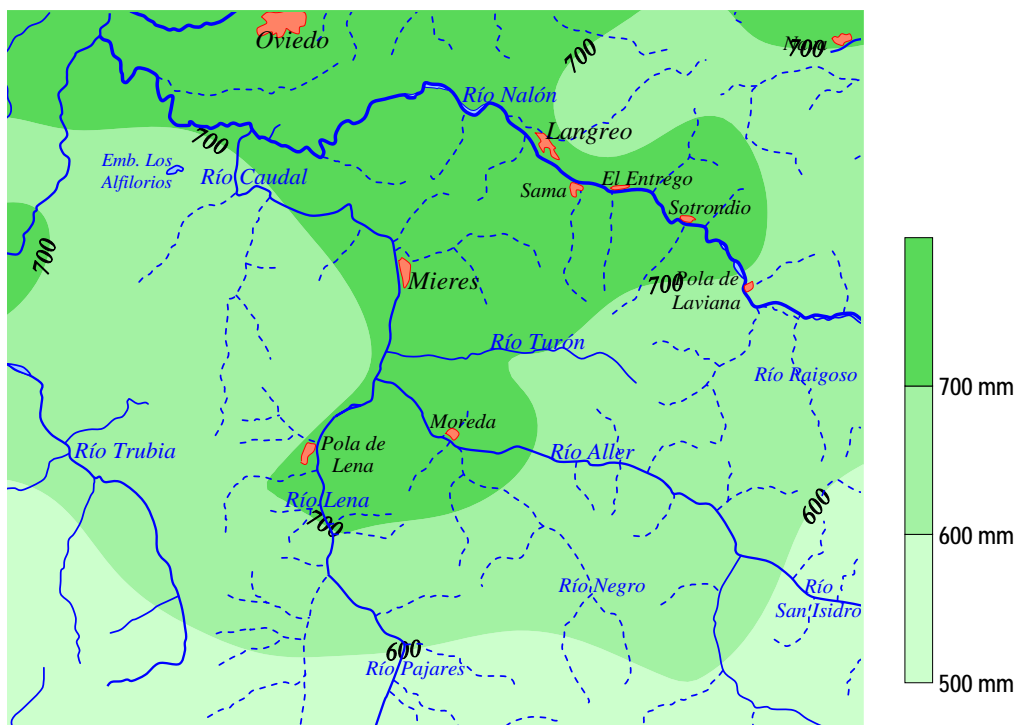


Figura 8-9: Evapotranspiración potencial anual (periodo 1970/71 – 2005/06)

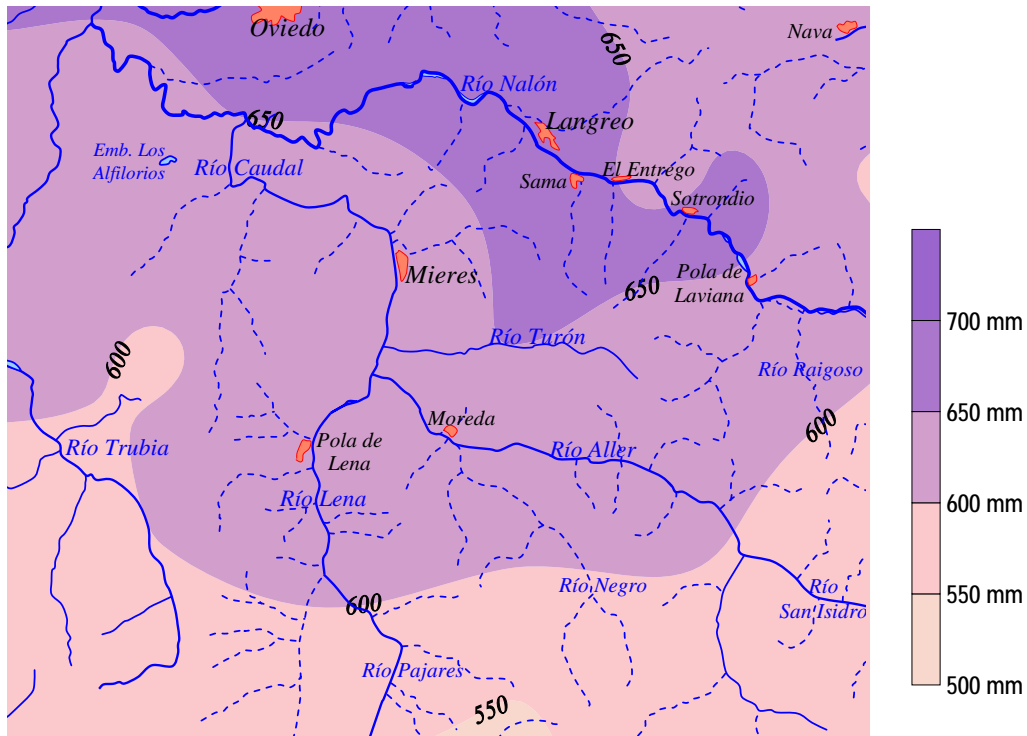


Figura 8-10: Evapotranspiración real anual (periodo 1970/71 – 2005/06)

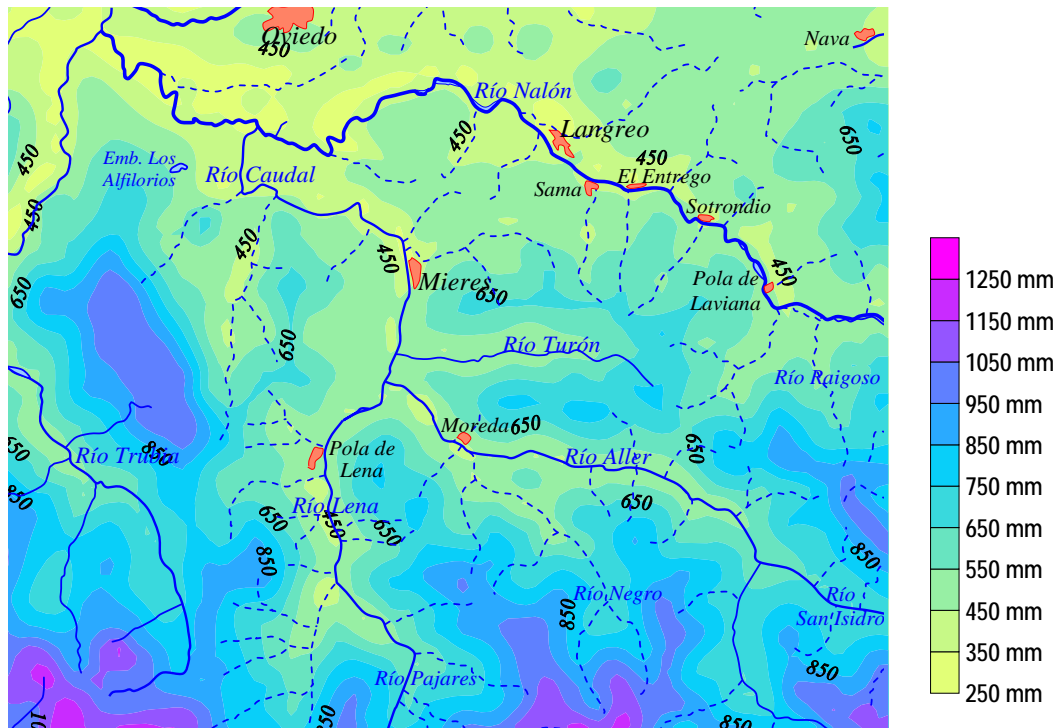


Figura 8-11: Isoyetas de precipitación útil anual (periodo 1970/71 – 2005/06)

9. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO

La zona de estudio se encuentra incluida en la que actualmente se denomina Masa de Agua 012.012 Cuenca Carbonífera asturiana (Dirección General del Agua, 2005), en un sector que se encontraba fuera del ámbito hidrogeológico de los sistemas acuíferos definidos en el proyecto Investigación hidrogeológica en la Cuenca Norte. Asturias (IGME, 1982) y que se identificaba como Unidad 01.99 (Acuíferos aislados) en la definición de unidades realizada en el Estudio de delimitación de las unidades hidrogeológicas del territorio peninsular e islas Baleares (DGOH-ITGE, 1990).

9.1. CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE LOS MATERIALES PRESENTES

Como ya se ha comentado anteriormente en el capítulo 7 los materiales presentes en la zona de trabajo incluyen lutitas, limolitas, areniscas, microconglomerados, conglomerados, calizas y capas de carbón de edad Carbonífero, y depósitos cuaternarios: aluviales, coluviones y antrópicos (escombreras, rellenos compactados, rellenos heterogéneos), aunque de éstos solo los aluviales están representados en la cartografía hidrogeológica.

Según la permeabilidad de los materiales presentes se establecen cuatro conjuntos principales (representados en el mapa hidrogeológico): materiales de permeabilidad muy baja a nula, materiales de baja permeabilidad por fisuración y materiales de permeabilidad variable por fisuración y karstificación, todos ellos correspondientes a sedimentos carboníferos, y materiales de permeabilidad variable por porosidad intergranular, que se corresponden con los depósitos cuaternarios.

Desde el punto de vista hidrogeológico, y concretamente de la permeabilidad

de los materiales, hay que tener también en cuenta la posible circulación de agua a través de las grandes fracturas (fallas) como posibles vías de drenaje, ya mencionadas en el capítulo 7 y los grandes huecos ocasionados por las labores mineras, descritas en el capítulo 6, cuyo origen es antrópico.

Permeabilidad de los materiales carboníferos

En este conjunto se han incluido los sedimentos carboníferos presentes en el área de estudio, que corresponden a una alternancia monótona de lutitas, limolitas y areniscas, así como, aunque con menor frecuencia, niveles con espesores variables de calizas, conglomerados silíceos y abundantes capas de carbón. Dentro de esta alternancia se pueden diferenciar varios niveles según sus características hidrogeológicas (permeabilidad muy baja a nula, baja permeabilidad por fisuración, permeabilidad variable por fisuración y/o karstificación).

Materiales con permeabilidad muy baja a nula: engloban sedimentos correspondientes a diversos ámbitos geológicos; se trata de materiales que podrían ser clasificados como lutitas o limolitas, debido a su bajo metamorfismo, aunque normalmente se los denomina bajo el término minero de pizarras. Pueden ser micáceas, calcáreas, arenosas y bituminosas, con todos los pasos intermedios, y también presentan capas de carbón intercaladas. En algunos estudios realizados en las proximidades de la zona de trabajo, concretamente en el sector donde se ubican los pozos Entrego y San Mamés, se obtuvieron valores de transmisividad y permeabilidad para estos materiales de 0,005 m²/día y 2,96 x 10⁻⁸ m/s, respectivamente (ITGE, 1995). Otros estudios realizados en la Cuenca Carbonífera Central (Fandos *et al.*, 2004) estiman datos de permeabilidad a partir de series de medidas piezométricas temporales obtenidas en zonas del yacimiento no explotadas en profundidad y de ensayos de bombeo en pozos, obteniendo valores de permeabilidad primaria muy baja, por debajo de 10⁻⁷ m/s y entre 5 x 10⁻⁶ y 10⁻⁶ m/s en condiciones de macizo natural fracturado. Estas observaciones implican un macizo virgen prácticamente

impermeable. Los estudios y observaciones realizadas en el interior de las explotaciones del Grupo HUNOSA, en zonas no tronadas, avalan también estas conclusiones.

Materiales con permeabilidad baja por fisuración: representados por cuarcitas, areniscas calcáreas y arcillosas, microconglomerados silíceos (micropudingas) y conglomerados silíceos (pudingas). En estas rocas el valor de la conductividad hidráulica está relacionado con el grado de fisuración, aunque en general los valores son poco elevados. En las investigaciones realizadas en el entorno de los pozos Entrego y San Mamés se han obtenido valores de transmisividad y permeabilidad para las areniscas de $6,5 \text{ m}^2/\text{día}$ y $3,92 \times 10^{-5} \text{ m/s}$, respectivamente (ITGE, 1995).

Materiales con permeabilidad variable por fisuración y/o karstificación: se trata de niveles de poco espesor formados por calizas y dolomías intercalados entre la serie de lutitas y limolitas. Si bien la conductividad hidráulica primaria de estos materiales es muy baja o prácticamente nula, han desarrollado una permeabilidad secundaria por fisuración y/o karstificación. Aunque los valores de los parámetros hidrogeológicos son variables en función del grado de karstificación y posterior relleno, se considera, en general, que se trata de niveles con permeabilidad media a baja.

Permeabilidad de los depósitos cuaternarios

Materiales con permeabilidad variable por porosidad intergranular: constituidos predominantemente por depósitos cuaternarios (desde lutitas hasta gravas). Por su amplia representación en la zona de estudio y, sobre todo, su situación en sectores que pueden ser afectados por la inundación de las labores mineras, se hace especial mención a los materiales de edad cuaternaria situados en las zonas bajas de los valles. Aunque no se consideran acuíferos importantes, puede existir cierta

conexión hidráulica con el agua de las labores mineras. En la llanura aluvial en la que se ubica el Pozo Barredo, estos sedimentos presentan espesores no superiores a los 10 metros, estando situado el nivel freático en torno a los 5-7 metros de profundidad (Figura 9-1). Los valores de conductividad hidráulica obtenidos a partir de los ensayos geotécnicos realizados sobre estos materiales oscilan en el rango de magnitud de 10^{-5} a 10^{-6} m/s para arenas arcillosas y arcillas arenosas, y en el rango de 10^{-4} y 10^{-5} m/s para gravas (IG, 1998, 1999; INITRAM, 2006; INCOSA, 2007; Investigación y Control de Calidad, S. A., 2007).

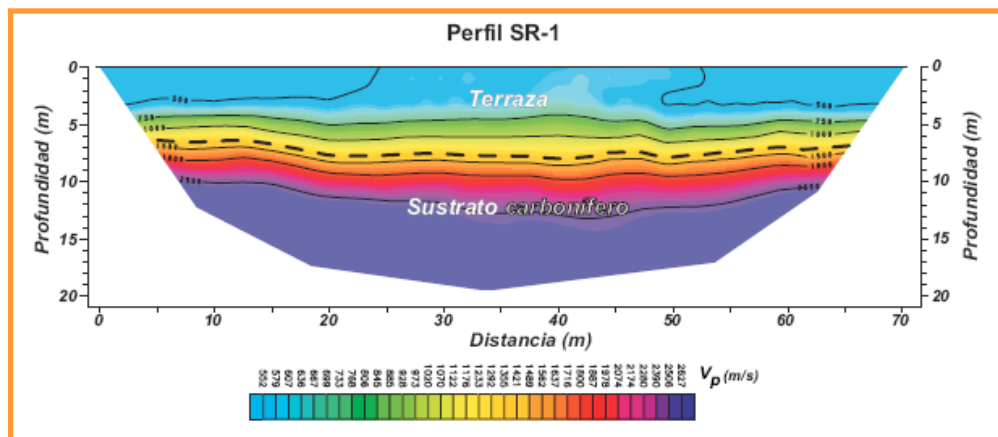


Figura 9-1.-Perfil sísmico de la parcela M4 realizado en el aluvial del río Caudal en la localidad de Mieres (INCOSA, 2007)

Grandes fracturas

Como se había expuesto en el apartado 2 del capítulo 7, existen en la zona de estudio o su entorno próximas fracturas con brechificación asociada en las que se puede desarrollar una permeabilidad secundaria, constituyendo vías preferentes para la circulación del agua. Uno de los ejemplos destacados es la Falla de la Carrera (Figura 9-2), donde, durante la realización de sondeos mecánicos de investigación minera realizados en el Pozo Candín a finales de los años 70, se detectó abundante circulación de agua a presión asociada a la zona de fractura, que provocó el cese del sondeo (Carlos Luque Cabal, com. pers.).

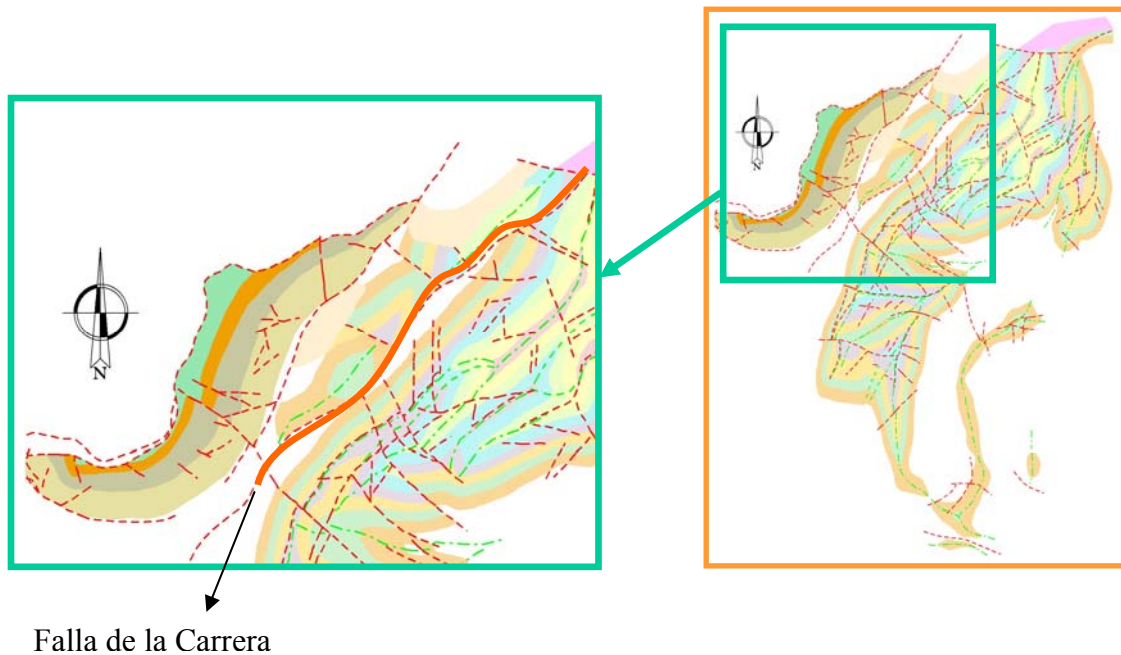


Figura 9-2.-Situación de la Falla de la Carrera, próxima al área de estudio

Labores mineras

La larga historia minera en la Cuenca Carbonífera Central de Asturias ha producido una importante modificación antrópica del subsuelo generada por la construcción de las distintas labores mineras (cañas de pozos, galerías, transversales, recortes, chimeneas, etc.); también los distintos sondeos mecánicos de investigación u otras perforaciones de diversa índole contribuyeron a la alteración del flujo natural del agua subterránea y establecieron una red de conductos interconectados que permite la circulación hídrica a su través. Por lo tanto, un macizo en el que inicialmente podrían existir únicamente formaciones geológicas de baja transmisividad se ha convertido en un sistema que presenta un comportamiento similar al de un acuífero kárstico.

Por otra parte, la propia actividad minera, a partir de la generación de huecos y la práctica de hundimiento y/o relleno, genera modificaciones en la porosidad y permeabilidad de los materiales suprayacentes a las labores, e incluso fenómenos de subsidencia, estableciéndose nuevas conexiones entre los materiales presentes o

dificultando otras preexistentes, lo que puede afectar al flujo natural de las aguas superficiales y subterráneas.

9.2. CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA

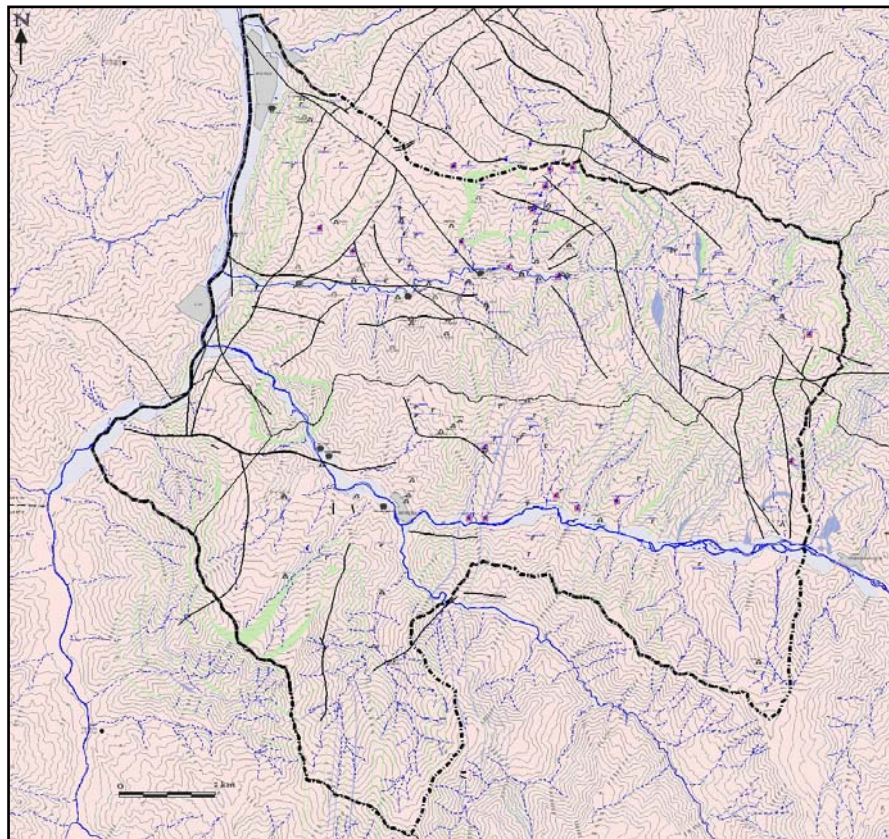
La representación gráfica de la cartografía hidrogeológica en el mapa hidrogeológico (Figura 9-3) es el producto de una recopilación de información bibliográfica y cartográfica, la cual ha sido interpretada y sintetizada en un mapa a escala 1:25.000, Anexo II.5, con la finalidad de mostrar algunas características hidrogeológicas de los diferentes niveles litológicos y sobre la que se han superpuesto diversos aspectos de índole hidrogeológica.

La base cartográfica utilizada ha sido:

- base topográfica digital a escala 1:5.000 del Principado de Asturias correspondiente a las hojas a escala 1:50.000 nos 53-Mieres y 78-Pola de Lena.
- mapa elaborado en este proyecto a partir de una base cartográfica digital que contiene paquetes mineros y estructuras tectónicas, sobre el que se digitalizaron los niveles permeables de cierta entidad (unos 20 m de espesor como mínimo), cuya situación se obtuvo del análisis de distintos trabajos de cartografía geológica que cubren la mayor parte de la zona de trabajo y de tesis doctorales y tesinas (E.N.A.D.I.M.S.A., 1971-1972-1973; IGME, 1982; Aller, 1986; Casillas, 1984).
- mapa de Zonas de Riesgo de Inundación del INDUROT (2003), a escala 1:10:000, que incluye los depósitos cuaternarios de la llanura aluvial.

El criterio principal utilizado para la delimitación de la zona de estudio es el área de influencia de las laboras mineras conectadas entre sí, como son el Pozo Barredo, situado sobre la llanura aluvial del río Caudal, los pozos Figaredo, San José y Santa Bárbara, en el valle del río Turón, y los pozos Santiago, San Jorge y San

Antonio, en el valle del río Aller. La zona estudiada abarca, por tanto, toda la cuenca hidrográfica del río Turón y parte de las cuencas de los ríos Caudal y Aller.



CUATERNARIO	
	Permeabilidad variable por porosidad intergranular
CARBONIFERO	
	Permeabilidad baja por fisuración
	Permeabilidad variable por fisuración y/o karstificación
	Alternancia de niveles de permeabilidad muy baja y nula

SIGNOS CONVENCIONALES	
	Limite zona trabajo
	Fracturas
	Cursos permanentes
	Cursos estacionarios
HOJAS TOPOGRÁFICAS: Nº 53-MIERES Nº 78-POLA DE LENA	
COORDENADAS UTM HUSO 30	

PUNTOS DE AGUA	
	Pozo minero activo
	Pozo minero inactivo
	Bocamina
	Bocamina seca
	Manantial-captación caudal ≥ 0.5 L/s
	Manantial caudal ≥ 0.5 L/s
	Manantial-captación caudal < 0.5 L/s
	Manantial caudal < 0.5 L/s
	Manantial-captación con grifo

Figura 9-3.-Mapa hidrogeológico

Para la representación de elementos espaciales y puntuales mediante colores y símbolos se han tenido en cuenta las recomendaciones establecidas en la Leyenda Internacional para Mapas Hidrogeológicos, elaborada por la Asociación Internacional de Hidrogeólogos (UNESCO, 1970) y para la de los elementos mineros (bocaminas y pozos) se empleó la simbología convencional de los mapas geológicos y mineros (Caride *et al.*, 1973). La digitalización de los datos se ha realizado utilizando el entorno Microstation (Bentley) que facilita su posterior implementación en SIG.

Para su representación en el mapa hidrogeológico se han discriminado los materiales en función de su conductividad hidráulica (permeabilidad) clasificándolos en cuatro grupos principales, diferenciados en el mapa mediante un color característico:

- materiales con permeabilidad muy baja a nula (color ocre)
- materiales con permeabilidad variable por porosidad intergranular (color azul claro)
- materiales con permeabilidad variable por fisuración y/o karstificación (color azul oscuro)
- materiales con permeabilidad baja por fisuración (color verde)

En lo que se refiere a su situación cartográfica, los niveles con permeabilidad variable por porosidad intergranular se distribuyen a lo largo de las llanuras de inundación de los ríos, en especial en las zonas bajas de los valles. Los materiales que presentan permeabilidad variable por fisuración y/o karstificación y permeabilidad baja por fisuración constituyen niveles que se alternan entre los sedimentos de muy baja a nula permeabilidad a lo largo de la zona de trabajo, siendo más abundantes los siliciclásticos. Estos se disponen en bancos de escaso espesor (entre 20 y 60 m) siguiendo las estructuras generales de plegamiento del terreno (sinclinales y anticlinales) y, al igual que el resto de los materiales están afectados por la

fracturación.

La realización del inventario de puntos de agua ha permitido completar los datos representados en el mapa hidrogeológico. En cada punto inventariado, y especialmente en los manantiales, se ha recogido la litología en la que se ubica el punto de surgencia. Además se han recopilado todos los datos disponibles de los organismos y empresas encargados de la gestión y distribución del agua (Ayuntamiento de Mieres y AQUALIA). Un aspecto que se ha considerado interesante es recabar información respecto al funcionamiento hidrodinámico del acuífero en cada una de las manifestaciones de los puntos de agua, que fue aportada por los habitantes de la zona. Todos los datos recopilados en esta tarea han sido incorporados al mapa hidrogeológico, que a su vez ha resultado una herramienta de gran utilidad para la interpretación del origen de algunos manantiales.

Los puntos de agua se han representado en el mapa, reflejando algunos aspectos importantes, atendiendo a su naturaleza: los manantiales están diferenciados según su caudal (mayor o menor de 0,5 L/s) y según presenten obra de captación o no; las bocaminas, respecto a si están secas o hundidas o si, por el contrario, se apreció presencia de agua en el momento de la realización del inventario; y, finalmente, los pozos mineros según estén activos o inactivos. También vienen representadas en el mapa las grandes fracturas, que junto con algunos manantiales y bocaminas y los brocales de los pozos de inferior cota de cada valle, constituirán las posibles vías de drenaje del agua que habría que tener en cuenta en un estudio de riesgo de inundación.

9.3. INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA

Un punto de partida fundamental en el estudio hidrogeológico es el inventario de puntos de agua, que permite desarrollar una infraestructura hidrogeológica, un estudio para la explotación y gestión de las aguas subterráneas y un modelo

hidrogeológico.

Para la realización del inventario de puntos de agua se han recopilado datos procedentes de inventarios de distintos organismos: Base de datos del Instituto Geológico y Minero de España, activa en este sector desde 1981 hasta la actualidad, Inventario de puntos de agua del Ayuntamiento de Mieres (Fernández, 2003), el inventario realizado por la Consejería de Cultura, Comunicación Social y Turismo del Principado de Asturias (Fernández Gutiérrez, 2004), y el inventario recogido en Cienfuegos (2002), entre otros.

A partir de esta información se realizó una revisión y selección de los puntos inventariados. Éste ha sido un trabajo arduo y continuo en el tiempo, ya que fue necesario realizar un análisis detallado de los datos debido a la falta de precisión o error en las coordenadas de los distintos puntos, lo que dificultó la búsqueda de los mismos; la falta de uniformidad en la designación de topónimos, lo que generó un retraso en el tiempo, al volver a lugares ya estudiados con la idea de encontrar nuevos puntos; el difícil acceso a algunos puntos estratégicos; la desaparición de algunos puntos inventariados debido a obras de distinta índole; la imposibilidad de realización del análisis pertinente, al no encontrarse accesibles algunos puntos, gestionados por Ayuntamientos u otros organismos.

También se ha utilizado una recopilación de documentación cartográfica: fotografías aéreas a escala 1:15.000 del vuelo del año 2003 del Principado de Asturias, mapas topográficos a escalas 1:50.000 y 1:25.000 del Instituto Geográfico Nacional y a escala 1:5.000 del Principado de Asturias correspondientes a las hojas a escala 1:50.000 nos 53-Mieres y 78-Pola de Lena.

El inventario de puntos de agua se ha realizado utilizando como referencia metodológica el que consta en la Base de Aguas del Instituto Geológico y Minero de España, y ha sido representado en un mapa de escala 1:25.000 situado en el Anexo

II.4. Además de los datos de situación, caudal, litología y uso del agua, se han obtenido parámetros físico-químicos (pH, conductividad eléctrica, temperatura del agua y ambiental).

Para la correcta ubicación de los puntos en el mapa se ha contado con la utilización de un GPS de la marca eTrex SUMMIT. Se han utilizado aparatos de la marca Hanna o el equipo multiparamétrico de la marca WTW (modelo "multi 350i/set") para medida del pH y de la conductividad eléctrica y el termómetro empleado es marca Digi-thermo con precisión de 0,1 °C. Las medidas de caudal se han obtenido por los métodos volumétricos, de flotación, de estimación y teóricos en algunos casos.

Para gestionar la información obtenida se realizaron fichas de puntos de agua con los datos de campo y de gabinete, asignando el Id correspondiente al número de registro del Instituto Geológico Minero de España si ya había sido inventariado previamente, o su correspondiente en dicho inventario en el caso de ser un punto de nueva incorporación.

Se han inventariado manantiales, pozos mineros y galerías mineras dentro de los límites de la zona de trabajo. Todos los datos se han recogido en las fichas que aparecen incorporadas a este informe en el Anexo III, las cuales constan de los siguientes campos: Identificación del punto (ID y Toponimia), Situación y coordenadas (UTM), Fotografía, Croquis, Naturaleza, Litología, Parámetros físico-químicos (caudal, pH, conductividad, temperatura) y Análisis químicos en los puntos que forman la red de calidad química del agua (As, Ca, Cd, Cl, Al, CO_3^{2-} , C.E., Cr, Cu, DQO, Fe, Fluoruro, HCO_3^- , Hg, K, Mg, Mn, Na, NH_4 , NO_2^- , NO_3^- , Pb, pH, PO_4^{3-} , RS, Se, SiO_2 , SO_4^{2-} , Zn, S).

La numeración de los puntos se ha realizado respetando la establecida en la Base de Aguas del Instituto Geológico y Minero de España, en el que cada punto se

identifica por nueve dígitos: los cuatro primeros corresponden al identificativo de la hoja topográfica a escala 1:50.000; el siguiente dígito hace referencia al octante donde se ubica el punto dentro de esa hoja, comenzando por la parte superior izquierda y finalizando por la inferior derecha, y los cuatro últimos dígitos representan el número ordinal del punto en ese octante.

La aplicación informática utilizada para cargar la información es GESDAGUAS, que gestiona la base de datos Aguas XXI del Instituto Geológico y Minero de España. Estos datos se han exportado posteriormente para incluirlos en un SIG (elaborado conjuntamente con la empresa Sadim), desde donde, aparte de la propia gestión de los datos, se pueden consultar las características de cada uno de los puntos de agua inventariados (ver Anexo I.1).

En la zona de estudio se han inventariado 152 puntos de agua, que incluyen 7 pozos mineros, 50 bocaminas relacionadas con galerías de minería de montaña y 95 manantiales.

De los siete pozos mineros incluidos en el inventario, situados todos ellos en fondos de valle, cinco se encuentran inactivos actualmente desde el punto de vista de explotación minera (Barredo, Santa Bárbara, San José, Figaredo y San Antonio). A excepción del último, situado en el valle del río Aller en la proximidad de explotaciones mineras activas y conectado con ellas, todos se encuentran actualmente en proceso de inundación, como se expuso en capítulos anteriores.

Cuatro de las bocaminas (galerías mineras) estaban secas en el momento de su inventario, si bien han sido incluidas en la base de datos debido a que, según información aportada por la gente del lugar, el fuerte estiaje ha provocado un agotamiento temporal de su caudal, que habitualmente es abundante. Además, se han inventariado algunas bocaminas secas o hundidas, que no se incorporan a la base de datos ni al mapa hidrogeológico, pero cuyo control podría ser interesante cuando se

lleve a cabo el proceso de inundación, o en la investigación sobre el aprovechamiento del agua procedente de las labores de montaña. En total son 12 bocaminas, de las cuales 11 se encuentran en el valle del río Turón y 1 en el valle del río Aller.

De los 95 manantiales inventariados, 47 afloran en los niveles permeables constituidos por areniscas que alternan con niveles impermeables de lutitas y limolitas, y 11 en materiales carbonatados; 5 están relacionados con la actividad minera, ya que su surgencia tiene lugar ahora a través de una escombrera; 15 están asociados a zonas de fractura o fallas, y no ha sido posible identificar el origen en el resto (Tabla 9-1). Por lo tanto, de la superposición de los datos inventariados y los niveles permeables se puede deducir que los manantiales inventariados surgen tanto de litologías siliciclásticas como carbonatadas, aunque son más abundantes las primeras, si bien algunos de ellos están relacionados con la presencia de fracturas.

Tabla 9-1.- Resumen de los orígenes de los manantiales

	LITOLOGÍA DE LA SURGENCIA	Número de manantiales
MANANTIALES	Alternancia de lutitas, limolitas y areniscas	46
	Alternancia de lutitas-limolitas-areniscas y relacionado con fracturas	1
	Calizas o dolomías	8
	Calizas o dolomías y relacionado con fracturas	3
	Escombrera	5
	No litológico (Falla)	15
	No visible	17

Como se mencionó en el apartado anterior, todos los puntos de agua se han incorporado a la cartografía hidrogeológica realizada en el mapa hidrogeológico. Además, sus características más importantes se recogen en la Tabla 9-2.

Tabla 9-2.- Puntos de agua inventariados

Nº de I.R.H.	Coordenadas U.T.M.			NOMBRE	T.M.	Naturaleza	Prof. (m)	Q (l/s)	Observaciones
	Longitud	Latitud	Cota (m)						
1305-5-0004	274085	4789056	229	Bocamina Ortiz Sobrinos	Mieres	galería		2,25	No se utiliza
1305-5-0005	274709	4788127	261	Artoxu	Mieres	manantial			No se utiliza
1305-5-0006	274534	4787949	246	Fuente Frente al Molín II	Mieres	galería		0,31	Ganadería y agricultura
1305-5-0007	274550	4787962	340	Saburnin de Abajo	Mieres	manantial		0,15	Ganadería
1305-5-0008	274848	4791676	188	Bocamina Mariana (Barredo)	Mieres	galería		13	No se utiliza
1305-5-0009	274848	4791676	188	Pozo Barredo	Mieres	pozo minero	356,2	48,96	No se utiliza
1305-6-0001	280906	4790749	855	Ferriru	Mieres	manantial		0,08	No se utiliza
1305-6-0002	278574	4789243	623	Bocamina San Víctor	Mieres	galería		1,171	Abto. a núcleos urbanos
1305-6-0003	277507	4789583	622	Fuente Parixa	Mieres	manantial		0,067	Lavadero público
1305-6-0004	280529	4790056	780	Cabornal	Mieres	manantial		0,5<Q<1	Abto. (que no sea núcleo urbano)
1305-6-0005	278659	4788693	477	Fuexo	Mieres	manantial		2,3	Abto. (que no sea núcleo urbano)
1305-6-0006	277671	4787761	206	Pozo San José	Mieres	pozo minero	398,82	117,77	Industria
1305-6-0007	279334	4788364	308	Pozo Santa Bárbara	Mieres	pozo minero	544,25	26,82	Industria
1305-6-0008	278659	4788693	477	Fuexo II	Mieres	manantial		4,02	Abto. (que no sea núcleo urbano)
1305-6-0010	279279	4783158	341	Fuente El Fresno	Aller	manantial		1,67	Fuente pública
1305-6-0011	280154	4783447	349	Fuente La Llosa	Aller	manantial		0,21	Fuente pública
1305-6-0012	280745	4783626	403	Fuente El Pueblu	Aller	manantial		0,97	Fuente pública
1305-6-0013	280544	4784657	505	Fuentina Los Pindales	Aller	manantial		0,13	Fuente pública
1305-6-0015	280222	4785026	750	Fuente Sobrecasa	Aller	manantial		0,294	Fuente pública
1305-6-0016	280031	4784848	694	La Roza 1º	Aller	manantial		0,08	No se utiliza
1305-6-0018	281674	4785056	904	Les Cruces	Aller	manantial		0,303	Fuente pública
1305-6-0021	279608	4783627	503	Cubrenes	Aller	manantial		0,256	Fuente pública
1305-6-0023	279274	4784621	653	La Fontona de Xagual	Aller	manantial		2	Fuente pública
1305-6-0024	279468	4784788	750	Fuente de Prau Reguera	Aller	manantial		0,083	Fuente pública

1305-6-0026	279589	4785476	896	Fuente Ortigalosu	Aller	manantial		0,123	Fuente pública
1305-6-0028	280298	4785288	849	Salguiru	Aller	manantial		0,416	No se utiliza
1305-6-0032	277763	4783954	432	Bocamina 5° Cutriferá	Aller	galería		>2	No se utiliza
1305-6-0033	277162	4783406	268	Pozo San Antonio	Aller	pozo minero	547	111,29	No se utiliza
1305-6-0034	276029	4784448	264	Pozo Santiago	Aller	pozo minero	532	49,3	No se utiliza
1305-6-0035	275852	4784609	263	Pozo San Jorge	Aller	pozo minero	147	10,91	No se utiliza
1305-6-0037	275111	4783614	453	Bocamina La Fontica	Aller	galería		7	Ganadería
1305-6-0039	278618	4790475	800	Fuente Carrizal	Mieres	manantial		0,8	No se utiliza
1305-6-0040	275481	4791884	315	Bocamina Les Vallines	Mieres	galería			No se utiliza
1305-6-0041	276535	4788711	457	Fuente Los Valles	Mieres	manantial		2	Fuente pública
1305-6-0042	275848	4789189	457	Fuente de Vegalafonte	Mieres	manantial		3,42	Fuente pública
1305-6-0043	277543	4789351	584	Clavelina	Mieres	manantial		0,2	No se utiliza
1305-6-0044	278936	4790543	836	Manantial en Mina San Víctor	Mieres	manantial		0,26	Ganadería
1305-6-0045	277543	4789351	584	Bocamina Clavelina	Mieres	galería		1,9	No se utiliza
1305-6-0046	280155	4785616	997	Bocamina Vega Braña	Aller	galería			No se utiliza
1305-6-0047	280888	4788232	394	Bocamina Podrizos II	Mieres	galería		0,977	Ganadería y agricultura
1305-6-0048	279952	4784774	694	Fuente El Corraín	Aller	manantial		0,31	Fuente pública
1305-6-0049	280075	4784891	696	Fuente Sobrecasa II	Aller	manantial		0,14	Ganadería
1305-6-0050	280312	4789297	581	Bocamina 7° Espinos	Mieres	galería			No se utiliza
1305-6-0051	279300	4784518	627	La Huerta	Aller	manantial		0,172	No se utiliza
1305-6-0052	278506	4791287	562	Bocamina Carrizal	Mieres	galería		10	Abto. y ganadería
1305-6-0053	276558	4788120	251	Bocamina 1° Santo Tomás	Mieres	galería		32,6	No se utiliza
1305-6-0054	275285	4790471	469	Rozaes de Bazuelo	Mieres	manantial		0,33	Fuente pública
1305-6-0055	277460	4787760	290	Bocamina 1° San José	Mieres	galería			No se utiliza
1305-6-0056	278933	4788081	354	Bocamina 2° San Pedro	Mieres	galería		0,096	Fuente pública
1305-6-0057	277502	4788495	478	La Pruvia	Mieres	galería		0,41	Fuente pública
1305-6-0058	277749	4787214	451	Bocamina 5° San Francisco	Mieres	galería		0,2	No se utiliza
1305-6-0059	280623	4790414	850	La Veguina	Mieres	manantial		0,87	Fuente pública

1305-6-0060	280819	4790084	765	Les Vahugues	Mieres	manantial		0,13	Ganadería
1305-6-0061	277704	4788392	384	Fuente Piedrafita	Mieres	manantial		0,33	Fuente pública
1305-6-0062	279771	4788373	348	Fuente Preximir	Mieres	manantial		0,6	Fuente pública
1305-6-0063	280260	4789573	665	El Lleno La Fueya	Mieres	manantial		0,78	Abto. a núcleos urbanos
1305-6-0064	280203	4789591	708	Les Barreres	Mieres	manantial		0,48	No se utiliza
1305-6-0065	280327	4789589	675	El Lleno La Fueya II	Mieres	manantial		1,8	Ganadería
1305-6-0066	280427	4789872	764	El Cabornalín	Mieres	manantial		1,13	Ganadería
1305-6-0067	281095	4790450	947	Fuente La Mofosa	Mieres	manantial		0,6	No se utiliza
1305-6-0068	280915	4790592	902	Fuente La Biolar	Mieres	manantial		0,41	Abto. y agricultura
1305-6-0069	279136	4789823	770	Bocamina 5° San Víctor	Mieres	galería			No se utiliza
1305-6-0070	277745	4787322	406	Bocamina 2° San Francisco	Mieres	galería			Agricultura
1305-6-0071	281193	4783370	533	Fuente Castiello	Aller	manantial		0,714	Fuente pública
1305-6-0072	280850	4783719	434	Fuente Barrio	Aller	manantial		0,2<Q<1	No se utiliza
1305-6-0073	277348	4786722	538	Bocamina 4° San José	Mieres	galería			No se utiliza
1305-6-0074	278938	4783160	337	Fuente La Llera	Aller	manantial		3,867	Fuente pública
1305-6-0075	278357	4784970	612	Bocamina Cutriferá 10°	Aller	galería		5<Q<8	No se utiliza
1305-6-0076	279539	4786954	512	Bocamina 6° San Pedro	Mieres	galería			No se utiliza
1305-6-0077	277845	4785461	738	Fuente del Prado Candanal	Aller	manantial		0,066	Ganadería
1305-6-0078	278195	4785400	737	Fuente Faidiella	Aller	manantial		0,259	Fuente pública
1305-6-0079	277690	4785602	775	La Roza	Aller	manantial		0,066	Ganadería
1305-6-0080	278477	4786998	481	Bocamina 4° San Benigno	Mieres	galería		0,195	Ganadería
1305-6-0081	278615	4785084	823	Bocamina Cutriferá 16°	Aller	galería		5<Q<8	Abto. y ganadería
1305-6-0082	278752	4785183	881	Bocamina Mallainos	Aller	galería		1<Q<5	No se utiliza
1305-6-0083	277850	4785281	660	El Tendeyón	Aller	manantial		>0,2	Abto. y agricultura
1305-6-0084	278512	4787285	415	Bocamina 3° San Benigno	Mieres	galería		0,208	Ganadería
1305-6-0085	279357	4788318	331	Bocamina La Rabaldana	Mieres	galería			No se utiliza
1305-6-0086	278238	4787759	354	Bocamina 2° San Benigno	Mieres	galería			No se utiliza
1305-6-0087	277638	4783520	321	Bocamina Cutriferá 1°	Aller	galería		4	No se utiliza

