
ESTUDIO SOBRE LA INUNDACIÓN DE LOS POZOS MINEROS EN LA ZONA CANDÍN (VALLE DEL NALÓN)

TOMO I: MEMORIA

Diciembre 2011



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	8
4.	MARCO GEOGRÁFICO	12
5.	RECOPILACIÓN Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	17
6.	CARACTERÍSTICAS DE LAS EXPLOTACIONES	19
6.1.	CONEXIONES.....	26
6.2.	VOLÚMENES DE HUECOS.....	30
6.3.	CAUDALES BOMBEADOS	31
7.	MARCO GEOLÓGICO	33
7.1.	ESTRATIGRAFÍA	35
7.2.	TECTÓNICA	41
8.	ESTUDIO CLIMÁTICO	43
8.1.	INTRODUCCIÓN	43
8.1.1.	<i>Precipitaciones</i>	43
8.1.2.	<i>Temperaturas</i>	45
8.1.3.	<i>Balance hídrico</i>	46
8.2.	APLICACIÓN A LA ZONA DE ESTUDIO.....	47

8.3.	VALIDACIÓN DE DATOS Y OBTENCIÓN DE SERIES COMPLETAS DE PRECIPITACIÓN	51
9.	ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO.....	59
9.1.	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS DE LOS MATERIALES PRESENTES	59
9.2.	CARTOGRAFÍA HIDROGEOLÓGICA	65
9.3.	INVENTARIO DE PUNTOS DE AGUA.....	68
9.4.	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL DE FUNCIONAMIENTO.....	74
10.	BALANCE HÍDRICO.....	80
10.1.	DELIMITACIÓN DE LA CUENCA	80
10.2.	CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN Y LA LLUVIA ÚTIL.....	82
10.3.	CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA	84
10.3.1.	<i>Metodología.....</i>	85
10.3.2.	<i>Aforo del río NALÓN.....</i>	89
10.4.	CÁLCULO DE LA INFILTRACIÓN	92
11.	ESTUDIO HIDROQUÍMICO	96
11.1.	INTRODUCCIÓN	96
11.2.	METODOLOGÍA	96
11.2.1.	<i>Red de calidad, criterios de Selección.....</i>	96
11.2.2.	<i>Muestreo para análisis químico</i>	98
11.2.3.	<i>Análisis químicos. Especificaciones Técnicas</i>	99
11.2.4.	<i>Interpretación de la información.....</i>	102
11.3.	RESULTADOS	108
11.3.1.	<i>Determinaciones “in situ”.....</i>	108
11.3.2.	<i>Análisis químicos.....</i>	112
11.3.3.	<i>Caracterización hidroquímica, Representaciones gráficas, Relaciones iónicas y correlación estadística</i>	123
11.3.4.	<i>Estabilidad mineral</i>	141
11.4.	INTERPRETACIÓN HIDROQUÍMICA	143
12.	PROCESO DE INUNDACIÓN	154

12.1.	ESTUDIO DEL PROCESO DE INUNDACIÓN	154
12.2.	MODELO DE INUNDACIÓN	157
13.	RIESGOS DE AFECCIÓN DEL PROCESO DE INUNDACIÓN.....	161
14.	POSIBILIDADES DE APROVECHAMIENTO DEL AGUA.....	164
15.	CONSIDERACIONES FINALES.....	168
16.	BIBLIOGRAFÍA	171

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 finalizada la realización del estudio hidrogeológico en el sector Barredo-Valle del Turón-Valle del Aller, cuyo Informe Final se entregó en enero de 2009, del sector denominado Polio-Tres Amigos, cuyo informe final fue entregado en julio del mismo año, de la Zona Modesta, cuyo informe final fue entregado en octubre de 2011 y de la Zona Carrio, cuyo informe final se entregó en diciembre del mismo año, se decidió continuar con esta investigación en el sector denominado como Zona Candín, en el ámbito geográfico del valle del río Nalón, que incluye los pozos mineros citados en la memoria del presente informe.

2. ANTECEDENTES

La zona objeto del presente proyecto de investigación, designada como Zona Candín, se sitúa en el sector central de Asturias, en la cuenca del río Nalón. Incluye, como localidades principales, la Felguera, Sama y Lada. En esta zona, eminentemente industrial, la minería de carbón destacó como principal actividad durante la mayor parte del siglo pasado hasta estos últimos años.

Como pozos principales presentes en el área de estudio se enumeran los siguientes: Fondón, situado en el margen izquierdo del río Nalón, dentro de la localidad de Sama, y los pozos Candín I y Candín II, situados en el valle del río Candín, afluente del río Nalón por su margen derecho.

El pozo Fondón comenzó su actividad en el año 1906 convirtiéndose en el segundo pozo minero profundizado en Asturias. Durante años albergó una colonia penitenciaria, en la que vivían presos que, al trabajar en el pozo, conmutaban parte de sus penas. El pozo cesó su actividad en 1995 y posteriormente fue habilitado para albergar el archivo histórico de HUNOSA. Además, es sede de la Brigada de Salvamento Minero.

El Pozo Candín I, cuyo nombre original era Santa Eulalia, fue renombrado por HUNOSA para unificar las denominaciones de las explotaciones del Grupo Candín. Fue profundizado en 1930 por la sociedad Carbones de Langreo, propiedad de D. Manuel Suárez García, cuyo sobrenombre de “Cabritu” dio lugar a otro nombre popular del pozo. El Pozo Candín II, también llamado Pozo Lláscaras o San Enrique, fue profundizado también en el año 1930. En el año 1967 ambos pozos pasaron a formar parte de la empresa Hulleras del Norte S.A., y siguen activos actualmente.

3. OBJETIVOS Y PLAN DE TRABAJO

El objeto del presente Convenio es la colaboración entre el 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 al ser consciente, en lo que se refiere al estudio del 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 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 hasta junio del año 2010, y actualmente por D. Albino González García, Jefe del Departamento 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, y D. Luis Manuel Lara Gómez, 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, intervino Dña. Mónica

Meléndez Asensio, técnico superior especialista de la Unidad del IGME en Oviedo, 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 Unidad.

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, D. Román Fernández Reiriz, D. Tomás García Gutiérrez y D. Martín Gaitto Piris.

4. MARCO GEOGRÁFICO

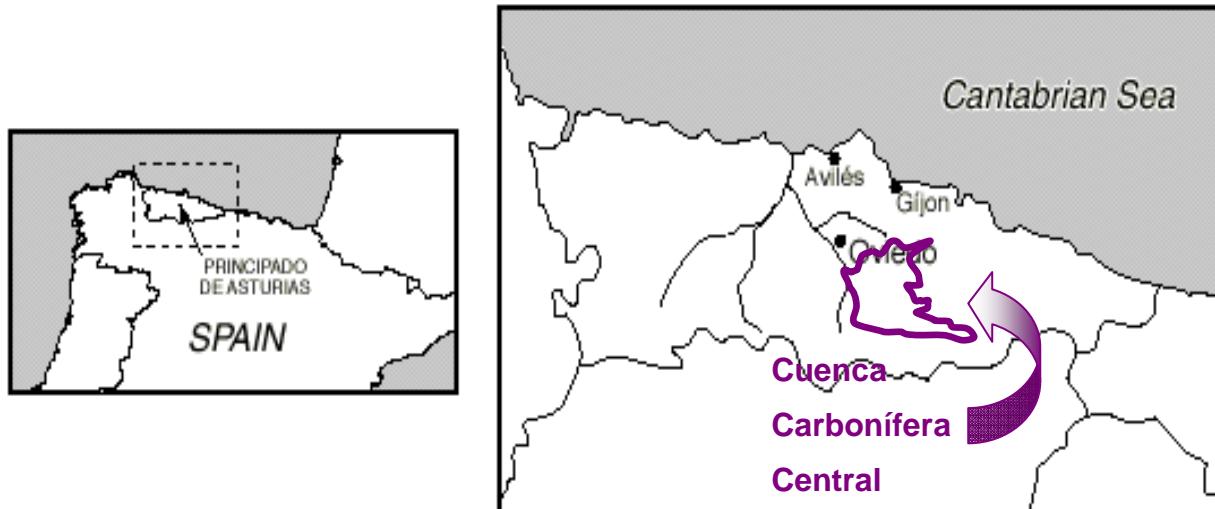


Figura 4-1.- Situación de la Cuenca Carbonífera Central .

El área de estudio está localizada en el sector central de Asturias, dentro de la Cuenca Carbonífera Central (Figura 4-1), en el valle del río Nalón, entre La Felguera y Sama.

La extensión de esta zona se ha definido en función del área de influencia de las labores mineras, tanto de valle como de montaña, situadas en este sector. Los principales pozos en la minería de valle son los pozos Fondón, en la llanura aluvial del río Nalón, y Candín I y Candín II, en el valle del río Candín.

La zona de estudio ocupa una parte del término municipal de Langreo. La superficie de terreno comprendido entre sus límites supone un área aproximada de 27 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: 275.000, Y: 4.803.000 Punto 2: X: 288.000, Y: 4.803.000

Punto 3: X: 275.000, Y: 4.793.000 Punto 4: X: 288.000, Y: 4.793.000

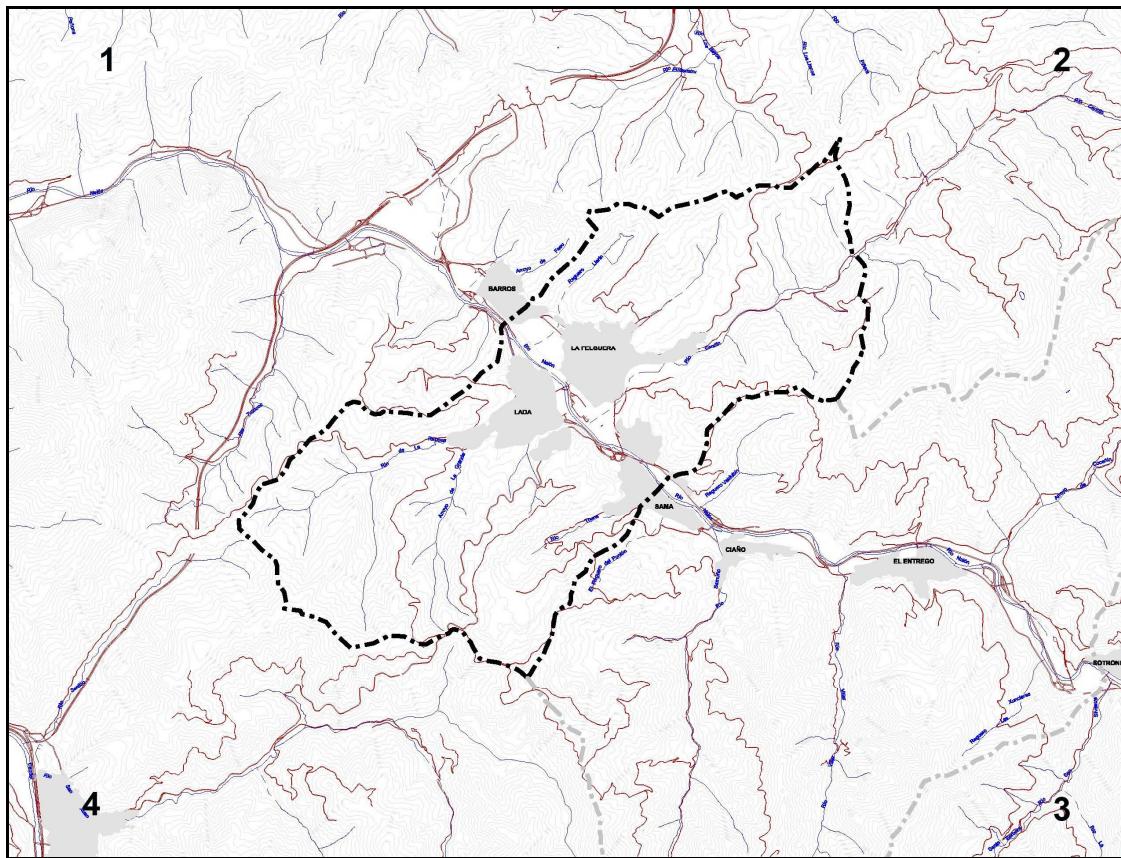


Figura 4-2.- Límites de la zona de estudio.



Figura 4-3.- Orografía de la cuenca del río Nalón en la Cuenca Carbonífera Central asturiana.

Desde el punto de vista topográfico, ésta 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).

Este sector se encuentra situado a unos 50 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 por su aporte constante de humedad 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).

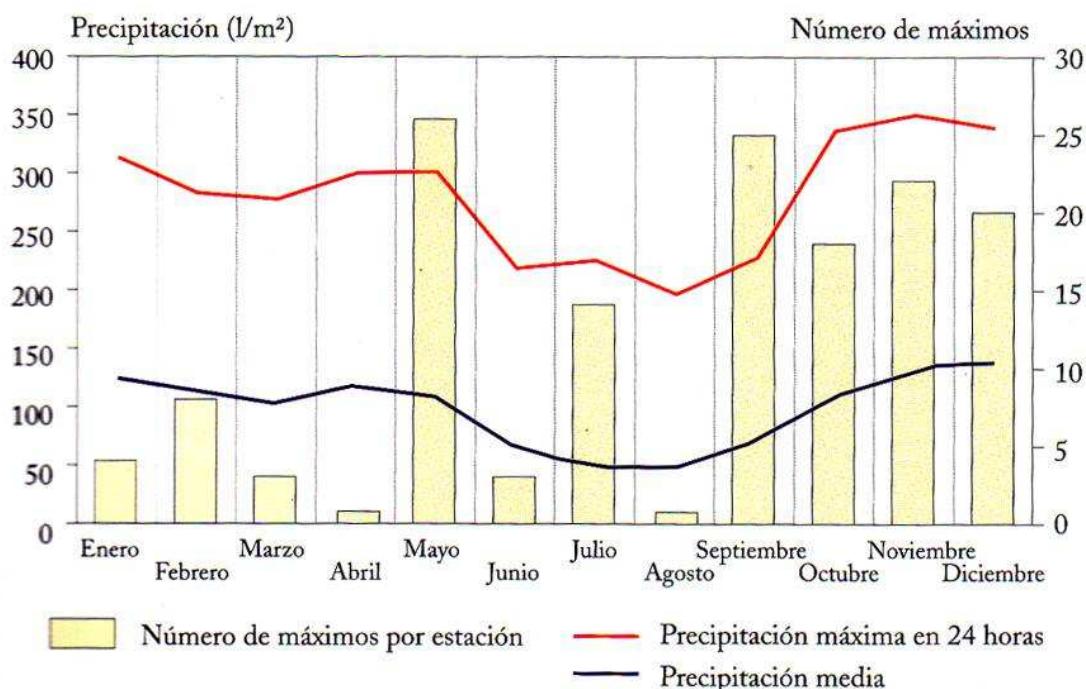


Figura 4-4.- Valores medios mensuales de precipitación máxima en 24 horas, precipitaciones medias y número de máximos por estación elaborados a partir de los datos de 145 estaciones par un intervalo de 24 años (Marquínez García *et al.*, 2003).

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 parte de la cuenca del río Nalón, desde Sama de Langreo, aguas arriba hasta la localidad de Barros, aguas abajo.

Desde el punto de vista hidrológico, el área de influencia de la zona de estudio abarca una parte de la cuenca del río Nalón, comprendida entre las dos localidades citadas anteriormente, con sus correspondientes afluentes: río Candín, reguero Llerín, río Triana, río de la Raposa y arroyo de La Granda.

Dentro de estos límites se encuentran las labores mineras que han modificado el carácter hidrológico de la zona de estudio, como son los pozos mineros Fondón, en la llanura aluvial del río Nalón, y los pozos Candín I y II, situados en el valle del río Candín, además de las minas de montaña relacionadas con ellos.

5. RECOPILACIÓN 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, etc., 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 del Servicio de Patrimonio de la Consejería de Cultura, Comunicación Social y Turismo del Principado de Asturias, el ayuntamiento de San Martín del Rey Aurelio, el Instituto Nacional de Meteorología, AITEMIN e INDUROT y la empresa de ingeniería TECNIA.

Los datos aportados por el Grupo HUNOSA incluyen 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 cifras del volumen de los huecos creados por las labores extractivas.

El Instituto Geológico y Minero de España ha aportado toda la información disponible, que incluye 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 es TECNIA. El INDURROT ha aportado el Mapa de Zonas de Riesgo de Inundación, a escala 1:10:000, que incluye los depósitos cuaternarios de la llanura aluvial del río Nalón. La empresa HIPSITEC ha realizado informes relativos al aprovechamiento de las aguas. Por último, el Ayuntamiento de Langreo ha 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 (Anexos 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 EXPLOTACIONES

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 los 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.

En este capítulo se van a mencionar los principales grupos mineros cuyas labores se sitúan dentro de la zona de trabajo (Figura 6-1). Se va a hacer una breve descripción de las labores mineras reconocidas en la Zona Candín, recopiladas a través de planos de labores facilitados por el grupo HUNOSA y de campañas de campo, y representadas en los mapas de labores mineras de los Anexos II.3.1. y II.3.2.

Además, las labores mineras serán relacionadas con el mapa de paquetes y estructuras mineras, donde se podrá ver cómo las labores siguen la disposición geológica de las capas explotadas (figuras 6-2 y 6-3).