1305-6-0088	277689	4783652	442	Bocamina Cutrifera 3°	Aller	galería		1,62	No se utiliza
1305-6-0089	279226	4790046	876	Las Cagüernes	Mieres	manantial		0,2	Abto. a núcleos urbanos
1305-6-0090	279709	4790614	865	Siete Fuentes	Mieres	manantial		0,49	No se utiliza
1305-6-0091	280221	4790930	749	Llagunaces	Mieres	manantial		1,2	No se utiliza
1305-6-0092	276285	4790514	686	Los Felechos	Mieres	manantial		0,248	Fuente pública
1305-6-0093	280304	4790085	829	Quentu Polio	Mieres	manantial		0,4	Fuente pública
1305-6-0094	278103	4788040	303	Bocamina 1° San Benigno - El Cabritero	Mieres	galería		2,77	No se utiliza
1305-6-0095	275452	4791751	319	Les Vallines	Mieres	manantial		0,18	Ganadería
1305-6-0096	276615	4783636	325	Bocamina Marianas	Aller	galería		10	No se utiliza
1305-6-0097	275887	4784284	290	Bocamina Tarancón	Aller	galería		4	Desconocido
1305-6-0098	276617	4791071	637	Fuente Tablao - El Canario	Mieres	manantial		0,476	Fuente pública
1305-6-0099	280381	4788148	377	Bocamina Corrales	Mieres	galería		0,34	No se utiliza
1305-6-0100	276129	4791761	523	Brañanoveles	Mieres	manantial		0,17	Fuente pública
1305-6-0101	281599	4789662	711	Fuente San Justo	Mieres	manantial		0,3	Fuente pública
1305-6-0102	275639	4791451	325	Bocamina 3° Mariana	Mieres	galería		0,149	No se utiliza
1305-6-0103	281021	4788837	617	Bocamina Brañadiello	Mieres	galería		0,34	No se utiliza
1305-6-0104	275960	4790832	575	La Llamera	Mieres	manantial		0,45	Abto. (que no sea núcleo urbano)
1305-6-0105	280295	4789125	569	La Sienda	Mieres	manantial		0,18	Abto. y ganadería
1305-6-0106	277849	4789018	581	El Fontico	Mieres	manantial		0,14	Fuente pública
1305-6-0107	277619	4789080	539	El Molín	Mieres	manantial		0,2	Fuente pública
1305-6-0108	277231	4788087	296	Fuente de Villabazal	Mieres	manantial		0,07	Fuente pública
1305-6-0109	277934	4787863	310	Fuente Villapendi	Mieres	manantial		0,06	Fuente pública
1305-6-0110	278232	4787146	480	Fuente Tablao	Mieres	manantial			Fuente pública
1305-6-0111	280342	4788501	452	Bocamina 3° Espinos-La Faya	Mieres	galería		<0,05	No se utiliza
1305-6-0112	280587	4789663	651	Bocamina 9° Espinos	Mieres	galería			Ganadería
1305-6-0113	280579	4789556	651	El Gurbiciosu	Mieres	manantial		0,05	No se utiliza
1305-6-0114	277193	4788291	389	El Candil - La Caba	Mieres	manantial			Fuente pública
1305-6-0115	279322	4787509	440	4° de San Pedro	Mieres	manantial		0,09	Abto. (que no sea núcleo urbano)

1305-6-0116	279297	4787600	438	Bocamina 4º San Pedro	Mieres	galería		3<Q<6	No se utiliza
1305-6-0117	280035	4788234	359	Bocamina de San Andrés	Mieres	galería		0,5	No se utiliza
1305-6-0118	280792	4788192	367	Fuente Podrizos	Mieres	manantial		2,6	Fuente pública
1305-6-0119	280981	4788216	371	Bocamina Podrizos I	Mieres	galería			No se utiliza
1305-6-0120	276182	4789319	626	Bocamina Espines	Mieres	galería		0,059	Ganadería
1305-6-0121	275407	4788068	251	Pozo Figaredo (San Vicente)	Mieres	pozo minero	523,47	86,05	No se utiliza
1305-7-0032	285625	4784344	639	Fuente de Orillés	Aller	manantial		0,563	Fuente pública
1305-7-0033	285064	4783319	558	Fuente Las Quintanas	Aller	manantial		0,131	Fuente pública
1305-7-0034	284567	4783969	617	Fuente Tablizo	Aller	manantial		0,142	Fuente pública
1305-7-0035	282467	4783984	542	Gariste	Aller	manantial		0,45	Abto. a núcleos urbanos
1305-7-0039	285445	4783029	425	Bocamina San Fernando	Aller	galería		25	Industria
1305-7-0040	282006	4783513	518	La Reguera (Villar)	Aller	manantial		0,625	Fuente pública
1305-7-0041	281667	4783130	374	Bocamina La Vegallina	Aller	galería		5	No se utiliza
1305-7-0042	282751	4783091	364	Fuente Sirviella	Aller	manantial		0,05	Fuente pública
1305-7-0043	283439	4787844	521	Fuente de Los Serrones	Mieres	manantial			Fuente pública
1305-7-0044	283257	4788183	499	La Valeriana (La Argallá)	Mieres	manantial		0,05	Fuente pública
1305-7-0045	283493	4788792	607	Les Tazaes (Urbiés)	Mieres	manantial		0,15	Fuente pública
1305-7-0046	283236	4788711	516	Fuente La Colorá	Mieres	manantial		0,07	No se utiliza
1305-7-0047	283236	4788711	516	Fuente El Corral d'Uxu	Mieres	manantial		0,3	Fuente pública
1305-7-0048	283955	4788568	675	La Lláscara	Mieres	manantial			Fuente pública
1305-7-0049	284026	4788579	663	Parador El Cruce	Mieres	manantial			Abto. (que no sea núcleo urbano)
1305-7-0050	284265	4788532	660	Les Matiellas	Mieres	manantial			Fuente pública
1305-7-0051	284370	4788293	593	El Pedreru	Mieres	manantial		0,05	Fuente pública
1305-7-0052	285619	4788031	594	El Llanu La Reguera	Mieres	manantial		0,28	Abto. (que no sea núcleo urbano)
1305-7-0053	285279	4788052	651	Fuente El Dochal	Mieres	manantial		0,097	Fuente pública
1305-7-0054	283821	4788301	576	Santa Olaya	Mieres	manantial		0,07	Fuente pública
1305-7-0055	284613	4788545	644	La Llomba	Mieres	manantial			Fuente pública
1305-7-0056	285251	4787756	574	Bocamina El Molinón	Mieres	galería		55,6	No se utiliza

1305-7-0057	285437	4787365	637	Bocamina El Mosquil	Mieres	galería		4,7	No se utiliza
1305-7-0058	286006	4786981	796	Mayao Carril	Mieres	manantial			Fuente pública
1305-7-0059	285251	4787756	574	Bocamina Urbiés	Mieres	galería		>50	Abto. (que no sea núcleo urbano)
1306-2-0004	277128	4782592	452	Fuente La Baná y Caseta	Aller	manantial		0,085	Fuente pública
1306-2-0007	277353	4780214	585	Bocamina Grupo Pontones	Aller	galería		5<Q<8	Ganadería
1306-2-0011	277135	4781618	491	Bocamina Canales	Aller	galería		15	Ganadería
1306-2-0012	276964	4780510	481	Bocamina Pontones	Aller	galería		>20	No se utiliza
1306-2-0015	280266	4782745	439	Fuente Fresneza de Abajo	Aller	manantial		0,152	Fuente pública
1306-2-0022	280188	4782409	523	Fuente Las Oscuras	Aller	manantial		0,051	Fuente pública
1306-2-0037	275990	4782340	600	Fuente Mina Benita ó Pudinga	Aller	manantial		0,055	Abto. a núcleos urbanos
1306-2-0038	275583	4782528	653	El Cabanón	Aller	manantial		1,25	Fuente pública
1306-2-0039	275127	4781956	766	Bocamina Nivel 17 de Marianas	Aller	galería		1	Abto. a núcleos urbanos
1306-3-0009	285136	4779273	1.284	Fuente La Cava	Aller	manantial		0,055	Fuente pública
1306-3-0014	283721	4782199	471	Fuente de Acebeo	Aller	manantial		0,066	Fuente pública
1306-3-0058	284955	4780184	933	Bocamina Atalaya	Aller	galería		0,13	Abto. a núcleos urbanos
1306-3-0059	284868	4779959	1.080	Renorio	Mieres	manantial		0,15	Abto. a núcleos urbanos

9.4. MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO

Comportamiento hidrogeológico en régimen natural

En régimen natural, en el área de estudio se pueden diferenciar dos tipos de acuíferos: uno representado por acuíferos aislados, constituidos por niveles permeables intercalados en la serie impermeable carbonífera, y otro formado por los depósitos cuaternarios.

El funcionamiento hidrodinámico natural de los sedimentos carboníferos corresponde al de un terreno de baja permeabilidad constituido por una alternancia monótona de lutitas, limolitas y capas de carbón con niveles permeables intercalados entre ellos, que constituyen acuíferos aislados. Los niveles permeables están formados por areniscas, calizas, conglomerados siliciclásticos (pundingas) y conglomerados carbonatados (gonfolitas) de espesores variables, que no superan, en general, los 40-60 m. La permeabilidad primaria es muy baja o prácticamente nula, si bien se ha desarrollado una permeabilidad secundaria por fisuración y/o karstificación que aumenta ligeramente su valor.

La recarga de estos niveles permeables tiene lugar mediante la infiltración del agua de lluvia a través de las superficies aflorantes, mientras que la descarga se realiza a través de manantiales o directamente a los cursos fluviales. La respuesta a la precipitación ha sido reflejada en el informe final del proyecto de investigación realizado por ITGE (1995), en el que se indica que en el sondeo de San Mamés se midió un ascenso del orden de 5 m tras un periodo de precipitaciones abundantes, si bien se concluye con una estimación de que las areniscas presentan valores bajos de permeabilidad.

Las características hidrogeológicas de estos niveles permeables pueden ser deducidas a partir de las observaciones de campo realizadas; de este modo, según se refleja en el capítulo 9.3 Inventario de Puntos de Agua, los caudales medidos en campo en los manantiales oscilan entre 0,05 y 4 L/s, siendo en su mayoría menores que 1 L/s, lo que indica que los valores de permeabilidad no son muy elevados. La mayor parte de los manantiales localizados drenan niveles siliciclásticos o están asociados a zonas de fractura, de lo que se puede deducir que la permeabilidad de estos niveles desarrollada por fisuración es mayor que la de los niveles carbonatados, generada por fisuración y/o karstificación.

Los depósitos cuaternarios presentes en la zona se corresponden principalmente con depósitos aluviales cuya recarga se realiza a través de la infiltración del agua de lluvia; además se pueden producir aportes hídricos procedentes de los cursos de agua superficiales, así como de otros acuíferos (niveles permeables carboníferos). La descarga se realiza a través de manantiales o directamente al cauce fluvial.

El aluvial de mayor entidad en la zona de estudio se ubica en el entorno de la localidad de Mieres y en él está situado el Pozo Barredo. Según consta en distintos informes (IG, 1998, 1999; INITRAM, 2006; INCOSA, 2007), como ya se comentó anteriormente, estos sedimentos presentan espesores no superiores a los 10 metros, con espesor saturado entre 3 y 5 metros.

La zona de estudio abarca la cuenca del río Turón y parte de las cuencas de los ríos Aller y Caudal, siendo los ríos Turón y Aller afluentes del río Caudal. Antes de que tuviera lugar el desarrollo de la minería, la escorrentía superficial predominaba sobremanera sobre la subterránea, que se limitaba únicamente a la circulación a través de los escasos niveles permeables carboníferos que se drenaban por pequeños manantiales o a los cauces fluviales, y a través de los acuíferos cuaternarios. Además,

entre estas cuencas no existía comunicación hídrica subterránea.

Alteración del régimen natural durante la explotación minera

La explotación del carbón genera huecos mineros a través de las labores mineras subterráneas y las capas explotadas (hundidas o rellenadas) en un sustrato inicialmente muy poco permeable; además, provoca una fracturación artificial del macizo rocoso que se superpone a las condiciones originales del sustrato. Como consecuencia, se genera un espacio vacío de gran capacidad de almacenamiento formado por un sistema de conductos. Estos conductos constituyen las vías de drenaje en profundidad de las fracturas y niveles permeables intersectados, si bien, debido a que se trata de acuíferos de poco espesor, aislados y de baja permeabilidad, el volumen de agua drenado no constituye el aporte principal de agua al sistema. Una consecuencia directa del drenaje de estos niveles a través de las galerías mineras es la afección total o parcial de múltiples manantiales preexistentes en la zona, ya que se produce un descenso del nivel piezométrico.

Por otra parte, existe una clara conexión entre las labores mineras más antiguas, correspondientes a la denominada minería de montaña, que explotaba el carbón a cota superior a la cota del valle, y las más modernas, de mayor profundidad. El desarrollo de huecos ocasionado por la minería de montaña aumenta la infiltración del agua de lluvia, que, posteriormente circula a través de las labores de minería de valle y es evacuada en último término a través de bombeos situados en las cañas de los pozos mineros. En consecuencia, se aprecia una clara correlación entre el volumen de precipitación y el volumen de agua drenada a través de los pozos que, además de estar descrita en los estudios previos realizados sobre la inundación de los pozos mineros (ITGE, 1995), ha sido corroborada con los datos disponibles actuales estimándose un tiempo de retención del agua en la mina variable entre 15 y 45 días, en función de las características de cada pozo, el macizo entre la superficie y el área

deshullada, y otros factores que pueden afectar a la infiltración. Además, en ITGE (1995) se ha descrito que no existe relación entre el volumen de agua desaguada y el aumento de la superficie explotada (volumen de huecos creados), lo que indica poca dependencia entre ambos parámetros, por lo que el factor precipitación es el que condiciona el volumen de drenaje.

Por otra parte, cabe indicar que no todas las labores de minería de montaña presentan conexión directa con las de valle, siendo drenadas en ocasiones a través de bocaminas; muchas de ellas han sido inventariadas en el transcurso de este trabajo (capítulo 9.3).

El agua procedente de la lluvia, que en condiciones naturales circularía preferentemente como escorrentía superficial, ahora se infiltra en parte hasta llegar a los talleres, galerías y transversales, constituyendo el aporte principal de la escorrentía subterránea que es evacuada a través de los pozos. Según los datos disponibles respecto al agua bombeada en los pozos mineros, y los datos precipitación recogida en la estación pluviométrica Santa Cruz de Mieres para el periodo enero 2002-abril 2007, se estima que el porcentaje medio mensual de bombeo respecto al total de precipitación recogida en la zona de estudio varía entre un 15 y un 20%. En el gráfico de la Figura 9-4 se comparan los valores mensuales de precipitación frente a los datos de bombeo; además, se ha incluido la representación del porcentaje de bombeo respecto al volumen de precipitación.

En la zona de estudio existe comunicación hídrica entre las labores del Pozo Barredo, situado en la cuenca del río Caudal, las de los pozos Figaredo, San José y Santa Bárbara, ubicados en la del río Turón, y las de Santiago, San Jorge y San Antonio, en la del río Aller. Estas conexiones pueden ser de varios tipos: a través de galerías transversales, de capas explotadas, en ocasiones denominadas “minados” o “cales por taller”, o de macizos rocosos fracturados. Según el tipo de conexión la

permeabilidad de la misma es mayor o menor: las galerías permiten la circulación libre del agua; las capas explotadas, que en la mayor parte de las ocasiones están hundidas o rellenas de estériles, presentan valores de conductividad hidráulica variable en función del tipo de relleno, mientras que en los macizos fracturados este parámetro tiene menor magnitud. Por lo tanto, se puede considerar que el conjunto de explotaciones mineras constituye un único sistema hídrico en el que existen vías preferenciales de circulación de agua correspondientes a las galerías y transversales, y circulación más lenta a través de los otros sistemas de conexión descrita y a través de los niveles permeables. El punto más bajo de todo el sistema hídrico es el Pozo Barredo, que está situado sobre los materiales cuaternarios de la llanura aluvial del río Caudal; es decir, que, si se permitiese la inundación total de las labores mineras, la descarga de este sistema tendría lugar de forma natural a través de este pozo.

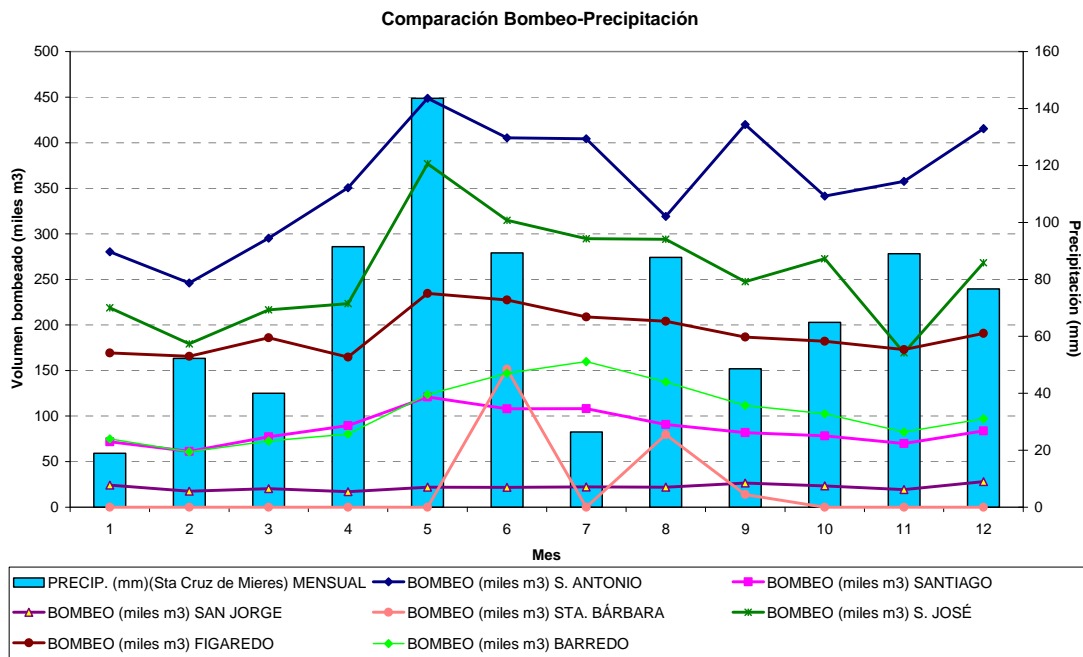


Figura 9-4.-Valores mensuales precipitación-bombeo 2007

10. BALANCE HÍDRICO

10.1. DELIMITACIÓN DE LA CUENCA

La realización del balance hídrico anual permite conocer las relaciones entre las distintas variables hidrológicas así como valorar, entre otros parámetros, el volumen anual de escurrimiento o excedentes, el periodo en que se producen excedentes, periodos con déficit de agua, cálculos de demanda de agua, volumen de agua que se infiltra, etc.

En cualquier sistema hídrico se cumple:

Entradas = Salidas + Variación en el almacenamiento

Las entradas en la zona de trabajo son la precipitación y las aportaciones externas de los ríos Aller y Negro fuera del límite de trabajo, y las salidas son la evapotranspiración, la escurrimiento superficial y la escurrimiento subterránea o de infiltración. En la Figura 10-1 se muestra un esquema con los elementos constituyentes del balance.

El estudio del balance hídrico en la zona de Barredo-Turón-Aller, pretende conocer la recarga de agua que se produce en el conjunto de pozos del Grupo HUNOSA: Figaredo (San Vicente y San Inocencio), Barredo, San José, Santa Bárbara, San Jorge, Santiago y San Antonio. Esta infiltración forma parte del término denominado escurrimiento subterránea de la ecuación del balance hídrico, que puede calcularse como diferencia entre la lluvia útil en la superficie estudiada y la escurrimiento superficial, considerando que el término de variación en el

almacenamiento, para un estudio prolongado en el tiempo, puede suponerse nulo.

Este estudio pretende llegar a ese parámetro, lo que supone realizar los cálculos pertinentes para la determinación de la lluvia útil (precipitación menos evapotranspiración real), aforos para determinar la escorrentía superficial, y por último, un estudio de la escorrentía subterránea.

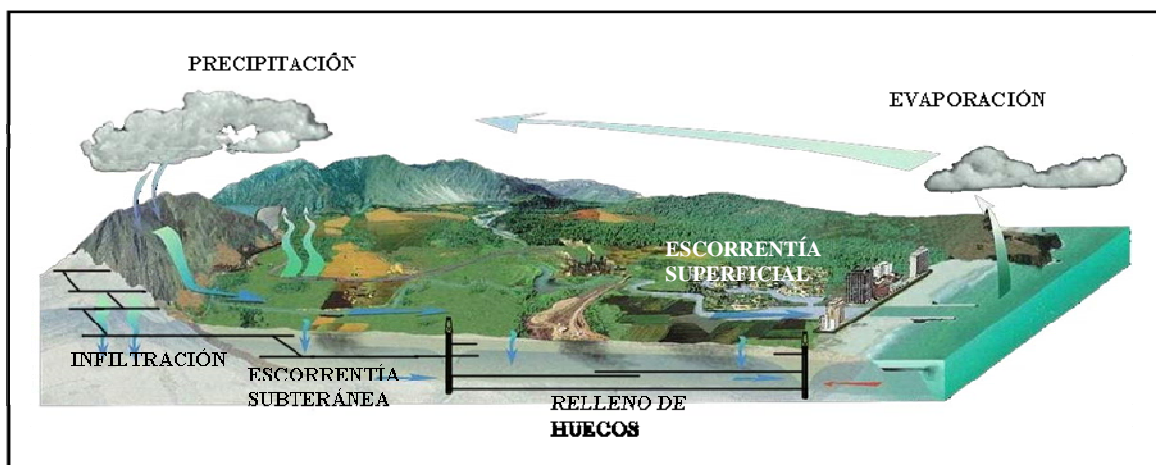


Figura 10-1.- Esquema de balance hídrico (Modificado de López Geta *et al*, 2001)

La delimitación de la zona de trabajo (Figura 10-2) se ha realizado considerando la divisoria de aguas superficiales, de forma que quedaran incluidas las labores mineras de Barredo, Turón y Aller que pudieran presentar conexión entre ellas.

Se ha considerado una única cuenca hidrográfica ya que las explotaciones mineras ponen en comunicación las cuencas del Río Aller y del Río Turón y por lo tanto, no existen dos cuencas hidrográficas independientes sino que la comunicación hídrica entre ambas cuencas a través de las labores es importante.

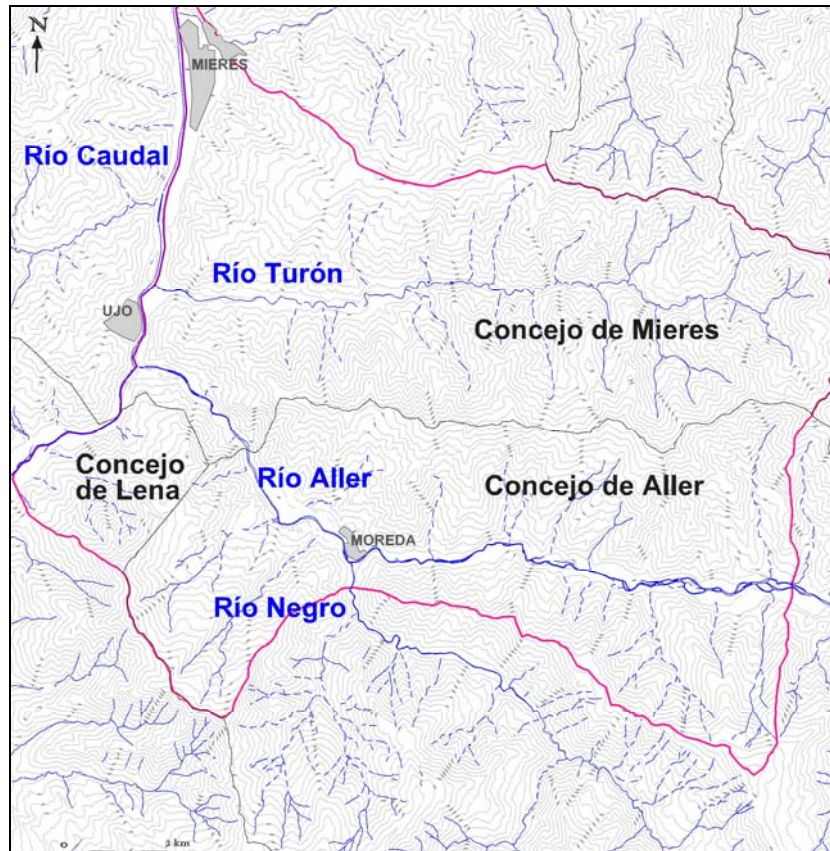


Figura 10-2.- Área de estudio del balance hídrico

Para la realización del balance hídrico, se identificaron los diferentes elementos que intervienen en el sistema hídrico dentro de la zona de trabajo y se cuantificaron éstos con los datos obtenidos de las diferentes fuentes (Instituto Nacional de Meteorología, datos de aforos realizados, datos del inventario de puntos de agua, datos de desagües de pozos, etc.).

10.2. CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN Y LA LLUVIA ÚTIL

Dado que el área de estudio se extiende a un área amplia (cuenca del río Turón y parte del Aller), con cierta variación de parámetros climáticos, resulta más adecuado calcular el valor medio de éstos en toda la cuenca considerada que extrapolar simplemente los valores puntuales correspondientes a una determinada estación.

Para el cálculo de la precipitación media en una cuenca, existen tres métodos clásicos: i) Media aritmética; ii) Polígonos de Thiessen e iii) Isoyetas.

De acuerdo con este último método -el más preciso-, una vez representadas las curvas de igual precipitación (isoyetas) sobre el mapa interpolando valores puntuales, de acuerdo con la topografía, tal como se muestra en la Figura 10-3, se asigna a la superficie comprendida entre cada dos isoyetas consecutivas, siempre dentro del área limitada por la cuenca a estudiar, una pluviometría igual al valor medio de las dos isoyetas consideradas. La precipitación media se calcula como media ponderada con las áreas entre isoyetas. Se trata del método más preciso, porque tiene en cuenta la relación entre precipitación y altitud (Martínez-Alfaro *et al.*, 2006).

De esta forma, la precipitación media se obtiene como:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Donde:

P = Precipitación regional (mm).

P_i = Precipitación media entre cada dos isoyetas (mm)

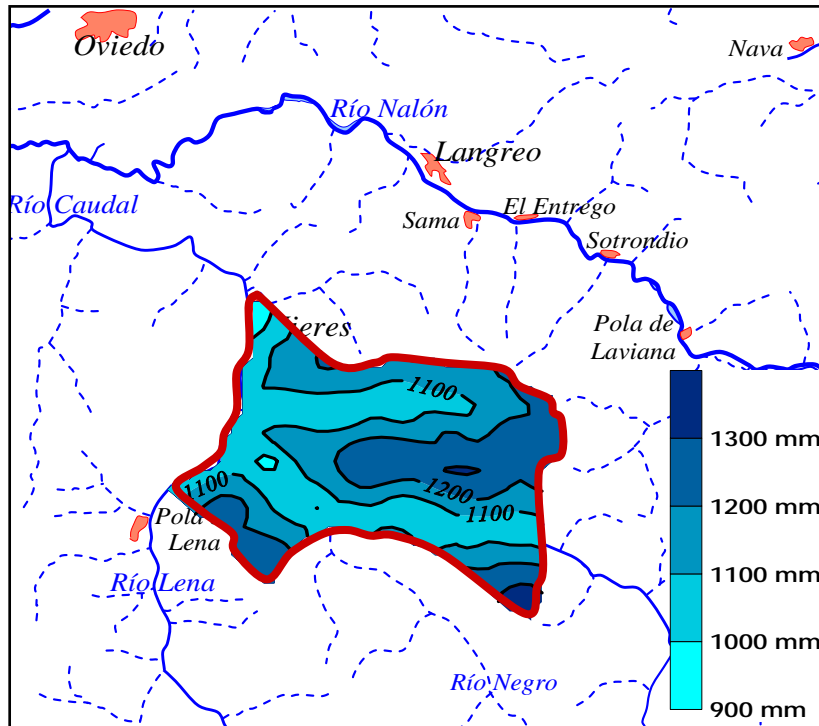
A_i = Área entre cada dos isoyetas (km²).

n = Número de estaciones.

En la Figura 10-3 se muestran las isoyetas de precipitación media anual interceptadas por la cuenca delimitada y cuya precipitación media se desea conocer. También se recogen las áreas entre isoyetas consecutivas y el cálculo de la precipitación media en la cuenca considerada.

La precipitación media anual en el área de estudio será:

$$P_{\text{m}} = \frac{(950 \cdot 1,74) + (1050 \cdot 43,55) + (1150 \cdot 45,15) + (1250 \cdot 32,49) + (1350 \cdot 1,90)}{124,83} = 1141,4 \text{ mm}$$



- Área total:
124,83 km²
- Áreas parciales:
 - <1000 mm: 1,74 km²
 - 1000-1100 mm: 43,55 km²
 - 1100-1200 mm: 45,15 km²
 - 1200-1300 mm: 32,49 km²
 - >1300 mm: 1,90 km²

Figura 10-3.- Isoyetas de precipitación media anual para el límite de la cuenca. En rojo se representa el límite de la cuenca, y la leyenda muestra los rangos de variación de la precipitación.

De forma análoga, pero no expuesta explícitamente aquí, se han calculado los valores medios anuales de evapotranspiración real y de lluvia útil en la cuenca considerada. El área de la zona de estudio para el balance hídrico es de 124,83 km². Estos valores se resumen en la Tabla 10-1 y se observa que son ligeramente diferentes a los obtenidos en la estación del valle de Turón, anteriormente expuestos, pero más exactos para el total de cuenca objeto de estudio.

Tabla 10-1.- Cálculo de la Lluvia útil total anual

	mm/año	l/s
Precipitación media	1141,4	4518,0
Evapotranspiración real media	627,8	2485,0
Lluvia útil media	513,6	2033,0

10.3. CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA SUPERFICIAL

Una vez conocida la lluvia útil, para llevar a cabo el cálculo de la escorrentía subterránea y con ello conocer la infiltración de agua en los pozos, debe calcularse la escorrentía superficial, pues parte de la precipitación irá a parar a los cauces fluviales de la zona.

En este estudio se ha hecho la simplificación de suponer que durante la fase de bombeo en la cuenca, se extrae todo el agua infiltrada en la misma, por lo que se tomará una infiltración anual igual al volumen bombeado al año en el conjunto de los pozos de la zona; de esta forma, también se supondrá que el caudal de los ríos corresponde básicamente a escorrentía superficial, lo cual no es estrictamente correcto, pero se considera suficientemente preciso para los objetivos de este estudio, en el que se pretende únicamente hacer una estimación global muy simplificada del balance anual de la cuenca, ya que realizar un balance más preciso y para periodos más cortos de tiempo, exigiría un volumen de datos muy superior al disponible. Cabe hacer notar que una vez interrumpido el bombeo y recuperado el nivel piezométrico a su régimen natural, el aporte de escorrentía subterránea a los cauces será mayor, pero desconocido en el momento actual.

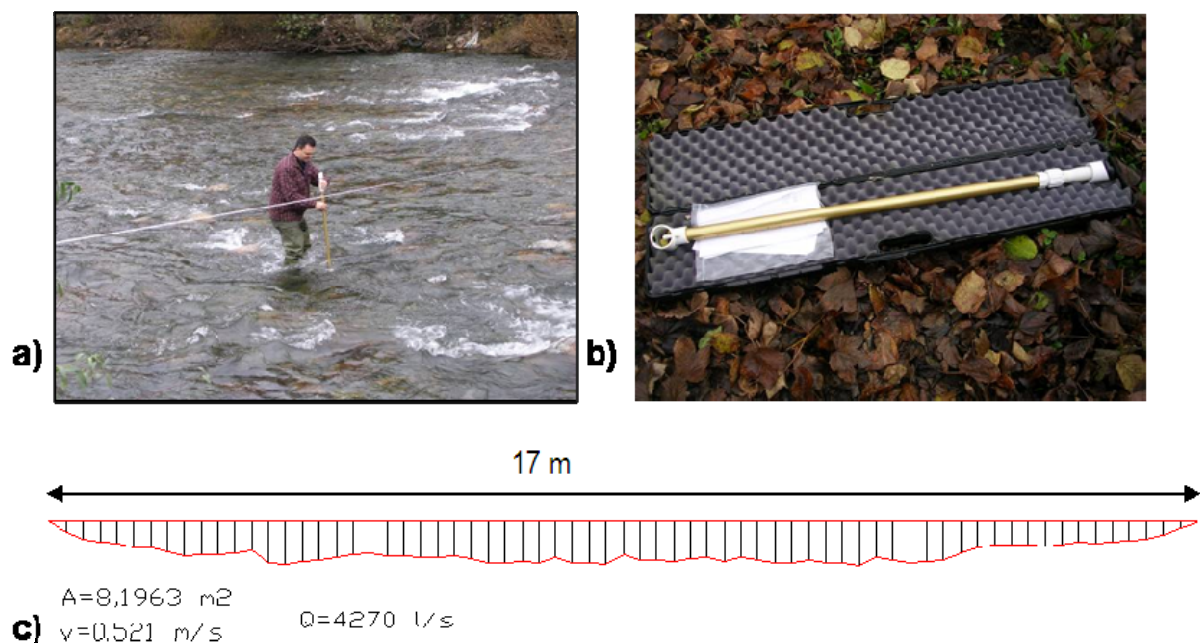
En la zona objeto de estudio se hace necesario conocer el caudal del río Turón antes de su desembocadura en el río Caudal, el río Aller a la entrada y salida de la zona objeto de estudio y el río Negro antes de su incorporación al Aller.

10.3.1. METODOLOGÍA

Las medidas de caudal se han realizado mediante aforos directos con la utilización de un molinete electrónico, y también mediante aforos químicos, en función de las características del cauce, empleando en alguna de las secciones ambos

métodos, con el fin de validar los datos.

El método del molinete (Fotografía 10-1) consiste en la medición de la velocidad del agua en cada una de las secciones objeto de estudio. Una vez obtenida la velocidad media de la sección, el caudal se calcula como producto de dicho término por el área total de la sección.



Fotografía 10-1.- a) Aforo con molinete en el río Aller; b) Detalle del molinete; c) Ejemplo de cálculo de caudal a partir del trazado de la sección y la obtención de la velocidad media en la misma (río Aller, aguas arriba de Cabañaquinta, 5/12/07)

El aforo químico es un método de aforo basado en la dilución de un trazador inyectado en una corriente de agua. Una vez que el trazador está uniformemente repartido en el agua de dicha corriente se mide su dilución, lo que permite el cálculo del caudal.

El método considerado es el de integración o inyección instantánea (Figura 10-4). Consiste en la inyección aguas arriba de cierta cantidad de trazador, diluido en

el agua del cauce considerado. Al cabo de un tiempo suficientemente largo, y a una distancia adecuada para que se produzca la dilución uniforme en la corriente se efectúan las medidas que deben durar hasta el paso total de la nube del trazador.

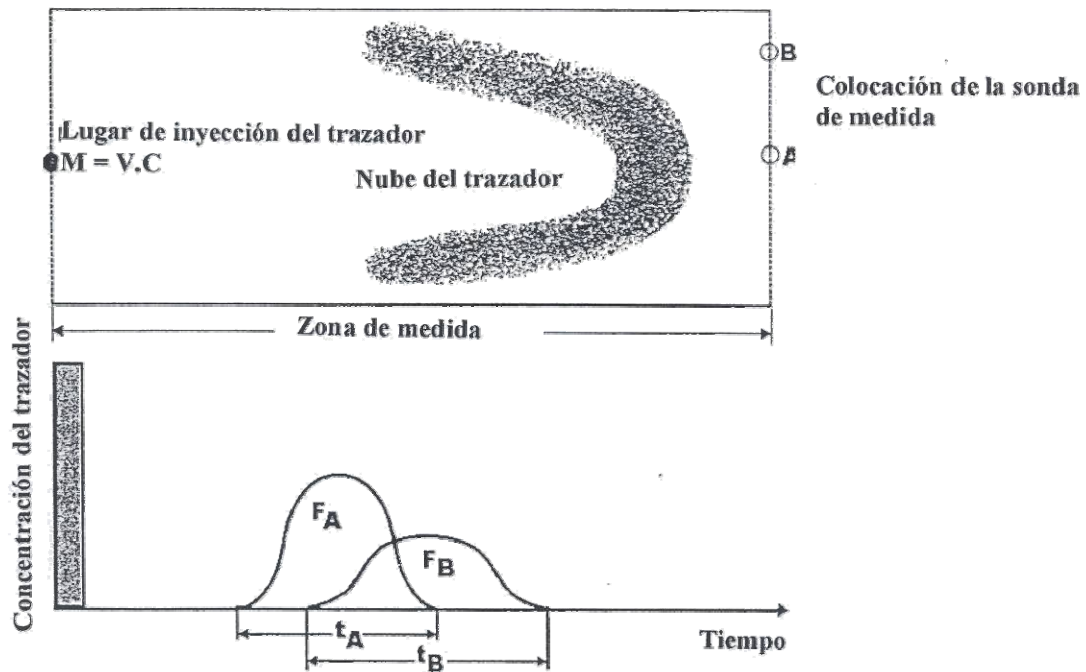


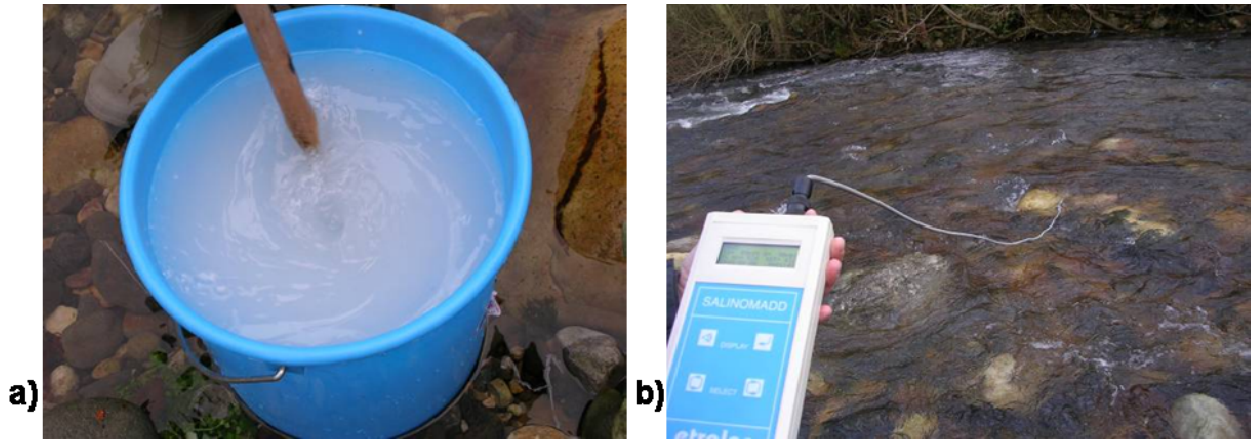
Figura 10-4.- Esquema del método de inyección instantánea

La cantidad de trazador M , su concentración en la solución a inyectar c_1 y la concentración c_2 en la sección considerada, permiten calcular el caudal Q .

Para la realización de los aforos químicos se ha utilizado el dispositivo de marca "Etrelec" denominado "Salinomadd" (Fotografía 10-2). El trazador utilizado es el cloruro sódico (sal común). La evaluación del trazador en el curso de la corriente se realiza mediante la medida de la conductividad eléctrica, que es directamente proporcional a la concentración de esta sustancia.

Un inconveniente de la aplicación de este trazador reside en que todos los cursos de agua ya tienen cierta conductividad y es necesaria la inyección de una

cantidad de trazador que provoque un aumento significativo de dicho parámetro. En principio, la salinidad base debe ser elevada al menos un 10% o 15 mg/l.



Fotografía 10-2.- Aforo químico: a) Preparación del trazador (NaCl); b) Proceso de medida

A continuación procedemos a mostrar los estudios realizados.

10.3.2. AFORO DEL RÍO TURÓN

Toda la cuenca del río Turón pertenece a la zona objeto de estudio, de forma que el caudal total de la escorrentía superficial de esta cuenca se puede asimilar al caudal aforado en su desembocadura al río Caudal. Esta sección de aforo se tomó en "Peñule", aguas abajo del Pozo Figaredo. Además se seleccionaron otras dos secciones de control para la realización del aforo, aguas abajo y aguas arriba de las labores mineras, con el fin de evaluar la influencia de las mismas sobre el caudal del río.

Las secciones de aforo aparecen situadas en la Figura 10-5 y son las siguientes:



Figura 10-5.- Secciones de aforo en el río Turón

- SECCIÓN 1: La Granja. Coordenadas UTM (281593, 4788343). Aguas arriba de los pozos Fortuna y Santa Bárbara.
- SECCIÓN 2: La Cuadriella. Coordenadas UTM (276863, 4787947). Aguas abajo de los pozos Santa Bárbara y San José, y aguas arriba del Pozo Figaredo.
- SECCIÓN 3: Peñule. Coordenadas UTM (274749, 4787996). Aguas abajo del Pozo Figaredo.

Los resultados de los aforos realizados en estos puntos mediante los métodos mencionados anteriormente se recogen en la Tabla 10-2, donde se indica la fecha en que fueron realizados y el método utilizado. En el Anexo IV.1 aparecen los datos de los aforos de manera más detallada.