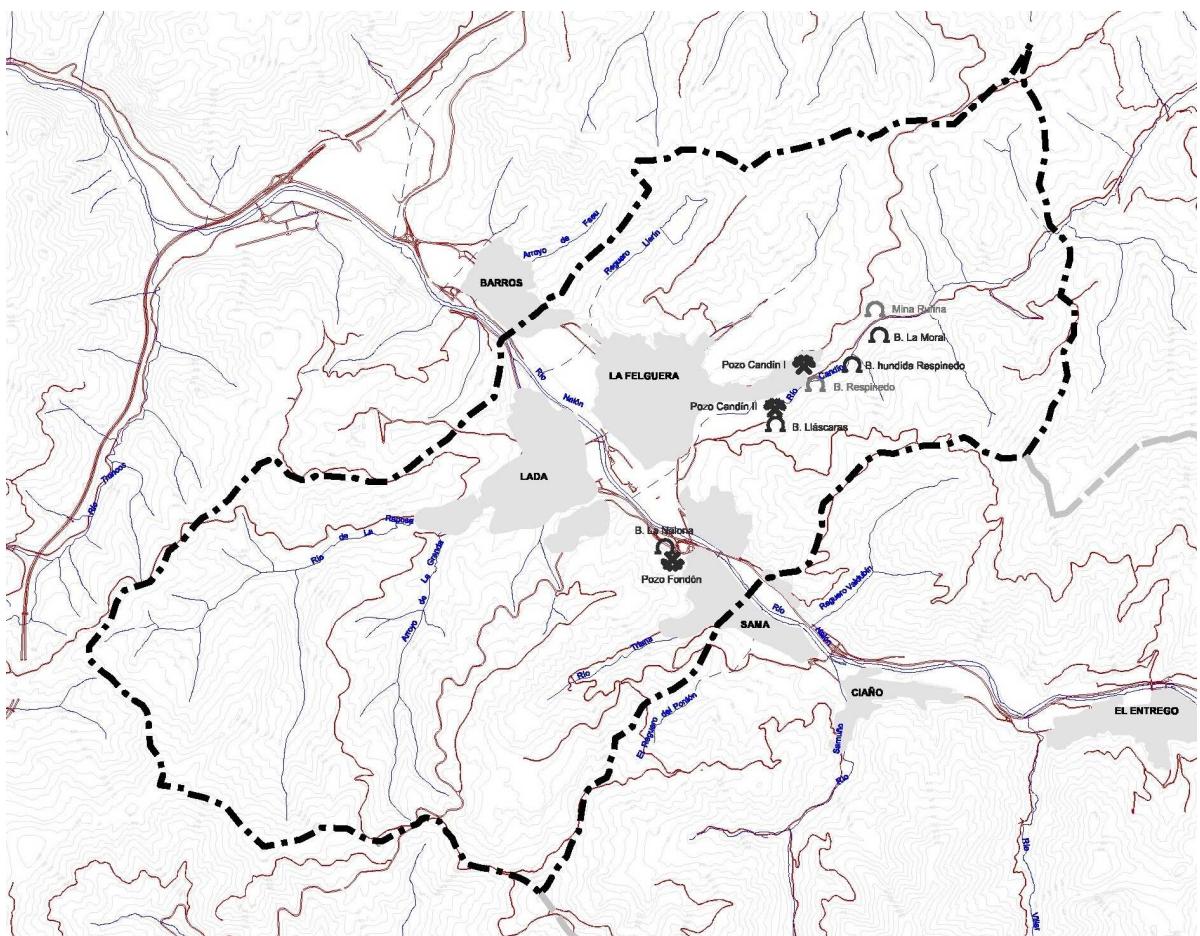


Figura 6-1.- Mapa de situación de las labores mineras en la Zona Candín.

Minas de la Nalona - Pozo Fondón

La explotación de hulla en Sama y La Felguera, perteneciente en sus comienzos a la empresa Duro Felguera, comenzó con la apertura de la mina de montaña de La Nalona en el año 1840 (fotografía 6-1), cuya bocamina principal aún se conserva.

Años más tarde se inició la profundización del Pozo Fondón (fotografía 6-2), convirtiéndose en el segundo pozo minero profundizado en Asturias. Durante años albergó una colonia penitenciaria, en la que vivían presos que, al trabajar en el pozo, conmutaban parte de sus penas. El pozo cesó su actividad en 1995 y posteriormente fue habilitado para albergar el archivo histórico de HUNOSA. Además, es sede de la Brigada de Salvamento Minero

Dentro del recinto minero cabe destacar la casa de máquinas, construida en 1915 y ampliada en 1935. De la misma época es el edificio que albergaba la fragua. Las casas de aseo y las oficinas datan de la década de 1930, y el taller mecánico de la década siguiente, así como el polvorín. Se conserva también un túnel de 1910 por donde circulaba un tren minero que llevaba el carbón hasta el Lavadero de Modesta. Sólo se conserva uno de los dos castilletes que tenía.



Fotografía 6-1.- Bocamina La Nalona, fotografía tomada en el año 2009.



Fotografía 6-2.- Pozo Fondón, fotografía tomada en el año 2011.

Se han explotado principalmente las capas de carbón de los paquetes Generalas, San Antonio, María Luisa y Sotón (figura 6-2).

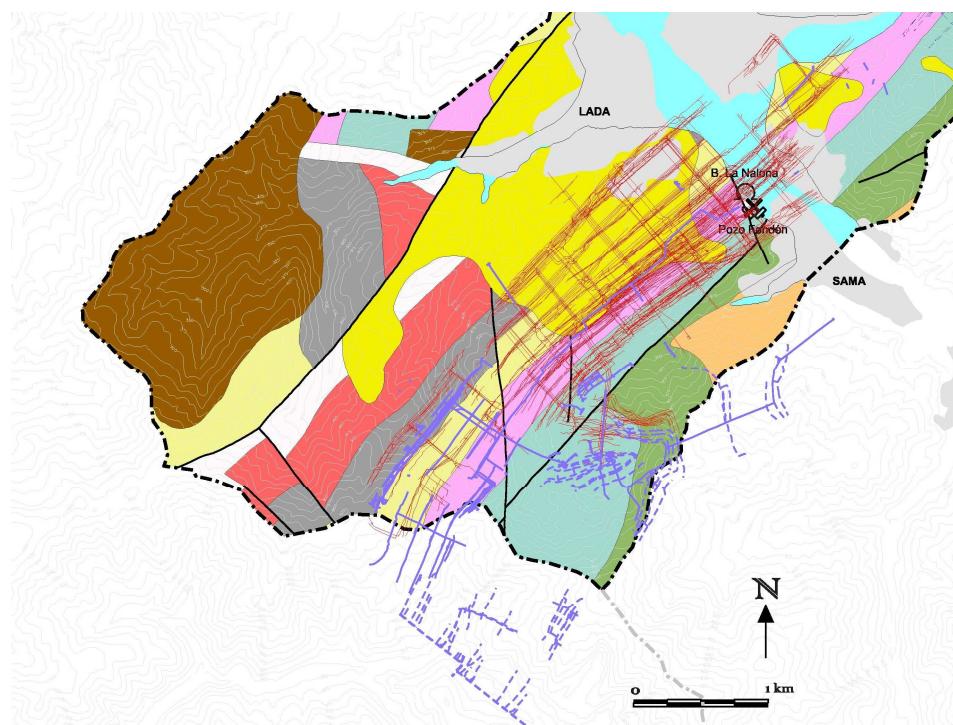


Figura 6-2- Mapa en planta de las labores mineras de montaña relacionadas con Minas La Nalona (azul) y el Pozo Fondón (rojo).

Pozos Candín I y Candín II y minas de montaña La Moral, Respinedo y Rufina

El Pozo Santa Eulalia (fotografía 6-3), también denominado Candín I o El Cabritu, se sitúa a las afueras de La Felguera, en la zona de los valles del Candín y Pajomal. Fue profundizado en 1943 por la empresa Carbones de Langreo, propiedad de D. Manuel Suárez García, cuyo sobrenombre de “Cabritu” dio origen a otro nombre popular del pozo. Está conectado con el Pozo Candín II o Lláscaras, y sirve para extraer el mineral de éste. Cesó su actividad extractiva en 1996, pero sigue

operativo sólo como pozo de extracción del Pozo Candín II y suministrador de aire.

El Pozo Candín II (fotografía 6-4), también llamado Pozo Lláscaras o San Enrique, se sitúa junto al río Candín. Fue profundizado en el año 1930, y tiene una profundidad superior a los 600 metros. Este pozo forma parte del complejo "arqueológico industrial" que se incluye en el Museo de la Siderurgia de Asturias, situado muy cerca.

Antes de la profundización de los pozos ya existían bocaminas con pequeñas explotaciones de carbón, incluso se conserva una chimenea de 1920 y unos cuarteles obreros de la misma década.



Fotografía 6-3.- Vista del Pozo Candín I, fotografía tomada en el año 2011.



Fotografía 6-4.- Vista del Pozo Candín II, fotografía tomada en el año 2011.

Se explotaron principalmente las capas de carbón de los paquetes Caleras, Generalas, San Antonio, María Luisa, Sotón y Sorriego (figura 6-3).

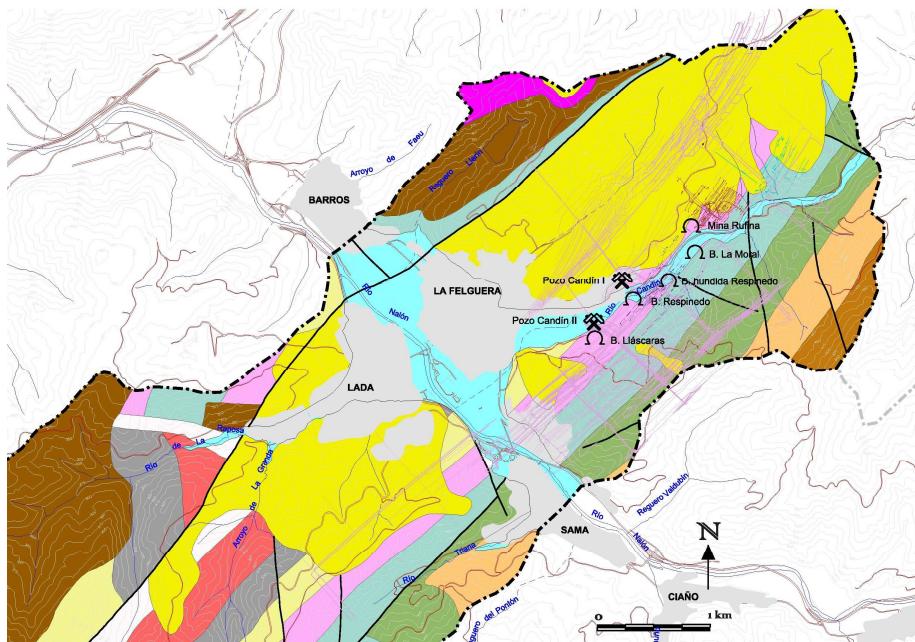


Figura 6-3- Mapa en planta de las labores mineras de los pozos Candín I y II (en rosa claro) y de las minas de montaña La Moral (azul celeste), Respinedo (azul oscuro) y Ruffina (granate).

6.1. CONEXIONES

En la Zona Candín están conectados los pozos Candín I y II a través de conexiones directas, y a su vez el Pozo Candín II está conectado, también por conexiones directas, con el Pozo Fondón, como se observa en la figura 6-4.

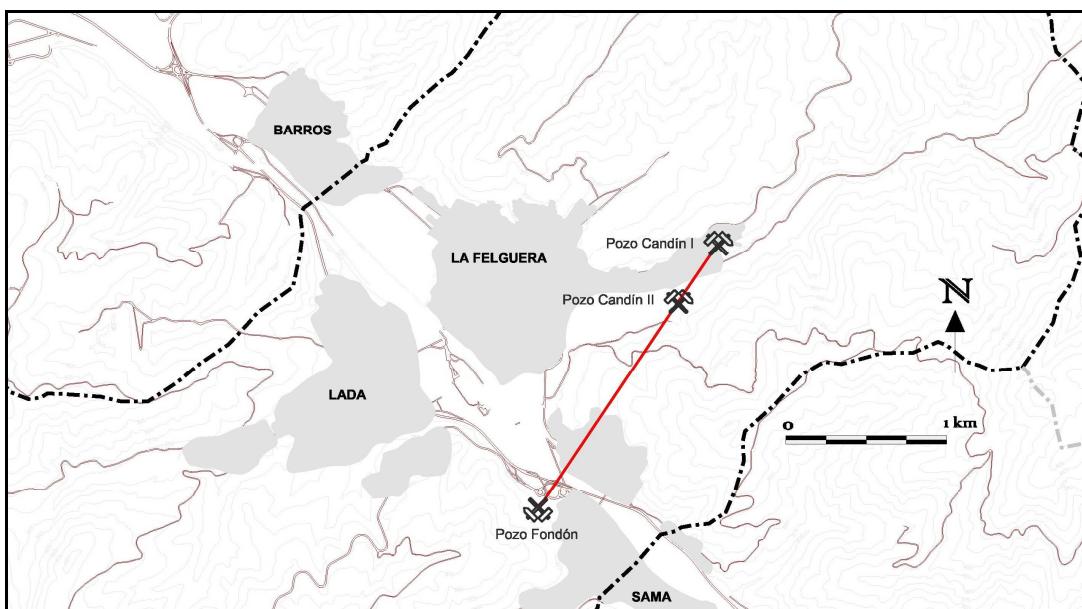


Figura 6-4- Mapa de conexiones en planta de los pozos principales de la Zona Candín.

A continuación se hace una breve descripción de las principales conexiones entre los pozos situados en la zona de estudio (figura 6-5).

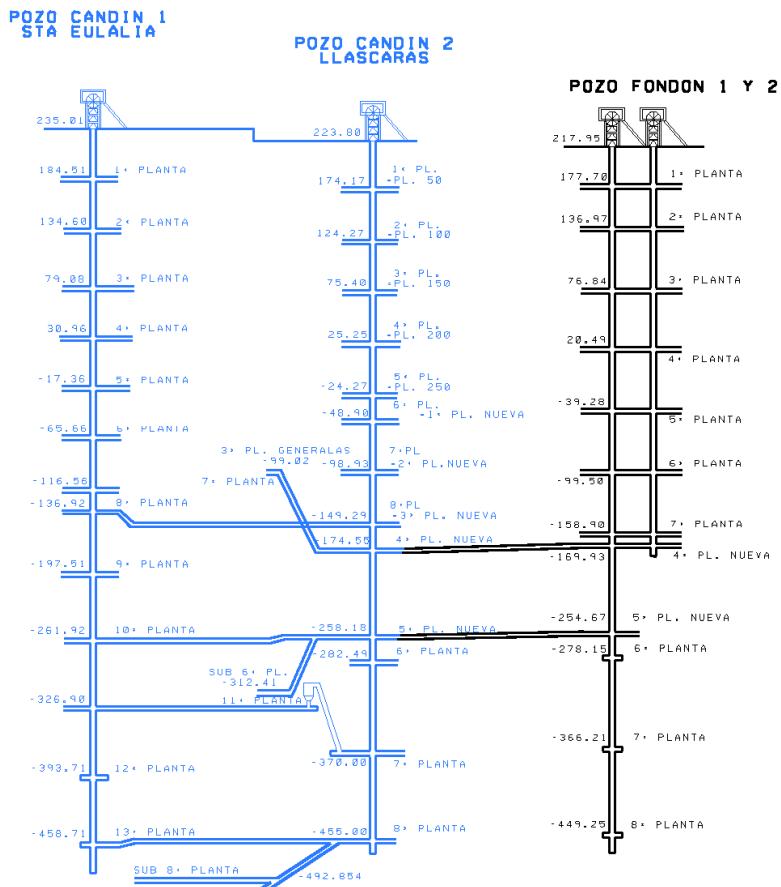


Figura 6-5- Plano de conexiones entre los principales pozos de la Zona Candín.

Entre los pozos Candín I y II existen tres conexiones directas por galería: una conexión entre 8^a planta de Candín I (-136,92 m s.n.m.) y 8^a planta (o 3^a planta nueva) de Candín II (-149,29 m s.n.m.); otra, entre 10^a planta de Candín I (-261,92 m s.n.m.) y 5^a planta nueva de Candín II (-258,18 m s.n.m.), y la tercera, entre 13^a planta de Candín I (-458,72 m s.n.m.) y 8^a planta nueva de Candín II (-455 m s.n.m.). Además el agua es bombeada desde 7^a planta nueva de Candín II (-370 m s.n.m.) a 11^a planta de Candín I (-362,9 m s.n.m.).

Entre el Pozo Candín II y el Pozo Fondón hay dos conexiones directas a través de galería: la más superficial es por 4^a planta nueva del Pozo Candín II (-174,55 m s.n.m.) con 4^a planta nueva del Pozo Fondón (-169,93 m s.n.m.), y la inferior une la 5^a planta nueva del Pozo Candín II (-258,18 m s.n.m.) con la 5^a planta nueva del Pozo Fondón (-254,67 m s.n.m.).

Por último, existe otra conexión entre el Pozo Fondón y el Pozo-plano Modesta, de la Zona Modesta, a través de una sonda muy superficial (figura 6-6).