Tabla 10-2.- Resultados de los aforos realizados en el río Turón

Fecha de aforo	Método	Caudal (l/s)		
		S1: La Granja	S2: La Cuadriella	S3: Peñule
10/07/07	A. químico	132	-	-
20/09/07	Molinete	138,5	307,8	302,2
27/09/07	Molinete	146,2	418,7	360,6
05/10/07	Molinete	204,0	421,3	345,6
02/11/07	Molinete	239,2	345,6	176,9
01/02/08	A. químico	-	-	328
28/02/08	Molinete	-	133,4	361,2
	A. químico	-	-	345,5
28/03/08	Molinete	1777,7	-	3083,2
17/04/08	Molinete	1285,4	-	2137,1
05/07/08	Molinete	-	-	515,5

Así, en la cuenca del Turón se podrían establecer 3 subcuencas. La primera, aguas arriba de la sección 1, corresponde a la cabecera del río y a una zona prácticamente “virgen” o no minada; a la salida de esta subcuenca, el río lleva un caudal –a juzgar por los datos obtenidos- que aproximadamente corresponde a un 21% de la precipitación media en la zona (recordemos que aproximadamente un 55% de dicho valor se evapotranspira); en esta subcuenca, supuesta nula la presencia de labores mineras, la infiltración será la propia natural del terreno, que dadas sus características geológicas, se considera baja. La segunda subcuenca, aguas abajo de la anterior, engloba la superficie de extensión en planta de las labores correspondientes a los pozos Santa Bárbara y San José; el caudal que lleva el río a su salida, descontando el correspondiente a la subcuenca anterior y el aportado por los desagües de dichos pozos, corresponde aproximadamente a un 19% de la precipitación media en la zona, lo cual indica que en este caso, comparado con el anterior, la infiltración se ve incrementada debido al aumento de la fracturación y porosidad secundaria causada por la presencia de labores subterráneas. La tercera subcuenca, aguas abajo de la anterior, se extiende abarcando una zona extensamente minada (labores correspondientes a los pozos Figaredo y Barredo) y en este caso, llama la atención que el caudal es inferior al correspondiente a la sección 2, es decir, el río pierde caudal, debido a una aparentemente importante infiltración a través de la zona minada.

10.3.3. AFORO DEL RÍO ALLER

Se han realizado aforos en el río Aller, y además se dispone de los datos de la estación foronómica 1365 en Moreda, suministrados por Confederación Hidrográfica para el periodo que recoge los años hidrológicos desde 1972 -73 hasta 2005-06.

En la Tabla 10-3 se muestra un resumen de los datos aportados por la Confederación Hidrográfica del Cantábrico para el periodo 2002-2006, que se corresponde al periodo del que se dispone de datos mensuales de bombeo de los pozos de la zona objeto de estudio.

Tabla 10-3.- Datos de aforo en el río Aller cedidos por CH (periodo 2002 – 2006)

Río Aller: Estación de aforo de Moreda													
Caudal medio (m3/s)													
Año hidrológico	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Año
2001-02	1,30	6,51	4,30	5,88	9,79	10,16	7,29	12,39	8,73	2,82	3,43	4,21	76,80
2002-03	5,06	8,78	22,80	16,19	21,11	12,07	11,10	7,18	3,09	2,21	1,24	1,15	111,98
2003-04	4,13	17,15	16,26	26,55	6,75	17,38	11,67	13,44	3,62	1,80	1,13	1,34	121,22
2004-05	1,98	11,03	11,21	17,22	15,29	25,18	21,14	10,97	4,28	1,89	1,17	1,09	122,47
2005-06	4,58	13,36	15,23	16,64	8,94	26,49	10,36	4,47	1,94	0,92	0,60	1,02	104,54

Se puede apreciar la gran variabilidad estacional del caudal, que en época de crecida puede ser hasta 50 veces superior al correspondiente en época de estiaje, así como las amplias variaciones interanuales.

En el río Aller se seleccionaron cuatro secciones significativas para la realización del aforo, aguas abajo y arriba de las labores mineras. Las secciones de aforo aparecen situadas en la Figura 10-6 y son las siguientes:

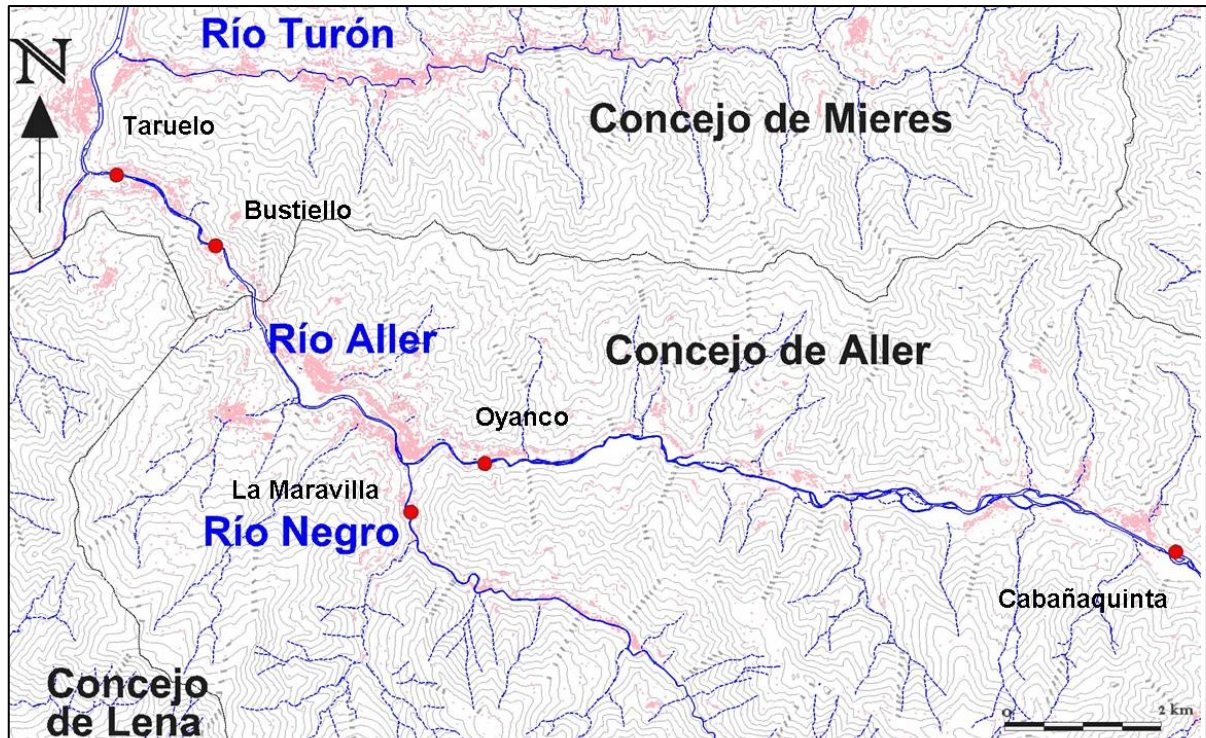


Figura 10-6.- Secciones de aforo en los ríos Aller y Negro

- SECCIÓN 1: Cabañaquinta. Coordenadas UTM (287361, 4781907). Situada aguas arriba de la población de Cabañaquinta. Corresponde al caudal de aporte del río Aller a la zona de estudio.
- SECCIÓN 2: Oyanco. Coordenadas UTM (278436-4783057). Situada aguas arriba de la desembocadura del río Negro al río Aller y de los pozos San Jorge, Santiago y San Antonio.
- SECCIÓN 3: Taruelo. Coordenadas UTM (273830, 4786723). Situada aguas abajo de los pozos San Jorge, Santiago y San Antonio.
- SECCIÓN 4: Río Negro. La Maravilla. Coordenadas UTM (277577, 4782410). Corresponde al caudal de aporte de este río a la zona de estudio.

La sección 2 (Oyanco) fue sustituida por la de Bustiello, debido a los

problemas para aforar en el primer sitio como consecuencia de la alta velocidad de flujo del río. Esto es debido al pequeño área de paso de la sección 2, que para hacer pasar el mismo caudal es compensada con un aumento de la velocidad.

Los resultados de los aforos realizados con los distintos métodos se recogen en la Tabla 10-4. En el Anexo IV.1 aparecen los datos de los aforos de manera más detallada.

Tabla 10-4.- Resultados de los aforos realizados en el río Aller

Fecha de aforo	Método	Caudal (l/s)			
		S1: Cabañaquinta	S2: Oyanco	S3: Taruelo	S4: La Maravilla
29/11/07	A. químico	3260	5910	-	-
5/12/07	Molinete	4270,3	-	8089,7	-
14/12/07	A. químico	1765	3885	2556,5	1025
18/01/08	A. químico	2930	3485	1962,5	811,5
01/02/08	A. químico	886	-	1770	572
28/02/08	A. químico	1915	2470	2275	730
	Molinete	1690,7	2102,6	-	-
28/03/08	A. químico	9635	-	-	3025
02/04/08	A. químico	9500	-	13000	-
17/04/08	A. químico	4050	-	8450	3315
05/07/08	Molinete	3087,7	-	5405,2	1110,9

10.4. CÁLCULO DE LA INFILTRACIÓN

Una vez determinada la escorrentía superficial y la lluvia útil se puede estimar la infiltración de la zona, que dada la escasa permeabilidad de los materiales, se puede suponer que corresponde al agua bombeada a través de los pozos mineros. En la Tabla 10-5 se muestran los caudales medios bombeados de los pozos de la zona objeto de estudio para el periodo 2002-2007, aportados por el departamento de Medio Ambiente del Grupo HUNOSA.

Tabla 10-5.- Caudales evacuados por los pozos de la zona de estudio durante el periodo 2002-2007

	Caudal Medio Anual evacuado (m ³)	Caudal Medio evacuado(l/s)
Pozo Santiago	1.564.126,8	49,60
Pozo San Jorge	353.451,3	11,21
Pozo San Antonio	3.460.691,1	109,74
Pozo Barredo	1.464.167,2	46,43
Pozo San José	3.631.505,7	115,15
Pozo St. Bárbara	765.782,6	24,28
Pozo Figaredo	2.635.498,9	83,57
TOTAL	13.875.223,7	439,98

De los datos anteriores aportados por el Departamento de Medio Ambiente del Grupo HUNOSA, y que son calculados a partir del total de horas de bombeo mensuales de cada pozo que queda registrado en los sistemas de control ambiental, se deduce que el caudal medio evacuado por el total de los pozos es de 440 l/s.

Con estos datos, podemos realizar un modelo conceptual simplificado para un año tipo, a partir de los datos anuales de los que se dispone, tanto de climatología como de escorrentía y de bombeo de pozos.

De los aproximadamente 4.500 l/s que caen en forma de precipitación en la cuenca estudiada, una cantidad cercana al 60% se evapotranspira, como se deduce del estudio climático. El resto se divide entre escorrentía superficial e infiltración. Las cuencas de los ríos Turón y Aller en la zona objeto de estudio tienen un área bastante similar (58,99 km² para el Turón y 65,84 km² para el Aller).

La lluvia útil, estimada como ya se ha dicho, en unos 510 mm en la zona de estudio, corresponde a 1070 l/s para la cuenca del Aller y 970 l/s para la del Turón. La infiltración es mayor en la cuenca del Turón (270 l/s) que en la del Aller (170 l/s), lo que supone, respectivamente, un 28 y un 16% de la lluvia útil, probablemente debido a una mayor intensidad de fracturación. Finalmente, el aporte de la precipitación a los cauces en forma de escorrentía superficial se estima en unos 700 l/s para el Turón y

unos 900 l/s para el Aller (Además, como indicamos en el apartado 10.3, la zona correspondiente a la cuenca del río Aller cuenta con dos aportes externos de escorrentía superficial: el propio río Aller aguas arriba de la zona de estudio, que puede asimilarse a 5200 l/s como media anual, y el otro correspondiente al aporte del río Negro de unos 1730 l/s, aproximadamente). Como ya se ha apuntado, estas cifras no son más que estimativas y preliminares, y sería deseable disponer de datos quincenales fiables de aforos de los ríos involucrados, así como de los volúmenes bombeados en los pozos, para poder realizar un balance hídrico más ajustado.

En el año 1999 el Grupo HUNOSA concluyó un proyecto ECSC, Referencia: nº 7220-PR057 (Gutierrez, 1999), que comenzaba tres años antes, durante el cual se procedió a un intenso estudio hidrogeológico de las zonas afectadas por labores mineras, mediante elaboración de sondeos, pruebas de permeabilidad, ensayos de bombeo, y control continuo de parámetros de calidad y volumen de las aguas de sus pozos mineros y bocaminas de montaña, del que se extraían las siguientes conclusiones, ente otras:

- En las condiciones de origen, la cuenca es prácticamente impermeable, con fracturas a través de las que el agua penetra, filtrándose a veces en grandes cantidades a las explotaciones.
- La explotación minera causa también un proceso de descompresión en las rocas adyacentes, pero con un radio de influencia muy limitado. Pese a esta descompresión, el macizo sigue sin ser un buen trasmisor de agua.
- En las zonas de estudio, se llegó a la conclusión de que la permeabilidad media era inferior a 10^{-7} m/s, pudiendo alcanzar en zonas de fracturas valores comprendidos entre los $5 \cdot 10^{-6}$ y 10^{-6} m/s.

Teniendo esto en cuenta, se puede suponer que entre un 90 y un 95 % de lo que se infiltra va a las labores mineras. Para el modelo conceptual, se le asigna a la

infiltración un valor de 400 l/s, que se corresponde con el valor medio bombeado por los pozos y es el valor obtenido por diferencia de la precipitación.

Podemos analizar dos escenarios: el primero, el original en el que aún existía bombeo en los pozos de la zona de estudio (Figura 10-7), y el segundo, aquel correspondiente a la situación después del cese del bombeo -establecida actualmente en la cuenca del Turón-, cuando comienza la inundación (Figura 10-8).

Durante el bombeo, el nivel piezométrico se encuentra deprimido y prácticamente toda el agua que se infiltra es vertida nuevamente al río. La suma del bombeo medio de los pozos del valle del Aller (San Jorge, Santiago y San Antonio) es de 170,54 l/s, y en los pozos del valle del Turón (Figaredo, San José y Santa Bárbara) es de 223,01 l/s. El vertido del Pozo Barredo (46,4 l/s), aunque conectado con el Pozo Figaredo, iba directamente al río Caudal.

Redondeando estos números, obtenemos que el río Turón llevaría en su desembocadura al río Caudal, a la salida de la zona de trabajo, un caudal de 925 l/s resultado de la lluvia útil y del bombeo de los pozos. El río Aller, que entraría con un caudal de 5200 l/s, debido al aporte de su afluente el río Negro (1730 l/s), a la lluvia útil y al bombeo de los pozos, desembocaría al río Caudal con 8000 l/s.

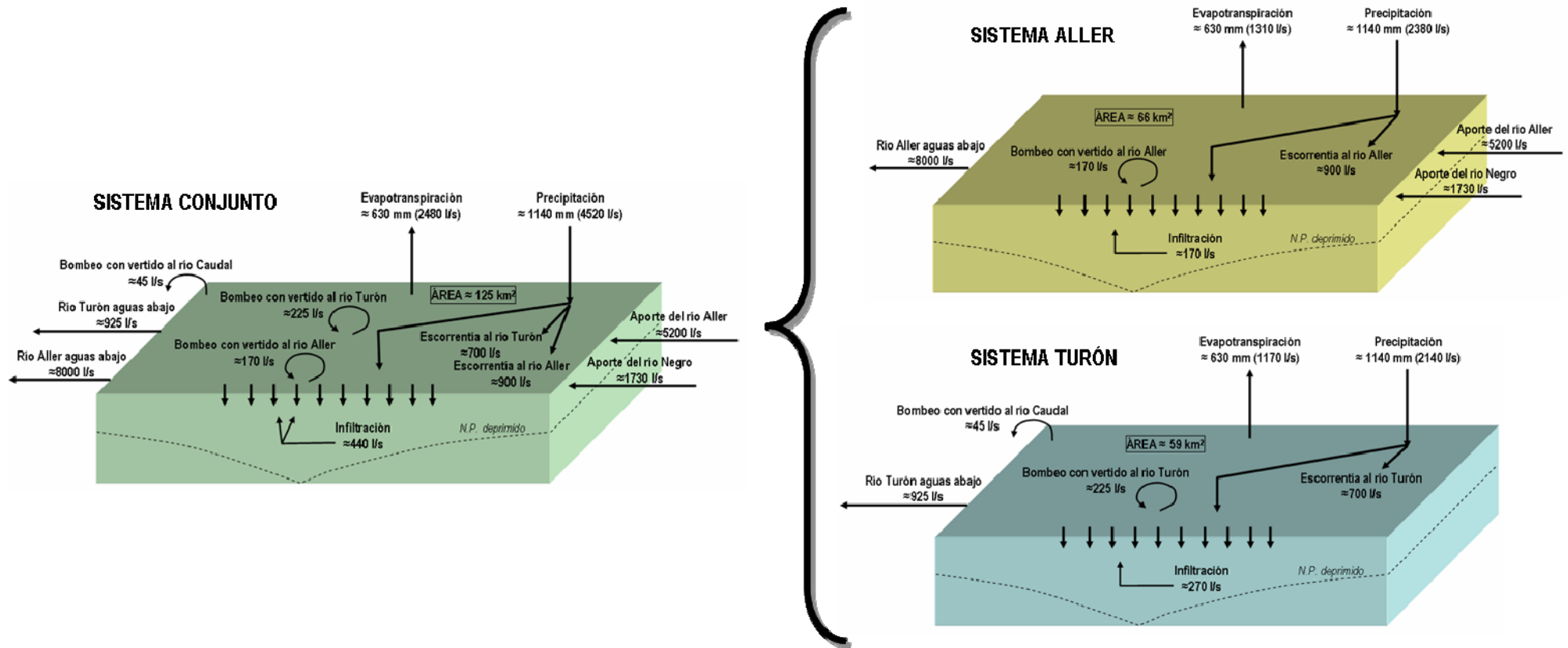


Figura 10-7.- Modelo conceptual simplificado de balance hídrico en la zona de estudio para un periodo anual durante la fase de bombeo

En el segundo caso, que como se ha indicado anteriormente corresponde a la situación de la zona de estudio tras la interrupción del bombeo en los pozos del valle del Turón y la consiguiente inundación de las labores, ocurrirían dos situaciones distintas. Por un lado, en el valle del Turón el nivel piezométrico se está recuperando debido a la infiltración en la zona. Esto genera que no exista el aporte de 225 l/s al río Turón que teníamos en el caso anterior debido al bombeo, por lo que en su desembocadura al río Caudal aportaría un caudal de 700 l/s (Figura 10-8). Por otro lado, en el valle del Aller continua el bombeo en los tres pozos (San Jorge, Santiago y San Antonio) por la actividad minera del Pozo Santiago, que mantiene deprimido el nivel piezométrico. En consecuencia, en este valle se mantiene el vertido al río Aller y seguimos teniendo el caudal medio de 8000 l/s provenientes como en el primer caso, de la lluvia útil, los aportes del río Aller y el río Negro a la entrada de la zona de trabajo, y el bombeo.

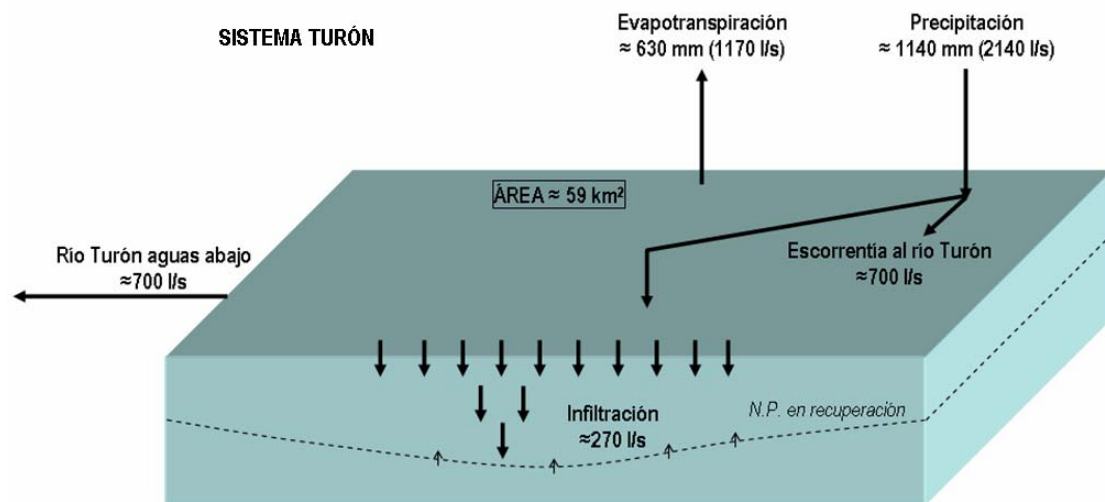


Figura 10-8.- Modelo conceptual simplificado de balance hídrico en la zona de Turón tras la interrupción del bombeo

11. ESTUDIO HIDROQUÍMICO

11.1. METODOLOGÍA

11.1.1. RED DE CALIDAD, CRITERIOS DE SELECCIÓN

De los 152 puntos de agua inventariados se seleccionaron 23 puntos (cuya situación figura en el mapa del Anexo II.6) para formar parte de la red de calidad, atendiendo a los siguientes criterios:

- se incluyeron puntos correspondientes a los distintos tipos de aguas según su naturaleza: bocamina, pozo y manantial
- la distribución espacial se realizó de forma que fuera lo más extensa posible dentro del área de estudio, si bien primó la proximidad a zonas en las que existiera riesgo de inundación
- para los manantiales se estableció un caudal mínimo de 0,5 L/s
- otros aspectos contemplados fueron su accesibilidad y su utilización.

La red de calidad propuesta consta de 6 pozos mineros, 4 manantiales y 13 bocaminas; en la segunda campaña uno de los pozos no pudo ser muestreado, y en su lugar se tomó muestra en otro de los manantiales inventariados. Un ejemplo de cada tipo se muestra en las fotografías 11-1, 11.2 y 11-3.



Fotografía 11-1.-Bocamina Canales



Fotografía 11-2.-Canal de vertido del Pozo San Jorge



Fotografía 11-3.- Fuente Los Valles

11.1.2. MUESTREO PARA ANÁLISIS QUÍMICO

En todos los puntos se tomaron 2 L de agua, en botellas de polietileno, para análisis de especies mayoritarias, minoritarias no metálicas y parámetros físico-químicos, 0,5 L en botella del mismo material, para análisis de sustancias metálicas, acidulándose con ácido nítrico (60%) hasta alcanzar un pH < 2 uds (aproximadamente 3 mL) y 0,5 L más, en el mismo tipo de recipiente, para determinación de sulfuros, tratándose con acetato de Zn (4 gotas en 100 mL) y NaOH 1N hasta alcanzar un pH > 9 uds (4 mL en 500 mL). Todas las botellas fueron aclaradas varias veces con el agua de muestreo antes de proceder a la toma de la muestra, a fin de eliminar posibles impurezas. Las determinaciones realizadas “in situ” fueron pH y conductividad, medidos con un equipo multiparamétrico de la marca WTW (modelo "multi 350i/set", fotografía 11-4), además de la temperatura del agua y ambiental, para lo que se utilizó un termómetro digital “digithermo” con precisión de 0,1 °C.



Fotografía 11-4- Equipo multiparamétrico de la marca WTW (modelo "multi 350i/set")

11.1.3. ANÁLISIS QUÍMICOS LABORATORIO DEL IGME

En este apartado se incluyen las especificaciones correspondientes a la determinación de los parámetros físico-químicos y químicos en el Laboratorio del Instituto Geológico y Minero de España situado en Tres Cantos (Madrid). Este laboratorio tiene establecido un Sistema de Calidad según la Norma UNE-EN ISO/IEC 17025 (Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración). Además cuenta con la acreditación por ENAC, Entidad Nacional de Acreditación, para ensayos de Aguas continentales y Piedra Natural.

Los parámetros determinados han sido los siguientes:

Constituyentes mayoritarios

- Aniones: bicarbonatos, cloruros y sulfatos
- Cationes: calcio, magnesio, sodio y potasio
- Sustancias poco ionizadas o en estado coloidal: sílice

Constituyentes minoritarios y traza

- Aniones: carbonatos, fosfatos, fluoruros y sulfuros
- Cationes: cobre, cinc, hierro, manganeso, aluminio, cadmio, plomo, arsénico, selenio, cromo y mercurio
- Otras determinaciones: nitratos, nitritos y amonio
- Residuo seco: Peso en mg/L después de evaporar 1 L de agua
- Oxidabilidad al MnO₄K: También denominado "demanda química de oxígeno" (DQO), este valor es un indicativo de la presencia o ausencia de contaminación en el agua, y representa la cantidad de oxígeno consumido en la oxidación de

sustancias reductoras presentes en el agua mediante oxidantes químicos; normalmente se utiliza el permanganato potásico y el dicromato potásico.

En la Tabla 11-1 se describen los procedimientos técnicos utilizados según el parámetro determinado, y los límites de detección figuran en la Tabla 11-2.

Tabla 11-1.- Procedimientos técnicos. Laboratorio de aguas del IGME (Tres Cantos, Madrid)

Parámetro	Procedimiento
Conductividad	Electrometría. PTE-AG-001.
pH	Electrometría. PTE-AG-002.
Oxidabilidad	Ebullición en medio ácido y valoración con permanganato potásico (MnO ₄ K). PTE-AG-004.
Residuo seco	Desecación a 180°C y gravimetría. PTE-AG-005.
Potasio	Espectrometría de Emisión Atómica. PTE-AG-007.
Sodio	Espectrometría de Emisión Atómica. PTE-AG-007.
Cobre	Espectrofotometría de Absorción Atómica. PTE-AG-008.
Zinc	Espectrofotometría de Absorción Atómica. PTE-AG-008.
Mercurio	Espectrofotometría de Absorción Atómica. PTE-AG-009.
Selenio	Espectrofotometría de Absorción Atómica. PTE-AG-022.
Cadmio	Espectrofotometría de Absorción Atómica. PTE-AG-022.
Cromo	Espectrofotometría de Absorción Atómica. PTE-AG-022.
Hierro	Espectrofotometría de Absorción Atómica. PTE-AG-022.
Hierro	Espectrofotometría de Absorción Atómica. PTE-AG-008.
Manganeso	Espectrofotometría de Absorción Atómica. PTE-AG-022.
Manganeso	Espectrofotometría de Absorción Atómica. PTE-AG-008.
Plomo	Espectrofotometría de Absorción Atómica. PTE-AG-022.
Amonio	Espectrofotometría de Absorción. Autoanalizador de flujo continuo.
Bicarbonatos	Espectrofotometría de Absorción. Autoanalizador de flujo continuo.
Calcio	Espectrofotometría de Absorción. Autoanalizador de flujo continuo.
Carbonatos	Volumetría.
Cianuros	Electrometría. Método con electrodos específicos.
Cloruros	Espectrofotometría de Absorción. Autoanalizador de flujo continuo.
Fluoruros	Electrometría. Método con electrodos específicos.
Fosfatos	Espectrofotometría de Absorción. Autoanalizador de flujo continuo.
Magnesio	Espectrofotometría de Absorción. Autoanalizador de flujo continuo.
Nitratos	Espectrofotometría de Absorción. Autoanalizador de flujo continuo.
Nitritos	Espectrofotometría de Absorción. Autoanalizador de flujo continuo.
Sílice	Espectrofotometría de Absorción. Autoanalizador de flujo continuo.
Sulfatos	Espectrofotometría de Absorción. Autoanalizador de flujo continuo.
Sulfuros	Análisis cualitativo con papel de acetato de plomo y yodometría si hay presencia.
Arsénico	ICP/MASAS
Aluminio	ICP/MASAS

Tabla 11-2.- Límites de detección

Parámetros	Límites de detección
Sodio	< 2 mg/L
Potasio	< 1 mg/L
Cálcico	< 1 mg/L
Magnesio	< 1 mg/L
Amonio	< 0,05 mg/L
Cobre	< 0,05 mg/L
Cinc	< 0,05 mg/L
Hierro	< 20 µg/L
Manganeso	< 10 µg/l
Cromo	< 2,5 µg/L
Cadmio	< 0,5 µg/L
Plomo	< 5 µg/L
Arsénico	< 5 µg/L
Selenio	< 5 µg/L
Mercurio	< 0,5 µg/L
Cloruros	< 1 mg/L
Sulfatos	< 1 mg/L
Bicarbonatos	< 0,5mg/L
Nitratos	< 0,5 mg/L
Nitritos	< 0,05 mg/L
Fosfatos	< 0,04 mg/L
Fluoruros	< 0,5 mg/L
Cianuros	< 0,005 mg/L
Sulfuros	No se detecta
Oxidabilidad	< 0,5 mg/L
Sílice	< 0,1 mg/L
Residuo seco	<10 mg/L

11.1.4. INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La interpretación de la información se ha realizado en primer lugar mediante la caracterización hidroquímica de las muestras; para ello, se utilizaron los criterios que vienen siendo habituales en los trabajos del IGME, en parte descritos en Hem (1970) y Lloyd y Heathcote (1985), que son los siguientes:

Facies: se considera facies predominante aquella especie iónica que, expresada en tanto por ciento de meq/L, supera el 50% del contenido en aniones o cationes, y facies secundaria la que supera el 25%.

Mineralización: se expresa a partir de la conductividad eléctrica del agua, utilizando la siguiente clasificación:

Conductividad eléctrica ($\mu\text{S/cm}$)	Mineralización
< 65	Sin mineralización
65 – 200	Muy débil
201 – 500	Ligera
501 – 2.000	Notable
> 2.000	Fuerte

Dureza: expresada en mg/L de CaCO_3 , se determina mediante la expresión:

$$D = \left(\frac{\text{mg/L Ca}^{2+}}{40} + \frac{\text{mg/L Mg}^{2+}}{24} \right) \times 100$$

Los intervalos considerados son:

D (mg/L CaCO_3)	Mineralización
0 – 40	Muy blanda
41 – 120	Blanda
121 – 350	Media
351 – 650	Dura
> 650	Muy dura

Alcalinidad: se define en términos generales como la capacidad de una solución para neutralizar ácidos. Aunque son numerosas las especies en solución que contribuyen a la alcalinidad del agua, en la mayoría de las aguas naturales la alcalinidad está producida prácticamente en su totalidad por los iones bicarbonato y carbonato en solución (Hem, 1970). Se considera que el valor de alcalinidad responde a la expresión:

$$[\text{Alcalinidad}] = [\text{HCO}_3^-] + 2[\text{CO}_3^{2-}] + [\text{OH}^-] - [\text{H}^+]$$

La determinación en campo se ha realizado mediante un titrador digital de la

marca Hach en las muestras tomadas en la segunda campaña. Los rangos de valores para la clasificación por alcalinidad considerados son:

Rango	Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)
Baja	< 75
Media	75 - 100
Alta	120-180
Muy alta	> 180

Una vez realizada la caracterización hidroquímica del agua se ha procedido a la realización de una serie de representaciones gráficas como herramienta de apoyo a la interpretación de los resultados de los análisis químicos, así como para visualizar de forma gráfica algunos aspectos de las muestras.

Una de las representaciones estadísticas habituales utilizadas para comparación de grupos de datos son los gráficos box plot (Figura 11-1), también denominados de cajas y bigotes. Estos gráficos indican la tendencia central de los valores, la simetría de la distribución y la presencia de outliers (valores muy diferentes del resto de los valores).

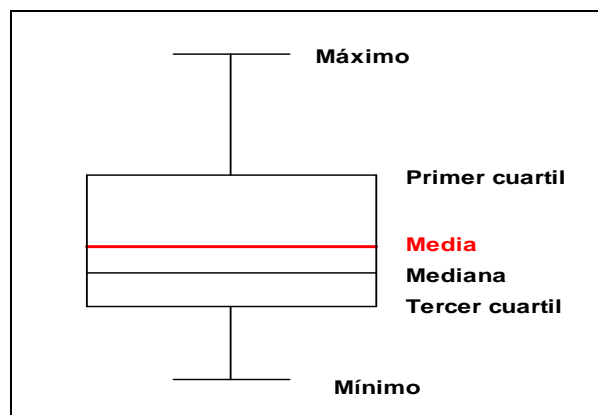


Figura 11-1.- Gráfico boxplot

En la figura se muestra la leyenda utilizada para estos gráficos. Si se considera Q1 y Q3 el primer y tercer cuartil, e IQR el rango intercuartil ($Q3 - Q1$), un valor atípico leve (representado en el diagrama mediante un círculo vacío) será aquel que cumple la expresión: $\text{valor} < Q1 - 1,5 \times \text{IQR}$ ó $< Q3 + 1,5 \times \text{IQR}$. Los valores atípicos extremos (representados en el diagrama mediante círculos negros) son observaciones más allá de los límites externos ($\text{valor} < Q1 - 3 \times \text{IQR}$ ó $< Q3 + 3 \times \text{IQR}$).

La representación gráfica de los puntos en el Diagrama de Piper (Figura 11-2) refleja la clasificación de las aguas según su contenido iónico. Existen distintas variantes de estos diagramas. En este caso, la metodología utilizada es la siguiente: en primer lugar los valores de concentración de iones se reducen a porcentaje de miliequivalentes por litro (meq/l) de cada catión o anión respecto del total de aniones o cationes y se representan los datos en tres diagramas poligonales:

- Un triángulo para los cationes mayoritarios, en cuyos vértices figuran: calcio (Ca^{2+}), magnesio (Mg^{2+}), y la suma de los iones sodio y potasio ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$), cada uno de ellos incrementándose en el sentido horario. A cada vértice le corresponde el 100% de cada parámetro.

- Otro triángulo para los aniones mayoritarios, en cuyos vértices figuran: cloruro (Cl^-), sulfato (SO_4^{2-}), y la suma de los iones carbonato y bicarbonato ($\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$), cada uno de ellos incrementándose en el sentido antihorario. A cada vértice le corresponde el 100% de cada parámetro.

- Y un diagrama romboidal en el que se representan la suma de los cationes ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) y ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$) en un par de lados paralelos y complementarios, mientras en el otro par de lados se representa la suma de aniones ($\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$) y su complementario ($\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^-$).

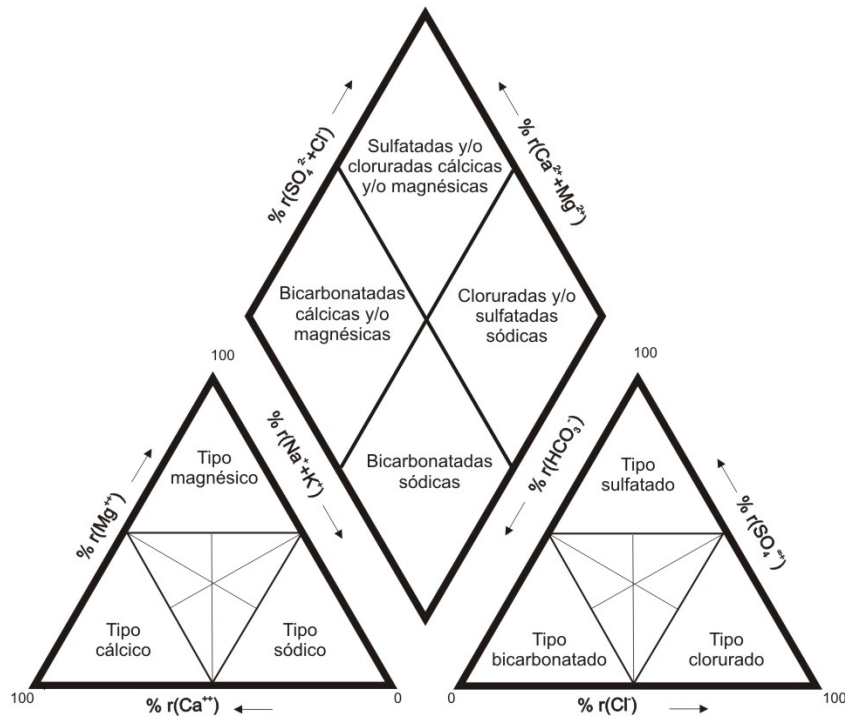


Figura 11-2.- Clasificación de las aguas según el Digrama de Piper

Diagrama de Stiff: se trata de un diagrama poligonal de ejes paralelos, en el que se representan los análisis individualmente. En este caso se utiliza el diagrama de Stiff modificado (Custodio y Llamas, 1976) que consta de tres ejes paralelos (Figura 11-3). En el sector derecho se representan las concentraciones en meq/L de los aniones (Cl^- , SO_4^{2-} y $\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{2-}$) y en el sector izquierdo la concentración de cationes ($\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Mg^{2+} y Ca^{2+}). Una vez representados los valores, la figura poligonal resultante muestra gráficamente la facies del agua.

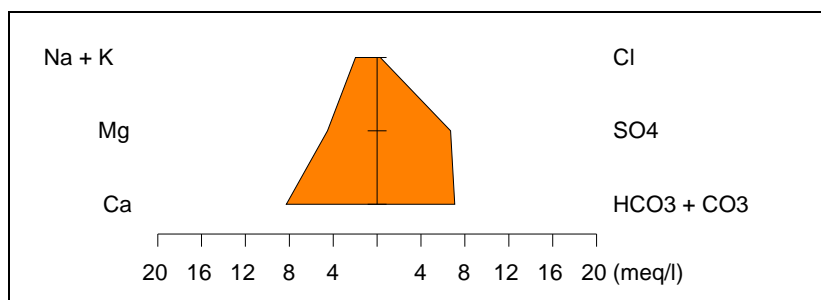


Figura 11-3.- Gráfico de Stiff

Las relaciones existentes entre iones (expresados en meq/L) contribuyen a la mejora del conocimiento hidrogeológico e hidroquímico de las aguas objeto de este estudio, ya que de su interpretación se puede obtener información sobre la naturaleza de los materiales a través de los cuales ha circulado. Además contribuyen al conocimiento de la evolución hidroquímica de las aguas así como de los posibles intercambios iónicos habidos.

Cuando el valor de una relación iónica vinculada con un tipo de materiales es próximo a la unidad se establece que ha existido circulación a través de dichos materiales y, por lo tanto, la composición química del agua presenta la misma relación entre determinados iones que los materiales por los que ha circulado.

En la Tabla 11-3 figuran las relaciones iónicas que se han calculado. Las relaciones números 1 a 3 se han utilizado a fin de establecer el tipo de materiales a través de los cuales han podido circular las aguas. Las relaciones números 4 y 5 pueden poner de manifiesto cierta influencia en el quimismo debido a la circulación del agua a través de zonas con oxidación de sulfuros. La relación nº 6 (López-Chicano *et al.*, 2001) indica si los intercambios iónicos son más o menos significativos, siendo ésta menor cuanto mayor sea el intercambio entre los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} de la roca y los iones Na^+ y K^+ del agua. El índice de intercambio catiónico (icb) (relación nº 7) orienta sobre la existencia de sustitución del sodio del agua por el calcio de la roca (Custodio y Llamas, 1976) y en menor medida por el magnesio, ya que éste presenta una mayor retención (Hem, J., 1970). El valor del icb estará más próximo a cero cuanto menor sea la intensidad con que se verifiquen los intercambios entre el sodio y el potasio, por un lado, y el calcio y el magnesio, por el otro (Catalán, 1981). Cuando existe un intercambio del sodio y del potasio del agua por el calcio y el magnesio de la roca, el agua se endurece y el índice tiende a crecer (valores positivos); en el caso contrario, cuando en el agua se produce un ablandamiento éste tiende a disminuir (Custodio y Llamas, 1976; Catalán, 1981). En aguas en las que predominan los iones Cl^- y Na^+ puede existir ablandamiento sin que el valor del icb se vea afectado, por lo

que se suele calcular el icb (-) (relación nº 8), que se emplea, en general, cuando el icb es negativo (Custodio y Llamas, 1976).

Tabla 11-3.- Relaciones iónicas

Terrenos calcáreos	$\frac{r\text{HCO}_3^- + r\text{CO}_3^{2-}}{r\text{Ca}^{2+}} \quad (1)$		
Terrenos dolomíticos	$\frac{r\text{HCO}_3^- + r\text{CO}_3^{2-}}{r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}} \quad (2)$	$\frac{r\text{Mg}^{2+}}{r\text{Ca}^{2+}} \quad (3)$	
Probable oxidación de sulfuros	$\frac{r\text{HCO}_3^- + r\text{CO}_3^{2-} + r\text{SO}_4^{2-}}{r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}} \quad (4)$	$\frac{r\text{SO}_4^{2-}}{r\text{HCO}_3^-} \quad (5)$	
Intercambio iónico	$\frac{r\text{Na}^+ + r\text{K}^+}{r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}} \quad (6)$	icb: $\frac{r\text{Cl}^- - (r\text{Na}^+ + r\text{K}^+)}{r\text{Cl}^-} \quad (7)$	icb (-): $\frac{r\text{Cl}^- - (r\text{Na}^+ + r\text{K}^+)}{r\text{NO}_3^- + r\text{HCO}_3^- + r\text{SO}_4^{2-}} \quad (8)$

Por otra parte, se ha considerado de interés el cálculo de los índices de saturación a fin de establecer la estabilidad mineral de las muestras analizadas. Para ello se ha utilizado el programa PHREEQC-2, que está basado en el programa en Fortran PHREEQE (Parkhurst *et al.*, 1980) y ha sido diseñado para la realización de una amplia variedad de cálculos geoquímicos en aguas de baja temperatura. (http://wwwbrr.cr.usgs.gov/projects/GWC_coupled/phreeqc/)

11.2. RESULTADOS

11.2.1. DETERMINACIONES “IN SITU”

Los parámetros determinados “in situ” en el momento de la toma de muestra son: pH, conductividad eléctrica, temperatura del agua y temperatura ambiental. Los resultados obtenidos en las dos campañas de red de calidad realizadas hasta la fecha figuran en la Tabla 11-4 y Tabla 11-5. Los valores de temperatura de las muestras están comprendidos entre 10,2 °C y 21,7 °C, los datos más bajos corresponden a los

manantiales (entre 11,8 y 13 °C) y los más altos a los pozos mineros (16,6 y 21,7 °C). Las aguas procedentes de las bocaminas presentan valores comprendidos entre 10 y 17 °C.

En la Figura 11-4 se han representado los gráficos boxplot correspondientes a los valores de temperatura agrupados por tipos de agua en cada una de las dos campañas realizadas.

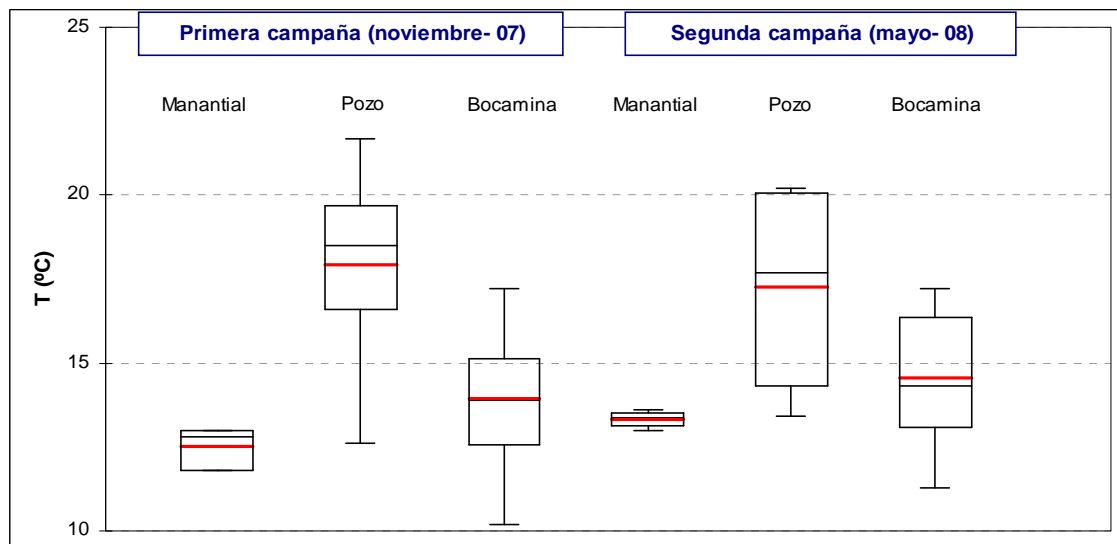


Figura 11-4.- Gráfico boxplot correspondiente a los valores de temperatura medidos “in situ”

La conductividad presenta valores que oscilan entre 200 y 1.700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 11-5). Las aguas procedentes de los manantiales presentan valores mucho más bajos que las que han circulado a través de las labores mineras, en general; cabe destacar que estos valores son algo más elevados en las que proceden de pozos mineros.

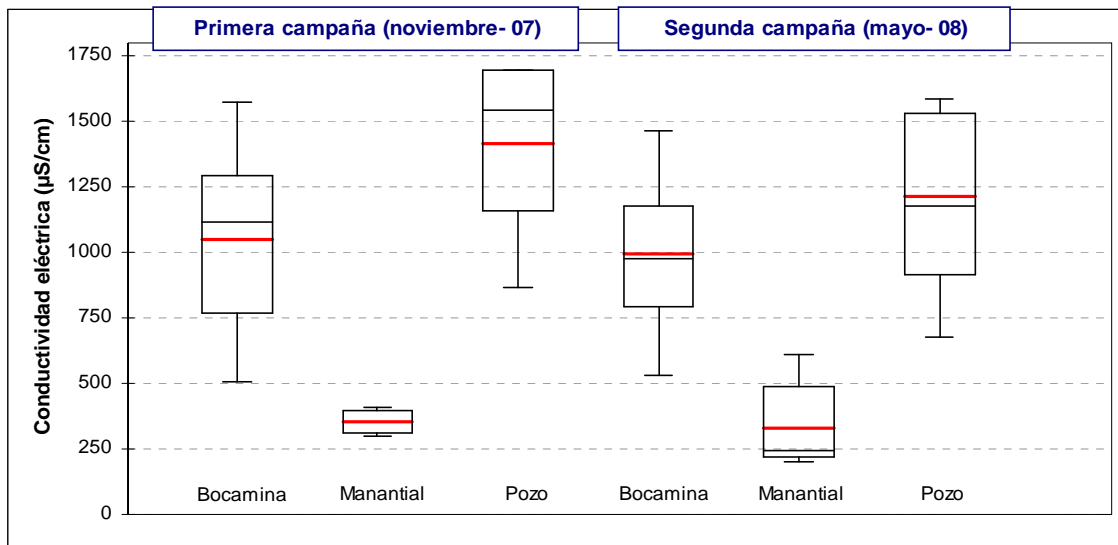


Figura 11-5.- Gráfico boxplot realizado con los valores de conductividad eléctrica del agua medidos “in situ”

Los valores de pH se encuentran en todos los casos en un rango entre 6,5 y 8,7. Mientras las aguas procedentes de bocaminas presentan un rango de pH más amplio, la mayor parte de los pozos mineros presentan valores comprendidos entre 7,5 y 8,5. En la segunda campaña realizada los valores mínimos de pH son ligeramente más elevados (Figura 11-6).

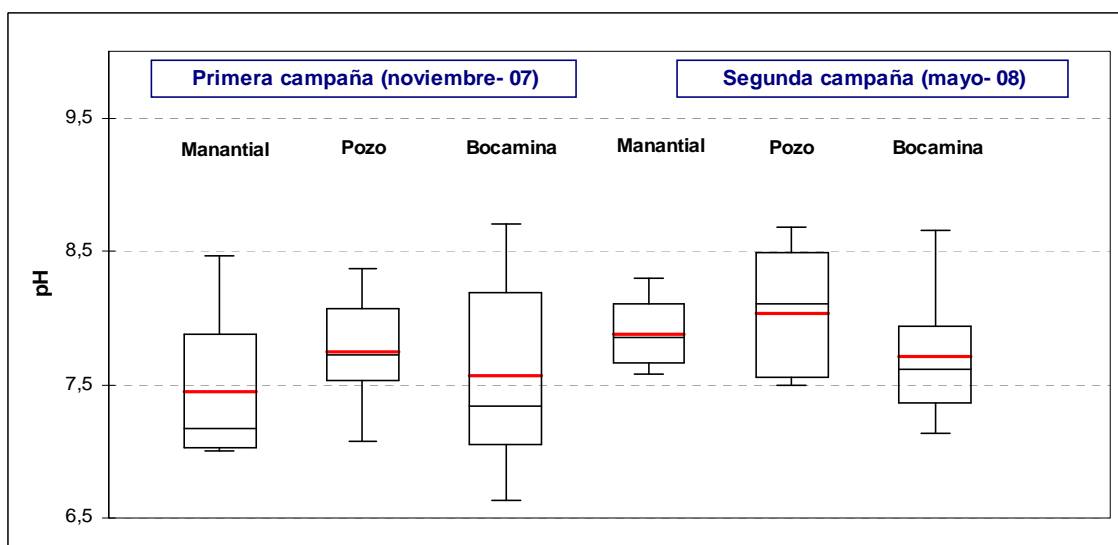


Figura 11-6.- Gráfico boxplot correspondiente a los valores de pH medidos “in situ”

Tabla 11-4.- Parámetros medidos in situ. Primera campaña de la red de calidad

ID IGME	NOMBRE	FECHA	pH	CE	Tªagua
1305-7-0056	Bocamina el Molinón	19/11/2007	7,29	657	11,2
1305-6-0096	Bocamina Marianas	19/11/2007	8,07	891	12,6
1305-6-0047	Bocamina Podrizos(II)	19/11/2007	6,74	1144	14,7
1305-6-0055	Bocamina Ppal San José	19/11/2007	7,34	1558	16,9
1305-6-0097	Bocamina Tarancón	19/11/2007	8,39	1119	15,4
1305-6-0094	Bocamina El Cabritero	19/11/2007	6,63	1575	12,5
1306-2-0011	Bocamina Canales	19/11/2007	6,84	783	12,9
1305-5-0008	Bocamina Mariana-Barredo	19/11/2007	7,42	1245	14,6
1305-5-0004	Bocamina Ortiz Sobrinos	19/11/2007	8,26	1172	13,9
1306-2-0012	Bocamina Pontones	18/12/2007	7,34	505	10,2
1305-6-0002	Bocamina San Víctor	19/11/2007	8,7	922	12,1
1305-7-0039	Bocamina San Fernando	19/11/2007	8,13	754	13,1
1305-6-0053	Bocamina de 1º Sto. Tomás-Repípe	19/11/2007	7,27	1346	14,9
1305-6-0121	Pozo Figaredo (S.Vicente)	19/12/2007	7,08	1607	17,2
1305-5-0009	Pozo Barredo	19/11/2007	7,77	1699	21,7
1305-6-0033	Pozo San Antonio	19/11/2007	8,07	867	16,6
1305-6-0035	Pozo San Jorge	19/11/2007	8,37	1160	17,8
1305-6-0006	Pozo San José	19/11/2007	7,67	1697	19,7
1305-6-0007	Pozo Santa Bárbara	19/11/2007	7,53	1481	19,2
1305-6-0010	Manantial Fte. El Fresno	19/11/2007	7,06	407	12,6
1305-6-0012	Manantial Fte. El Pueblo	19/11/2007	7	320	13
1305-6-0074	Manantial Fte. La Llera (La Amistad)	19/11/2007	7,29	302	12,8
1305-6-0005	Manantial Fte. Fuexo	19/11/2007	8,46	387	11,8

Tabla 11-5.- Parámetros medidos in situ. Segunda campaña de la red de calidad

ID IGME	NOMBRE	FECHA	pH	CE	Tªagua
1305-7-0056	Bocamina el Molinón	27/05/2008	7,61	719	12
1305-6-0096	Bocamina Marianas	28/05/2008	8,41	765	12,8
1305-6-0047	Bocamina Podrizos(II)	27/05/2008	7,13	1168	15,8
1305-6-0055	Bocamina Ppal San José	27/05/2008	7,56	1467	17
1305-6-0097	Bocamina Tarancón	28/05/2008	8,66	1184	17,2
1305-6-0094	Bocamina El Cabritero	27/05/2008	7,28	1318	13,2
1306-2-0011	Bocamina Canales	28/05/2008	7,27	820	13
1305-5-0008	Bocamina Mariana-Barredo	27/05/2008	7,45	978	13,9
1305-5-0004	Bocamina Ortiz Sobrinos	27/05/2008	8	1082	15
1306-2-0012	Bocamina Pontones	28/05/2008	7,87	528	11,3
1305-6-0002	Bocamina San Víctor	27/05/2008	7,72	1094	14,1
1305-7-0039	Bocamina San Fernando	28/05/2008	7,88	910	14,6
1305-6-0053	Bocamina de 1º Sto. Tomás-Repípe	27/05/2008	7,44	892	14,3
1305-6-0121	Pozo Figaredo (S.Vicente)	27/05/2008	7,5	1474	16,9
1305-6-0033	Pozo San Antonio	28/05/2008	8,3	676	15,2
1305-6-0035	Pozo San Jorge	28/05/2008	8,68	1158	20,2
1305-6-0006	Pozo San José	27/05/2008	7,6	1584	19,9
1305-6-0007	Pozo Santa Bárbara	27/05/2008	8,11	1175	17,7
1305-6-0010	Manantial Fte. El Fresno	28/05/2008	7,91	232	13,4
1305-6-0012	Manantial Fte. El Pueblo	28/05/2008	7,75	246	13,6
1305-6-0074	Manantial Fte. La Llera (La Amistad)	28/05/2008	7,85	202	13
1305-6-0005	Manantial Fte. Fuexo	27/05/2008	8,3	366	13,3
1305-6-0041	Manantial Fte. Los Valles	27/05/2008	7,58	608	13,4

11.2.2. ANÁLISIS QUÍMICOS

Los resultados de los análisis químicos de las muestras tomadas durante la primera (noviembre-diciembre de 2007) y segunda campaña (mayo 2008) figuran en las Tabla 11-6, Tabla 11-7, Tabla 11-9 y Tabla 11-10. Como ya se mencionó anteriormente, todos los análisis han sido realizados en el Laboratorio de Aguas del Instituto Geológico y Minero de España situado en Tres Cantos, Madrid. Igual que en el apartado anterior y en consonancia con la metodología llevada a cabo, los puntos muestreados en la red de calidad han sido agrupados en tres categorías según su naturaleza: pozos mineros, manantiales y bocaminas. Los valores máximos y mínimos de los parámetros mayoritarios obtenidos para cada grupo figuran en las Tabla 11-8 y Tabla 11-11; los parámetros minoritarios y traza no se han incluido en estas tablas, ya que serán comentados posteriormente.

El cloro está presente en todas las muestras con concentraciones que oscilan entre 2 y 14 mg/L. El sodio, también presente en todas las muestras de agua, presenta mayores concentraciones en las labores mineras, siendo por regla general, más elevadas en los pozos que en las bocaminas. Sin embargo en la bocamina Tarancón se ha analizado la mayor concentración en ambas campañas. El potasio aparece con concentraciones inferiores a 10 mg/L en todas las muestras, incluso en algunas no llega a alcanzar el límite de detección.

La concentración de bicarbonatos es variable y depende del valor del pH (Figura 11-7); además, se trata de un anión poco estable, por lo que las variaciones encontradas entre ambas campañas mostradas en los gráficos de la Figura 11-8, no se consideran significativas. En general, la concentración es mayor en las aguas que proceden de las labores mineras que en las que lo hacen de surgencias naturales. La mayor concentración en ambas campañas se corresponde con la bocamina Tarancón, en la que se midieron 720 y 660 mg/L en la primera y segunda campaña, respectivamente. Con el fin de mejorar la interpretación hidroquímica se procedió a la

determinación de la alcalinidad “in situ” con un titrador digital en las muestras de la segunda campaña. Los resultados obtenidos figuran en la Tabla 11-12, en la que se aprecian algunas diferencias entre la alcalinidad obtenida mediante titración y la calculada a partir de la concentración de bicarbonatos (la concentración de carbonatos es nula en todas las muestras). Estas diferencias pueden estar relacionadas con el hecho de que en los equilibrios carbónicos influyen el tiempo transcurrido entre la toma de la muestra y el momento de análisis, la temperatura y la desgasificación. Además puede influir la presencia de otros iones como fosfatos, boratos, sílice disuelta, hidróxidos y algunos compuestos orgánicos.

En la Figura 11-9 se han representado los gráficos box plot relativos a los cationes calcio y magnesio en ambas campañas, en miliequivalentes por litro, a fin de comparar su presencia. En general, las concentraciones más elevadas se han obtenido en aguas procedentes de labores mineras. El magnesio presenta rangos de concentración similares en bocaminas y pozos mineros (entre 180 y 6 mg/L) y las variaciones entre la primera campaña y la segunda son pequeñas, en términos generales. Las mayores concentraciones de calcio se localizan en aguas procedentes de bocaminas (entre 95 y 9 mg/L) y las variaciones en ambos sentidos en la presencia de este catión entre ambas campañas son algo mayores.

La concentración de sulfatos es superior, en general, en las aguas procedentes de las labores mineras. La máxima concentración, del orden de 450 mg/L, se ha medido en la bocamina El Cabritero, y la mínima en las bocaminas Pontones y Tarancón, cuyo valor en la primera campaña es próximo a 40-50 mg/L. Las aguas procedentes de los manantiales presentan un valor de concentración en sulfatos inferior a 70 mg/L en todos los casos, a excepción de la fuente de Los Valles, en la que se ha obtenido un valor de 150 mg/L (Figura 11-10).

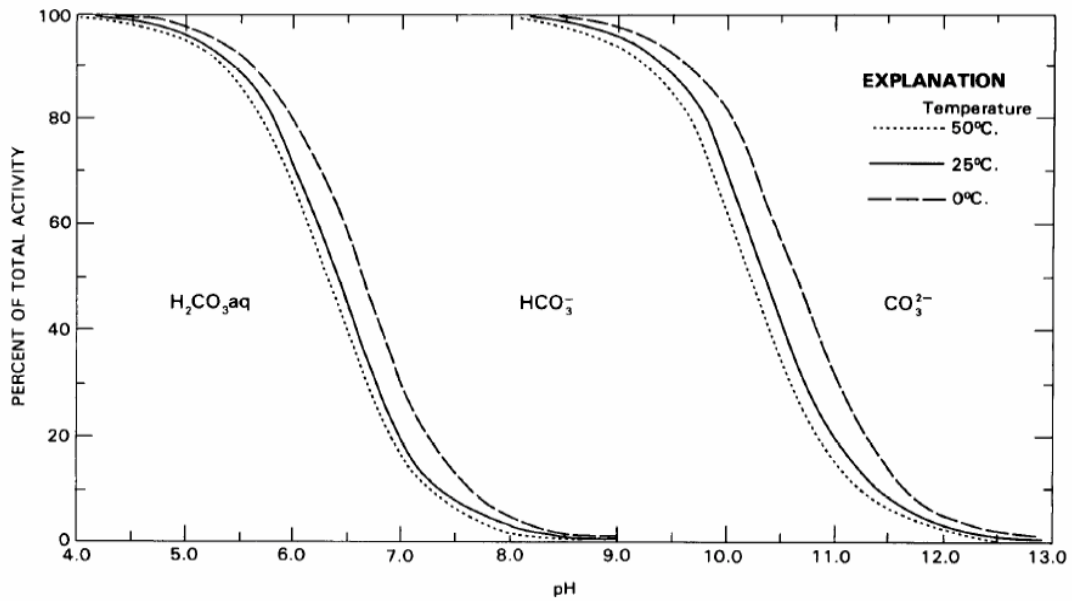


Figura 11-7.- Actividades, en porcentaje, de las especies de dióxido de carbono disueltas (1 atmósfera de presión y varias temperaturas) en función del pH (Hem, 1985)

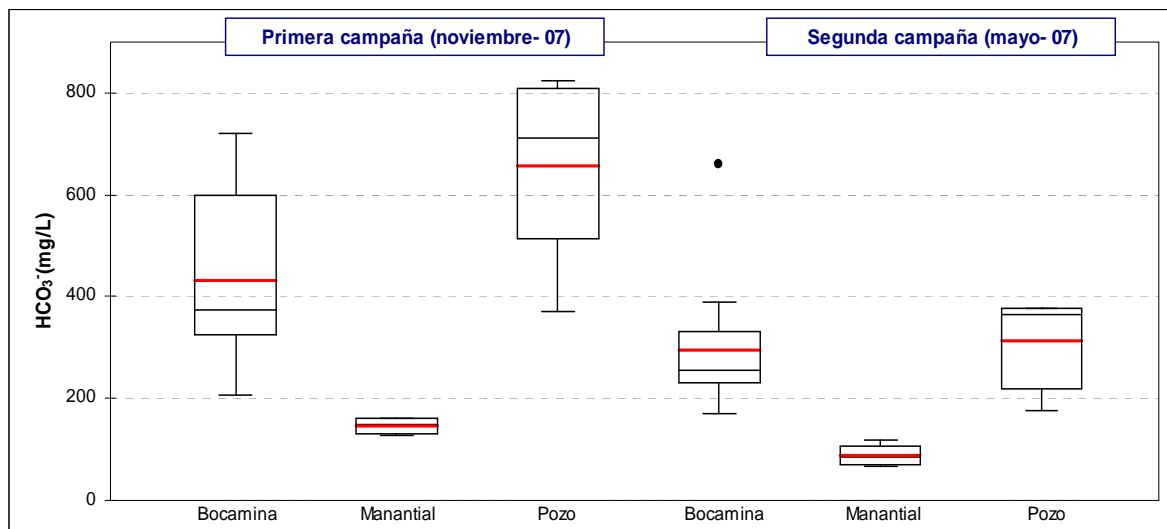


Figura 11-8.- Gráficos box plot de la concentración de bicarbonatos (mg/L)

Tabla 11-6.- Resultados de los análisis químicos de la primera campaña (noviembre/2007)

ID IGME		Fecha de toma	mg/L											
			RS	DQO	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	SiO ₂	NO ₃ ⁻
1305-7-0056	B. El Molinón	19/11/2007	414	0,7	74	21	3	3	0	325	86	47	5,9	1
1305-6-0096	B. Marianas	19/11/2007	583	1	63	32	2	4	0	282	244	106	4,9	6
1305-6-0047	B. Podrizos II	19/11/2007	864,2	0,6	180	62	6	6	0	640	160	10	8,9	0
1305-6-0055	B. Ppal San José	19/11/2007	1042	0,7	170	61	4	5	0	665	334	122	11,2	1
1305-6-0097	B. Tarancón	19/11/2007	785	0,9	6	10	2	5	12	720	42	292	10,2	1
1305-6-0094	B. El Cabritero	19/11/2007	1313	0,7	182	95	8	9	0	556	464	66	11,7	0
1306-2-0011	B. Canales	19/11/2007	518	0,5	125	29	0	6	0	425	82	15	11,7	1
1305-5-0008	B. Mariana (Bar.)	19/11/2007	930,6	0,5	166	55	4	10	0	432	322	43	10,7	
1305-5-0004	B. Ortiz Sobrinos	19/11/2007	685,6	0,5	132	56	3	10	0	330	280	19	13,6	1
1306-2-0012	B. Pontones	18/12/2007	299	0,5	45	9	0	2	0	208	56	43	6,1	1
1305-6-0002	B. San Víctor	19/11/2007	608,8	1	122	54	2	5	0	326	239	9	7,5	1
1305-7-0039	B. San Fernando	19/11/2007	448,8	0,6	64	22	4	5	0	341	98	70	7,5	1
1305-6-0053	B. Sto Tomás	19/11/2007	1010	0,8	160	72	4	11	0	374	380	25	9,3	2
1305-6-0121	P. Figaredo	19/12/2007	909,6	0,6	162	75	6	8	0	668	306	91	11,6	1
1305-5-0009	P. Barredo	19/11/2007	1095	0,9	102	66	8	10	0	758	280	201	10,7	1
1305-6-0033	P. San Antonio	19/11/2007	546,4	0,7	44	16	2	3	12	372	118	127	5,7	1
1305-6-0035	P. San Jorge	19/11/2007	822,4	8,4	49	27	3	6	0	513	222	216	7,9	1
1305-6-0006	P. San José	19/11/2007	1185	2	120	60	8	10	7,22	810	296	221	12,7	2
1305-6-0007	P. Santa Bárbara	19/11/2007	1010	2,1	96	45	8	11	0	824	150	209	11,8	1
1305-6-0010	F. El Fresno	19/11/2007	274,2	0,5	64	11	0	5	0	160	68	7	9,4	1
1305-6-0012	F. El Pueblo	19/11/2007	211,4	0,5	46	5	4	8	0	136	36	8	7,9	8
1305-6-0074	F. La Llera	19/11/2007	200,4	0,7	47	6	0	6	0	128	38	9	7,1	2
1305-6-0005	F. Fuexo	19/11/2007	223	0,5	56	12	0	5	0	161	55	8	7,4	1

Tabla 11-7.- Resultados de los análisis químicos de la primera campaña (noviembre/2007)

ID IGME		mg/L								µg/L							
		NO ₂ ⁻	F ⁻	NH ₄ ⁺	S ₂ ⁻	Al	Cu	PO ₄ ³⁻	Zn	Mn	Fe	As	Cd	Hg	Pb	Se	Cr
1305-7-0056	B. El Molinón	<0,05	<0,5	<0,05	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<10	128	11	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-6-0096	B. Marianas	<0,05	<0,5	<0,05	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<10	62	<5	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-6-0047	B. Podrizos II	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	149	<0,05	<0,05	<0,05	19	650	9	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-6-0055	B. Ppal San José	<0,05	<0,5	<0,05	1,206	<50	<0,05	<0,05	<0,05	45	120	<5	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-6-0097	B. Tarancón	<0,05	0,856	<0,05	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<10	83	10	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-6-0094	B. El Cabritero	<0,05	<0,5	0,21	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	82	2400	5	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1306-2-0011	B. Canales	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<10	127	15	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-5-0008	B. Mariana (Bar.)	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	42	28	<5	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-5-0004	B. Ortiz Sobrinos	<0,05	<0,5	<0,05	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	48	84	<5	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1306-2-0012	B. Pontones	<0,05	<0,5	<0,05	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<10	31	<5	1,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-6-0002	B. San Víctor	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	12	84	<5	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-7-0039	B. San Fernando	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<10	58	11	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-6-0053	B. Sto Tomás	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	77	25	<5	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-6-0121	P. Figaredo	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	116	420	<5	1,2	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-5-0009	P. Barredo	<0,05	<0,5	<0,05	1,206	<50	<0,05	<0,05	<0,05	77	193	<5	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-6-0033	P. San Antonio	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<10	51	9	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-6-0035	P. San Jorge	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<10	95	<5	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-6-0006	P. San José	<0,05	<0,5	<0,05	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	406	280	<5	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-6-0007	P. Santa Bárbara	<0,05	<0,5	0,27	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	383	2400	7	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-6-0010	F. El Fresno	<0,05	<0,5	<0,05	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	103	42	14	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-6-0012	F. El Pueblo	<0,05	<0,5	<0,05	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	30	29	12	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-6-0074	F. La Llera	<0,05	<0,5	<0,05	1,206	135	<0,05	<0,05	<0,05	<10	67	15	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5
1305-6-0005	F. Fuexo	<0,05	<0,5	<0,05	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<10	<20	<5	<0,5	<0,5	<5	<5	<2,5

Tabla 11-8.- Valores máximos y mínimos de la primera campaña (noviembre/2007)

		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ⁻	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	K ⁺	SiO ₂	RS	sulfuros
Bocamina	máximo	11	464	720	12	6	292	95	182	8	13,6	1312,8	1,206
	mínimo	2	42	208	0	0	9	9	6	0	4,9	299	0,402
Pozo	máximo	11	306	824	12	2	221	75	162	8	12,7	1185,2	1,206
	mínimo	3	118	372	0	1	91	16	44	2	5,7	546,4	0,402
Manantial	máximo	8	68	161	0	8	9	12	64	4	9,4	274,2	1,206
	mínimo	5	36	128	0	1	7	5	46	0	7,1	200,4	0,804

Tabla 11-9.- Resultados de los análisis químicos de la segunda campaña (mayo/2008)

ID IGME		Fecha de toma	mg/L											
			RS	DQO	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	SiO ₂	NO ₃ ⁻
1305-7-0056	B. El Molinón	27/05/2008	464,6	0,6	64	26	42	3	6	0	242	132	4,7	1
1305-6-0096	B. Marianas	28/05/2008	495	0,7	58	33	77	2	8	0	232	217	3,7	2
1305-6-0047	B. Podrizos II	27/05/2008	794,6	0,5	120	60	10	6	8	0	362	231	6,7	0
1305-6-0055	B. Ppal San José	27/05/2008	1020	0,5	114	65	95	4	9	0	388	380	7,5	1
1305-6-0097	B. Tarancón	28/05/2008	765,4	0,7	6	14	296	2	9	0	660	124	7,3	2
1305-6-0094	B. El Cabritero	27/05/2008	908	0,5	103	76	46	6	12	0	274	448	6,9	1
1306-2-0011	B. Canales	28/05/2008	548,2	0,5	93	29	15	1	10	0	272	124	9,3	1
1305-5-0008	B. Mariana (Bar.)	27/05/2008	669,4	0,6	105	48	23	3	12	0	228	272	6,8	2
1305-5-0004	B. Ortiz Sobrinos	27/05/2008	680,2	0,5	94	54	18	3	12	0	234	258	10,6	1
1306-2-0012	B. Pontones	28/05/2008	316	0,5	49	14	36	<1	8	0	171	90	5,1	1
1305-6-0002	B. San Victor	27/05/2008	815,2	0,5	120	70	8	2	10	0	255	340	5,3	2
1305-7-0039	B. San Fernando	28/05/2008	578	0,7	58	30	68	4	8	0	298	140	6	1
1305-6-0053	B. Sto Tomás	27/05/2008	633,4	0,6	94	42	13	3	14	0	202	208	6,2	4
1305-6-0121	P. Figaredo	27/05/2008	1046	0,8	106	76	67	5	14	0	366	358	9,2	2
1305-6-0033	P. San Antonio	28/05/2008	430,4	0,7	50	17	65	2	8	0	175	160	4,2	2
1305-6-0035	P. San Jorge	28/05/2008	751,6	1	34	35	191	3	8	0	376	284	5,3	2
1305-6-0006	P. San José	27/05/2008	1084	0,8	87	78	114	5	11	0	378	410	8,9	2
1305-6-0007	P. Santa Bárbara	27/05/2008	743	0,7	70	49	73	4	14	0	264	266	7,6	2
1305-6-0010	F. El Fresno	28/05/2008	157,2	0,5	35	6	5	<1	8	0	95	28	5,8	2
1305-6-0012	F. El Pueblo	28/05/2008	162,4	0,6	30	4	7	4	11	0	73	22	6,7	11
1305-6-0074	F. La Llera	28/05/2008	133,8	0,5	25	5	7	1	9	0	66	25	5,5	3
1305-6-0005	F. Fuexo	27/05/2008	229,8	1,2	46	11	8	<1	10	0	118	55	5,8	2
1305-6-0041	F. Los Valles	27/05/2008	406	0,6	82	23	11	7	13	0	158	154	5	11

Tabla 11-10.- Resultados de los análisis químicos de la segunda campaña (mayo/2008)

ID IGME		mg/L								µg/L							
		NO ₂ ⁻	F ⁻	NH ₄ ⁺	S ₂ ⁻	Al	Cu	PO ₄ ³⁻	Zn	Mn	Fe	As	Cd	Hg	Pb	Se	Cr
1305-7-0056	B. El Molinón	<0,05	<0,5	<0,05	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	18	88	<5	<0,5	<5	<5	<2,5	
1305-6-0096	B. Marianas	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	12	36	<5	0,79	<5	<5	<2,5	
1305-6-0047	B. Podrizos II	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	149	295	<5	<0,5	<5	<5	<2,5	
1305-6-0055	B. Ppal San José	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	38	113	<5	0,67	<5	<5	<2,5	
1305-6-0097	B. Tarancón	<0,05	0,578	<0,05	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<10	86	<5	0,53	<5	<5	<2,5	
1305-6-0094	B. El Cabritero	<0,05	<0,5	<0,05	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	280	142	<5	<0,5	<5	<5	<2,5	
1306-2-0011	B. Canales	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	140	73	<5	0,54	<5	<5	<2,5	
1305-5-0008	B. Mariana (Bar.)	<0,05	<0,5	<0,05	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	20	58	<5	0,53	<5	<5	<2,5	
1305-5-0004	B. Ortiz Sobrinos	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	137	320	<5	0,94	<5	<5	<2,5	
1306-2-0012	B. Pontones	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<10	22	<5	0,52	<5	<5	<2,5	
1305-6-0002	B. San Victor	<0,05	<0,5	<0,05	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	10	38	<5	0,55	<5	<5	<2,5	
1305-7-0039	B. San Fernando	<0,05	<0,5	<0,05	1,206	<50	<0,05	<0,05	<0,05	39	135	<5	0,56	<5	<5	<2,5	
1305-6-0053	B. Sto Tomás	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<10	23	<5	0,61	<5	<5	<2,5	
1305-6-0121	P. Figaredo	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	168	500	<5	<0,5	<5	<5	<2,5	
1305-6-0033	P. San Antonio	<0,05	<0,5	<0,05	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	12	126	<5	0,6	<5	<5	<2,5	
1305-6-0035	P. San Jorge	<0,05	<0,5	<0,05	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<10	64	<5	0,57	<5	<5	<2,5	
1305-6-0006	P. San José	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	380	1410	<5	<0,5	<5	<5	<2,5	
1305-6-0007	P. Santa Bárbara	<0,05	<0,5	<0,05	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	77	168	<5	<0,5	<5	<5	<2,5	
1305-6-0010	F. El Fresno	<0,05	<0,5	<0,05	0,804	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<10	31	<5	<0,5	<5	<5	<2,5	
1305-6-0012	F. El Pueblo	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<10	<20	<5	<0,5	<5	<5	<2,5	
1305-6-0074	F. La Llera	<0,05	<0,5	<0,05	0,402	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<10	25	<5	<0,5	<5	<5	<2,5	
1305-6-0005	F. Fuexo	<0,05	<0,5	<0,05	1,206	<50	<0,05	<0,05	<0,05	<10	20	<5	0,55	<5	<5	<2,5	
1305-6-0041	F. Los Valles		<0,5	<0,05	1,206	<50	<0,05		<0,05	<10	<20	<5	<0,5	<5	<5	<2,5	

Tabla 11-11.- Valores máximos y mínimos de la segunda campaña (mayo/2008)

		Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	SiO ₂	NO ₃ ⁻	RS	sulfuros
Bocamina	máximo	120	76	296	6	14	0	660	448	10,6	4	1020	1,206
	mínimo	6	14	8	1	6	0	171	90	3,7	0	316	0,402
Pozo	máximo	106	78	191	5	14	0	378	410	9,2	2	1084	0,804
	mínimo	34	17	65	2	8	0	175	160	4,2	2	430,4	0,402
Manantial	máximo	46	11	8	4	11	0	118	55	6,7	11	229,8	1,206
	mínimo	25	4	5	1	8	0	66	22	5,5	2	133,8	0,402

Tabla 11-12.-Alcalinidad medida “in situ” y alcalinidad calculada (segunda campaña)

		HCO ₃ ⁻ (mg/L)	Alcalinidad TAC (mg/L CaCO ₃)	
			medida	calculada*
1305-7-0056	Bocamina El Molinón	242	246	198,36
1305-6-0096	Bocamina Marianas	232	233	190,16
1305-6-0047	Bocamina Podrizos II	362	-	296,72
1305-6-0055	Bocamina Ppal. San José	388	439	318,03
1305-6-0097	Bocamina Tarancón	660	468	540,98
1305-6-0094	Bocamina El Cabritero	274	314	224,59
1306-2-0011	Bocamina Canales	272	334	222,95
1305-5-0008	Bocamina Mariana-Barredo	228	265	186,89
1305-5-0004	Bocamina Ortíz Sobrinos	234	275	191,80
1306-2-0012	Bocamina Pontones	171	174	140,16
1305-6-0002	Bocamina San Víctor	255	295	209,02
1305-7-0039	Bocamina San Fernando	298	334	244,26
1305-6-0053	Bocamina Sto Tomás	202	274	165,57
1305-6-0121	Pozo Figaredo	366	459	300,00
1305-6-0033	Pozo San Antonio	175	196	143,44
1305-6-0035	Pozo San Jorge	376	384	308,20
1305-6-0006	Pozo San José	378	501	309,84
1305-6-0007	Pozo Santa Bárbara	264	370	216,39
1305-6-0010	Fuente El Fresno	95	86	77,87
1305-6-0012	Fuente El Pueblo	73	69	59,84
1305-6-0074	Fuente La Llera	66	63	54,10
1305-6-0005	Fuente Fuexo	118	127	96,72
1305-60041	Fuente Los Valles	158	161	129,51

*TAC calculada (mg/L CaCO₃)=HCO₃⁻(mg/L)/1,22

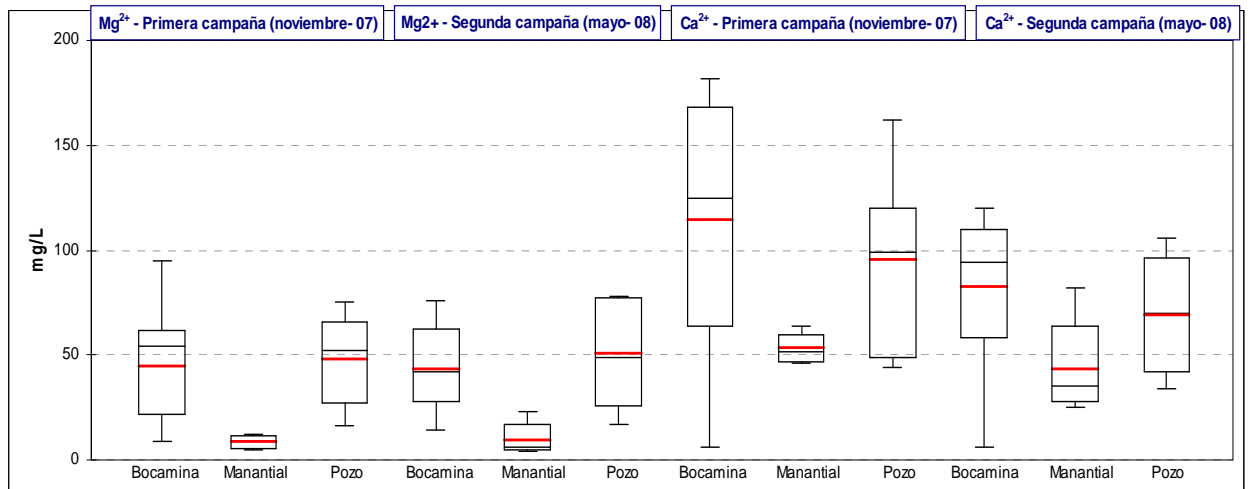


Figura 11-9.- Gráficos box plot de la concentración de magnesio y calcio (meq/L)

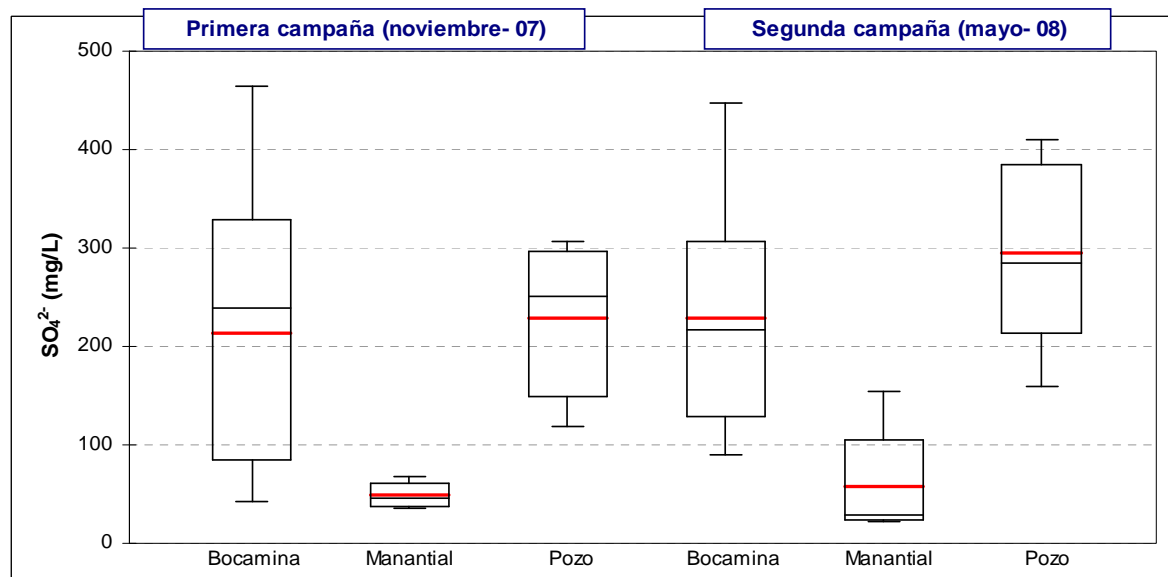


Figura 11-10.- Gráficos box plot de la concentración de sulfatos (mg/L)

El contenido en hierro en las tres categorías establecidas se muestra gráficamente en la Figura 11-11. Cabe destacar que el contenido en este parámetro es mucho menor en los manantiales que en las labores mineras (pozos y bocaminas). En las bocaminas todas las muestras están incluidas en un rango de 25-400 µg/L, excepto en el caso de las bocaminas Podrizos II y el Cabritero, en la primera campaña, cuyos valores ascienden a 650 y 2400 µg/L, respectivamente. En los pozos mineros el rango

está comprendido entre 50 y 300 $\mu\text{g/L}$, a excepción, en la primera campaña, de los pozos Figaredo y Santa Bárbara, cuyos valores son de 420 y 2400 $\mu\text{g/L}$, respectivamente, y en la segunda los pozos Figaredo y San José, con valores de 500 y 1410 $\mu\text{g/L}$.

Entre los elementos traza y minoritarios analizados, no presentan valores superiores a los límites de detección en ninguna muestra los siguientes: cobre, mercurio, plomo, selenio y cromo, y el cinc únicamente lo supera en la muestra procedente de la bocamina Marianas, en la segunda campaña, con una concentración de 0,06 mg/L.

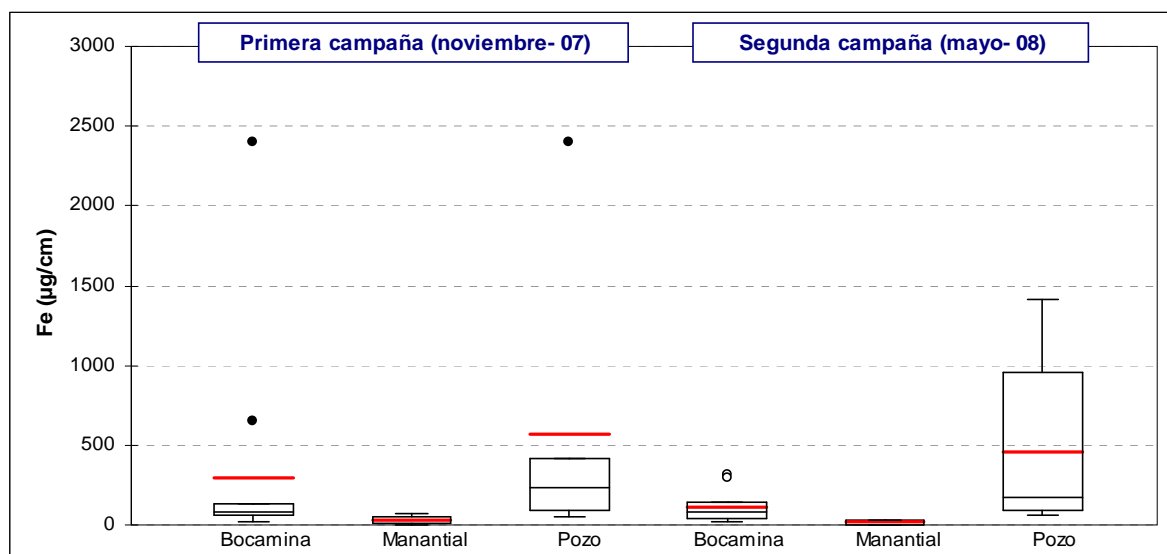


Figura 11-11.- Gráficos box plot de la concentración de hierro ($\mu\text{g/L}$).

El cadmio ha sido detectado en algunas muestras con concentraciones que en ningún caso sobrepasan los límites establecidos en la legislación vigente (RD 140/2003). Los puntos en los que se ha detectado se relacionan a continuación agrupados por naturaleza:

- Bocaminas: en la bocamina Pontones en ambas campañas; y únicamente en la

segunda campaña en todas las de este tipo excepto en El Molinón, Podrizos y El Cabritero.

- Pozos: en el Pozo Figaredo en la primera campaña y San Antonio y San Jorge en la segunda.
- Manantiales: en la fuente de Los Valles en la segunda campaña (en la primera no fue muestreada).

El aluminio está presente en la primera campaña en las muestras procedentes de la bocamina Podrizos II (149 $\mu\text{g/L}$) y de la Fuente La Llera (135 $\mu\text{g/L}$). El fluoruro únicamente aparece en la bocamina Tarancón, con un valor de 0,86 mg/L en la primera campaña y de 0,58 mg/L en la segunda.

El manganeso está presente en los tres tipos de aguas con concentraciones variables, desde valores inferiores al límite de detección (10 $\mu\text{g/L}$) hasta un máximo de 400 $\mu\text{g/L}$, medidos en el Pozo San José. En la primera campaña está presente en todos los pozos salvo San Antonio y San Jorge, en los que sus valores están por debajo del límite de detección; en las muestras que proceden de bocaminas no supera el valor de 90 $\mu\text{g/L}$; y en el caso de los manantiales, únicamente la Fuente El Fresno presenta un valor de 103 $\mu\text{g/L}$, siendo en el resto inferior a 50 $\mu\text{g/L}$. En términos generales, en la segunda campaña los valores de concentración son mayores, con excepciones, detectándose su presencia en todos los pozos y bocaminas muestreados, a excepción del pozo San Jorge y las bocaminas Tarancón, Pontones y Santo Tomás. La máxima variación entre los valores obtenidos en la primera y segunda campaña tiene lugar en el pozo Santa Bárbara, con una disminución de 300 $\mu\text{g/L}$ Figura 11-12.