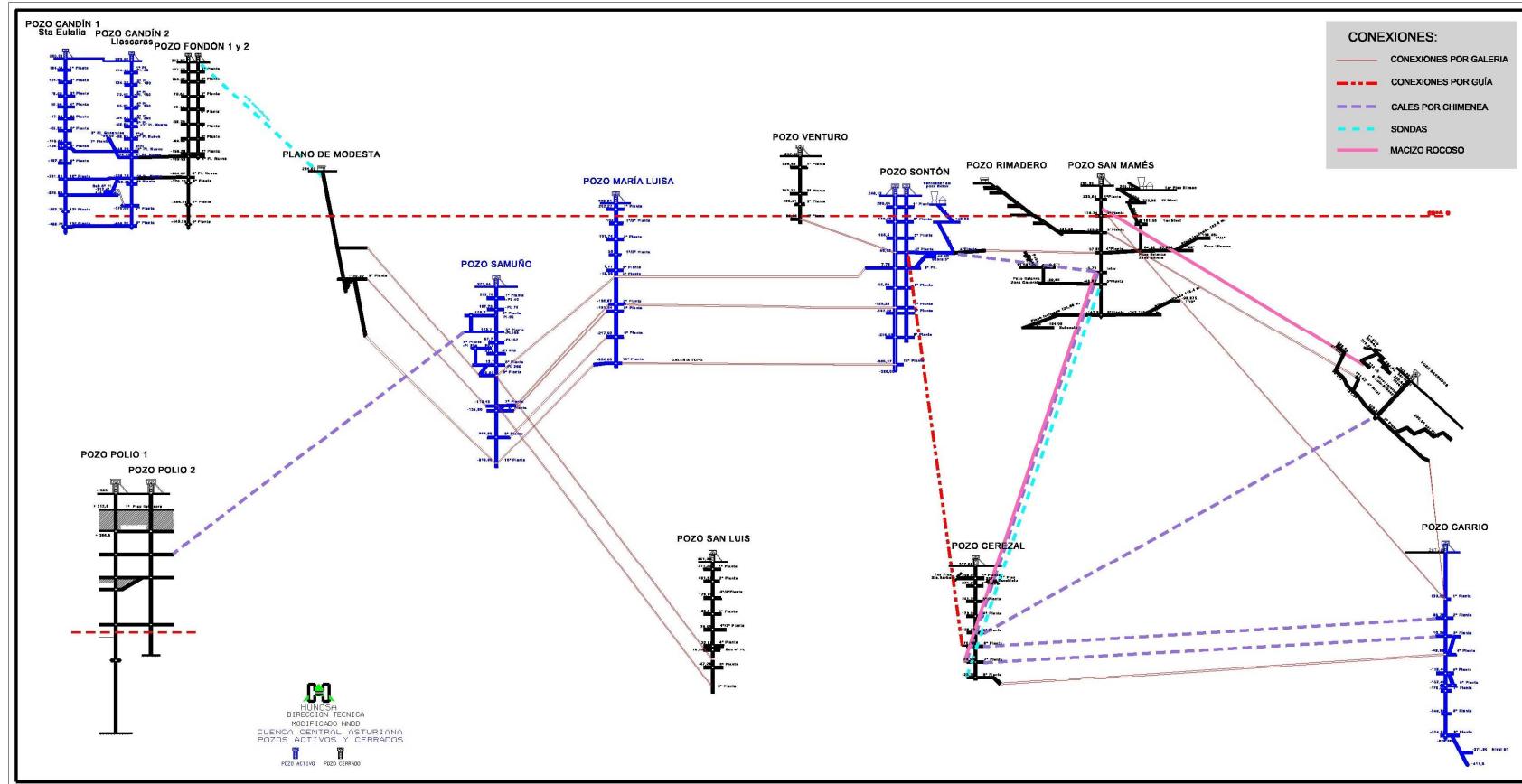


Figura 6-6- Plano de conexiones entre los principales pozos de las zonas Modesta, Carrio y Candín.

6.2. 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, por 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 m^2 .

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 Candín.

Zona Candín	Km de galería	V de huecos de galería m ³	V minado m ³	V total m ³
Pozo Candín	271,14	2.711.446	1.564.989	4.276.435
Pozo Fondón	327,04	3.270.427	448.807	3.719.233
Total:	598,18	5.981.873	2.013.796	7.995.668

6.3. 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, recogiéndose casi la totalidad del agua de lluvia caída en la superficie abarcada por la explotación (Gutiérrez 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 (Zona Nalón) 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 los años 2002 y 2010.

Tabla 6-2: Caudales medios mensuales desaguados entre los años 2002 y el 2010 en los pozos del Grupo HUNOSA de la Zona Candín.

Bombeo en m ³	Pozo Candín I	Pozo Candín II	Pozo Fondón
Enero	56.648	7.877	58.271
Febrero	57.825	8.202	61.985
Marzo	64.354	10.719	71.787
Abril	61.427	10.546	82.311
Mayo	59.014	9.403	76.144
Junio	57.720	9.800	80.752
Julio	59.278	9.639	79.930
Agosto	56.762	8.567	65.729
Septiembre	50.541	6.674	52.861
Octubre	51.973	13.172	48.834
Noviembre	48.200	13.088	45.840
Diciembre	51.771	15.045	59.562

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).

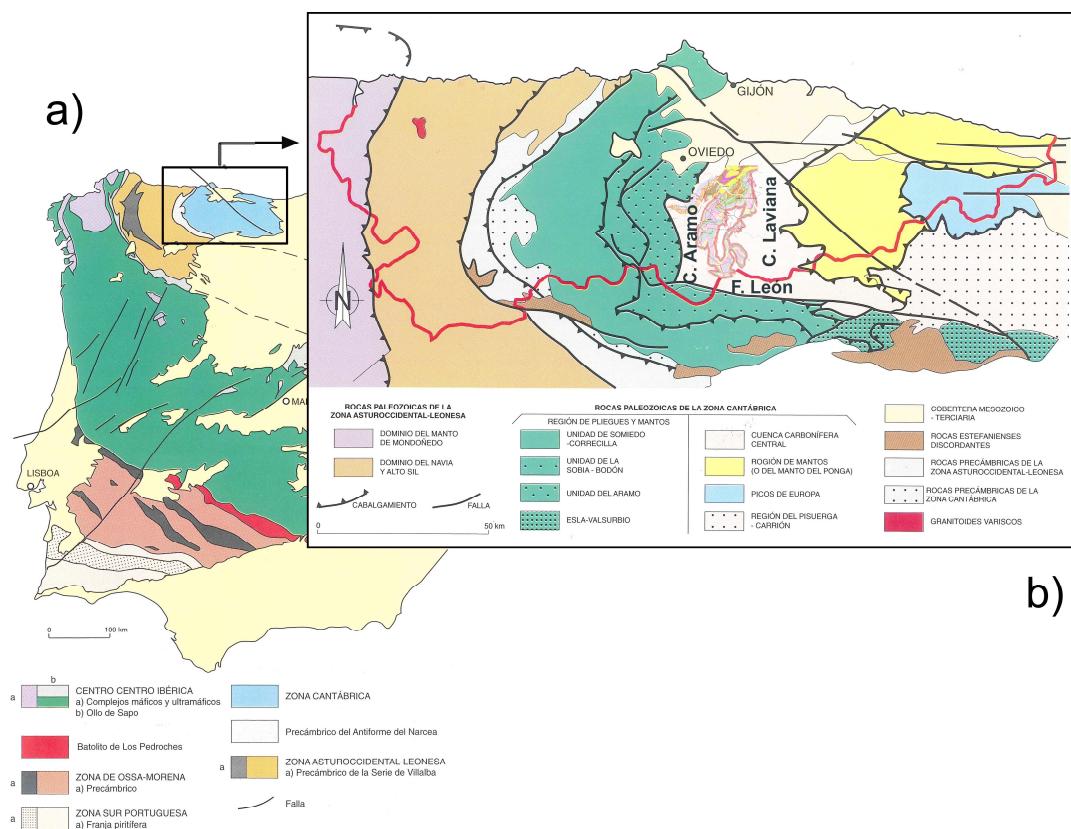


Figura 7-1.- a) Zonación geológica de la Península Ibérica (Bastida y Aller, 1995). b) Unidades geológicas de Asturias (Bastida y Aller, 1995), ubicación de los límites de la CCC y representación de la extensión superficial del ‘Carbonífero Productivo’ (datos del Grupo HUNOSA).

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 Cobertura 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).

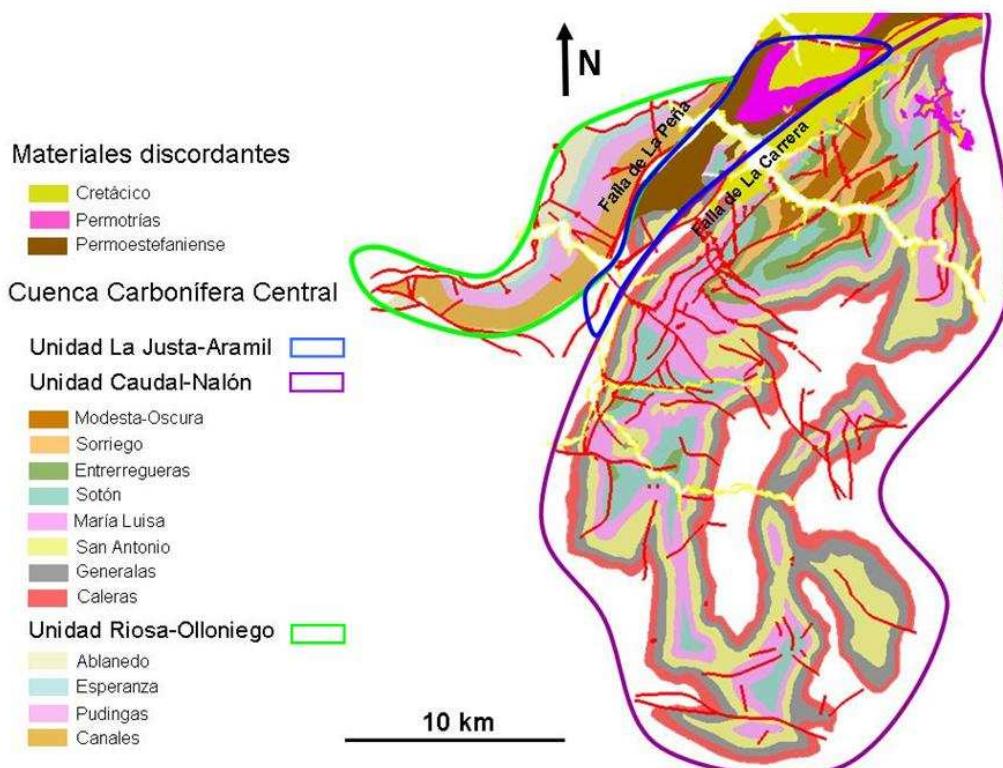


Figura 7-2.- Mapa geológico de superficie donde se muestran las diferentes zonas en las que se subdivide el Carbonífero productivo (datos del Grupo HUNOSA).

Por otra parte, en el sector noroccidental de la zona de estudio afloran sedimentos de edad Permoestefaniense, de la Cuenca Carbonífera Central asturiana, y otros de edades Permotrías y Cretácico; estos últimos pertenecen a la Cobertura Mesozoico-terciaria asturiana dentro de la Unidad conocida como Surco de Oviedo-Infiesto, depositados discordantemente sobre los materiales carboníferos mencionados más arriba.

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, Entrerregueras, 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 se explota únicamente 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.