El arsénico en la primera campaña está presente en todas las muestras procedentes de manantiales, excepto en la Fuente Fuexo, con una concentración media de 14 $\mu\text{g/L}$. Sólo en dos de los pozos mineros analizados (San Antonio y Santa Bárbara) el valor del arsénico supera ligeramente el límite de detección, establecido

en 5 µg/L. En las muestras procedentes de algunas de las bocaminas se supera el límite de detección, no siendo en ningún caso mayor de 15 µg/L; éstas, ordenadas de menor a mayor concentración, son: El Cabritero, Podrizos II, Tarancón, El Molinón, San Fernando y Canales. Sin embargo, en la segunda campaña no se ha superado el límite de detección en ninguna de las muestras analizadas.

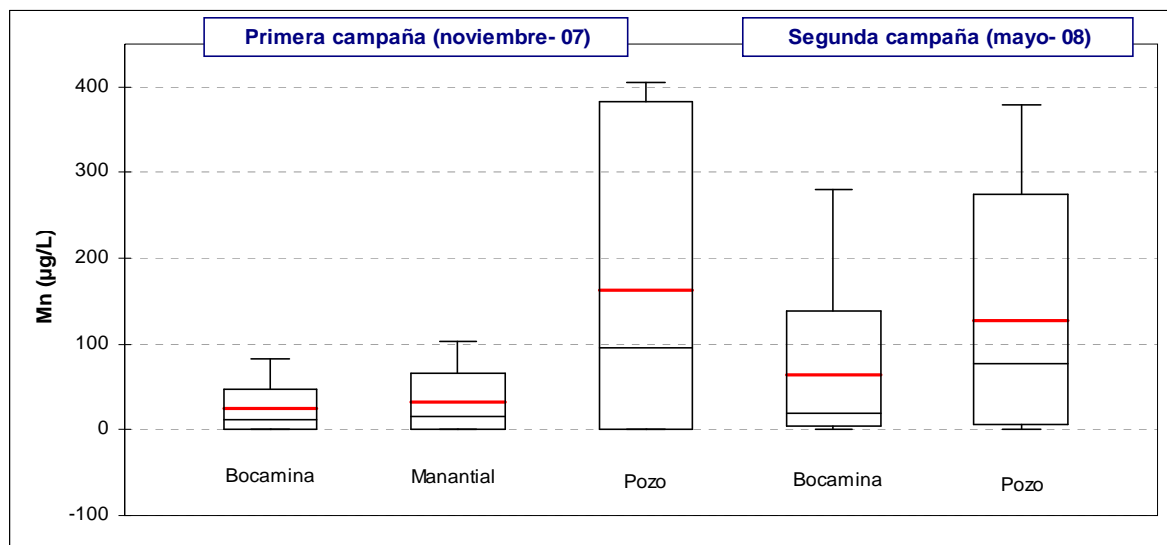


Figura 11-12.- Gráficos box plot de la concentración de manganeso (µg/L)

11.2.3. CARACTERIZACIÓN HIDROQUÍMICA, REPRESENTACIONES GRÁFICAS, RELACIONES IÓNICAS Y CORRELACIÓN ESTADÍSTICA

Caracterización hidroquímica

La caracterización hidroquímica de las muestras se ha realizado atendiendo a su facies hidroquímica, mineralización y dureza, según los criterios comentados en el apartado de metodología (11.1.4)

El agua procedente de los pozos mineros incluidos en la red de calidad

presenta, en ambas campañas, mineralización notable y dureza variable entre media (en los pozos situados en la cuenca del río Aller) y muy dura o dura (pozos Barredo, Figaredo, San José y Santa Bárbara). En la primera campaña, la facies aniónica es bicarbonatada sulfatada, excepto en el Pozo Santa Bárbara, que es bicarbonatada, mientras que en la segunda presentan facies sulfatada bicarbonatada los pozos San José y Santa Bárbara. La facies catiónica en la primera campaña es predominantemente sódica o sódico cálcica, excepto en el Pozo Barredo, que es sódico magnésica. En la muestra del Pozo Figaredo ningún catión supera el 50%, siendo los más abundantes el calcio y el magnesio. Lo mismo sucede en la segunda campaña, en la que en la mayoría de las muestras ninguna especie supera el 50%, a excepción del Pozo San Jorge, en el que el ión dominante es el sodio.

Todas las muestras procedentes de bocaminas presentan una mineralización notable en ambas campañas; el valor de dureza es variable, en un rango entre 150 y 700 ppm CaCO_3 , excepto en el caso de la muestra de la bocamina Tarancón, cuyos valores en la primera y segunda campaña son, respectivamente, 57 y 73 ppm CaCO_3 (blanda). Las mayores variaciones en la dureza entre la primera y segunda campaña tienen lugar en las bocaminas Podrizos II, El Cabritero, Mariana-Barredo y Santo Tomás, en las que se produce un ablandamiento del agua. La facies aniónica es bicarbonatada sulfatada o sulfatada bicarbonatada en todas, excepto en las aguas procedentes de las bocaminas El Molinón, Podrizos II, Tarancón y Canales, en la primera campaña, y en Tarancón en la segunda, que es bicarbonatada. La facies catiónica, aunque variable, es mayoritariamente cálcico magnésica, si bien en ocasiones ninguna especie supera el 50% del total catiónico, y es sódica en Tarancón, en ambas campañas, y en Pontones, en la primera.

Todos los manantiales muestreados presentan mineralización ligera y dureza media. La facies aniónica es bicarbonatada sulfatada o bicarbonatada en todos los casos, excepto en la Fuente de Los Valles, que es sulfatada bicarbonatada, y la facies secundaria es cálcica en todas las muestras a excepción de Fuexo y Los Valles, que es

cálcico magnésica.

Atendiendo a los valores de residuo seco que presentan las muestras analizadas, se considera que todas las aguas se pueden clasificar como agua dulce, ya que ninguna supera los 2000 ppm, tanto en la primera como en la segunda campaña realizada. La concentración del anión HCO_3^- es mayor en casi todos los casos que 100 mg/L, por lo que la alcalinidad se puede clasificar como muy alta respecto al bicarbonato; únicamente las muestras de las fuentes El Pueblo y La Llera presentan una concentración de bicarbonatos menor de 75 mg/L (alcalinidad baja respecto al bicarbonato).

Representaciones gráficas

La representación de los análisis en el diagrama de Piper (Figura 11-13) muestra la agrupación predominante de las aguas procedentes de pozos mineros en el sector central del diagrama en la primera campaña, mientras que en la segunda campaña son desplazados hacia los sectores cálcico magnésicos (excepto el Pozo San Jorge). La distribución de las aguas que proceden de bocaminas es más variable, y destaca en ambas campañas la situación de la bocamina Tarancón, en la zona inferior del sector de aguas bicarbonatadas sódicas. La situación de los manantiales apenas varía entre ambas campañas. Los diagramas de Stiff elaborados para cada punto se han incluido en el mapa hidroquímico (mapa II.6) elaborado con los datos de la ambas campañas.

Tabla 11-13.- Caracterización hidroquímica. Primera campaña

ID IGME	NOMBRE	Facies hidroquímica*		Dureza	Mineralización
1305-7-0056	B. El Molinón	bicarbonatada	cálcica-sódica	media	notable
1305-6-0096	B. Marianas	sulfatada bicarbonatada	sódica-cálcica	media	notable
1305-6-0047	B. Podrizos II	bicarbonatada	cálcica magnésica	muy dura	notable
1305-6-0055	B. Ppal. San José	bicarbonatada sulfatada	cálcica-sódica	muy dura	notable
1305-6-0097	B. Tarancón	bicarbonatada	sódica	blanda	notable
1305-6-0094	B. El Cabritero	sulfatada bicarbonatada	cálcica-magnésica	muy dura	notable
1306-2-0011	B. Canales	bicarbonatada	cálcica magnésica	dura	notable
1305-5-0008	B. Mariana (Bar.)	bicarbonatada sulfatada	cálcica magnésica	dura	notable
1305-5-0004	B. Ortiz Sobrinos	sulfatada bicarbonatada	cálcica magnésica	dura	notable
1306-2-0012	B. Pontones	bicarbonatada sulfatada	sódica	media	notable
1305-6-0002	B. San Víctor	bicarbonatada sulfatada	cálcica magnésica	dura	notable
1305-7-0039	B. San Fernando	bicarbonatada sulfatada	cálcica-sódica	media	notable
1305-6-0053	B. Sto. Tomás	sulfatada bicarbonatada	cálcica magnésica	muy dura	notable
1305-6-0121	P. Figaredo	bicarbonatada sulfatada	cálcica-magnésica	muy dura	notable
1305-5-0009	P. Barredo	bicarbonatada sulfatada	sódica magnésica	dura	notable
1305-6-0033	P. San Antonio	bicarbonatada sulfatada	sódica	media	notable
1305-6-0035	P. San Jorge	bicarbonatada sulfatada	sódica	media	notable
1305-6-0006	P. San José	bicarbonatada sulfatada	sódica cálcica	dura	notable
1305-6-0007	P. Santa Bárbara	bicarbonatada	sódica cálcica	dura	notable
1305-6-0010	F. El Fresno	bicarbonatada sulfatada	cálcica	media	ligera
1305-6-0012	F. El Pueblo	bicarbonatada	cálcica	media	ligera
1305-6-0074	F. La Llera	bicarbonatada sulfatada	cálcica	media	ligera
1305-6-0005	F. Fuexo	bicarbonatada sulfatada	cálcica	media	ligera

* la ausencia de facies predominante (ninguna especie supera el 50%) se señala uniendo con un guión las dos facies mayoritarias

Tabla 11-14.- Caracterización hidroquímica. Segunda campaña *

ID IGME	NOMBRE	Facies hidroquímica		Dureza	Mineraliz.
1305-7-0056	B. El Molinón	bicarbonatada sulfatada	cálcica-magnésica	media	notable
1305-6-0096	B. Marianas	sulfatada bicarbonatada	sódica-cálcica	media	notable
1305-6-0047	B. Podrizos II	bicarbonatada sulfatada	cálcica magnésica	dura	notable
1305-6-0055	B. Ppal. San José	sulfatada bicarbonatada	cálcica-magnésica	dura	notable
1305-6-0097	B. Tarancón	bicarbonatada	sódica	blanda	notable
1305-6-0094	B. El Cabritero	sulfatada bicarbonatada	magnésica-cálcica	dura	notable
1306-2-0011	B. Canales	bicarbonatada sulfatada	cálcica magnésica	dura	notable
1305-5-0008	B. Mariana (Bar.)	sulfatada bicarbonatada	cálcica magnésica	dura	notable
1305-5-0004	B. Ortiz Sobrinos	sulfatada bicarbonatada	cálcica-magnésica	dura	notable
1306-2-0012	B. Pontones	bicarbonatada sulfatada	sódica-cálcica	media	notable
1305-6-0002	B. San Víctor	sulfatada bicarbonatada	cálcica-magnésica	dura	notable
1305-7-0039	B. San Fernando	bicarbonatada sulfatada	sódica-cálcica	media	notable
1305-6-0053	B. Sto. Tomás	sulfatada bicarbonatada	cálcica magnésica	dura	notable
1305-6-0121	P. Figaredo	bicarbonatada sulfatada	magnésica-cálcica	dura	notable
1305-6-0033	P. San Antonio	bicarbonatada sulfatada	sódica-cálcica	media	notable
1305-6-0035	P. San Jorge	bicarbonatada sulfatada	sódica	media	notable
1305-6-0006	P. San José	sulfatada bicarbonatada	magnésica-sódica	dura	notable
1305-6-0007	P. Santa Bárbara	sulfatada bicarbonatada	magnésica- cálcica	dura	notable
1305-6-0010	F. El Fresno	bicarbonatada	cálcica	blanda	ligera
1305-6-0012	F. El Pueblo	bicarbonatada	cálcica	blanda	ligera
1305-6-0074	F. La Llera	bicarbonatada sulfatada	cálcica	blanda	ligera
1305-6-0005	F. Fuexo	bicarbonatada sulfatada	cálcica magnésica	media	ligera
1305-6-0041	F. Los Valles	sulfatada bicarbonatada	cálcica magnésica	muy blanda	notable

* la ausencia de facies predominante (ninguna especie supera el 50%) se señala uniendo con un guión las dos facies mayoritarias

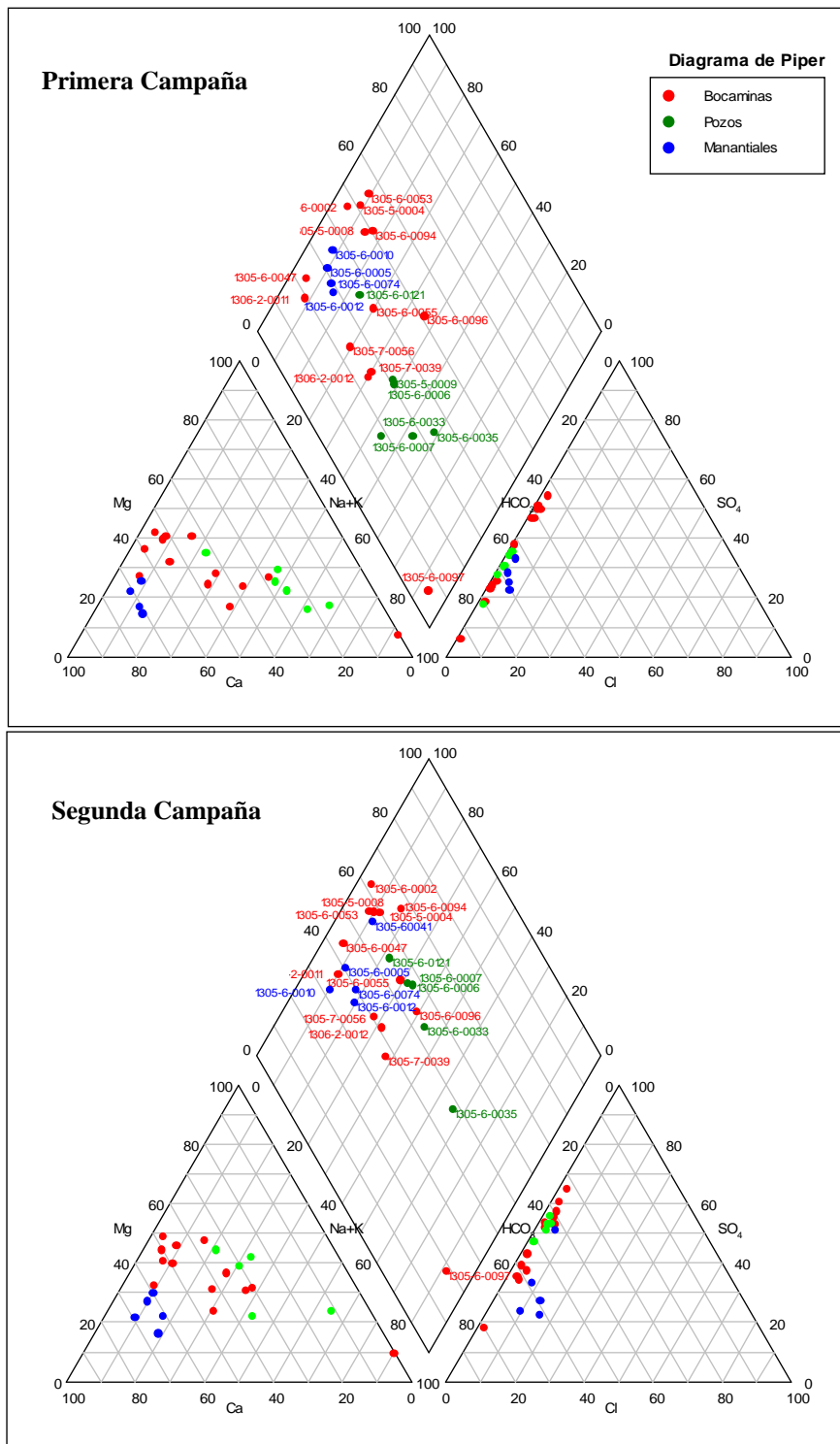


Figura 11-13.- Diagramas de Piper para las muestras tomadas en la primera y segunda campañas

Relaciones iónicas

El estudio de algunas relaciones iónicas de un agua permite mejorar la interpretación hidrogeoquímica del agua subterránea; además, aporta información sobre la existencia de procesos como la oxidación de sulfuros, la disolución de carbonatos o procesos de intercambio catiónico (Custodio y Llamas, 1983). Los valores de las relaciones iónicas calculadas se muestran en la Tabla 11-15 que siguiendo la metodología expuesta anteriormente son las que figuran en la Tabla 11-3.

Las relaciones que hacen referencia al equilibrio con litologías calcáreas y dolomíticas indican una mayor presencia de las primeras en las aguas que proceden de manantiales, a excepción de la Fuente Los Valles, en la que no se aprecia relación clara con ninguna de estas litologías. En las aguas que proceden de bocaminas mineras los valores obtenidos para esta relación permiten deducir una interpretación similar, con la salvedad de la bocamina Tarancón, cuyo valor es muy superior a la unidad, y de las bocaminas Molinón y Marianas, en las que la influencia de dichas litologías no es evidente. En los pozos mineros estas relaciones presentan valores superiores a la unidad en todas las muestras analizadas, excepto en el Pozo Barredo para la relación (2) en la primera campaña y en los pozos Figaredo y San Antonio para la relación (1) en la segunda. La relación (3), que se considera indicativo de disolución de litologías dolomíticas, muestra valores muy variables: mientras que en las aguas procedentes de manantiales es siempre menor que 0,5, en las aguas procedentes de labores mineras, salvo alguna excepción, es menor que la unidad en las muestras tomadas en la primera campaña y presenta valores mayores en la segunda campaña, lo que representa un enriquecimiento en el catión Mg^{2+} respecto al catión Ca^{2+} .

Las relaciones (4) y (5) hacen referencia a la oxidación de sulfuros. Mientras que las únicas diferencias observadas en los valores de la relación (4) entre los distintos grupos de aguas consisten en valores ligeramente más elevados en las aguas procedentes de los pozos, en lo que respecta a la relación (5) el valor obtenido en las muestras procedentes de manantiales es inferior a 0,6 en todas ellas, a excepción de la

Fuente de Los Valles, por lo que parece indicar que los procesos de oxidación de sulfuros son de menor importancia en las aguas procedentes de manantiales.

En el gráfico de la Figura 11-14 se ha representado la correlación entre el contenido en sulfatos y en bicarbonatos; en ella se observa que una gran parte de las muestras tomadas durante la segunda campaña, junto con algunas bocaminas muestreadas durante la primera campaña, presentan un valor próximo o superior a la unidad. Sin embargo, las muestras tomadas durante la primera campaña procedentes de pozos mineros, junto con algunas procedentes de bocaminas se sitúan en la parte inferior del diagrama, de lo que se deduce un incremento, en general, de la concentración de sulfatos respecto a la de bicarbonatos tras la época de lluvias.

Las relaciones que estudian la presencia de intercambios catiónicos (n^{os} 6, 7 y 8) reflejan que existe una gran diferencia entre las aguas procedentes de manantiales, con valores de icb comprendidos entre 0 y -1,5, y las procedentes de las labores mineras, en las que dicho índice presenta valores más negativos. Los valores del icb correspondientes a la segunda campaña son menos negativos que los de la primera campaña en prácticamente todas las muestras, hecho que se puede relacionar con valores menores de la concentración de sodio en el agua.

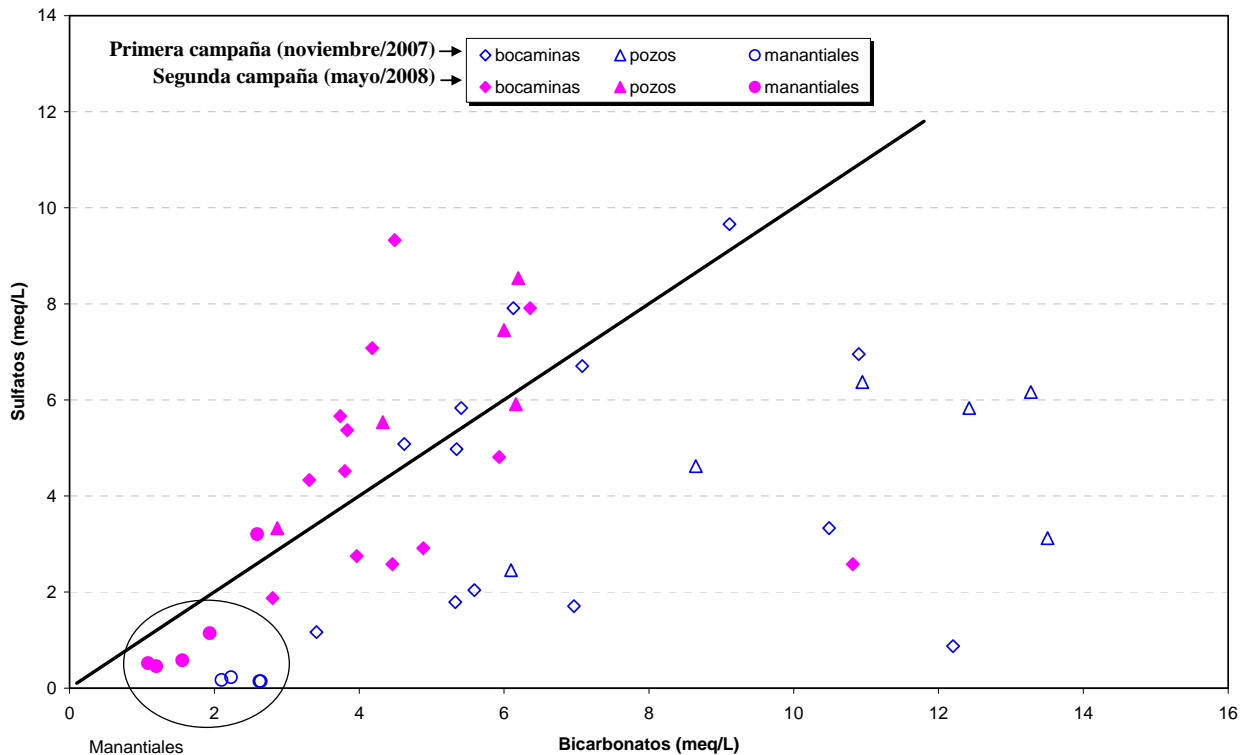


Figura 11-14.- Relación sulfatos-bicarbonatos

Correlación estadística

Utilizando la aplicación XLstat (Addinsoft) se ha realizado una correlación entre las distintas variables. En primer lugar se hizo una correlación considerando todas las muestras, y posteriormente se hicieron correlaciones independientes para cada grupo de aguas considerado (bocaminas, pozos y manantiales). Los parámetros incluidos son los aniones y cationes mayoritarios y la suma de los siguientes cationes: $\text{Na}^+ + \text{Ca}^{2+}$; $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ y $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$.

En las muestras analizadas existe buena correlación ($R > 0,85$) entre los siguientes pares de parámetros (Tabla 11-15):

Tabla 11-15.- Pares de valores con R>0,85

Todas las muestras	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺
		Ca ²⁺ +Mg ²⁺
	HCO ₃ ⁻	Na ⁺ +Ca ²⁺
	Mg ²⁺	Ca ²⁺
Pozos	Cl ⁻	HCO ₃ ⁺
		K ⁺
		Na ⁺ +Ca ²⁺
	HCO ₃ ⁻	K ⁺
		Na ⁺ +Ca ²⁺
	Mg ²⁺	Ca ²⁺
	K ⁺	Na ⁺ +Ca ²⁺
Bocaminas	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺
	Mg ²⁺	Ca ²⁺
Manantiales	Cl ⁻	K ⁺
		Na ⁺ +Ca ²⁺
		Na ⁺ +K ⁺
	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺
		Ca ²⁺
		Na ⁺ +Ca ²⁺
	HCO ₃ ⁻	Mg ²⁺
		Ca ²⁺
		Na ⁺ +Ca ²⁺
	Mg ²⁺	Na ⁺ +Ca ²⁺

11.2.4. ESTABILIDAD MINERAL

Los cálculos referentes a la estabilidad mineral se hicieron utilizando la base termodinámica PHREEQC-2, que constituye una modificación de Parkhurst (1980). Si bien se han incluido en los cálculos un amplio número de especies minerales, se exponen únicamente aquellas en las que se han obtenido valores positivos en alguna de las muestras. En estado de equilibrio el valor del índice de saturación es igual a 0, valores positivos indican sobresaturación y valores negativos, subsaturación.

Estado de saturación respecto a calcita, dolomita, aragonito, siderita y rodocrosita (Figura 11-15). Todos los manantiales están subsaturadas respecto a estas especies, excepto la Fuente de Fuexo, que se encuentra sobresaturada (índice de saturación >1) en aragonito, dolomita y calcita, en ambas campañas. Las aguas

procedentes de bocaminas están sobresaturadas en aragonito, dolomita y calcita a excepción de Pontones, El Cabritero y Canales, que están subsaturadas en todas las especies mencionadas, al igual que Ortiz Sobrinos, salvo en calcita. Todos los pozos están sobresaturados en calcita, aragonito y dolomita en ambas campañas a excepción del Pozos San José; además, este pozo está sobresaturado en rodrocrosita en la primera campaña y en rodrocrosita y siderita en la segunda, y el Pozo Santa Bárbara lo está en ambas especies en la segunda.

Respecto a los minerales arcillosos (Figura 11-16), todas las muestras están sobresaturadas en caolinita, illita y montmorillonita, excepto el Pozo San Jorge, que está subsaturado en illita y montmorillonita en la segunda campaña.

Respecto a los filosilicatos estudiados (Figura 11-17) todos los manantiales están subsaturados en feldespato potásico, talco y clorita, excepto la Fuente Fuego, que está sobresaturada en las dos últimas especies mencionadas en ambas campañas. En las labores mineras la mayor parte está subsaturada en las tres especies minerales. Únicamente la bocamina Ortiz Sobrinos está sobresaturada en las tres en las dos campañas, y Tarancón y el Pozo San Jorge en talco y clorita. En las bocaminas San Víctor, San Fernando y Marianas y en los pozos Santa Bárbara, San José y San Antonio el agua está sobre satura en talco y clorita en alguna de las campañas. El agua procedente de las bocaminas Mariana-Barredo, Podrizos II, Principal San José y Santo Tomás y de los pozos Figaredo y Santa Bárbara está sobresaturada en feldespato potásico en la primera campaña

Todas las muestras analizadas están sobresaturadas, en mayor o menor medida en goethita, gibsita y hematites (Figura 11-18).

11.3. INTERPRETACIÓN HIDROQUÍMICA

La interpretación hidroquímica del agua presente en el sistema hídrico se ha realizado siguiendo la metodología establecida, es decir, atendiendo al origen de la muestra, ya que según su procedencia el recorrido del agua es diferente, como ya se ha indicado anteriormente. Los manantiales analizados corresponden a descargas de niveles permeables de litología siliclástica o calcárea, predominantemente, por lo que la circulación del agua es presumiblemente lenta, con un elevado tiempo de retención. El agua de bocamina se corresponde con el agua que circula a través de las labores de minería de montaña, con un recorrido relativamente rápido, y el agua muestreada en los pozos mineros procede de los bombeos realizados en la minería subterránea, denominada en ocasiones de fondo de valle. La diferencia principal entre los dos últimos grupos consiste en que las labores de montaña son más antiguas, por lo que el tiempo de “lavado” de los materiales ha sido mayor y el recorrido del agua teóricamente es menor mientras que las labores de fondo de valle han sido las últimas en explotar y el agua se bombea desde las plantas más profundas.

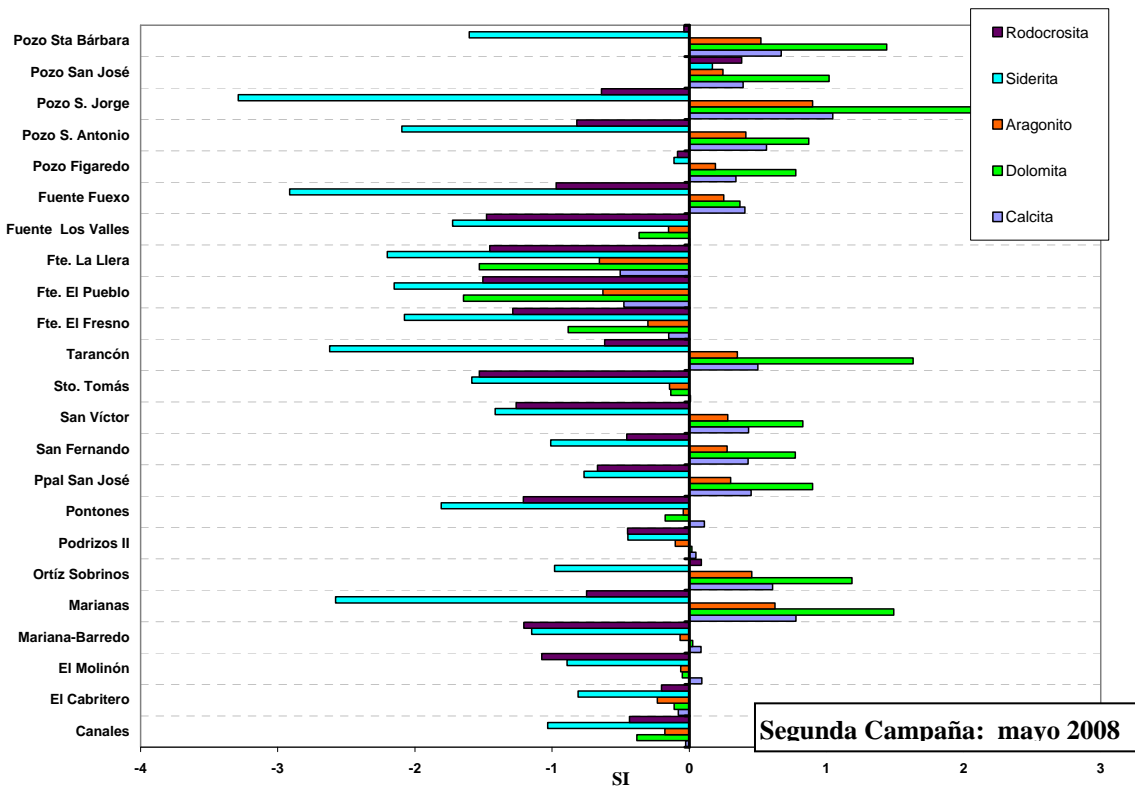
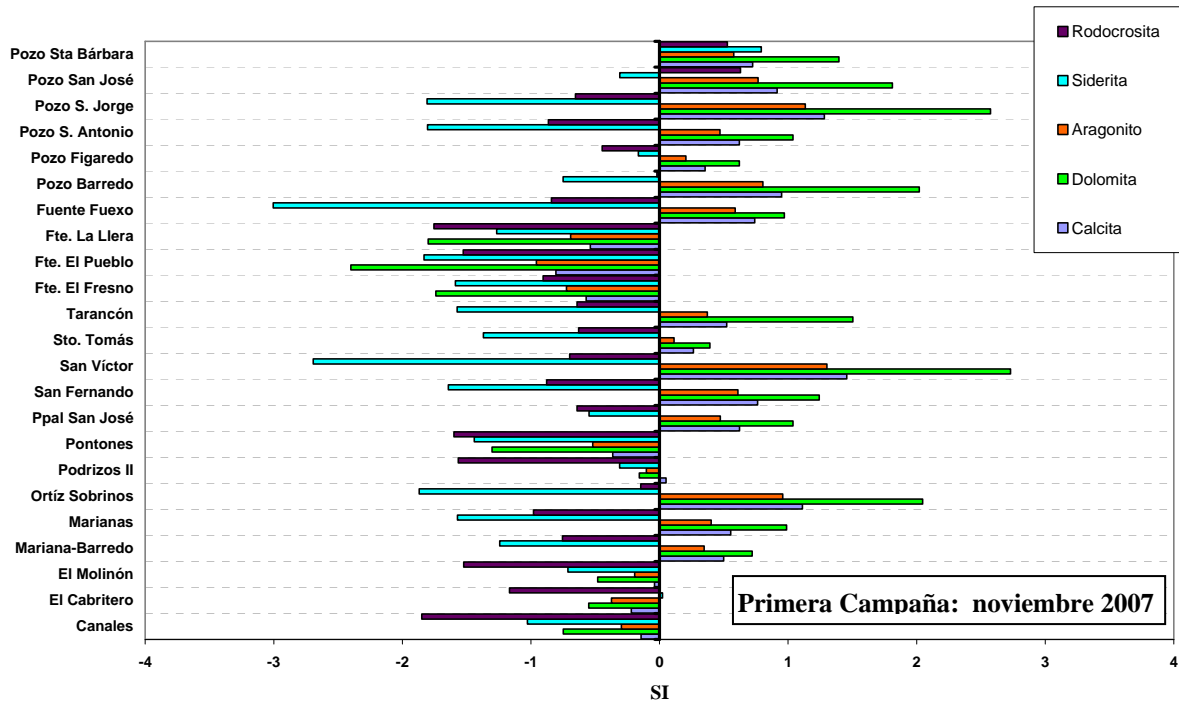
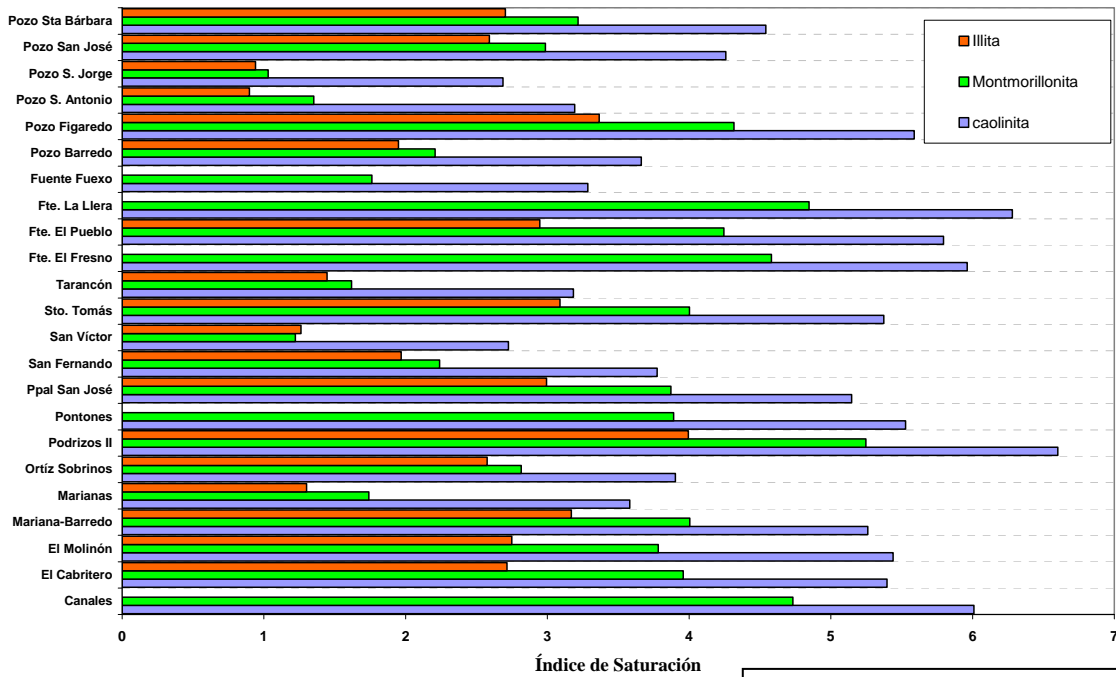
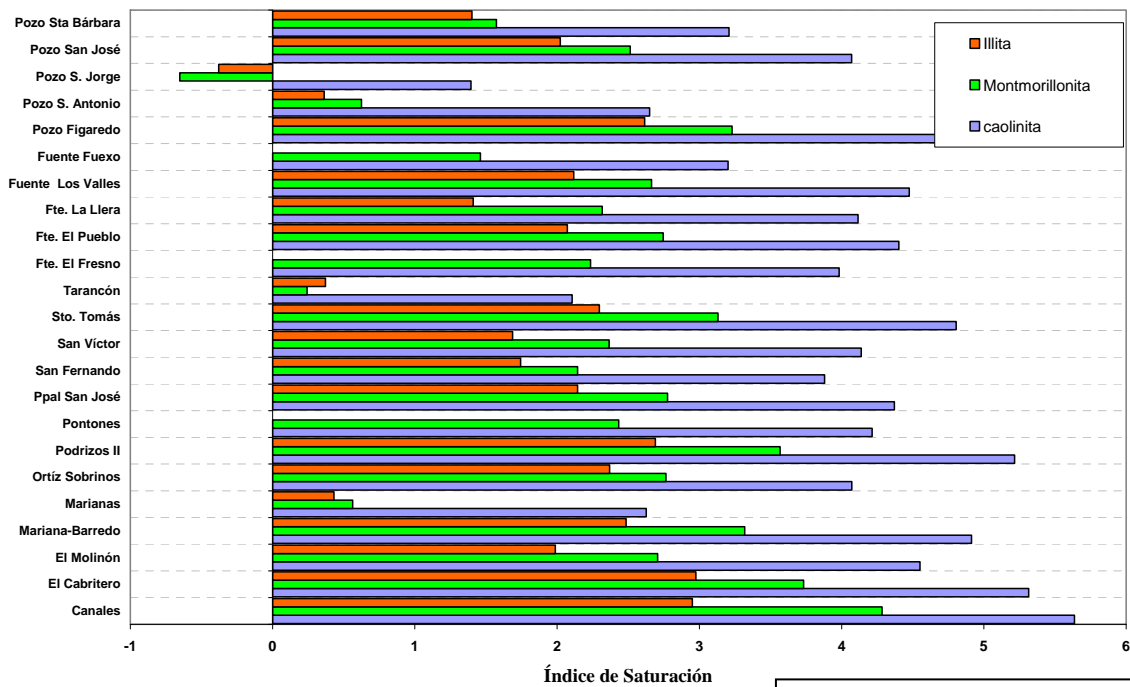


Figura 11-15.- Diagramas de estabilidad mineral respecto calcita, dolomita, aragonito, siderita y rodrocrosita

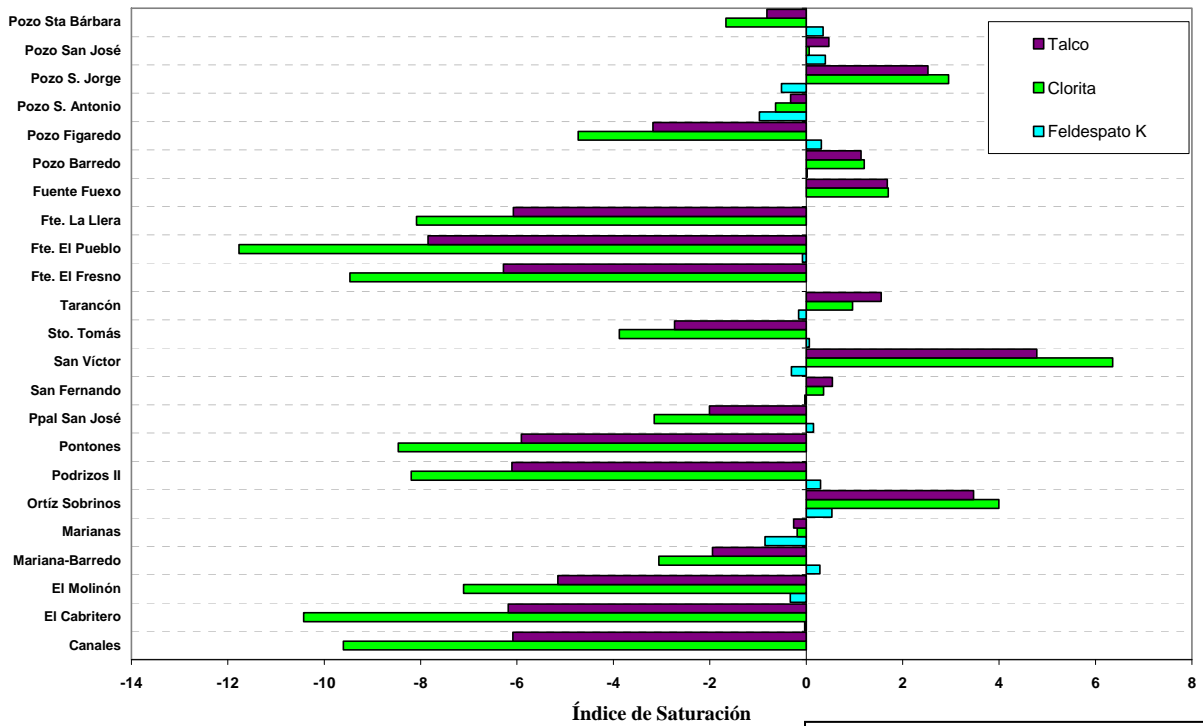


Primera Campaña: noviembre 2007

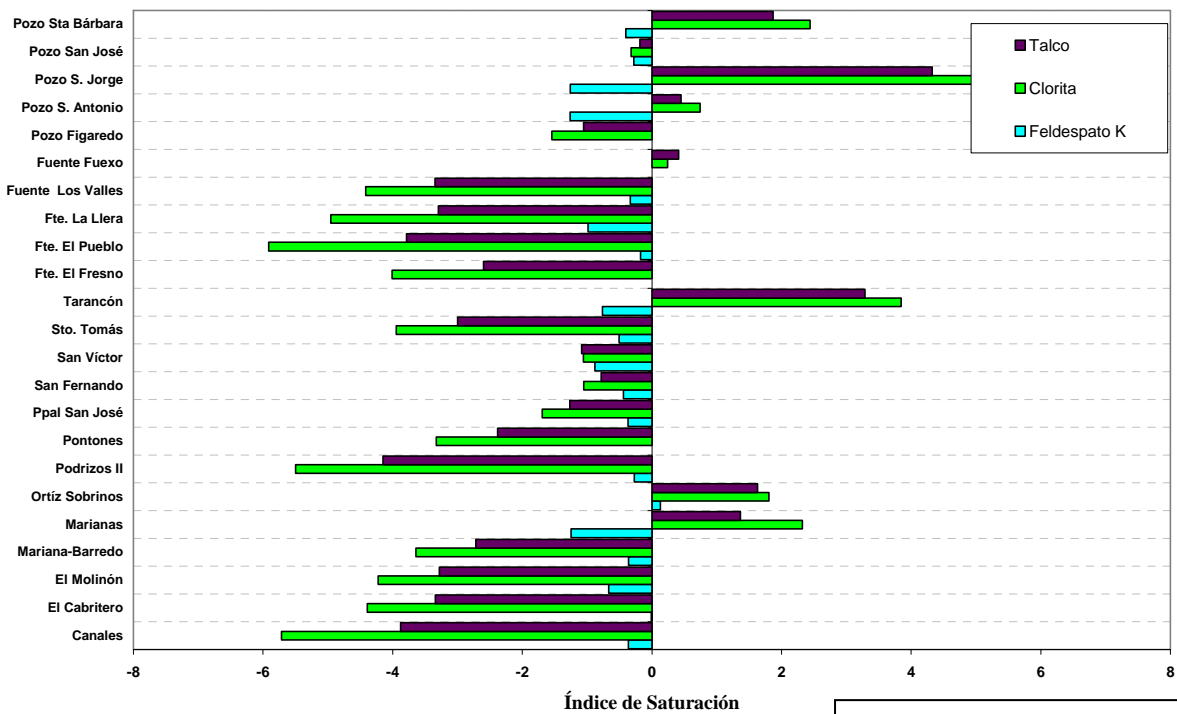


Segunda Campaña: mayo 2008

Figura 11-16.- Diagramas de estabilidad mineral respecto illita, montmorillonita y caolinita.



Primera Campaña: noviembre 2007



Segunda Campaña: mayo 2008

Figura 11-17.- Diagramas de estabilidad mineral respecto talco, clorita y feldespato potásico.

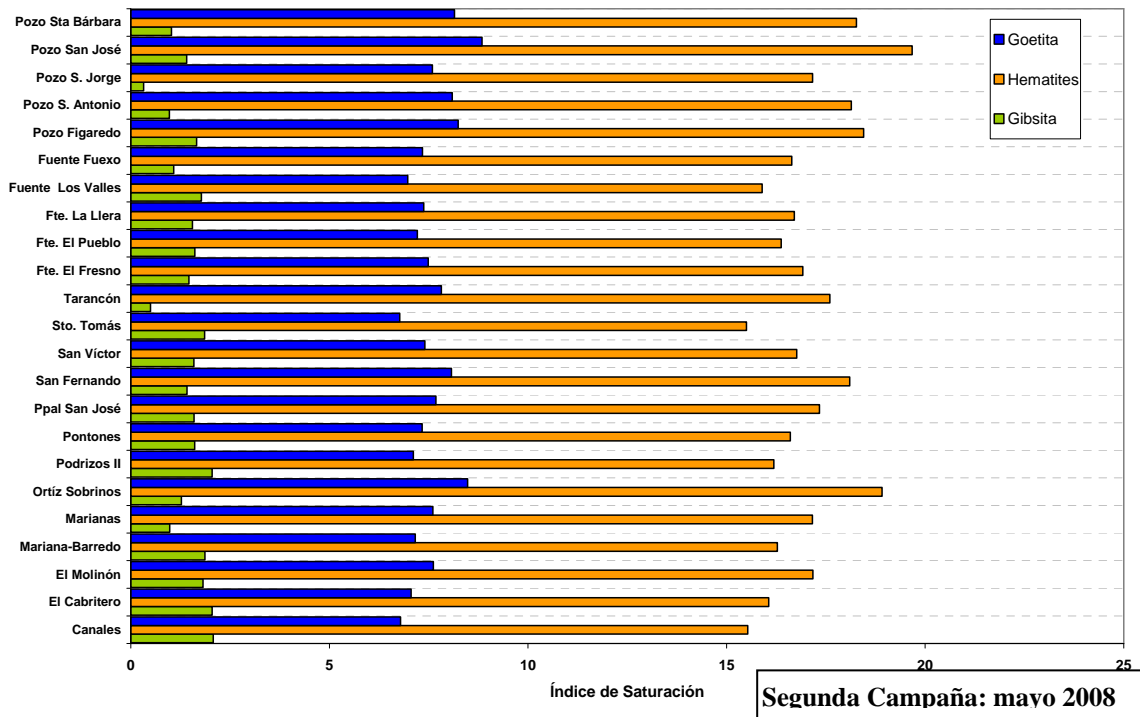
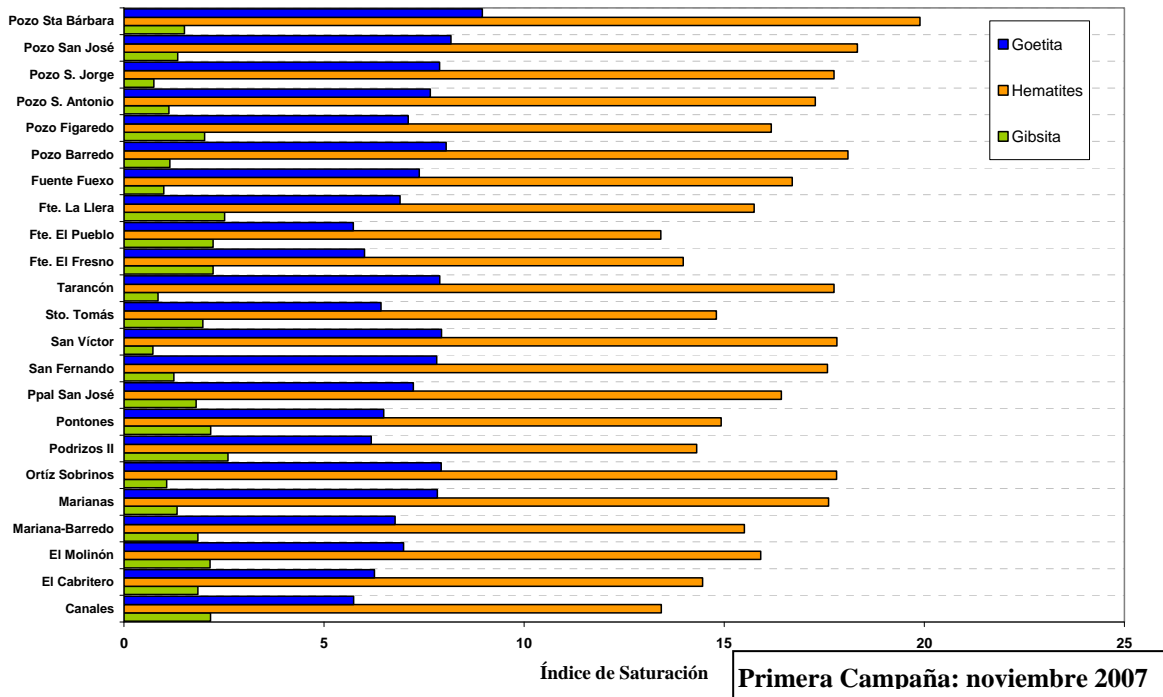
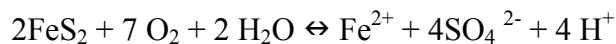


Figura 11-18.- Diagramas de estabilidad mineral respecto goethita, gipsita y hematites.

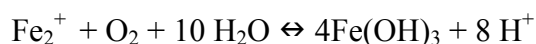
El agua procedente de manantiales presenta una composición química acorde con las litologías presentes en la zona de estudio. En general, se trata de aguas bicarbonatadas cálcicas, con presencia de sulfatos en mayor o menor concentración. El origen de estos sulfatos podría establecerse en la oxidación de los sulfuros contenidos en las rocas por las que circula el agua, siendo la Fuente de los Valles la que presenta una mayor concentración de este anión. Además en esta fuente el valor de la relación sulfatos-bicarbonatos es similar al obtenido en aguas procedentes de labores mineras.

Aunque la pirita es el sulfuro más abundante, existen otros sulfuros metálicos que pueden ser oxidados en condiciones ambientales similares, como marcasita, pirrotina, calcopirita, arsenopirita, esfalerita, etc. El proceso de oxidación de la pirita consta de las siguientes etapas (Galán, 2003):

Etapas I: la pirita se oxida en condiciones aerobias según la reacción:



En esta etapa inicial, el medio rocoso dispone de suficiente alcalinidad para neutralizar la acidez, de forma que el agua es neutra y precipita hierro en forma de hidróxido férrico:



El agua de drenaje en esta etapa se caracteriza por bajos contenidos en hierro y elevadas concentraciones de sulfatos; si progresa la oxidación de la pirita y se agotan los minerales neutralizantes, aumenta la generación de ácido y el pH disminuye pasando el proceso a la Etapa II. Esta etapa se caracteriza por valores de pH comprendidos entre 2,5 y 4,5, valores que no han sido medidos en ninguna de las

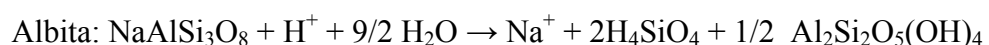
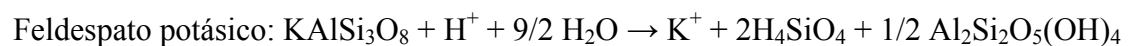
muestras analizadas.

Cuando los hidrogeniones liberados por las reacciones de oxidación interaccionan con las fases alcalinas que acompañan a los sulfuros se produce una secuencia de reacciones de neutralización (Galán, 2003). Por lo tanto, el poder de neutralización depende de la naturaleza y abundancia de minerales alcalinos presentes en el medio natural. Los minerales que tienen mayor poder de neutralización son los carbonatos, debido a su elevada actividad química. La neutralización de la acidez es un proceso relativamente rápido con capacidad de tamponamiento a corto plazo, gracias a la rápida disolución de los carbonatos en las aguas que han circulado por labores mineras. En general, la velocidad de disolución relativa disminuye conforme a la siguiente secuencia: calcita > dolomita ≈ ankerita > siderita.

Las reacciones de disolución de la calcita y dolomita en medio ácido pueden escribirse:



Según estas reacciones, hacen falta 2 moles de calcita o dolomita para neutralizar 1 mol de piritita. Además de la disolución de la calcita, la alteración de minerales aluminosilicatados también constituye una fuente de consumo de acidez; sin embargo, la velocidad de disolución es mucho más lenta que en el caso de la calcita. Se muestra a continuación algún ejemplo de reacciones de alteración para silicatos primarios (Younger *et al*, 2002).



Como consecuencia de la alteración de los materiales, el agua procedente de las labores mineras arrastra tres componentes mineralógicos: la carga sólida (partículas en suspensión, que corresponden realmente a minerales), coloides (que corresponden a precursores de minerales arcillosos u oxidados, que pueden flocular a partir de este componente), e iones en disolución, que pueden precipitar en forma de compuestos minerales si cambian las condiciones físico-químicas del agua portadora (http://www.uclm.es/users/higueras/MGA/Tema00_Intro.htm).

La carga sólida está compuesta por granos minerales entre los que predominan los minerales de la arcilla que pueden presentar propiedades de adsorción: determinados iones son capaces de ser fijados por estas partículas, con lo que al depositarse incorporan estos iones al sedimento correspondiente. Una vez en el mismo, la físico-química de las aguas puede favorecer la retención o movilidad de estos iones. Los parámetros que regulan el sistema son: la salinidad, el potencial redox (Eh), y el pH; el incremento de la salinidad influye en la competencia entre metales pesados y metales de los grupos I y II, por los sitios de ligazón (p.ej., espaciado interlaminar en las arcillas), lo que se traduce en la expulsión de los metales pesados, y su devolución a la columna de agua; un aumento del Eh genera la inestabilidad de los compuestos reducidos (e.g., sulfuros), que ocasiona el paso del metal a la disolución; el descenso del pH tiene dos efectos: 1) induce la disolución de otros sulfuros y 2) aumenta la solubilidad de los metales disueltos (Figura 11-19).

Las aguas procedentes de labores mineras, tanto de valle como de montaña, presentan un pH neutro o ligeramente básico, lo que indica que existe en el medio suficiente alcalinidad para neutralizar la acidez que se produce por la oxidación de los sulfuros presentes. La alteración de minerales alcalinos debido al consumo de acidez libera cationes como calcio, magnesio o sodio, que en ocasiones están presentes en elevadas concentraciones (p. ej. la bocamina Tarancón: concentración de sodio del orden de 300 mg/L), además de bicarbonatos o carbonatos. También se pone de manifiesto el hecho de que la mayoría de estas aguas estén sobresaturadas en

minerales alcalinos. La alteración de sulfuros libera iones metálicos como hierro y manganeso, que pueden permanecer en solución o precipitar específicamente como minerales oxidos-hidróxidos ($\text{Fe}(\text{OH})_3$, entre otros). También se debe destacar el hecho de que en el rango de pH en el que se encuentran las aguas la solubilidad de los metales pesados es reducida (Figura 11-19), hecho que explicaría la baja concentración de los mismos. La movilidad de los iones metálicos está críticamente condicionada por el pH, que depende a su vez de la alcalinidad-acidez del agua; por lo tanto, ligeras variaciones en las condiciones ambientales pueden ocasionar movilidad (redisolución) o fijación (precipitado) de metales como el hierro o el manganeso (Figura 11-20). En algunas ocasiones se observan precipitados en forma de hidróxido férrico formando las llamadas “yellow boy”, como se pueden observar en las bocaminas Mariana y El Cabritero. Existen importantes variaciones en las concentraciones de estos metales en algunos de los puntos muestreados entre las dos campañas realizadas; las más destacables se muestran en la en la Tabla 11-16.

Tabla 11-16.- Valores de Fe y Mn en los puntos con mayores variaciones entre las dos campañas

Punto		Fe ($\mu\text{g/L}$)		Mn (μL)		pH	
		nov/07	may/08	nov/07	may/08	nov/07	may/08
1305-6-0047	B. Podrizos II	650	295	19	149	6,74	7,13
1305-6-0094	B. El Cabritero	2400	142	82	280	6,63	7,28
1306-2-0011	B. Canales	127	73	<10	140	6,84	7,27
1305-5-0004	B. Ortiz Sobrinos	84	320	48	137	8,26	8
1305-7-0039	B. San Fernando	58	135	<10	135	8,13	7,88
1305-6-0053	B. Sto. Tomás			77	<10	7,27	7,44
1305-6-0033	P. San Antonio	51	126			8,07	8,3
1305-6-0006	P. San José	280	1410			7,67	7,6
1305-6-0007	P. Santa Bárbara	2400	168	383	77	7,53	8,11

Como se puede apreciar en la tabla, en algunos puntos se produce un importante descenso en la concentración de hierro tras la época lluviosa (campaña de mayo/2008), mientras que en otros la tendencia es inversa. En las bocaminas Podrizos II, El Cabritero, Canales y Pozo Santa Bárbara el descenso en hierro va acompañado de un aumento de pH y, a excepción de Santa Bárbara, de un aumento de la concentración de manganeso. En las bocaminas Ortiz Sobrinos y San Fernando y en los pozos San Antonio y San José tiene lugar un aumento en la concentración de

hierro en la campaña de mayo respecto de la de noviembre, que se acompaña de un aumento en la concentración de manganeso en estas dos bocaminas; en todos estos puntos a excepción del Pozo San Antonio se midieron valores menores de pH en la segunda campaña. Del resto de los metales cabe destacar la mayor presencia de cadmio en la segunda campaña, aunque siempre con concentraciones inferiores a 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$; esto podría ser debido a un mayor arrastre y lavado de los materiales de alteración tras la temporada de lluvias.

En las aguas procedentes de manantiales también tienen lugar procesos de oxidación de sulfuros metálicos presentes en el medio y neutralización a partir de minerales alcalinos, si bien son menos importantes, por lo tanto, la concentración de sulfatos y bicarbonatos es menor, en general, así como la de los cationes calcio, magnesio y sodio. La procedencia del hierro y manganeso presentes en el agua tiene su origen en dichos procesos. El manantial en el que se aprecia mayor similitud con las aguas procedentes de las labores mineras es la Fuente de los Valles, que, dada su proximidad a las labores de minería de montaña de Santo Tomás, podría estar influenciada por la presencia de galerías relacionadas con dicha explotación. La Fuente de Fuexo presenta mayor sobresaturación mineral que el resto de los manantiales analizados, lo que podría ser debido a la existencia de aportes de agua procedentes de las labores mineras relacionadas con la minería de montaña de Santa Bárbara.

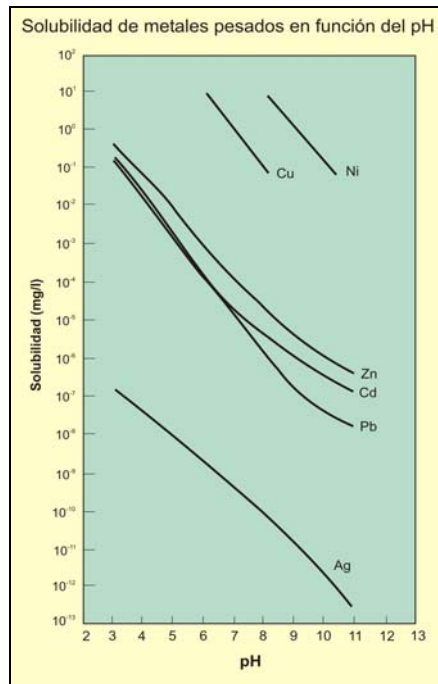


Figura 11-19.- Solubilidad de algunos metales pesados en función del pH
(<http://www.uclm.es/users/higueras/MAM/MMAM3.htm>).

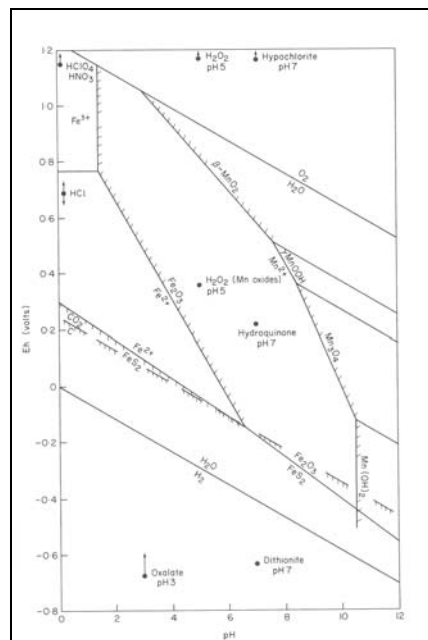


Figura 11-20.- Diagrama de estabilidad de óxidos de hierro, óxidos de manganeso, pirita y materia orgánica (C), en función del Eh y pH. Las fases sólidas son estables en las líneas sombreadas con finos trazos (Rose *et al.*, 1979).

Otro aspecto que se considera interesante comentar es la presencia de arsénico en algunas muestras de agua tomadas en noviembre de 2007 y que en la campaña de mayo de 2008 presentaron valores inferiores al límite de detección (Tabla 11-17).

Existen varios mecanismos de incorporación del arsénico de origen natural a las aguas: a) oxidación de sulfuros; b) disolución de óxidos y oxihidróxidos de Fe y Mn en condiciones ácidas; c) desorción en condiciones oxidantes a pH alto; d) desorción y disolución de óxidos y oxihidróxidos relacionados con cambios a condiciones reductoras; e) desorción por reducción de superficie específica en la fase sólida; f) desorción por reducción en la carga de superficie de la fase sólida (Lillo: <http://www.escet.urjc.es/~jlillo/proyectos.html>). Probablemente sean los dos primeros los que podrían liberar el arsénico en el caso que nos ocupa. Por otra parte, se debe considerar que el estado de oxidación del arsénico, y por tanto su movilidad, están controlados fundamentalmente por las condiciones redox (potencial redox, Eh) y el pH (Figura 11-21). La existencia de altas concentraciones de arsénico de origen natural en las aguas está controlado por tres factores: la fuente primaria de arsénico (geosfera y atmósfera), los procesos de movilización/retención de arsénico en la interacción entre la fase sólida y la fase líquida, y el transporte de arsénico como especie acuosa en el seno del agua. Los dos procesos geoquímicos que controlan la movilización de arsénico al agua son: reacciones de adsorción-desorción y reacciones de coprecipitación-codisolución.

Tanto los arsenitos [As(III)] como los arsenatos [As(V)] son adsorbidos en la superficie de una gran variedad de materiales presentes en el medio, como son los óxidos de hierro, manganeso y aluminio. También pueden ser adsorbidos por arcillas y materia orgánica. La desorción del arsénico adsorbido en la fase sólida está condicionada por los cambios en el pH, la ocurrencia de reacciones redox (reducción/oxidación), la presencia de iones competitivos y los cambios en la estructura cristalina de la fase sólida. Las reacciones de coprecipitación-codisolución están controladas por el pH, temperatura, estado redox y concentración de especies

acuosas de la solución. Por lo tanto, las variaciones en las concentraciones de arsénico en las aguas muestreadas están condicionadas por numerosos factores, siendo los principales a tener en cuenta, las condiciones redox y el pH.

Tabla 11-17.-Balance de arsénico

ID IGME	Toponimia	As (µg/L)
1305-7-0056	Bocamina El Molinón	11
1305-6-0047	Bocamina Podrizos II	9
1305-6-0097	Bocamina Tarancón	10
1305-6-0094	Bocamina El Cabritero	5
1306-2-0011	Bocamina Canales	15
1305-7-0039	Bocamina San Fernando	11
1305-6-0033	Pozo San Antonio	9
1305-6-0007	Pozo Santa Bárbara	7
1305-6-0010	Fuente El Fresno	14
1305-6-0012	Fuente El Pueblo	12
1305-6-0074	Fuente La Llera	15

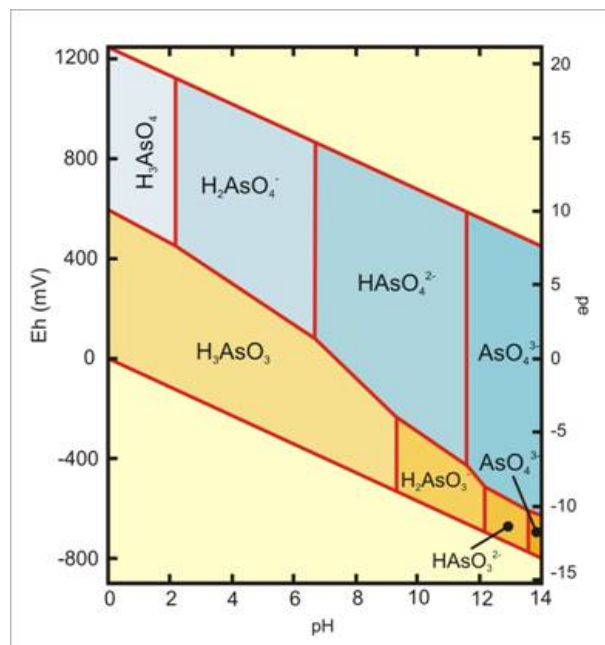


Figura 11-21.- Diagrama Eh-pH de especies acuosas de arsénico en el sistema As-O₂-H₂O a 25°C y 1 bar de presión total (Brookins, 1988)

12. PROCESO DE INUNDACIÓN

12.1. ESTUDIO DEL PROCESO DE INUNDACIÓN

El proceso de inundación se inició el 18 de abril del 2007 cuando detuvieron las bombas de 10ª planta en el Pozo Figaredo (San Inocencio). Desde esa fecha se produjo el abandono del bombeo de forma escalonada, primero en el resto de las plantas de San Inocencio, y a continuación en San Vicente (Figaredo) y Barredo en abril del 2008 y San José en junio de 2008. En el Pozo Santa Bárbara se mantuvieron bombeos puntuales hasta agosto de 2008. A fecha de 30 de diciembre de 2008, debido a que el nivel de agua en San José se encontraba relativamente próximo al nivel de seguridad establecido por su posible conexión con el Pozo Santiago, se reactivó el bombeo en el Pozo Santa Bárbara, desaguando 9.768 m³ en ese mes.

El control de la evolución del nivel del agua se realiza semanalmente desde el 1 de agosto de 2008 en los cuatro pozos, mediante la medida con un hidronivel marca Seba (Fotografía 12-1), aunque el Departamento de Medio Ambiente del Grupo HUNOSA realizó medidas en los dos meses anteriores en los pozos San José y Santa Bárbara con su propio sistema de control.



Fotografía 12-1.- Medidor de hidronivel marca Seba

Junto con cada medida se toma una muestra de agua con una botella tomamuestras para la determinación de los parámetros "in situ": pH, temperatura y conductividad eléctrica. Los niveles de agua medidos hasta la fecha se muestran en la Tabla 12-1 y gráficamente en la Figura 12-1.

Tabla 12-1.- Cota absoluta del nivel del agua, medida en la caña de los pozos. Entre paréntesis figura la cota (m s.n.m.) del brocal de cada pozo

Fecha	Figaredo (253,7)	Barredo (220)	San José (293,82)	Santa Bárbara (330,86)
01-Ago-08	-167,41	-126,33		56,90
05-Ago-08	-156,40		50,92	
08-Ago-08	-152,21	-126,50	51,67	55,06
12-Ago-08	-145,00		52,02	
14-Ago-08	-138,70	-126,35	52,42	52,31
19-Ago-08	-130,95		52,52	
22-Ago-08	-128,80	-126,40	52,82	54,97*
26-Ago-08	-127,15		52,82	
29-Ago-08	-125,55	-126,41	53,35	58,61
01-Sep-08		-126,41	53,62	
05-Sep-08	-123,40	-126,40	54,02	62,56
09-Sep-08	-122,23		54,12	
15-Sep-08	-120,56	-123,95	54,62	64,21
19-Sep-08	-118,25	-122,15	54,69	64,56
24-Sep-08	-115,66	-119,54	54,69	65,01
30-Sep-08	-110,55	-114,70	54,32	65,21
02-Oct-08	-107,20	-111,16	55,39	65,58
10-Oct-08	-98,90	-102,90	54,02	66,01
17-Oct-08	-90,20	-94,18	53,72	66,40
24-Oct-08	-81,70	-85,68	53,47	66,69
31-Oct-08	-76,85	-80,74	53,32	67,06
07-Nov-08	-73,27	-77,15	53,67	67,72
14-Nov-08	-69,73	-73,70	57,34	68,66
21-Nov-08	-65,30	-69,08	64,03	69,49
27-Nov-08	-56,94	-61,04	72,18	71,11
05-Dic-08	-43,85	-48,92	86,52	83,39
12-Dic-08	-36,50	-42,82	89,47	98,16
19-Dic-08	-24,40	-29,30	93,57	112,86
29-Dic-08	-9,01	-12,77	117,22	137,96**
02-Ene-09	4,82	-0,35	125,82	136,96
09-ene-09	24,10	19,20	128,27	132,31
16-ene-09	30,50	26,05	127,12	128,16
23-ene-09	35,20	29,10	123,22	124,66

* Cese de bombeo en el Pozo Santa Bárbara

** Reactivación del bombeo en el Pozo Santa Bárbara

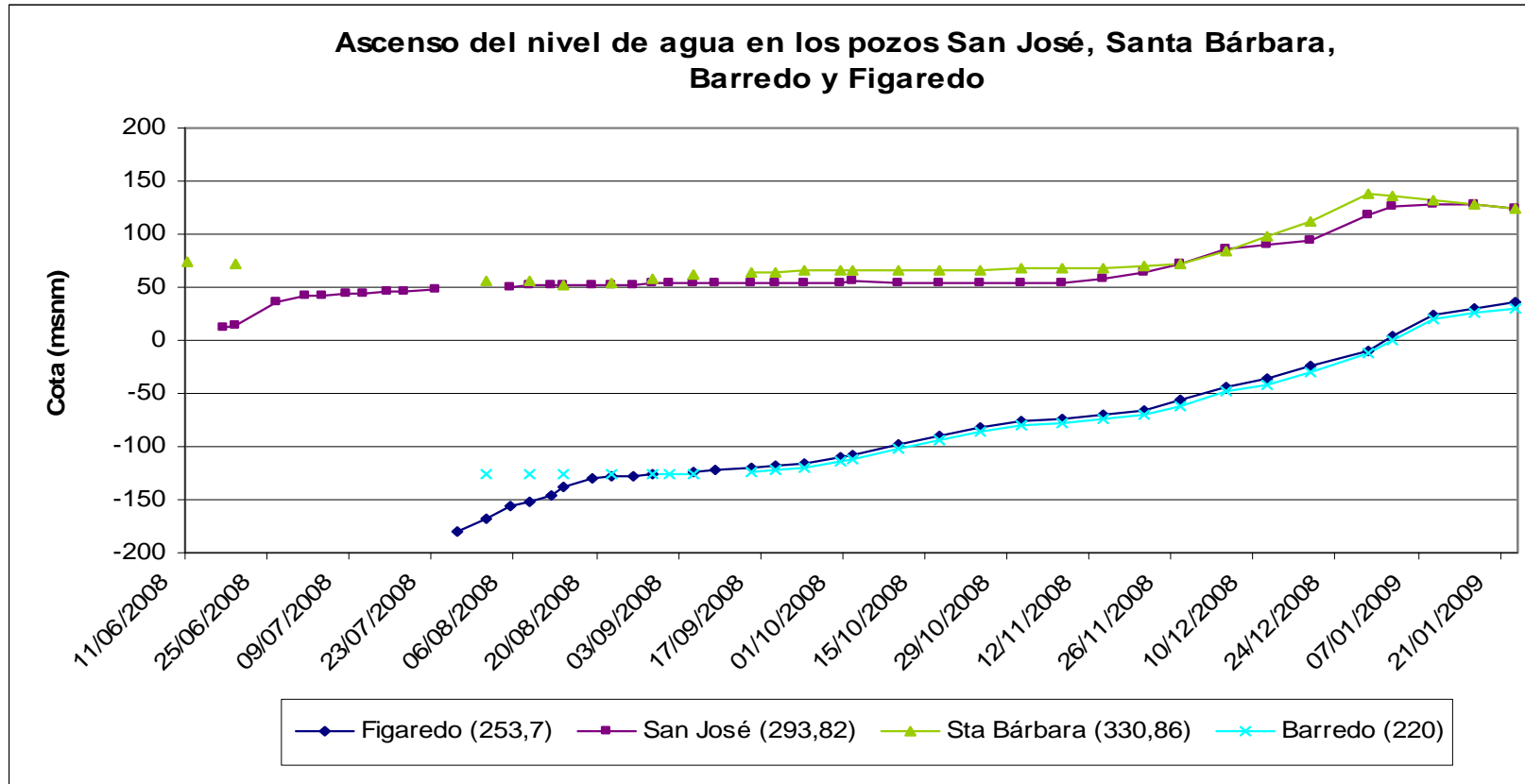


Figura 12-1.- Evolución de la cota absoluta del agua medida en la caña de los pozos (cota absoluta del brocal del pozo entre paréntesis)

Hasta que se alcanzó la cota de conexión de planta 5ª del Pozo Barredo con planta 5ª del Pozo Figaredo (Pozo San Inocencio) situada a -142 m s.n.m. y -135 m s.n.m., respectivamente, la recuperación del nivel piezométrico provocó la inundación de las labores más profundas del Pozo Figaredo, ascendiendo en éste con una velocidad de 1,97 m/d, mientras que el nivel del agua en el Pozo Barredo permanecía aproximadamente estable a la cota de -126,4 m s.n.m., que es la cota más baja de dicho pozo. Una vez rebasado el nivel de conexión, el agua asciende paralelamente en ambos pozos con una velocidad media de 1 m/d.

Las últimas medidas tomadas a fecha de la realización de este informe, en enero de 2008, corresponden a +35,2 y +29,1 m s.n.m. para los pozos Figaredo (San Inocencio, 2ª planta) y Barredo (3ª planta) respectivamente.

En la Figura 12-2 se observan las curvas de recuperación correspondientes a los pozos Barredo y Figaredo, así como el volumen de huecos en cada cota, calculado para ambos pozos. Lógicamente, la velocidad de ascenso es mayor entre plantas y se reduce al alcanzar los tramos de mayor volumen de la infraestructura minera, disminuyendo especialmente la pendiente de las curvas en aquellos tramos en los que prácticamente coinciden plantas de ambos pozos.

El ascenso del nivel de agua en los pozos Santa Bárbara y San José es más variable debido al cese del bombeo en el Pozo Santa Bárbara y su posterior reactivación, ya comentada, y a las posibles conexiones entre ambos pozos por debajo de 3ª planta, a través del macizo rocoso fracturado.

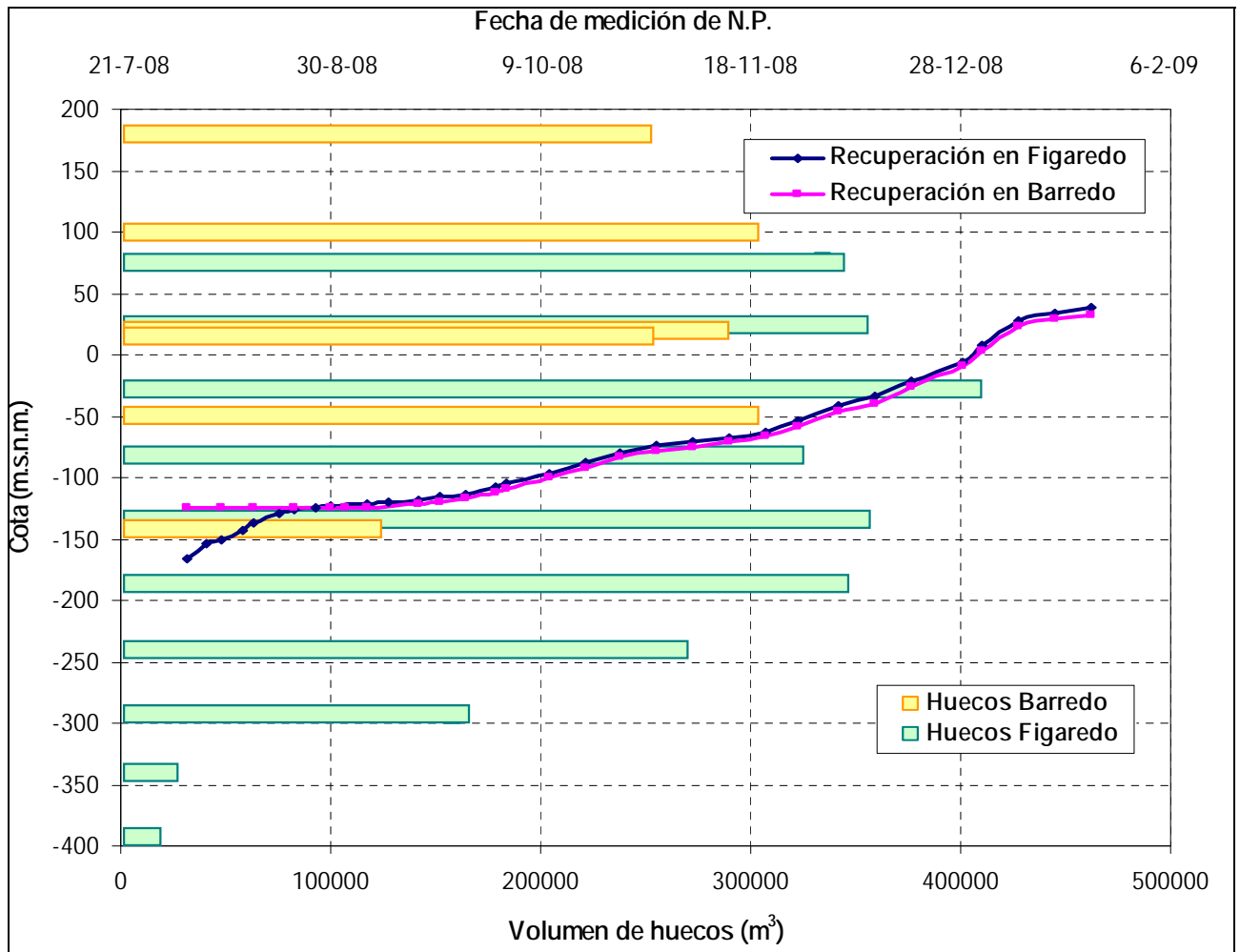


Figura 12-2.- Curvas de recuperación de los pozos Barredo y Figaredo, comparadas con el volumen de huecos en cada cota, calculados para cada pozo

En la Figura 12-3 se puede ver el proceso de inundación de estos dos pozos, junto con el esquema vertical de los mismos, lo que permite comparar la altura de las distintas plantas con el nivel de inundación de los pozos.

Ascenso del nivel de agua en los pozos Barredo-Figaredo

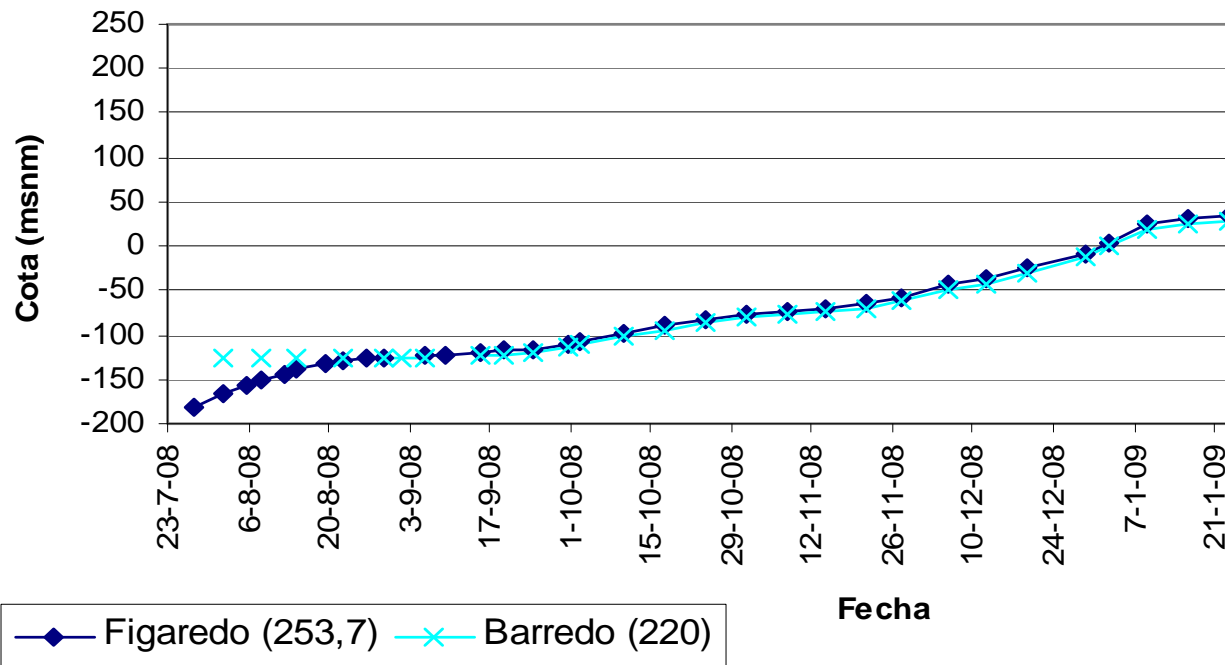


Figura 12-3.- Evolución de la cota absoluta del agua, medida en la caña de los pozos Barredo y Figaredo (San Inocencio) (cota absoluta del brocal del pozo entre paréntesis)

El registro de medidas en el Pozo San José comienza cuando el agua estaba a la cota de +11,1 m s.n.m., entre 6ª y 5ª planta. El agua ascendía a una velocidad de 1,5 m/día desde la primera medida (17 de junio del 2008) hasta el 1 de julio de 2008, cuando alcanza la cota de +41,3 m s.n.m. (por encima de 5ª planta). Posteriormente el ascenso se ralentiza a 0,25 m/d quizás a causa del llenado de 5ª planta, y desde el 14 de agosto al 7 de noviembre el nivel de agua permanece más o menos estable entre +52,5 y +53,5 m s.n.m. (continúa entre 5ª y 4ª planta). La estabilización del nivel en torno a la cota de +53 m s.n.m. se podría explicar por la inundación de 6ª planta y 6ª planta vieja del Pozo Santa Bárbara (a +68,0 m s.n.m y +40,6 m s.n.m. respectivamente).

A partir de noviembre de 2008 el agua vuelve a ascender con una velocidad de 1,3 m/d hasta el mes de diciembre, cuando se reanuda el bombeo de Santa Bárbara para mantener un nivel de seguridad en el conjunto San José- Santa Bárbara, debido a la posible conexión del Pozo San José con el Pozo Santiago (aún activo) a cota +135 m s.n.m. Esto obviamente ha frenado el ascenso y deprimido ligeramente el nivel de agua en San José y en Santa Bárbara en el mes de enero de 2009. La última medida en el Pozo San José a fecha de la realización del presente informe (23 de enero de 2009), corresponde a +123, 2 m s.n.m. (por debajo de 3ª planta), 11,8 m por debajo de la cota de la posible conexión de los Pozos San José y Santiago.

En el Pozo Santa Bárbara se realizó un primer cese en el bombeo desde septiembre de 2007 hasta febrero de 2008, posteriormente se reanudó el bombeo hasta el 22 de agosto de 2008. Este bombeo evacua menos agua de la que entra, ya que desde enero de 2007 hasta julio de 2007 se produce un ascenso de agua a una velocidad media de 0,28 m/d (Figura 12-4). En la Figura 12-5 se muestra la evolución del nivel en estos pozos.