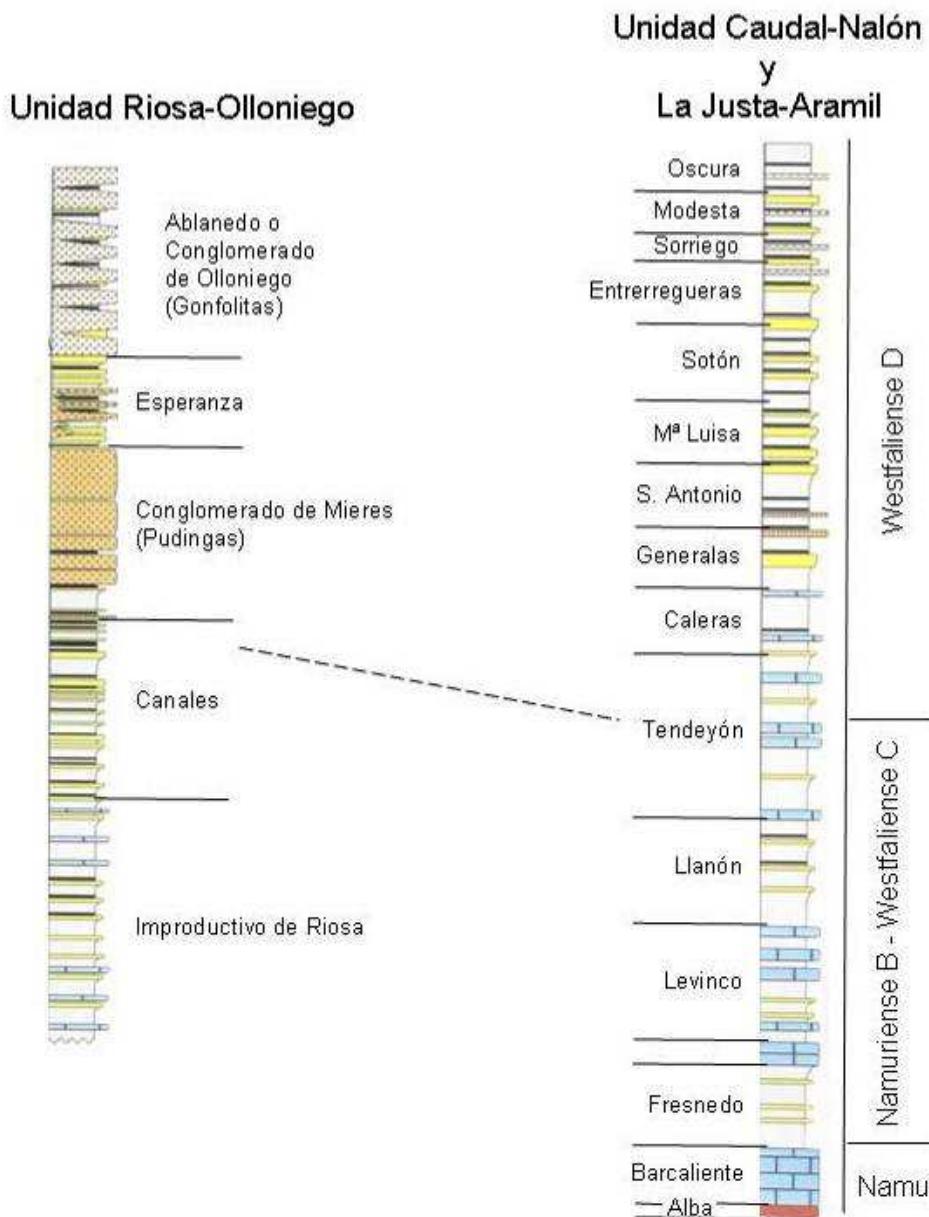


Figura 7-3.- Columnas estratigráficas generales y correlación de distintas unidades de la Cuenca Carbonífera Central (Fernández, 1995).

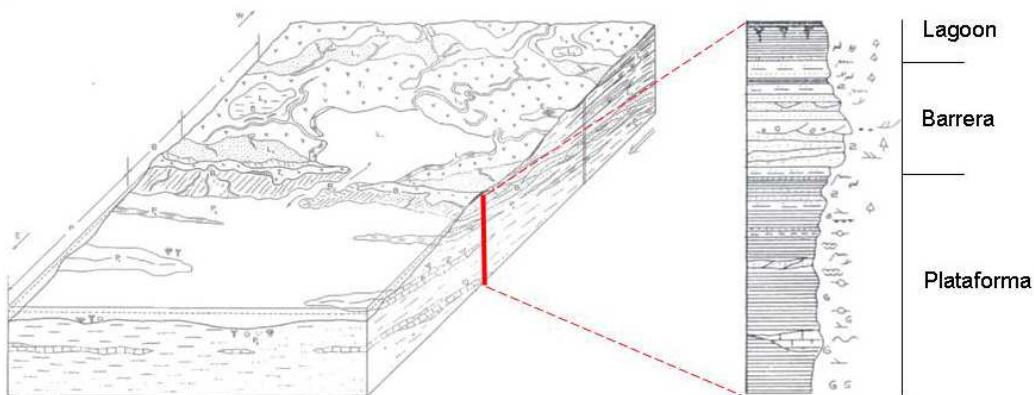


Figura 7-4.- Esquema del ambiente deposicional de la Cuenca Carbonífera Central durante el Westfaliense D y ciclo característico (Sáenz de Santa María *et al.*, 1983).

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. Valdeteja, 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 Ablanedo (Figura 7-3). Desde el punto de vista sedimentológico 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 Ablanedo, también conocido como 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 y 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. 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.

Por otra parte, discordantes sobre los depósitos westfalianos, en el sector noroccidental de esta Unidad de Candín se encuentran depositados sedimentos permoestefanienses que están constituidos por una alternancia de lutitas, limolitas, un banco de calizas, dos bancos de conglomerados calcáreos (conocidos localmente como gondolitas), margas y areniscas.

Además de éstos, se cartografián en esta zona sedimentos incluidos en la Cobertura Mesozoico-terciaria asturiana, de edad Permotriás y Cretácico. Los primeros están representados por alternancias de conglomerados cuarcíticos, arcillas y areniscas del Buntsandstein-Muschelkalk y alternancias de arcillas y margas rojas del Muschelkalk-Keuper.

En lo que se refiere a los sedimentos cretácicos, éstos se agrupan en dos formaciones que se describen a continuación:

- Albiense (Cretácico Inferior): representado por una serie de 70-90 m de espesor, compuesta por tramos de arcillas, más o menos arenosas, alternando con arenas y areniscas poco cementadas de grano medio a grueso; presentan intercalaciones lenticulares de conglomerados.
- Cenomaniense-Coniaciense (Cretácico Superior): esta serie presenta una potencia de 160-175 m, y está compuesta por calizas que alternan con arcillas, margas o arenas.

7.2. TECTÓNICA

En líneas generales, la Cuenca Carbonífera Central representa un gran siniforme 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 monocinal 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).

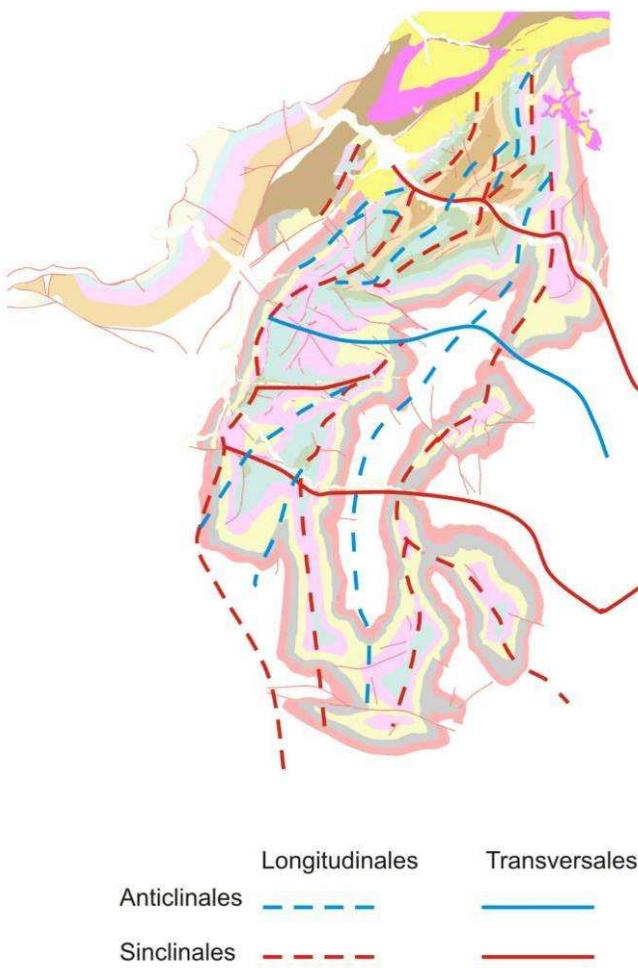


Figura 7-5.- Pliegues mayores longitudinales y radiales de la Cuenca Carbonífera Central (datos del Grupo HUNOSA). La leyenda de los paquetes mineros es la misma que en la Figura 7-2.