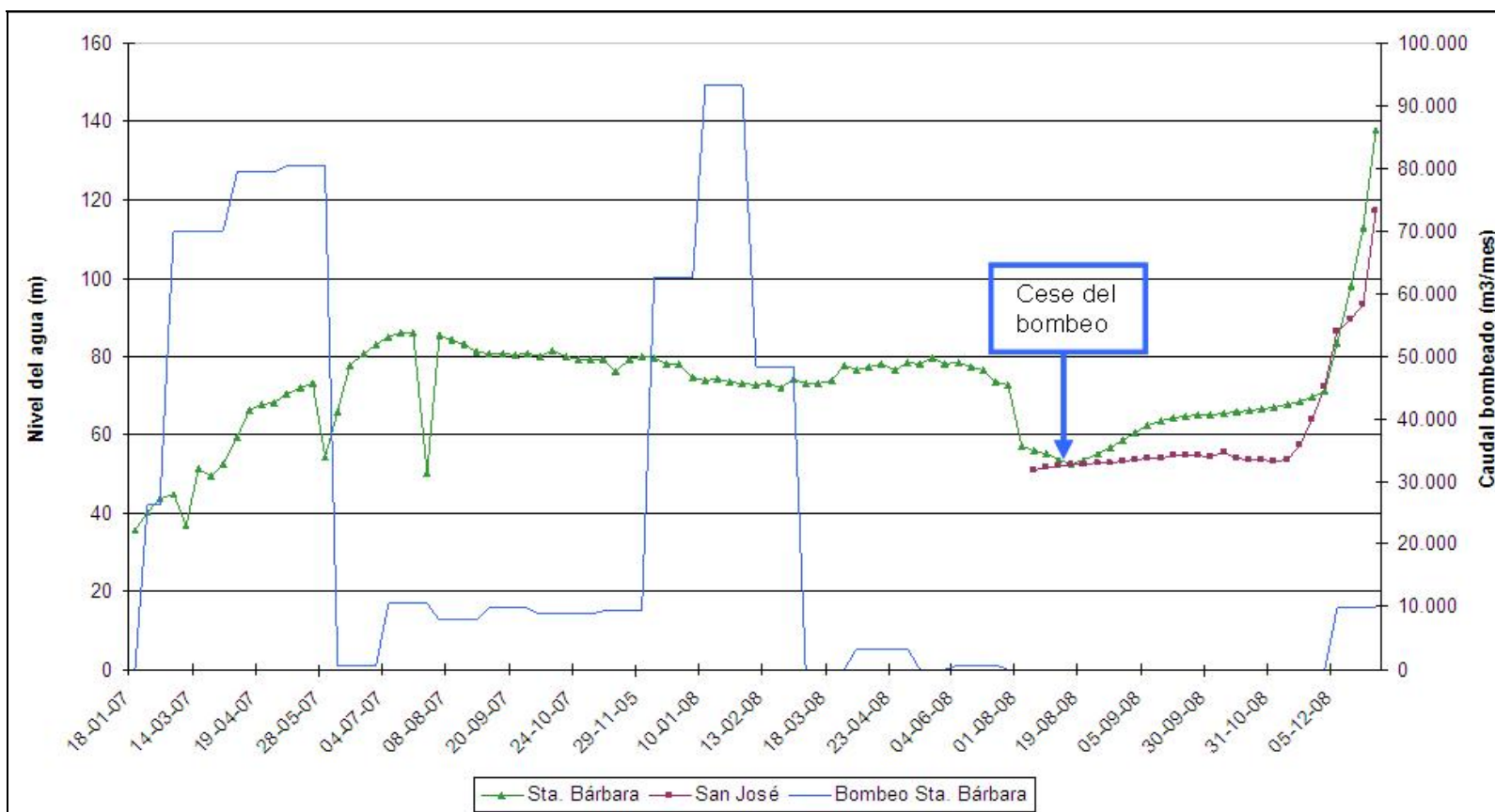


Figura 12-4.- Evolución de la cota absoluta del agua en los pozos San José y Santa Bárbara comparados con el bombeo en el Pozo Santa Bárbara, en el periodo 2007-2008

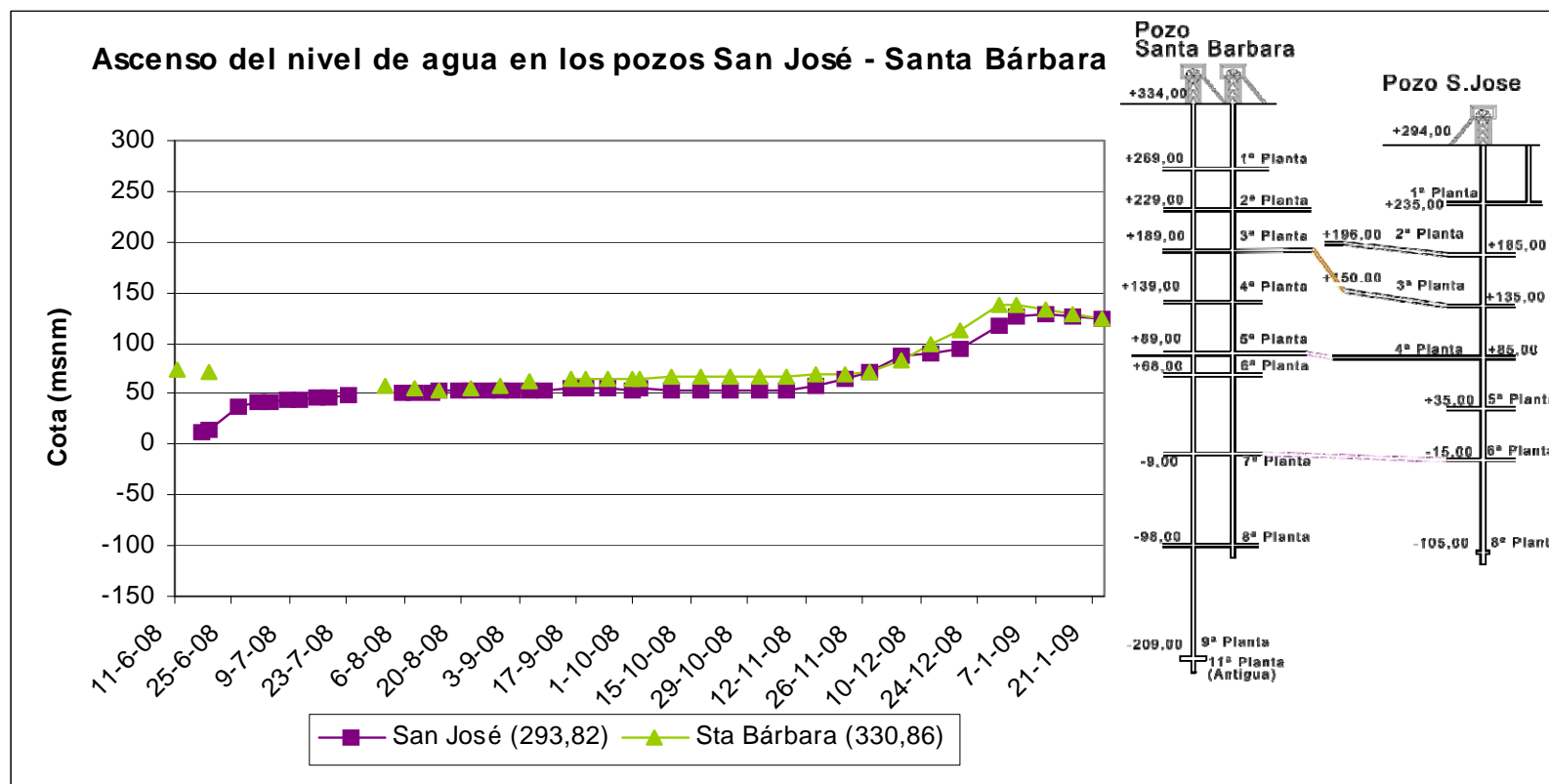


Figura 12-5.- Evolución de la cota absoluta del agua, medida en la caña de los pozos San José y Santa Bárbara. Entre paréntesis figura la cota del brocal de cada pozo

Entre agosto de 2007 y junio de 2008 el agua se mantiene más o menos estabilizada entre las cotas + 68 y + 75 m s.n.m., produciéndose un descenso brusco en el nivel entre junio y agosto de 2008.

El cese de bombeo el 22 de agosto de 2008 en el Pozo Santa Bárbara ocasiona, como cabría suponer, un ascenso del agua, si bien se realiza a diferentes velocidades: hasta el 4 de septiembre la velocidad media es de 0,47 m/d, posteriormente, se ralentiza a 0,1 m/d hasta el 27 de noviembre, fecha en la que comienza a ascender muy rápidamente (2 m/d). Este último ascenso rápido ocasiona que el 30 de diciembre de 2008 se considere oportuno comenzar una nueva etapa de bombeo, como ya se ha comentado anteriormente.

La última medida tomada en el Pozo Santa Bárbara a fecha de la realización del informe corresponde a +124, 7 m s.n.m., por debajo de 4ª planta.

En la Figura 12-6 se observan las curvas de recuperación correspondientes a los pozos San José y Santa Bárbara, así como el volumen de huecos en cada cota calculado para ambos pozos.

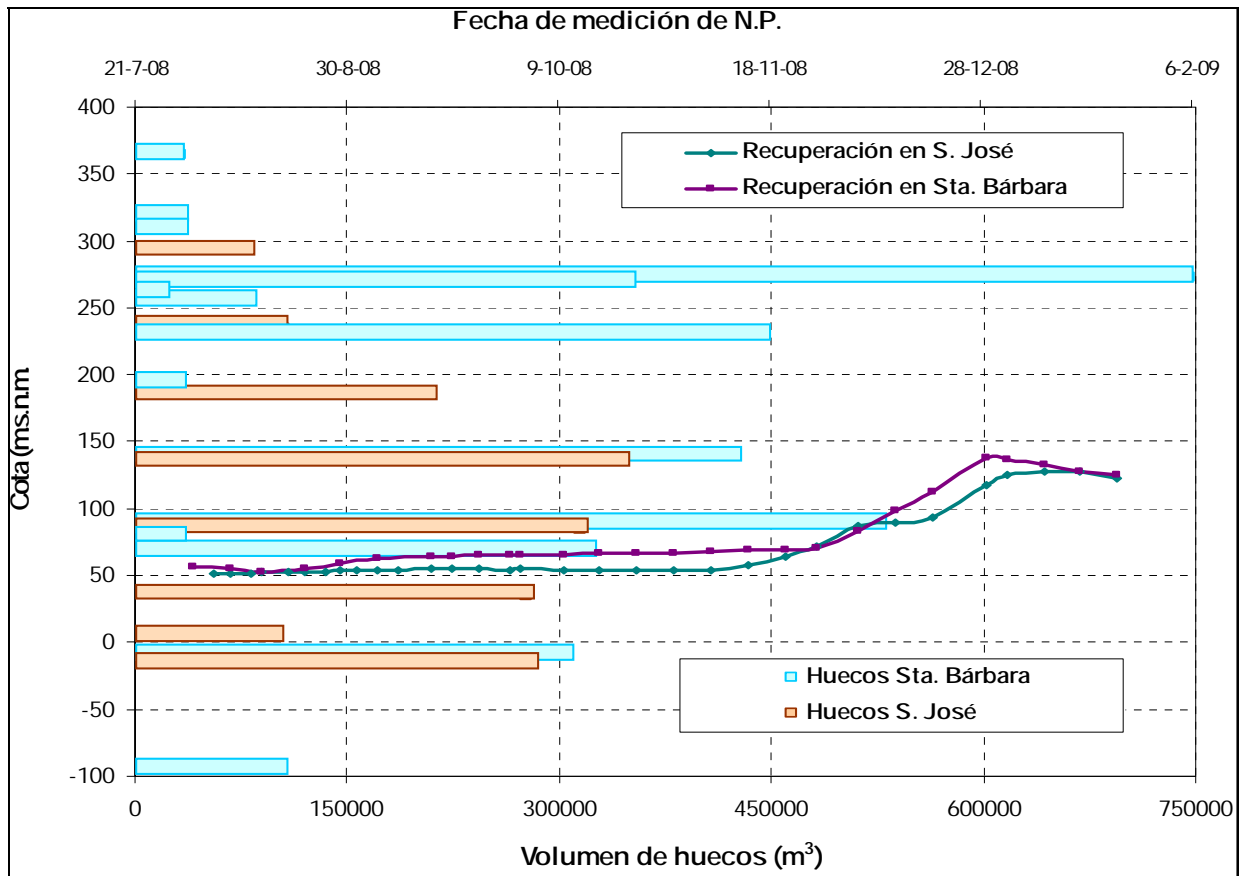


Figura 12-6.- Curvas de recuperación de los pozos San José y Santa Bárbara, comparadas con el volumen de huecos en cada cota, calculados para cada pozo.

Como en el caso anterior, se aprecia una estabilización del nivel piezométrico en su subida correspondiente a la inundación de los tramos con mayor volumen de huecos mineros.

12.2. MODELO DE INUNDACIÓN

Ante la necesidad de conocer la evolución del agua, ascenso del nivel y circulación de la misma, durante el proceso natural de inundación al cesar la actividad extractiva en la minería de interior, se optó por desarrollar junto a la empresa Sadim una herramienta informática que permitiera la visualización gráfica y modelización, para diferentes épocas y supuestos de carga-descarga, de la evolución del ascenso del

agua, a lo largo de los diferentes huecos mineros que el Grupo HUNOSA ha generado durante los años de actividad minera.

Debido al carácter lineal que representa toda la infraestructura minera, pozos de extracción, galerías de acceso, galerías de explotación etc..., necesaria para el normal desarrollo de la actividad, y a las especiales características geológicas e hidrogeológicas de la Cuenca Carbonífera Central (materiales prácticamente impermeables, elevados buzamientos), se optó por desarrollar una herramienta propia que recogiese las peculiaridades de nuestro sistema, ya que los programas de modelización al uso, Modflow o similares, no son aplicables de forma directa a nuestro objeto de estudio.

Dado que los diferentes servicios de topografía del Grupo HUNOSA utilizan la misma herramienta informática, Microstation, se optó por desarrollar una aplicación que en base a esta información permitiera alcanzar los objetivos deseados sin necesidad de adquirir nuevos paquetes informáticos.

La información de partida de la que se disponía era la siguiente:

- Gráfico 3D de la topología de las diferentes labores mineras en un fichero DGN de Microstation
- Información numérica de caudales de aporte y extracción

En el Anexo I.3. correspondiente al Modelo de inundación, aparece una descripción de la solución implementada, sus funciones, instalación y ejecución.

Funcionalidades de la aplicación

La aplicación en primer lugar procede a la lectura de los diferentes elementos contenidos en el archivo dgn, agrupando por zonas según se hayan definido en los ficheros de configuración.

Para el conjunto de los pozos Barredo –Figaredo (San Vicente y San Inocencio) –San José -Santa Bárbara, se diferenciaron tres zonas con distintas fases de llenado (Figura 12-7):

- La zona 1 corresponde a los pozos Barredo y Figaredo, desde sus plantas inferiores hasta la cota de unión del Pozo San José con el Pozo Figaredo (corresponde con 7ª planta de San Vicente y 3ª planta de San Inocencio).
- La zona 2 corresponde a los pozos Barredo y Figaredo, desde la cota de unión del Pozo San José con el Pozo Figaredo, hasta la brocal de sendos pozos.
- La zona 3 corresponde a los pozos San José y Santa Bárbara.

Posteriormente calcula los volúmenes reales representados por las líneas (galerías) y superficies (capas). Finalmente cada zona es dividida en secciones de un metro de altura calculando los volúmenes reales de cada sección, con el objeto de acelerar y simplificar los cálculos de posición a fecha dada.

El programa almacena en un fichero los resultados del análisis que se cargarán automáticamente con la aplicación de forma que no sea necesario volver a analizar los elementos gráficos en cada ejecución.

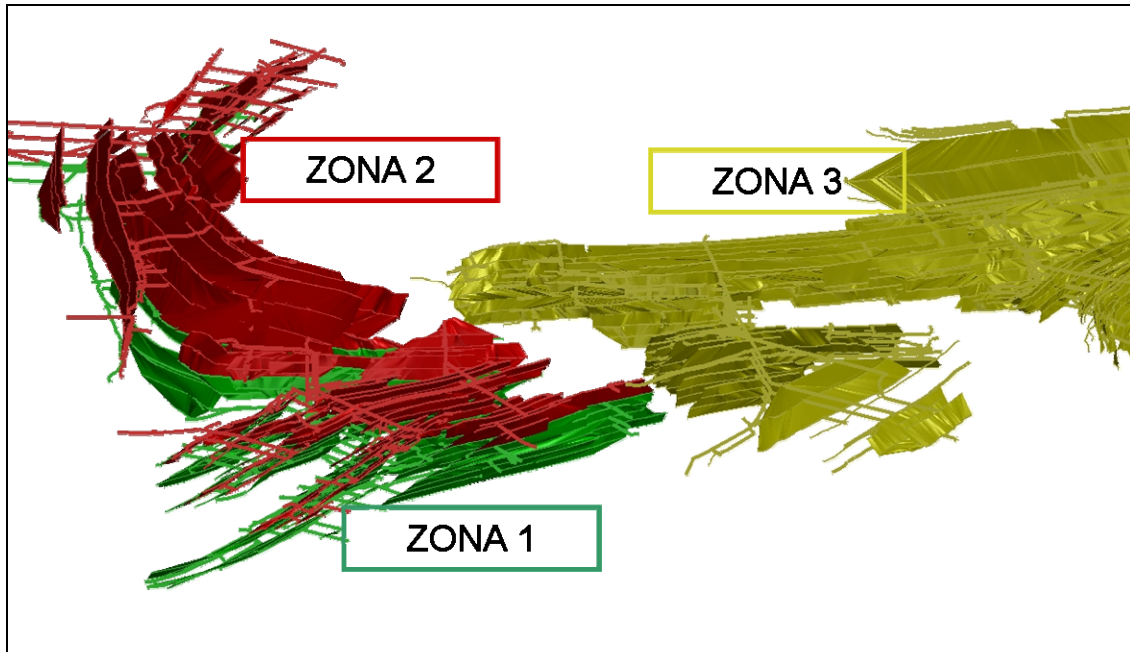


Figura 12-7.- Diferenciación por colores de las zonas 1, 2 y 3 de las labores y capas explotadas de los pozos Barredo, Figaredo, San José y Santa Bárbara para el funcionamiento del modelo de inundación

Cálculo de posición y estado en una fecha determinada

Inicialmente, se calcula el volumen de agua acumulada en el hueco minero hasta la fecha indicada, así como las zonas en las que se encuentra, según los volúmenes y órdenes de llenado/vaciado definidos para los distintos caudales.

Una vez calculadas las condiciones resultantes de cada zona para un caudal entrante fijado y una fecha determinada, se muestran los resultados de la capacidad, el volumen de agua almacenado y la cota del agua en cada zona, en la ventana de texto del interfaz, y gráficamente se visualizan sobre el dgn 3D de las diferentes labores mineras (Figura 12-8).

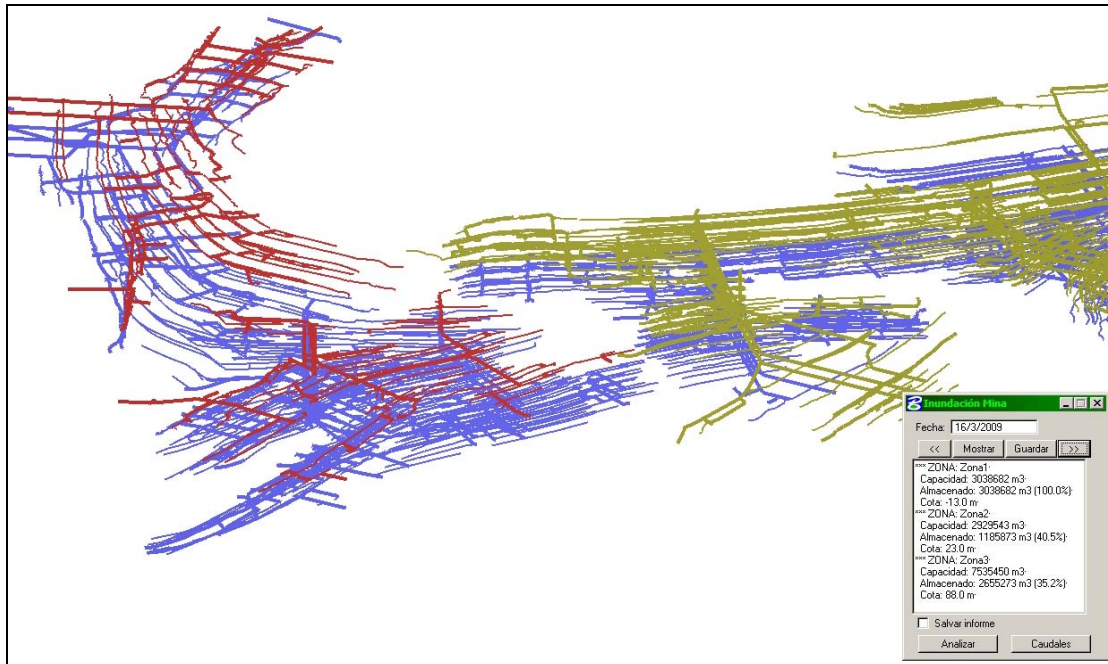


Figura 12-8.- Ejemplo de la visualización de la inundación de las labores de los pozos, donde se muestra la interfaz con los valores de volumen almacenado y cota del agua. El color azul muestra las labores ya inundadas

12.2.1. APLICACIÓN DEL MODELO DE INUNDACIÓN PARA LA PREDICCIÓN DE NIVELES

Para la predicción de los niveles de inundación que serán alcanzados a lo largo del tiempo se ha calibrado el modelo con los datos procedentes de la monitorización del sistema de pozos Barredo-Figaredo- San José- Santa Bárbara. Para ello se han introducido los volúmenes iniciales de llenado en el momento en que comienza el proceso de inundación, con el objeto de ajustar las cotas de agua iniciales, antes de que cesaran las labores de bombeo en los pozos.

Una vez hecho esto, se procedió a estimar el dato de los caudales de agua que se infiltrarían en las labores mineras durante los meses en que se pretende correlacionar el modelo. Para esto se parte de los caudales bombeados por los pozos

entre los años 2002 y 2007, que nos permiten obtener valores de caudal medio mensual, caudales mínimos y máximos. La comparación entre los datos climáticos de los meses en que la inundación se está desarrollando y los relativos a los años para los que se dispone de valores de caudales bombeados, apuntan a que los valores de este año podrían asemejarse a los recogidos durante el año 2004, de tal forma que para ejecutar la simulación se han considerado como parámetros de entrada al modelo los caudales bombeados por los pozos objeto de estudio durante un mes medio del año 2004.

Asimismo, para el correcto desarrollo del modelo se consideró como parámetro de entrada un coeficiente de infiltración entre los pozos San José- Santa Bárbara y Barredo - Figaredo del 9%. De esta forma los datos del nivel de agua correlacionaban de forma adecuada con los recogidos por el sistema de monitorización.

De acuerdo entonces a la simulación, el llenado completo del conjunto de huecos subterráneos hasta la cota de salida del agua (+220 m s.n.m., brocal del Pozo Barredo), se completaría a lo largo del mes de Agosto de 2009. Sin embargo, no parece probable el llenado de los pozos se complete, debido a la recomendación de seguridad para la protección del Pozo Santiago ante una posible avenida de aguas a través de la posible conexión con el Pozo San José. Para modelizar un posible ascenso del agua más acorde con el factor de seguridad establecido se ha realizado una segunda simulación, bajo la cual continuaría activo el bombeo en el Pozo Santa Bárbara, bombeando 4/5 partes del total del agua infiltrada que llega a los Pozos San José y Santa Bárbara. De esta forma el agua no alcanzaría el brocal del Pozo Barredo hasta el mes de Abril de 2010, mientras la cota del agua en el Pozo San José iría subiendo progresivamente hasta esa fecha, situándose a +177 m s.n.m., 40 metros por encima de la cota de la posible conexión con el Pozo Santiago.

12.3. SEGUIMIENTO Y MONITORIZACIÓN

La monitorización de la inundación de los pozos se realiza de forma manual - como ya se ha indicado en el primer apartado- y de forma automática. Los equipos de monitorización automática se encuentran instalados y en proceso de su puesta en marcha.

12.3.1. SEGUIMIENTO MANUAL

Como se indicó en el apartado 12.1, junto con cada medida del nivel del agua en los pozos estudiados se determinaron los parámetros pH, temperatura y conductividad eléctrica. Los valores medidos corresponden al agua localizada en la caña de los pozos que está en contacto con la atmósfera (más cercana a la superficie).

Estas medidas se realizaron semanalmente desde el 1 de agosto de 2008 hasta el 23 de enero del 2009, fecha de redacción del informe. Se continuará el muestreo durante el periodo de inundación de los pozos y al menos durante un año hidrológico. Los equipos utilizados son los empleados para el inventario de puntos de agua: pHmetros y conductivímetros portátiles de la marca Hanna, sonda multiparamétrica de la marca WTW (modelo "multi 350i/set") -para medida del pH y de la conductividad eléctrica- y el termómetro marca Digi-thermo.

pH del agua

En la Tabla 12-2 se exponen los valores de pH medidos en las muestras extraídas, y se puede ver su evolución en la Figura 12-9.

En el Pozo Figaredo los valores mínimo y máximo de pH observados son de 6,7 y 7,5, respectivamente, con un valor medio de 7,1 unidades de pH. En el Pozo

Barredo estos valores corresponden a 6,6 y 8,1, respectivamente, con un valor medio de 7,2. Los valores mínimo y máximo registrados en el Pozo San José corresponden a 6,6 y 7,3, respectivamente, con un valor medio de 7,0, mientras que el promedio para el Pozo Santa Bárbara es de 7,3, variando dentro de un rango de entre 6,6 y 7,8. Como se ve, todos los valores hasta ahora medidos son circumneutrales, con escasas variaciones.

Tabla 12-2.- Valores de pH medidos semanalmente en los pozos estudiados

Fecha muestreo	Figaredo	Barredo	San José	Santa Bárbara
01-ago-08	7,44	7,04	6,98	7,29
08-ago-08	7,29	7,06	7,04	7,4
14-ago-08	7,52	7,22	7,28	7,48
22-ago-08	7,27	7,29	7,28	7,55
29-ago-08	7,40	7,28	7,33	7,77
01-sep-08		7,27	7,29	
05-sep-08	7,02	6,96	7,06	7,64
15-sep-08	7,18	6,71	6,93	7,22
19-sep-08	7,05	7,09	7,16	7,69
24-sep-08	6,90	6,66	6,96	7,24
02-oct-08	7,22	6,81	6,83	7,52
10-oct-08	7,25	7,17	7,17	7,65
17-oct-08	7,08	6,95	7,06	7,55
24-oct-08	7,02	7,64	7,01	7,35
31-oct-08	7,48	8,08	7,30	7,70
07-nov-08	6,94	7,25	6,84	6,68
14-nov-08	6,91	6,88	6,79	6,90
21-nov-08	7,05	7,39	6,86	7,04
27-nov-08	7,02	7,54	6,83	6,68
05-dic-08	7,20	7,20	7,00	7,64
12-dic-08	7,20	7,19	6,97	7,19
19-dic-08	6,95	7,05	7,03	6,84
29-dic-08	7,10	7,70	6,79	6,88
02-ene-09	6,67	7,96	6,78	
09-ene-09	7,44	7,56	7,10	7,29
16-ene-09	6,76	6,77	6,58	6,62
23-ene-09	6,75	6,63	6,56	6,60

En los cuatro pozos el pH se mantiene dentro del intervalo de 6,5 y 8,1 unidades de pH, con un valor medio de 7,0. El Pozo Barredo es el que mayor fluctuación de pH sufre.

En la Figura 12-9 se muestra la evolución a lo largo del tiempo del pH medido en los cuatro pozos. Se puede observar un paralelismo en las fluctuaciones del parámetro, de forma que el coeficiente de correlación entre el pH medido en San José y el medido en Santa Bárbara es de 0,8 y lo mismo ocurre entre éstos y el registrado en Figaredo. Únicamente el pH medido en el Pozo Barredo parece no seguir de forma clara la tendencia de los otros tres.

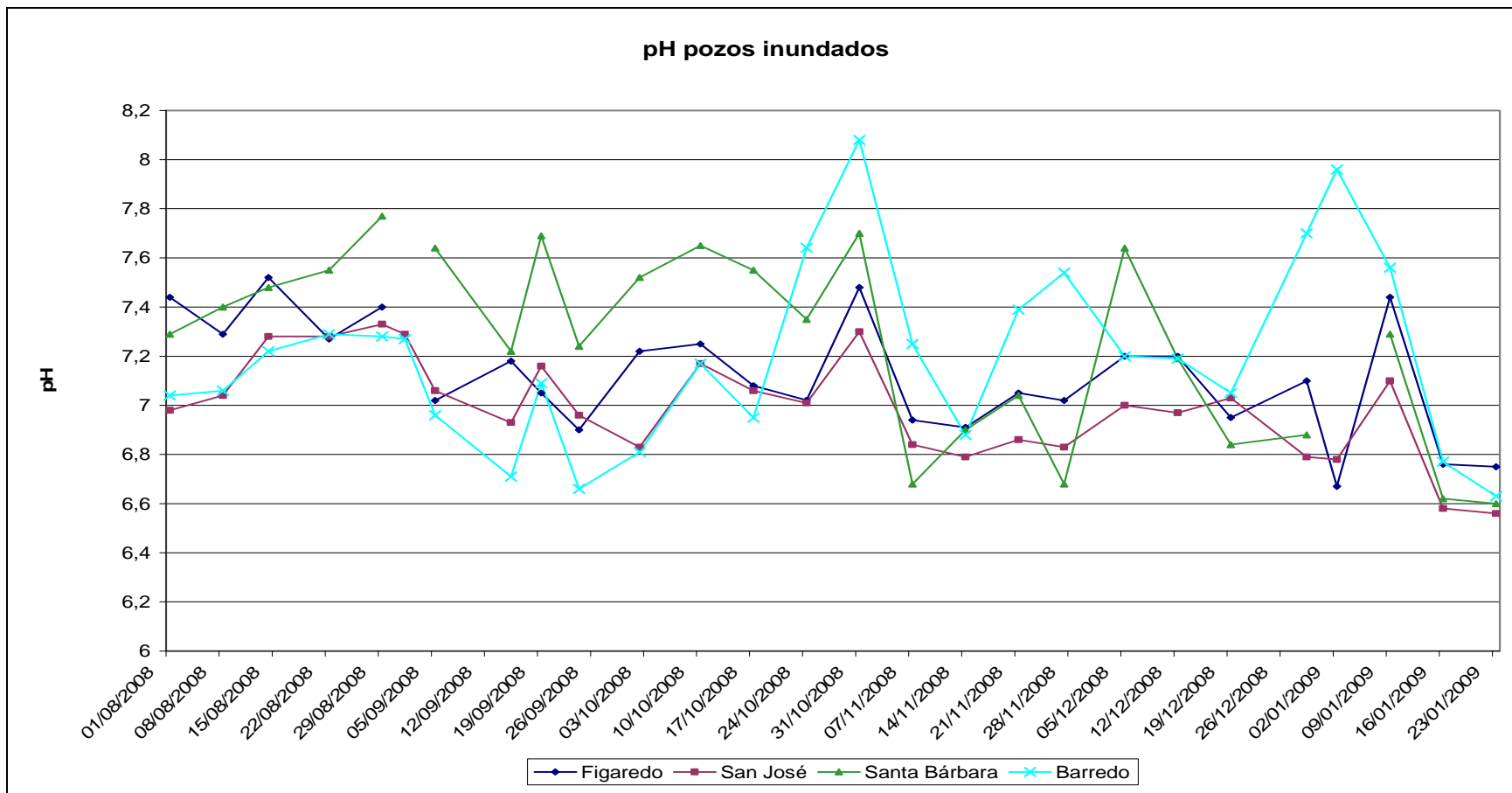


Figura 12-9.- Evolución de los valores de pH medidos semanalmente en la caña de los pozos estudiados

Conductividad eléctrica del agua

En la Tabla 12-3 se exponen los valores de conductividad eléctrica medidos en las muestras extraídas con el tomamuestras, y se puede ver su evolución en la Figura 12-10.

Tabla 12-3.- Valores de conductividad eléctrica (CE) medidos semanalmente en los pozos estudiados (datos expresados en $\mu\text{S/cm}$)

Fecha muestreo	Figaredo	Barredo	San José	Santa Bárbara
01-ago-08	3620	1594	1528	1274
08-ago-08	3750	3550	1515	1252
14-ago-08	3830	1875	1497	1268
22-ago-08	4950	1721	1518	1245
29-ago-08	5540	2850	1566	1199
01-sep-08		1927	1475	
05-sep-08	5400	1858	1307	992
15-sep-08	5410	1731	1306	973
19-sep-08	5340	1758	1292	1001
24-sep-08	5450	1930	1616	1206
02-oct-08	5210	1760	1645	1215
10-oct-08	5120	1624	1715	1263
17-oct-08	4980	1668	1684	1291
24-oct-08	4550	1513	1594	1223
31-oct-08	4550	1348	1473	1161
07-nov-08	4450	1403	1590	1205
14-nov-08	4590	1394	1574	1161
21-nov-08	4590	1463	1503	1116
27-nov-08	5250	1338	1540	1106
05-dic-08	5120	2770	1522	1273
12-dic-08	4690	2940	1535	1436
19-dic-08	3600	1681	1686	1417
29-dic-08		1580	1224	1792
02-ene-09	3070	1577	1979	1771
09-ene-09	3360	1360	1804	1631
16-ene-09	3490	1755	1729	1611
23-ene-09	3550	1775	1764	1693

En el Pozo Figaredo los valores mínimo y máximo de conductividad eléctrica observados son de 3070 y 5540 $\mu\text{S/cm}$ con un valor medio de 4538 $\mu\text{S/cm}$. En el Pozo Barredo corresponden a 1338 y 3550 $\mu\text{S/cm}$ respectivamente, con un valor medio de

1842 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Los valores mínimo y máximo registrados en el Pozo San José corresponden a 1224 y 1979 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente, con un valor medio de 1562 $\mu\text{S}/\text{cm}$, mientras que el promedio para el Pozo Santa Bárbara es de 1299 $\mu\text{S}/\text{cm}$ variando dentro de un rango de entre 973 y 1792 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

La conductividad eléctrica se mantiene para los pozos Barredo, San José y Santa Bárbara entre 1000 y 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, salvo en algunos días en el pozo Barredo donde se obtuvieron valores de hasta 3000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Como se ha indicado antes, en el Pozo Figaredo (San Inocencio) es donde se han detectado las conductividades más altas (hasta 5540 $\mu\text{S}/\text{cm}$), aunque a partir de diciembre de 2008 éstas se reducen. Esto puede ser debido a la mezcla con el agua del Pozo Barredo, de conductividad menor (se pueden ver las conexiones entre estos dos pozos en el apartado 6.2).

Debe tenerse en cuenta, no obstante, la estratificación hidroquímica que con frecuencia tiene lugar en las minas subterráneas inundadas. Las muestras tomadas en la superficie del agua dentro de la caña de los pozos parcialmente inundados no pueden considerarse como representativas de la calidad de toda la columna de agua. Es más factible que se produzca esta estratificación en sistemas de lenta recuperación con pocas entradas y salidas de agua, ya que las que penetran desde arriba, más superficiales y menos mineralizadas, ocupan la parte superior de la columna, mientras que aquellas más mineralizadas (con más sólidos disueltos) tienden a permanecer en el fondo de la misma. La estratificación suele desaparecer cuando se produce una alteración por bombeo o cuando el nivel piezométrico alcanza una salida del sistema, como puede ser una antigua galería (Nuttall y Younger, 2004).

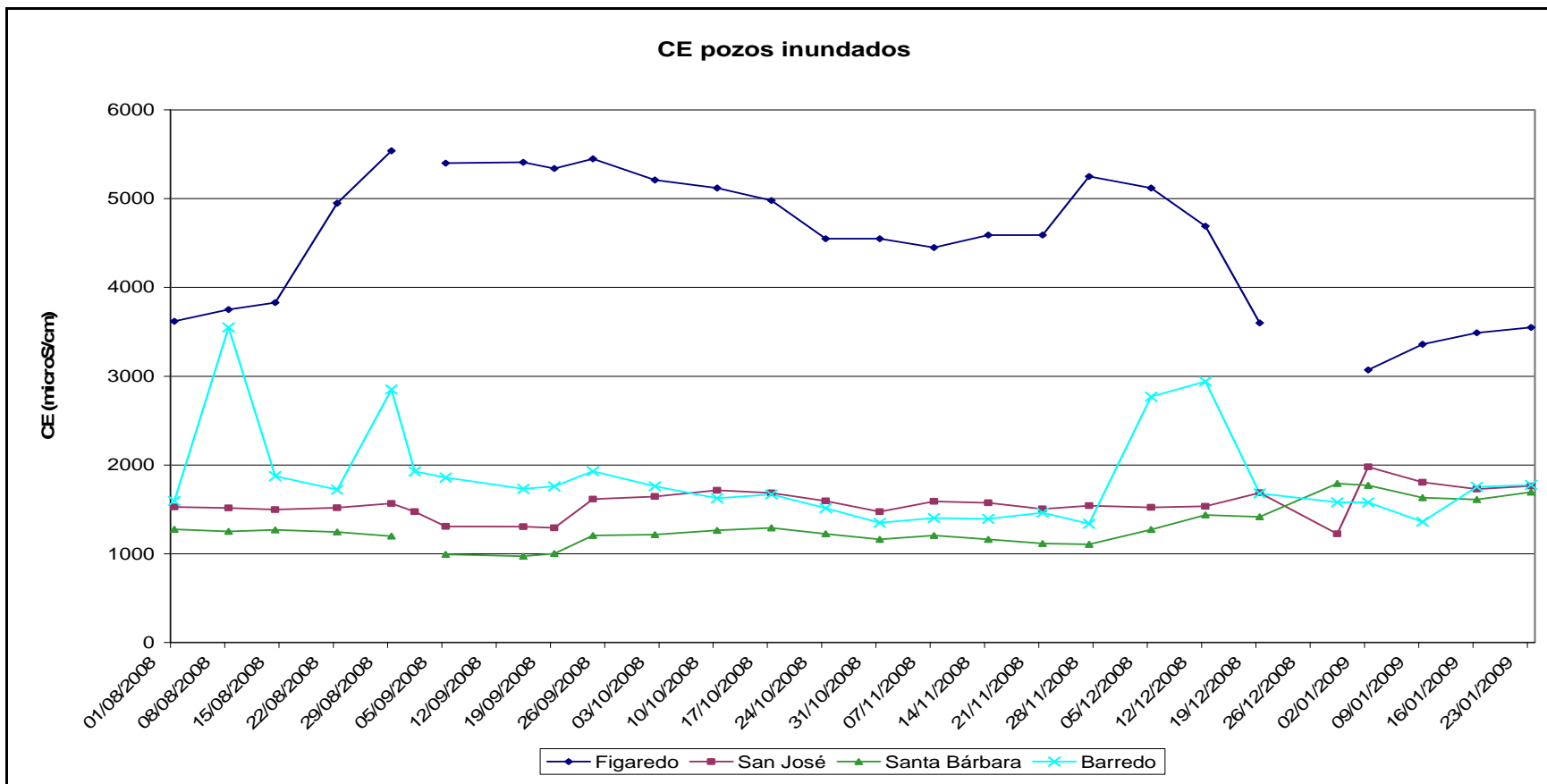


Figura 12-10.- Evolución de los valores de conductividad eléctrica medidos semanalmente en la caña de los pozos estudiados

Temperatura del agua

En la Tabla 12-4 se exponen los valores de temperatura del agua (en °C) medidos en las muestras extraídas con el tomamuestras, y se puede ver su evolución en la Figura 12-11.

Tabla 12-4.- Valores de temperatura del agua medidos semanalmente en los pozos estudiados (datos expresados en °C)

Fecha muestreo	Figaredo	Barredo	San José	Santa Bárbara
01-ago-08	22,5	19,6	19,7	20,1
08-ago-08	22,4	18,8	18,6	19,7
14-ago-08	20,1	18,5	18,4	20,0
22-ago-08	21,1	18,3	19,1	20,7
29-ago-08	22,6	19,0	19,3	19,9
01-sep-08		18,5	18,8	
05-sep-08	23,0	18,7	19,6	18,3
15-sep-08	21,3	18,6	18,7	17,8
19-sep-08	22,0	19,1	19,5	18,5
24-sep-08	19,3	17,6	16,6	17,0
02-oct-08	20,5	18,2	18,1	17,4
10-oct-08	20,5	18,2	18,0	17,9
17-oct-08	21,1	18,0	19,2	18,2
24-oct-08	17,8	18,5	18,6	18,4
31-oct-08	16,5	17,6	18,2	17,1
07-nov-08	18,2	17,9	18,6	17,7
14-nov-08	16,9	17,5	17,8	16,8
21-nov-08	18,4	19,0	18,9	18,6
27-nov-08	17,5	16,0	16,9	15,4
05-dic-08	19,1	17,3	17,3	15,8
12-dic-08	17,1	17,0	16,3	15,6
19-dic-08	17,3	16,8	18,0	16,4
29-dic-08	15,9	16,3	16,2	15,7
02-ene-09	16,6	16,4	17,4	17,1
09-ene-09	14,7	15,0	16,4	16,4
16-ene-09	17,1	16,1	17,3	17,7
23-ene-09	17,1	16,8	18,3	18,2

En el Pozo Figaredo los valores mínimo y máximo de temperatura observados son de 14,7 y 23°C respectivamente, con un valor medio de 19,1°C. En el Pozo Barredo corresponden a 15,0 y 19,6°C con un valor medio de 17,8°C.

Los valores mínimo y máximo registrados en el Pozo San José corresponden a 16,2 y 19,7°C respectivamente, con un valor medio de 18,1°C, mientras que el promedio para el Pozo Santa Bárbara es de 17,8°C, variando dentro de un rango de 15,4 y 20,7°C.

Los valores de temperatura de las muestras tomadas (del agua más superficial de la caña del pozo), han seguido un ligero descenso a medida que ha ido ascendiendo el nivel de agua desde que se empezó a medir el 1 de agosto de 2008. Sin embargo en el mes de enero ha vuelto a aumentar la temperatura a valores en torno a 17°C para el conjunto de los pozos Barredo - Figaredo, y a 18°C para el conjunto San José - Santa Bárbara.

De cualquier forma, hay que tener en cuenta que la temperatura de la lámina superior de agua en la caña de los pozos (que es de donde se toman las muestras de agua para medir estos parámetros, como ya se ha indicado anteriormente), se ve muy influenciada por la temperatura ambiente, y esta influencia disminuye al ir descendiendo de cota.

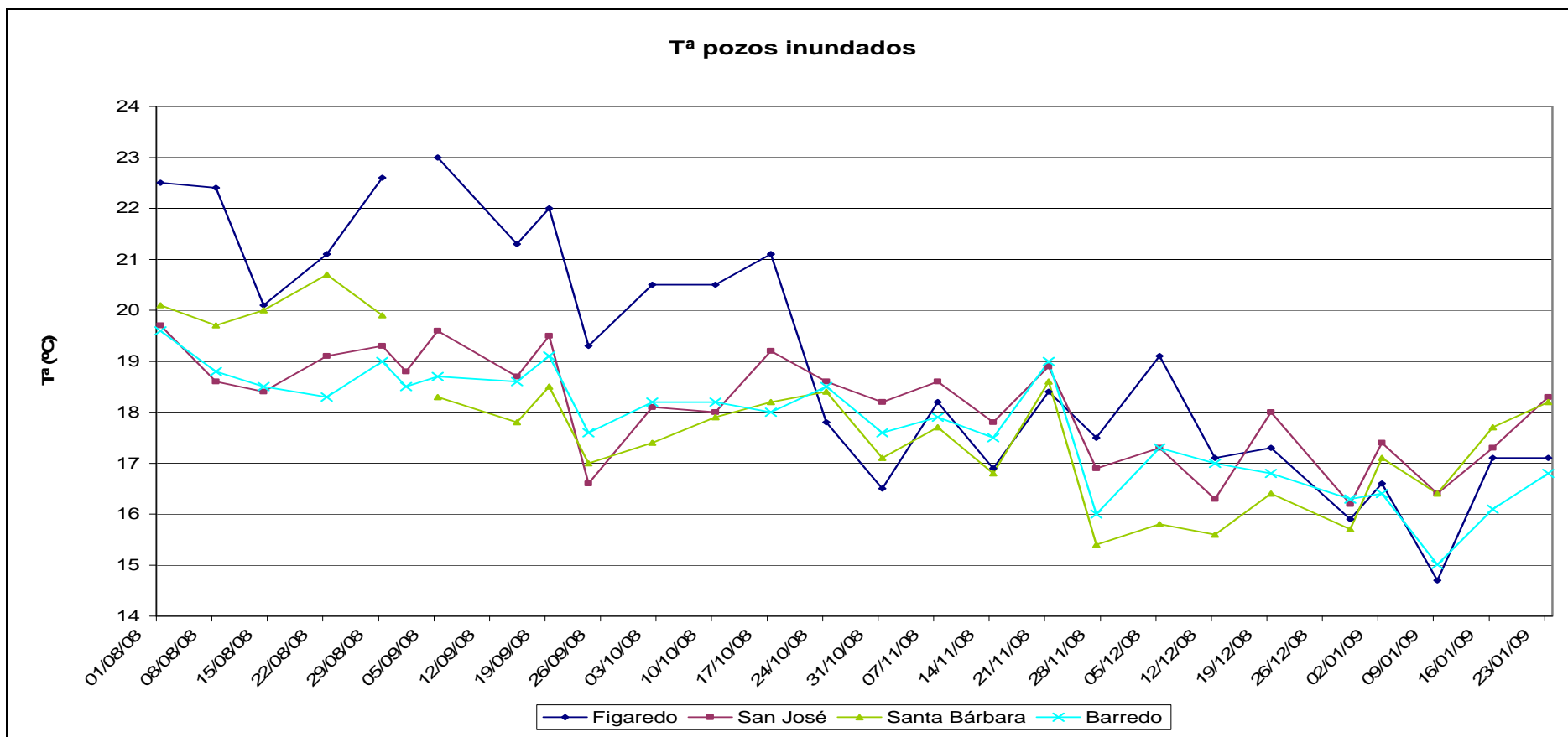


Figura 12-11.- Evolución de los valores de temperatura del agua medidos semanalmente en la caña de los pozos estudiados

Se han realizado perfiles térmicos en la caña del Pozo Barredo para comprobar que existe un gradiente térmico en los pozos inundados. En la Figura 12-12 se muestran los valores obtenidos en las medidas del 19 de diciembre de 2008 y el 16 de enero de 2009. El 19 de diciembre, el nivel de agua en la caña del pozo estaba a -29,30 m s.n.m. y había una temperatura ambiente de 7,7°C, mientras que el 16 de enero el nivel estaba a 26,05 m s.n.m. y la temperatura ambiente era de 10,4°C.