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 SO del Principado, con un clima más continentalizado, la franja central que, aunque con clima 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 prolongarse 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 (frente polar del

atlántico norte), que la afectan especialmente en los meses invernales, en los que los vientos predominantes de componente oeste, al llegar a la costa cargados de humedad, aportan abundantes precipitaciones. Durante todo el año, la Cornisa Cantábrica está afectada por los vientos del N y NO, que generan frentes fríos, dejando precipitaciones abundantes. En verano, se ve afectada por el anticiclón de las Azores, que eleva esas masas frías, dando lugar a la disminución de precipitación y aumento de temperaturas. 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. Los procedentes del N y NO 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 Thornthwaite.

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 la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), dentro un entorno amplio de la zona de estudio (cuenca del río Nalón). 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

Este 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 a la AEMET.

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 a la AEMET dicha(s) publicación(es) si existieran.

Antes de realizar la petición se comprobó la base de datos, correspondiente a peticiones de prestaciones anteriores a la AEMET 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 la 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 2200 LENA BOCA N. NEGRON	TP	153	05-49-57W	42-58-40	269027,014	4762326,437	1162	103	14	N
3	1 2220 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		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 2230 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 SERRARIO	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 MUÑERA	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 km^2 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 km^2 , la densidad de pluviómetros es de uno cada 37 km^2 . 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 km^2 . La densidad en este caso, considerando además las estaciones no disponibles, es de un pluviómetro cada 48 km^2 .

- | | |
|----|------------------------|
| 1 | Oviedo-Cristo |
| 2 | Nava de Nava 'G.C.' |
| 3 | La Nava de Langreo |
| 4 | Soto de Ribera |
| 5 | Lada 'QCF' |
| 6 | Sama de Langreo 'G.C.' |
| 7 | El Padrún de Mieres |
| 8 | Parteayer |
| 9 | Pumarodongo 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) |

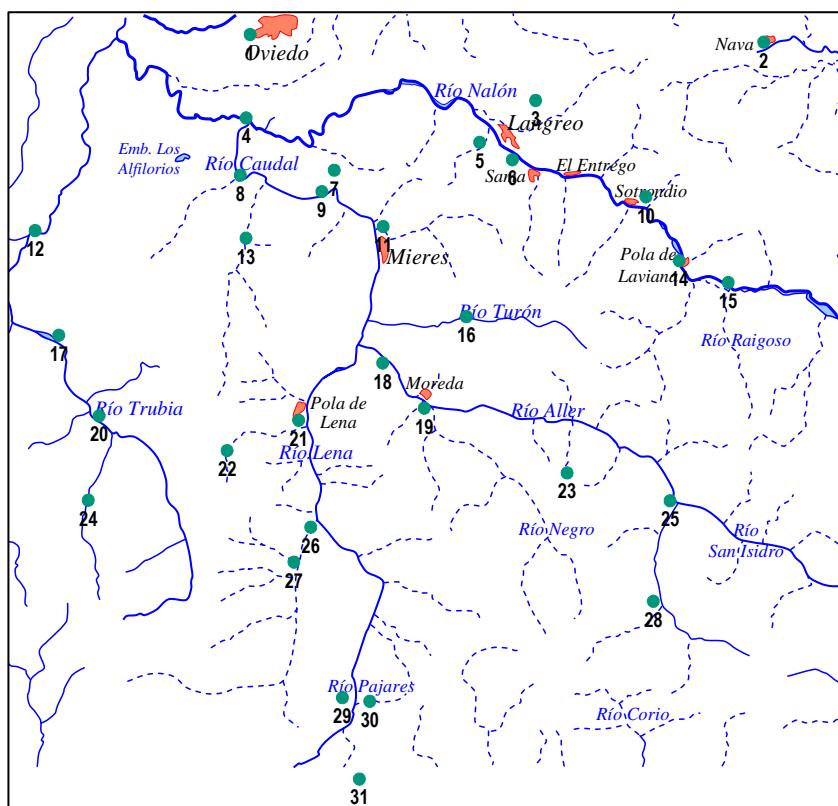


Figura 8-2.- Estaciones consideradas en el estudio climático.

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 MORCIN	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 'QCF'	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 MUÑERA	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, las cuales 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 en 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 desecharido, 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 estableció 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.

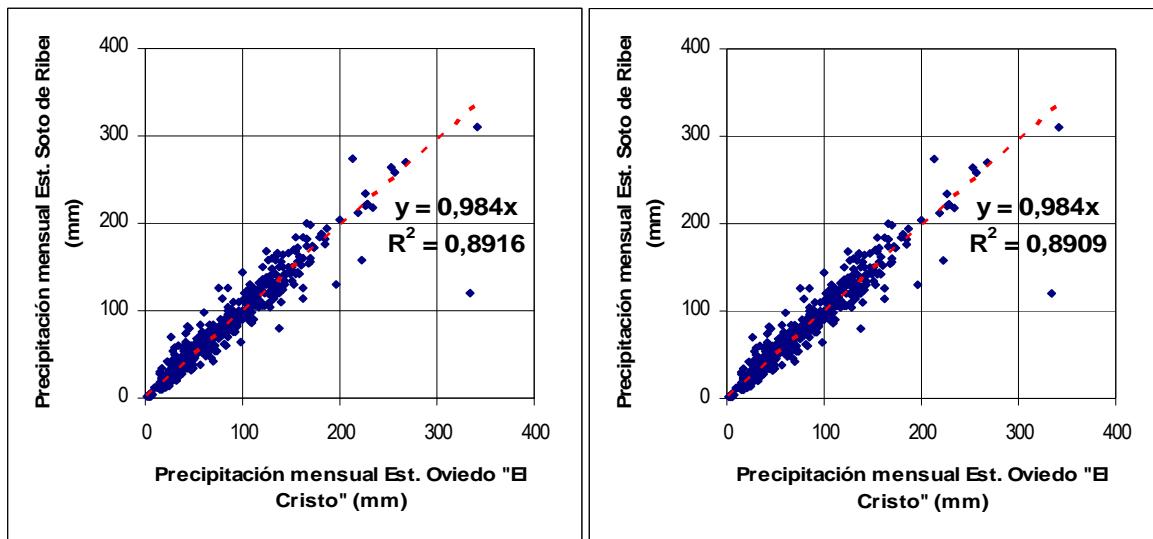


Figura 8-3: Correlación y ecuación de la recta de regresión entre los datos brutos (izqda.) y los datos completados (dcha.) de una estación problema y una estación base para una misma serie.

Una vez completadas las series de las estaciones seleccionadas, se procedió a calcular las precipitaciones medias mensuales para el periodo considerado, así como las 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).

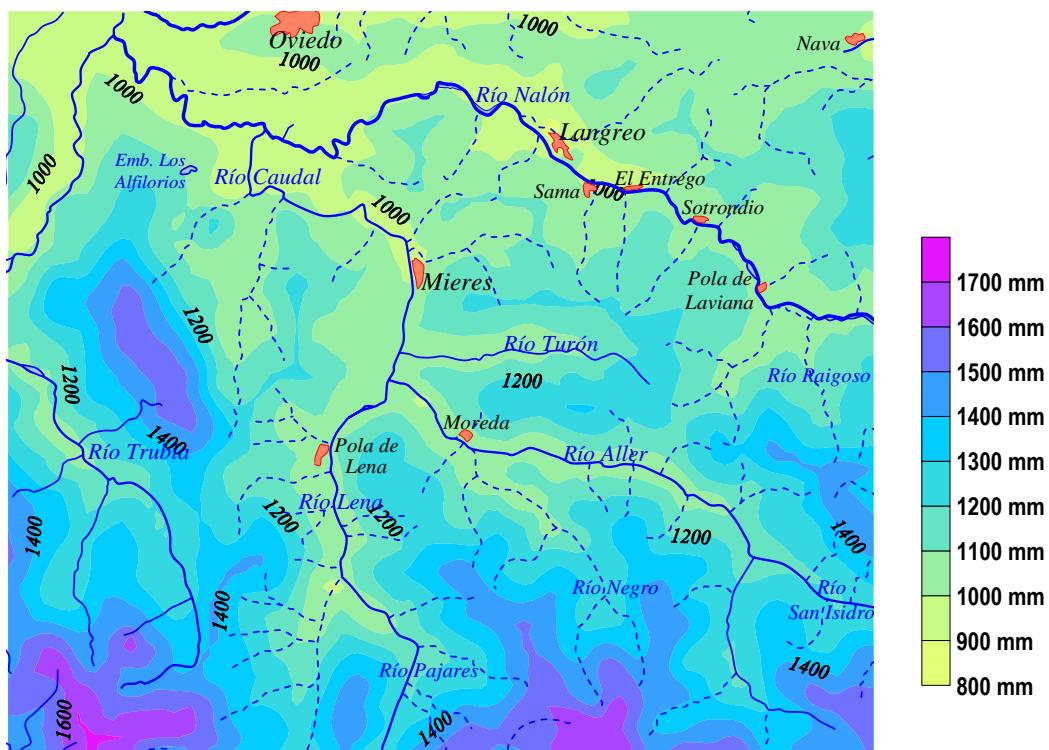


Figura 8-4: Isoyetas medias anuales (periodo 1970/71 – 2005/06).

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 inexistentes 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.