Como se aprecia en la figura, también se ha medido la temperatura del aire a lo largo de la caña del pozo, para ver su variación con la profundidad.

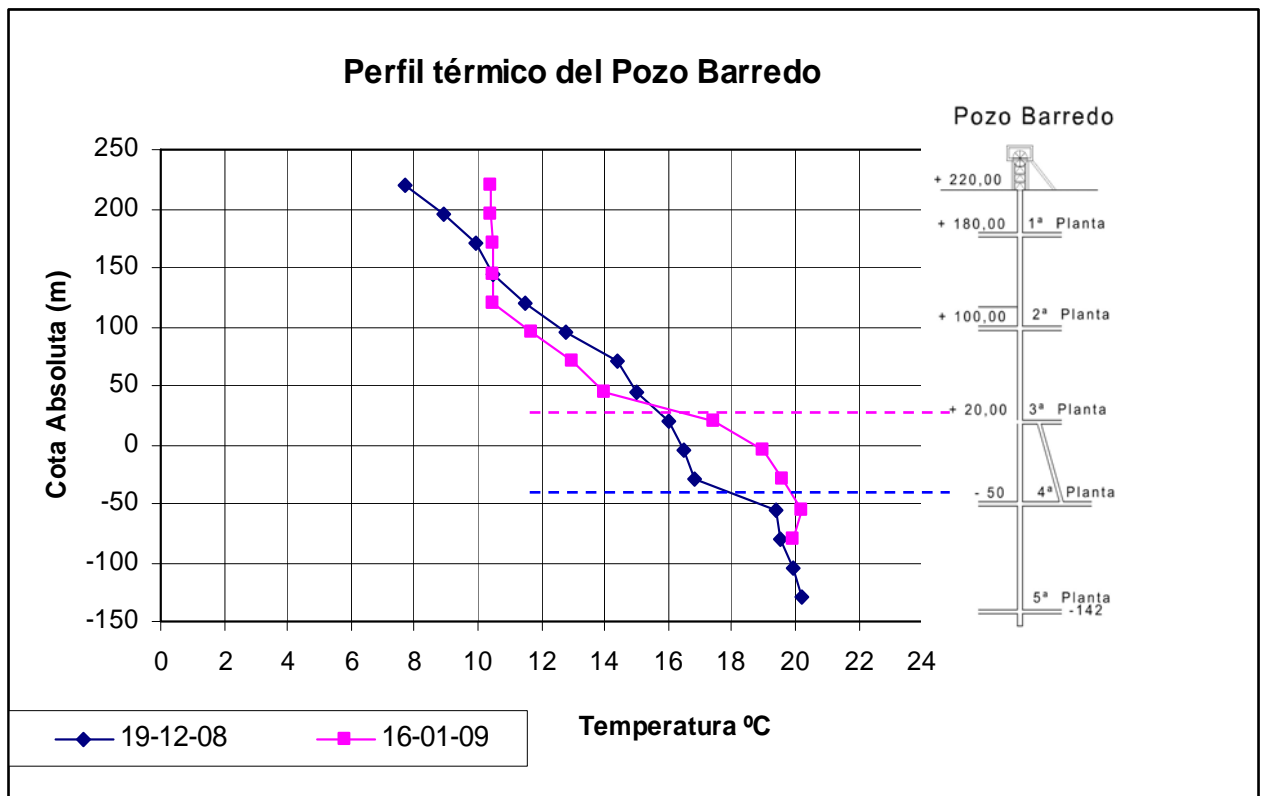
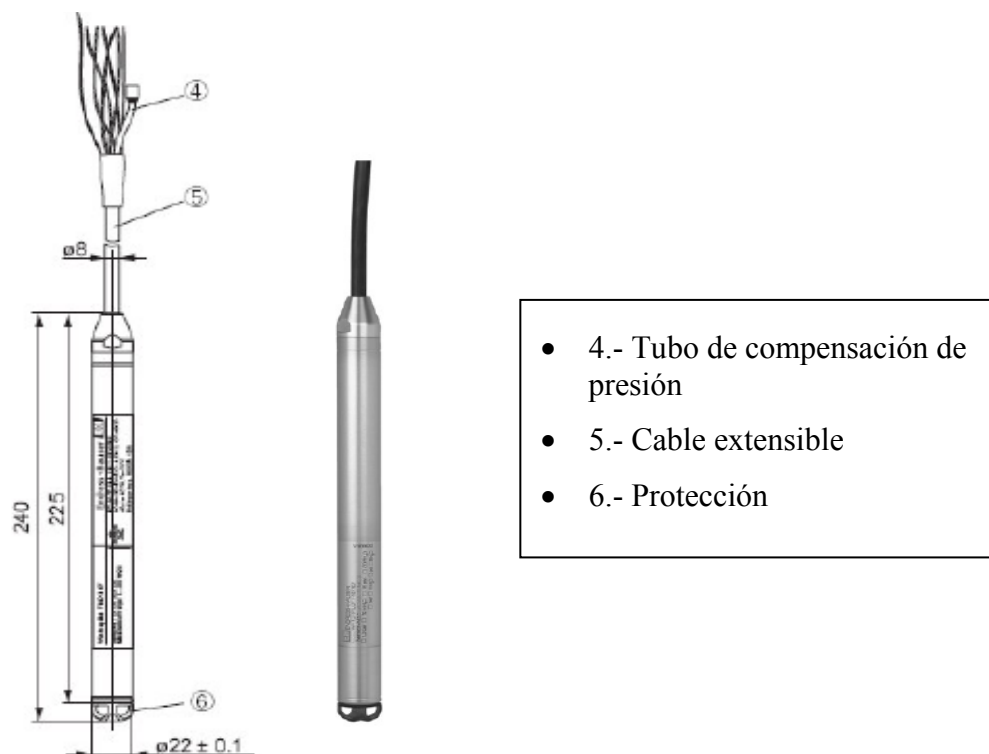


Figura 12-12.- Variación de la temperatura en la caña del Pozo Barredo con la profundidad. En línea discontinua se muestra la cota del nivel de agua en el día correspondiente según el color

12.3.2. MONITORIZACIÓN AUTOMÁTICA

De cara a la inundación de los pozos ya mencionados, se decidió monitorizarlos con el fin de controlar automáticamente las variaciones del nivel del agua desde el lugar de trabajo y obtener datos continuos

Los medidores de nivel hidrostáticos instalados son sensores de presión de la marca Endress & Hauser, modelo FMX-167 con un diámetro exterior de 22 mm (Figura 12-13) y con un límite del sensor de 200 m de columna de agua. Tienen un cable de 500 m y son fijos.



- 4.- Tubo de compensación de presión
- 5.- Cable extensible
- 6.- Protección

Figura 12-13.- Esquema e imagen de la sonda FMX-167 de 22 mm de diámetro exterior. Las medidas aparecen indicadas en milímetros

A continuación aparece una relación de la cota absoluta a la que se encuentran

situados los medidores de nivel hidrostático monitorizados en cada pozo:

- **Pozo Figaredo:** Situado a la cota de -106.3 m s.n.m., a 360 m de la brocal del pozo.
- **Pozo Barredo:** Situado a la cota de -110 m s.n.m., a 330 m de la brocal del pozo.
- **Pozo San José:** Situado a la cota de +54 m s.n.m., a 240 m de la brocal del pozo.
- **Pozo Santa Bárbara:** Situado a la cota de +40 m s.n.m., a 294 m de la brocal del pozo. En la Fotografía 12-2 se muestra la sonda FMX-167 de 22 mm de diámetro exterior junto con el cable de 50 m, antes de su instalación en el Pozo Figaredo.



Fotografía 12-2.- Sonda FMX-167 de 22 mm de diámetro exterior

En los cuatro pozos se encuentran instalados los autómatas SIEMENS SIMATIC S7-300. Los procesadores de comunicaciones permiten integrar directamente los controladores SIMATIC S7-300 en Industrial Ethernet. Cada siemens utiliza un módulo de comunicaciones CP343-1 (Fotografía 12-3) con dos bocas Ethernet, aunque en principio sólo necesitan una boca.

Todos ellos serán monitorizados desde un equipo situado en el Pozo Santiago comunicándose con la red del Grupo HUNOSA mediante tecnología ADSL.



Fotografía 12-3.- Procesador de comunicaciones CP 343-1 instalado en una construcción anexa al Pozo Barredo

13. RIESGOS DE AFECCIÓN DEL PROCESO DE INUNDACIÓN

Otro de los aspectos contemplados en este estudio ha sido el análisis de los posibles riesgos asociados al proceso de cese de bombeo, llenado de las labores mineras y drenaje de las mismas en ausencia de bombeos. El primer riesgo contemplado ha sido la posible afección relacionada con la aparición de zonas inundadas. Si el agua va ascendiendo paulatinamente debido a la infiltración en las explotaciones mineras y no se realiza ninguna descarga artificial de las mismas, la cota de drenaje por gravedad de toda la zona corresponde a la del brocal del pozo Barredo, situado a +220,7 m s.n.m. En este caso, los materiales situados a cota inferior podrían verse afectados por el aumento de los niveles y presentar riesgo de inundación, si bien para que tenga lugar este fenómeno tiene que existir conexión hídrica entre las labores mineras y los materiales aflorantes. La inundación de las labores y el consiguiente ascenso del nivel del agua puede provocar filtraciones en garajes y plantas inferiores de las viviendas y muros de contención. Tal es el caso ocurrido en la localidad de Vegadotos (Rioturbio) (Hunosa, 2005), situada en el término municipal de Mieres, donde, tras el cese del bombeo a principios de 2001, el nivel del agua del Pozo Tres Amigos alcanzó el brocal en el año 2004, y, coincidiendo con una época del año caracterizada por un incremento notable de la escorrentía superficial (debida a elevadas precipitaciones, nieve, deshielo, etc.), se generaron filtraciones en edificios, dando lugar a una polémica en torno al cierre de las instalaciones mineras. (Álvarez-Fernández, 2005)

Con el objeto de prevenir las posibles afecciones al sector de población ubicado en la zona se ha procedido a la delimitación de un área en el que podría existir riesgo de inundación. La delimitación de esta zona potencialmente inundable se ha realizado utilizando como referencia el mapa hidrogeológico, señalando en él el área que está situada a cota inferior a +240 m s.n.m., que es la cota estimada de

seguridad respecto a la que se encuentra el brocal del Pozo Barredo. En el mapa II.7 se refleja esta zona inundable y se puede observar que en ella afloran sedimentos cuaternarios y carboníferos. Los materiales cuaternarios presentan, como ya se ha mencionado, permeabilidad por porosidad intergranular, pero hay que tener en cuenta que, debido al ambiente sedimentológico, las litologías son variables, por lo que la probabilidad de que se produzcan afecciones no deseables estará condicionada por las características hidrogeológicas del subsuelo. Respecto a los materiales carboníferos cabe reiterar que presentan valores de conductividad hidráulica predominantemente muy bajos o prácticamente nulos, únicamente los niveles permeables intercalados podrían presentar circulación de agua además de las zonas de fractura. Por todo lo expuesto, resulta obvio que la presencia de afecciones al sector de población ubicado en esta zona estará limitada a las edificaciones situadas sobre materiales permeables. Se considera necesario proponer la instalación de un sistema de monitorización a fin de prevenir afecciones negativas, que consistirá en la ejecución de varios piezómetros que permitan controlar la evolución de niveles en la zona y tomar las medidas oportunas en caso de que el agua alcance niveles de riesgo.

Por otra parte, cabe la posibilidad de que se produzca una reactivación de antiguas vías de drenaje situadas en el área inundable o en su entorno, de forma permanente o asociadas a eventos de fuertes precipitaciones, si bien se estima que esto no supondrá una afección negativa, dada la buena calidad del agua drenada a través de las labores, como se expuso en capítulos anteriores. Respecto a la afección potencial sobre los cursos superficiales se debe tener en cuenta que el porcentaje del agua de bombeo representa menos del 5% del caudal circulante, por lo que tampoco se estima que suponga una afección negativa sobre el volumen de agua que forma el curso. Además, se ha contemplado la posible modificación de la calidad química del agua como consecuencia de la circulación del agua a través de las labores mineras que da lugar en múltiples ocasiones a las conocidas como “aguas ácidas de mina”. En este estudio se ha podido establecer que en el caso de la inundación de las labores mineras no se prevé la generación de aguas ácidas, debido a la atenuación natural que tiene

lugar como consecuencia de la presencia de materiales alcalinos en los sedimentos que forman parte del yacimiento carbonífero. Sin embargo, se puede observar durante este proceso de inundación un aumento considerable de la conductividad eléctrica del agua en el Pozo Figaredo, llegando a sobrepasar los 5.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (aunque actualmente esta cifra está disminuyendo), además de aumento de concentraciones en algunos metales como manganeso o hierro. De cualquier modo, esta variación en los parámetros químicos del agua de mina no va a afectar en gran medida a la composición química del agua de los cauces fluviales, debido a que el caudal de vertido de dicha agua es bajo en relación con el caudal total que presenta el cauce fluvial.

Otro de los riesgos contemplados se relaciona con el fenómeno de inestabilidad de laderas asociado al abandono y cese de bombeo de labores mineras de montaña y cielo abierto. La Cuenca Carbonífera Central se ve continuamente afectada por movimientos del terreno, que son favorecidos por las condiciones orográficas y climáticas y que están condicionados fundamentalmente por la naturaleza y estructura del sustrato geológico. Las modificaciones del terreno, tanto topográficas como hidrológicas, a causa de las labores mineras son un factor a tener en cuenta desde el punto de vista del riesgo de inestabilidades. Estas inestabilidades, generalmente, afectan a zonas relativamente reducidas del terreno, si bien de forma indirecta pueden provocar grandes trastornos sociales (incomunicación, falta de suministros, etc.) y pérdidas económicas a posteriori (Domínguez Cuesta, 2003). El abandono de las labores y el cese del bombeo en la minería de valle, con su consiguiente inundación, podría favorecer la presencia de movimientos en masa (deslizamientos, desprendimientos y flujos) dentro de la zona inundable o en su entorno, por lo que en caso de detectarse cualquier incidencia en este sentido sería conveniente la realización de un estudio geomorfológico y un análisis del riesgo real.

14. POSIBILIDADES DE APROVECHAMIENTO DEL AGUA

Paralelamente al resto de los trabajos, se ha llevado a cabo un estudio de las posibilidades de aprovechamiento de las aguas mineras de la zona, así como un análisis de la demanda. El análisis de los puntos de captación ha incluido los dos factores fundamentales para un posible aprovechamiento: por un lado, la cantidad de agua disponible, para lo que se estudiaron en detalle las infraestructuras hidráulicas de las que el Grupo HUNOSA dispone, y, por otro, la calidad de las aguas bombeadas, de cara a la determinación de los sistemas de depuración necesarios para los distintos posibles usos de las mismas.

Este estudio se realizó basándose fundamentalmente en una campaña de campo, constatando el estado de los sistemas de bombeo (parámetros reales y nominales de las bombas, especialmente altura manométrica, potencia de los motores y caudal evacuado, materiales de las tuberías, incrustaciones, etc.), los caudales realmente desaguados, y realizando una primera estimación de la calidad de las aguas, mediante medidas de la temperatura, conductividad, pH y contenido en sólidos en suspensión del agua en las cunetas de todas las plantas visitables de los pozos, procurando evaluar el origen de los posibles contaminantes.

Además de la toma de estos datos, se recopilaron planos de recorrido del vertido, desde su salida del pozo hasta el actual punto de vertido, así como los datos correspondientes a los actuales sistemas de medida del caudal, en los pozos en los que se dispone de estos (bien caudalímetros convencionales o dispositivos de medida en canales de vertido). Asimismo se realizaron aforos en los puntos donde las condiciones constructivas lo permitían.

Como parte del trabajo realizado se contactó con los Ayuntamientos de Mieres

y Aller, así como con la mayoría de las empresas sitas en los polígonos industriales cercanos a los puntos de vertido:

- en Mieres: polígono de Vega de Baíña, zonas industriales de La Pereda y Ablaña, polígonos de Fábrica de Mieres, Naves de Sueros, Gonzalín, Vega de Arriba, La Cuadriella, Senriella y Sovilla.
- en Aller: polígonos industriales de Oyanco, Caborana y Marianes.

Una vez realizadas las visitas, y analizados los datos aportados por los pozos, se elaboró una lista de posibles actuaciones (Tabla 14-1), correlacionando puntos de captación con posibles clientes y procediéndose al análisis completo de las muestras conforme al Real Decreto 140/2003.

Tabla 14-1: Lista de posibles actuaciones

ACTUACIÓN	POSIBLES DESTINOS
POZO BARREDO Y BOCAMINA MARIANA	DEPÓSITO DE LA HERRADURA
POZO SAN JOSÉ	DEPÓSITO DE VILLAPENDI
POZO SANTIAGO	DEPÓSITO DE CABORANA
POZO SAN ANTONIO	DEPÓSITO DE LA CORTINA
POZO SAN ANTONIO	ADUCCIÓN DE LEVINCO

Una vez estudiados estos datos, se realizó un análisis somero de las necesidades de tratamiento del agua captada de acuerdo a las necesidades concretas de cada posible usuario, así como un estudio de las infraestructuras de transporte del agua al potencial destinatario. Las aguas que presentan mejores características para el posible desarrollo de un proyecto de aprovechamiento son las del Pozo San Antonio, así como las de la Bocamina Mariana, que de acuerdo a los resultados de los análisis podrían utilizarse tras un tratamiento tipo A1 (tratamiento físico simple y desinfección).

El Pozo San Antonio aparece como el punto de aprovechamiento más prometedor, dado el elevado caudal disponible en el pozo, que supera los dos millones

y medio de metros cúbicos anuales. Las aguas de este pozo, ya inactivo, gozan de una calidad que permitiría su puesta en valor tras un tratamiento Tipo A1 (filtración y desinfección), asumible para el fin que se propone.

Asimismo, el intenso estudio llevado a cabo en la zona ha permitido constatar la viabilidad del aprovechamiento térmico de las aguas, de cara a la utilización de la energía geotérmica que estas trasportan para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria. En el caso de la zona objeto de estudio, se considerará para los cálculos que siguen el caudal desaguado por los pozos Barredo, Figaredo, San José y Santa Bárbara (entre 7,5 y 9 Hm³ /año) ya que mantienen una temperatura estable que oscila entre los 17 y 25°C, y se mantiene constante a lo largo de todo el año. Estas condiciones de caudal y temperatura son muy favorables para su utilización como fuente de energía mediante sistemas de bomba de calor, que permiten el empleo de fuentes de energía térmica de baja entalpía.

Un cálculo aproximado del potencial térmico de los pozos sitos en la zona objeto de estudio podría obtenerse aplicando la fórmula:

$$P_t = (\Delta T \times Q \times C_e \times \rho) / t$$

- Donde:
- ΔT = Salto térmico aprovechable (°C), que en un caso conservador se podría aproximar a 5°C.
- Q= Volumen evacuado anualmente (m³), que en este caso sería de hasta 8,5 Hm³.
- C_e= Calor específico del agua (J/kg.°C).
- ρ = Densidad del agua (kg/m³).
- t= Tiempo de funcionamiento (s).

$$P_t = 5^\circ\text{C} \times 8,5 \times 10^6 \text{ m}^3 \times 4.186 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1} \times 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 1 / (365 \times 24 \times 3600) \text{ s}^{-1} \approx 5,64 \text{ MW}_t$$

Esta cifra supone un importante potencial energético que actualmente se está desaprovechando, y al que, por puro concepto de sostenibilidad, se busca dar uso. Si se tienen en cuenta los coeficientes de eficiencia que en climas suaves alcanzan las bombas de calor comerciales, se puede calcular la energía necesaria para el funcionamiento del compresor, que representa el consumo energético del sistema. Las bombas de calor agua-agua habituales ofrecen valores de $\text{COP} \geq 5$, pudiendo producir agua caliente a 45°C (CIATESA, 2007).

El potencial térmico del foco caliente será $P_c = P_f + W_e$, siendo W_e el trabajo aportado al compresor de la bomba de calor. Por tanto:

$$\text{COP} = P_c / W_e = (P_f + W_e) / W_e = 1 + P_f / W_e > 5 \Rightarrow W_e < P_f / 4$$

$$W_e \approx 1,41 \text{ MW}_{\text{eléctricos}}$$

A partir de estos datos, considerando el rendimiento de las bombas de calor habituales, se tiene que un consumo de $1,41 \text{ MW}_{\text{eléctricos}}$ generaría una potencia térmica de calefacción de $5,64 + 1,41 = 7,05 \text{ MW}_t$.

Puesto que, como se ha dicho, la bomba estaría disponible durante 24 horas diarias, esto supondría una energía térmica anual disponible para calefacción de $7,05 \cdot 24 \cdot 365 = 61.761 \text{ MWh}_t$ /año, consumiendo únicamente $1,41 \cdot 24 \cdot 365 = 12.352 \text{ MWh}_{\text{eléctricos}}$ /año.

El uso de esta fuente de calor disminuye de forma importante las emisiones de CO_2 respecto a los sistemas tradicionales, permitiendo reducciones medias que oscilan entre un 65% y un 54%, en el caso de usar gasóleo o gas natural respectivamente, en

lugar de la bomba de calor.

Finalmente, es determinante el balance económico. Teniendo en cuenta que el coste del kWh_t facilitado por la bomba de calor es el precio del kWh_t/COP, y partiendo del precio medio en España en 2006, para consumidores industriales como el Grupo HUNOSA (EUROSTAT, 2007), de 0,0757 €/kWh_e, sin IVA, se tendría un coste de 0,0150 €/kWh_t.

Para su comparación con el kWh_t producido con caldera de gas (el sistema más habitual en esta zona) se parte de unos precios recogidos en el BOE de Sábado 30 de Diciembre de 2006, con aplicación de la tarifa 3.2, para consumidores con consumos superiores a 5.000 kWh/año e inferiores a 50.000 kWh/año, que consta de un término fijo de 5,4600 €/mes y un término variable de 0,0421 €/kWh. Considerando un rendimiento de la caldera de gas del 90%, el coste final sería de 0,0467 €/kWh_t.

Cabe señalar, además, que, aún imputando los costes de los desagües, este suministro térmico puede ser muy competitivo frente a los sistemas convencionales de suministro de calefacción y agua caliente sanitaria, suponiendo, por otra parte, la generación de nuevos puestos de trabajo. Esta competitividad evolucionará muy positivamente ante la previsible evolución de los costes del gasóleo de calefacción y del gas natural.

Por todo esto, se considera que la utilización de la energía geotérmica de las aguas de mina vendría a mejorar la economía y sostenibilidad medioambiental de los edificios en los que el sistema se implementase, permitiendo un claro ahorro energético, así como una disminución de la cantidad de CO₂ total emitida a la atmósfera como consecuencia de la climatización de los espacios.

15. CONSIDERACIONES FINALES

La actividad minera en la Cuenca Carbonífera Central de Asturias cuenta con más de 200 años de antigüedad, en primer lugar mediante la explotación de capas de carbón en laderas como minería de montaña, continuando en los valles como minería de pozo o de fondo de valle (actualmente activa en algunas zonas) y, finalmente, como minería a cielo abierto. Estas labores han ido modificando progresivamente el medio natural, generando un importante hueco minero con capacidad para almacenamiento de agua.

Durante la actividad minera es imprescindible el bombeo de las explotaciones mediante grandes y modernas instalaciones hidráulicas, que llegan a alcanzar los 5 MWt de potencia instalada, que acaban desaguando a través de las cañas de los pozos a los cauces de ríos de la zona. Cuando cesa la actividad minera se plantea el abandono de dicho bombeo, lo que conlleva un doble reto: de un lado, es importante conocer la velocidad de ascenso del nivel del agua en el interior de las explotaciones mineras, así como el momento y el punto de desagüe del sistema, y, de otro, es fundamental garantizar que no se producirá una afección negativa en el entorno. Este doble reto se aborda mediante este informe, realizado para la consecución de dos objetivos principalmente:

- La elaboración de un modelo hidrogeológico conceptual y de un modelo hidrodinámico de flujo que permitan determinar las características del proceso de inundación y su posible impacto sobre el medio ambiente, así como la realización de un estudio hidroquímico que permita conocer la calidad de este agua y la distribución espacio-temporal de su composición.
- El análisis de la posibilidad de integrar el agua almacenada en el hueco minero en la gestión global de los recursos hídricos y su posible puesta en valor mediante otros aprovechamientos, como podría ser el energético como fuente de energía de

baja entalpía mediante el empleo de sistemas de bomba de calor.

Este estudio ha comenzado con un intenso trabajo de recopilación y organización de la documentación geológica, minera, hidrogeológica, hidrológica, climática y sísmica, y ha abarcado el ciclo completo del agua, a saber: estudio climático, balance hídrico, inventario de puntos de agua, red de calidad, cálculo de volumen de huecos, mapa de niveles permeables, mapa geomorfológico, recopilación e interpretación de informes geotécnicos, etc. Todo ha sido integrado en un Sistema de Información Geográfica como gran base de datos que ha sido utilizada como herramienta de trabajo y ha servido para definir el modelo geológico e hidrogeológico.

Paralelamente, se ha construido una cartografía geológica en 3D de la Cuenca Central Asturiana, donde se ha integrado toda la información de paquetes mineros y de labores mineras. Se han realizado, además, múltiples muestreos y análisis químicos y bacteriológicos para estudiar el potencial aprovechamiento del agua para abastecimiento a la población, conforme al RD 140/2003, así como otros análisis de caracterización para prevenir el impacto ambiental.

Con todo, se ha alcanzado un completo conocimiento del ciclo integral del agua, desde la precipitación, la escorrentía superficial, la infiltración, la circulación a través de los huecos mineros y finalmente el bombeo, vertido e impacto sobre el medio hídrico, así como la afección a zonas potencialmente inundables. Integrandos toda la información se ha elaborado un balance hídrico que permite estimar la recarga de agua que se produce en el conjunto de pozos del Grupo HUNOSA.

Dado que las explotaciones del Grupo HUNOSA se han ido concentrando en grandes unidades de producción, idénticamente ha sucedido con las estaciones de bombeo, de manera que desde un número reducido de puntos se puede suministrar cantidades de agua superiores a 2 millones de metros cúbicos, lo que permitirá

alcanzar economías de escala. Se ha constatado que dichas aguas, en algunas ocasiones, son de excelente calidad, y en otras requieren sencillos tratamientos para ser aptas para consumo humano. Por tanto, el Grupo HUNOSA está en condiciones de participar en la gestión global de los recursos hídricos en la Cuenca Central Asturiana, con el firme objetivo de llegar tan lejos en la cadena de mercado como le sea posible en condiciones óptimas de coste y salubridad en caso de que las autoridades públicas (en especial el Organismo de Cuenca) resuelvan favorablemente sobre la conveniencia de que las mismas se puedan incorporar a usos públicos.

En definitiva, se puede concluir que las explotaciones mineras del Grupo HUNOSA en la zona de objeto de estudio, han creado un hueco o gran embalse subterráneo de 20 hectómetros cúbicos, en el cual se infiltran anualmente una media de 14 hectómetros cúbicos de agua, aproximadamente, que son bombeados al exterior mediante grandes y modernas instalaciones hidráulicas. Este bombeo es vertido al río con nulo impacto ambiental, tanto en lo que a calidad de aguas se refiere como a cantidad. Los análisis realizados así lo acreditan, y la red de calidad establecida controlará periódicamente los parámetros fundamentales en los puntos de agua representativos elegidos.

Este gran hueco minero también podría servir como herramienta de regulación de cada cuenca hidrológica. Al igual que se hace en otras cuencas del mundo, este acuífero podrá funcionar como almacén en épocas de crecida y aportar caudal durante el estiaje. Esta regulación permitiría aumentar el nivel de suministro por encima de los 14 Hectómetros cúbicos que anualmente se han vertido a los ríos de la zona objeto de estudio, en la Cuenca Central.

Por último, se destaca el enorme potencial de aprovechamiento geotérmico de las aguas del Grupo HUNOSA, donde se ha constatado una gran estabilidad de temperaturas en el entorno de 20° C, nivel térmico óptimo para su puesta en valor con tecnologías de Bomba de Calor. El potencial térmico total de las aguas del conjunto

de los pozos Barredo, Figaredo, San José y Santa Bárbara se ha estimado en 5,64 MWt, sin considerar tecnologías de reinyección del agua en las mismas.

BIBLIOGRAFÍA

Aller, J. A. (1986). La estructura del sector meridional de las unidades del Aramo y Cuenca Carbonífera Central. Tesis doctoral. Servicio de Publicaciones del Principado de Asturias, Oviedo, 180 pp.

Aller, J. y Brime, C. (1983). Deformación y metamorfismo en la parte sur de la Cuenca Carbonífera Central (NO. de España). Dixième Congrès International de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère, volumen 3, 541-548. Madrid.

Álvarez Fernández, J. J. (2005). Sondeo de Desagüe del Pozo Tres Amigos. Unidad de Geología del Grupo Caudal. Grupo HUNOSA.

Bastida, F. y Aller, J. (1995). Rasgos Geológicos Generales. En: Geología de Asturias (Aramburu, C., Bastida, F., Eds). Editorial Trea, Gijón, 27-33.

Brookins, D.G. (1988). Eh-pH Diagrams for Geochemistry. Springer-Verlag, Berlin.

Caride, C. y García-Loygorri, A. (1968). Estratigrafía del Carbonífero productivo de Riosa (Asturias). III Jorn. Nac. I. Int. Min. Met., Gijón 1967, 1, 865-925.

Caride, C., Gerilla, M. Ortuño, G y Velando, F. (1973). Mapa geológico de España. Hoja núm 53 (Mieres). E.N.A.D.I.M.S.A. Madrid.

Casillas Castañón, F. (1984). Estudio estratigráfico de la serie Westfaliense del Valle del Río Negro (Aller).

Catalán Lafuente, J. (1981). Química del agua. Talleres Gráficos Alonso, S.A.

Capel Molina, J.J. (1981). Los climas de España. Ed. Oikos-Tau, Barcelona, 403 pp.

CIATESA. (2007). Catálogo Técnico Equipos LW. <http://www.ciatesa.es>

Cienfuegos Suárez, P. (2002). El sector suroccidental de la Unidad Hidrogeológica 01.18 (Región del Ponga) y su relación con los sedimentos de baja permeabilidad de la Cuenca Carbonífera central Asturiana.

Colmenero Navarro, J.R., Barba Regidor, P. (1985). Un tipo de ciclo deltaico en el Westfaliense Superior de la Cuenca Carbonífera Central. Trabajos de Geología. Universidad de Oviedo, 15, 29-36.

Custodio, E. & Llamas, M.R. (1976). Hidrología subterránea. Ediciones Omega, S.A. Barcelona.

Dirección General del Agua. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2005). "Estudio inicial para la identificación y caracterización de las masas de agua subterránea de las cuencas intercomunitarias".

DGOH-ITGE, (1990). Unidades Hidrogeológicas de la España peninsular e Islas Baleares. MOPU.

Domínguez Cuesta, M. J. (2003). Geomorfología e inestabilidad de laderas en la Cuenca Carbonífera Central (Valle del Nalón, Asturias). Análisis de la susceptibilidad ligada a los movimientos superficiales del Terreno. Tesis doctoral. Universidad de Oviedo. Departamento de Geología. 222 pp.

Empresa Nacional Adaro De Investigaciones Mineras, S. A. (1971).
Características Geológicas de la Cuenca Central Asturiana.

Empresa Nacional Adaro De Investigaciones Mineras, S. A. (1972).
Investigación de Geología Aplicada en la Cuenca Hullera Central Asturiana. Estudio
del sector de Turón. Memoria y Mapa.

Empresa Nacional Adaro De Investigaciones Mineras, S. A. (1972).
Investigación de Geología Aplicada en la Cuenca Hullera Central Asturiana. Estudio
del sector del Aller. Memoria y Mapa.

Empresa Nacional Adaro De Investigaciones Mineras, S. A. (1973).
Investigación de Geología Aplicada en la Cuenca Hullera Central Asturiana. Estudio
de la zona del Caudal. Memoria y Mapa.

EUROSTAT European Commission. (2007). Energy Prices 2007.
http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page?_pageid=0,1136239,0_45571447&_dad=portal&_schema=PORTAL

Fandos Rodríguez, P., Rodríguez Mateos, F. Gutiérrez Rodríguez, A. M. y
Álvarez Fernández, J. J. (2004). El Yacimiento de Hunosa en la Cuenca Carbonífera
Central. Servicios de Geología del caudal y del Nalón.

Felicísimo Pérez, A.M. (1992). El clima de Asturias. En: Geografía de
Asturias, Editorial Prensa Asturiana, S.A., Oviedo, Vol. I, p. 17-32.

Fernández, L. P. (1995). El Carbonífero. En: Geología de Asturias (Aramburu,
C., Bastida, F., Eds). Editorial Trea, Gijón, 63-80.

Fernández Álvarez, J. P. (2003). Primer inventario básico de puntos de agua del concejo de Mieres.

Fernández Caliani, J. C (2003). Mineralogía Aplicada. En Galán Huertos eds

Fernández Gutiérrez, M^a. F. (2004). Estudio histórico sobre el patrimonio industrial del Valle del Turón. Consejería de Cultura del Principado de Asturias.

Galán, E., editor (2003). Mineralogía Aplicada. Editorial Síntesis. Madrid. 432p. ISBN: 84-9756-114-7. Patrocinado por la Universidad Internacional de Andalucía y la Sociedad Española de Mineralogía.

García-Loygorri, A., Ortuño, G., Gervilla, M., Greber, Ch. y Feys, R. (1971). El Carbonífero de la Cuenca Central asturiana. Trabajos de geología. Univ. De Oviedo, 3. 101-150.

García-Loygorri, (1974). Caractères généraux du Bassin Central des Asturies (Espagne). Extracto de la publicación del VII Congreso Internacional de Estratigrafía del Carbonífero Krefeld (1971), 3, 111-127.

Gutierrez Peinador, V. (1999). "Consequences of mines closure in water circulation".

Hem, J. (1970). Study and interpretation of the chemical characteristics of natural waters. US Geological Survey, paper 1473.

Higueras, P. y Oyarzun, R. año. Curso de Mineralogía y Geoquímica Ambiental. http://www.uclm.es/users/higueras/MGA/Tema00_Intro.htm.

HUNOSA (Hulleras del Norte S. A.). (2004). Desagüe del Poza Santa Barbara.

HUNOSA (Hulleras del Norte S. A.), (2005). Análisis de la problemática derivada de la inundación de las Labores del pozo Tres Amigos. 26 pp.

IG, (1998). Estudio Geotécnico del Edificio Científico-Técnico. Campus de Mieres. Consejería de Educación y Ciencia del Principado de Asturias.

IG, (1999). Proyecto de construcción de la Residencia de Estudiantes del Campus de Mieres. Consejería de Educación y Ciencia del Principado de Asturias.

INCOSA, (2007). Redacción del Estudio Geotécnico de las Parcelas M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11 y M12 de la actuación residencial “Vasco Mayacina” de Mieres (Asturias).

INDUROT (Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio), (2003). Mapa de Zonas de Riesgo de Inundación 1:10.000.

INYTRAM, (2006). Proyecto de ejecución para Centro de Investigación. Estudio Geotécnico. Campus Universitario Pozo Barredo. Mieres.

IGME (Instituto Geológico y Minero de España), (1984). Investigación Hidrogeológica de la Cuenca Norte: Asturias. Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas. Ministerio de Industria y Energía; Secretaría de la Energía y Recursos Minerales. Madrid.

ITGE (Instituto Tecnológico y Minero de España), (1995). Estudio de la repercusión del abandono de los pozos Entrego y San Mamés sobre la variación del nivel freático del entorno. Centro documental del IGME. Madrid.

Investigación y Control de Calidad, S. A. (2007). Realización de Estudio Geotécnico de las parcelas M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, Y M12 de la Actuación Residencial “Vasco Mayacina” de Mieres (Asturias). SEPES.

Jongmans, W.I. y Wagner, R.H. (1957): Apuntes para el estudio geológico de la zona hullera de Riosa (Cuenca Central de Asturias. Est. Geol., 33-36, 7-26.

Julivert, M., (1967): La ventana del río Monasterio y la terminación meridional del Manto del Ponga. Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo, 1: 59-67.

Leyva, F., y Sáenz de Santa María, J.A., (1983). Las pudingas del carbonífero de la Cuenca Central Asturiana. Características sedimentológicas y mecanismo de sedimentación. Dixième Congrès International de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère, volumen 3, 223-230. Madrid.

López-Chicano, M.; Cerón, J.C.; Vallejos, A. y Pulido-Bosch, A. (2001). Geochemistry of thermal springs, Alhama de Granada (southern Spain). Applied Geochemistry; 16, 1153-1163.

López Geta, J. A., Juan María Fornés Azcoiti y Fermín Villaroya Gil, (2001). Las aguas Subterráneas. Un recurso natural del subsuelo. Instituto Geológico y Minero de España y Fundación Marcelino Botín. 94 pp

Lotze, F. (1945): Zur Gliderung der Varisziden der Ibererischen Meseta. Geotekt. Forsch., 6, 78-92.

Luque, C., Gervilla, M., Sáenz de Santa María, J.A., Leyva, F., Laveine, J.P., Loboziak, S., Martínez-Chacón, M.L. (1983). Características sedimentológicas y

paleontológicas de los paquetes productivos en el corte de La Inverniza-El Cabo (Cuenca Central Asturiana). *Dixième Congrès International de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère*, volumen 1, 281-302. Madrid.

Lloyd, J.W. & Heathcote, J.A. (1985). *Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater*. Clarendon Press. Oxford.

Marcos, A. y Pulgar, J. A. (1982). An Approach to the tectonostratigraphic evolution of the Cantabrian Foreland thrust end Fol. Belt, Hercynian Cordillera of NW Spain. *N. Jb. Paläont. Abh.*, 163,2:256-315.

Marquínez, J., Lastra, J., García, P. (2003). Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis. *Journal of Hydrology*, Vol. 270, p. 1-11.

Marquínez García, J., Menéndez Duarte, S., Lastra Fernández, J., Fernández Iglesias, E., Jiménez-Alfaro González, B., Wozniak, E., Fernández Menéndez, S., García Rocas, J., García Manteca, P., Álvarez García, M. A., Lobo del Corro. T. y Adrados González, L. (2003). *Riesgos Naturales en Asturias*. Principado de Asturias. INDUROT. Universidad de Oviedo. KRK Ediciones. 133 pp. ISBN: 84-96119-25-4.

Martínez Alfaro, P. E., Martínez Santos, P., Castaño Castaño, S., (2006). *Fundamentos de Hidrogeología*. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid.

Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (MOPU), (1988). *Documentación básica Plan Hidrológico II; Confederación Hidrográfica del norte*. Dirección General de Obras Hidráulicas.

Nuttall, C.A., Younger, P.L. (2004). Hydrochemical stratification in

flooded underground mines: an overlooked pitfall. *Journal of Contaminant Hydrology*, Vol 69 (1-2): 101-114.

Parkhurst, D.L., Thorstenson, D.C., y Plummer, L.N., (1980). PHREEQE--A computer program for geochemical calculations: U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report 80-96, p. 195. (Revised and reprinted August, 1990).

Piedad-Sánchez, N., Suárez-Ruiz, I., Martínez, L., Alain Izart, L.M., Elie, M., Keravis, D., (2004a). Organic petrology and geochemistry of the Carboniferous coal seams from the Central Asturian Coal Basin (NW Spain). *International Journal of Coal Geology*, 57. 211-242.

Piedad-Sánchez, N., Alain Izart, L.M., Suárez-Ruiz, I., Elie, M., Menetrier, C., (2004b). Paleothermicity in the Central Asturian Coal Basin, North Spain. *International Journal of Coal Geology*, 58. 205-229.

Ramsay, J.G. (1967). *Folding and Fracturing of Rocks*, McGraw-Hill, New York. 568 pp.

Rose, A. W., Hawkes, H. E. y Webb, J. S. (1979). *Geochemistry in Mineral Exploration*, segunda ed. Academic Press, 657 pp.

Sáenz de Santa María, J.A., Luque, C., Gervilla, M., Laveine, J.P., Loboziak, S., Brousmiche, C., Coquel, R., Martínez-Díaz, C. (1983). Aportación al conocimiento estratigráfico y sedimentológico del carbonífero productivo de la Cuenca Central Asturiana. *Dixième Congrès International de Stratigraphie et de Géologie du Carbonifère*, volumen 1, 303-326. Madrid.

Sánchez de la Torre, L., Agueda Villar, J.A., Colmenero Navaro, J.R., González Lastra, J.A., Martín Llana, J. (1981). Emplazamiento de deltas

progradantes y facies asociadas en el Westfaliense del borde oriental de la Cuenca Carbonífera Central (Asturias). Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo, 11, 191-201.

UNESCO. (1970). Leyenda internacional para mapas hidrogeológicos. Decenio Hidrológico Internacional. París. 101 p.

Wagner, R.H. (1971). The Westphalian D floras of the Olloniego and Esperanza formations in the Central Asturias Coalfield. Trabajos de Geología, Universidad de Oviedo, 3, 1-39.

Younger, P. L., Hedin, R. S., y Banwart, S. A. (2002). Mine Water, Hydrology, Pollution, Remediation (Environmental Pollution).