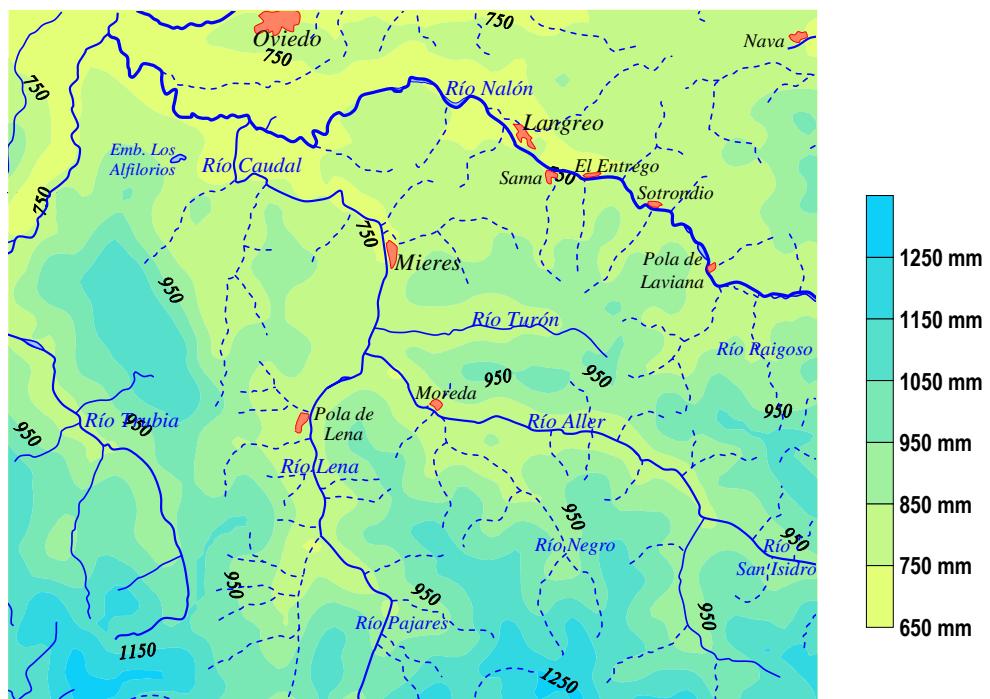


Figura 8-5: Isoyetas del año seco (periodo 1970/71 – 2005/06).

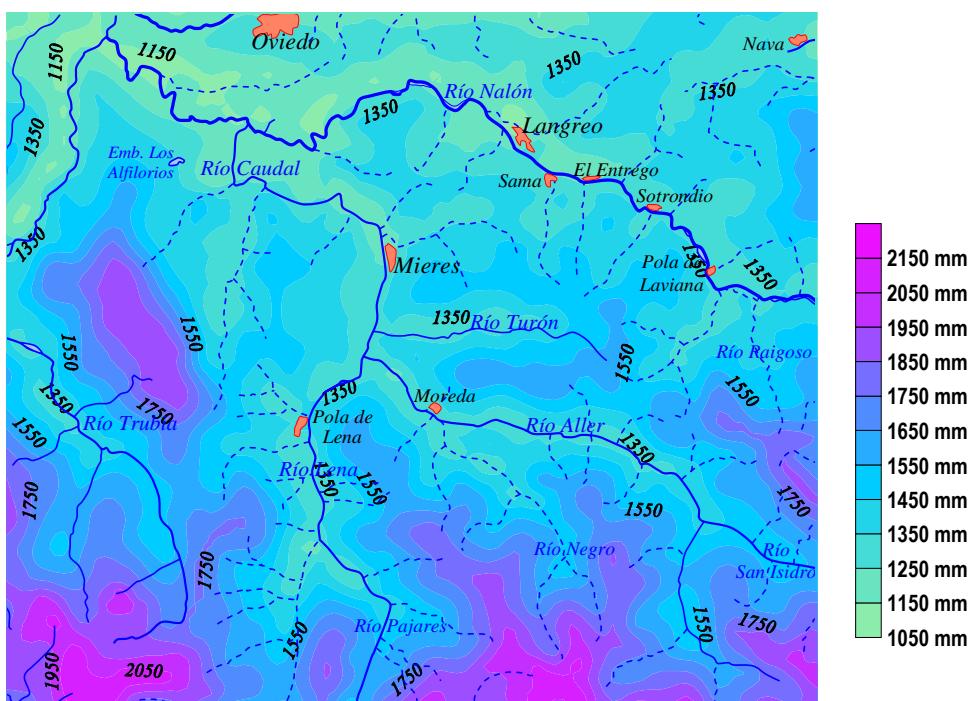


Figura 8-6: Isoyetas del año húmedo (periodo 1970/71 – 2005/06).

En las siguientes figuras (Figura 8-7, Figura 8-8, Figura 8-9 y Figura 8-10) 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 isolíneas 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 8-7: Isotermas medias anuales (periodo 1970/71 – 2005/06).

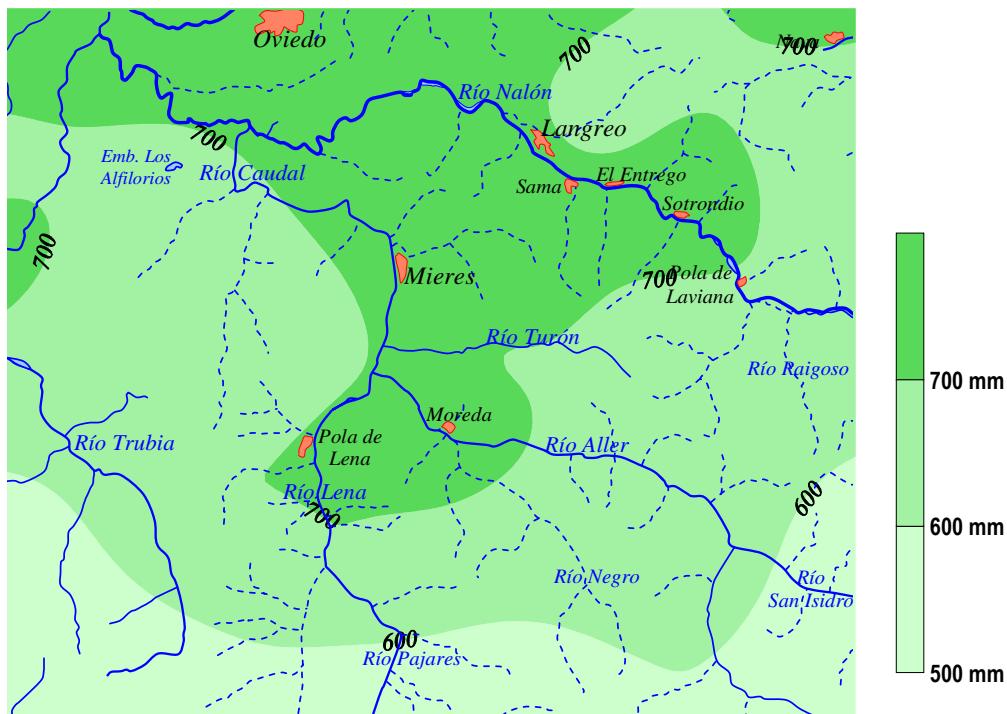


Figura 8-8: Evapotranspiración potencial anual (periodo 1970/71 – 2005/06).

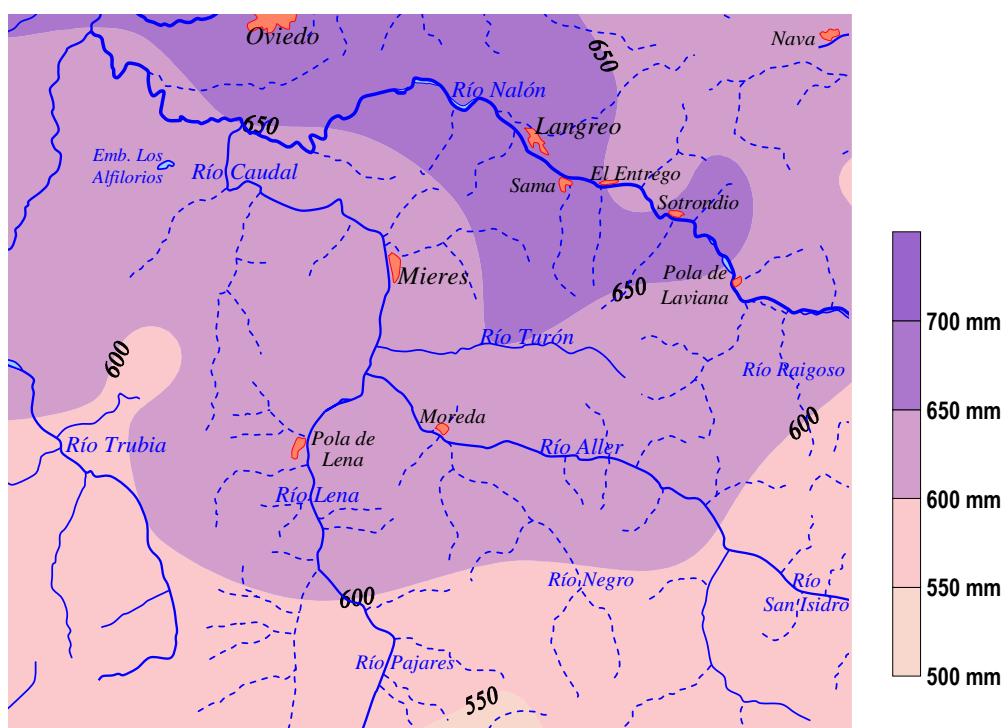


Figura 8-9: Evapotranspiración real anual (periodo 1970/71 – 2005/06).

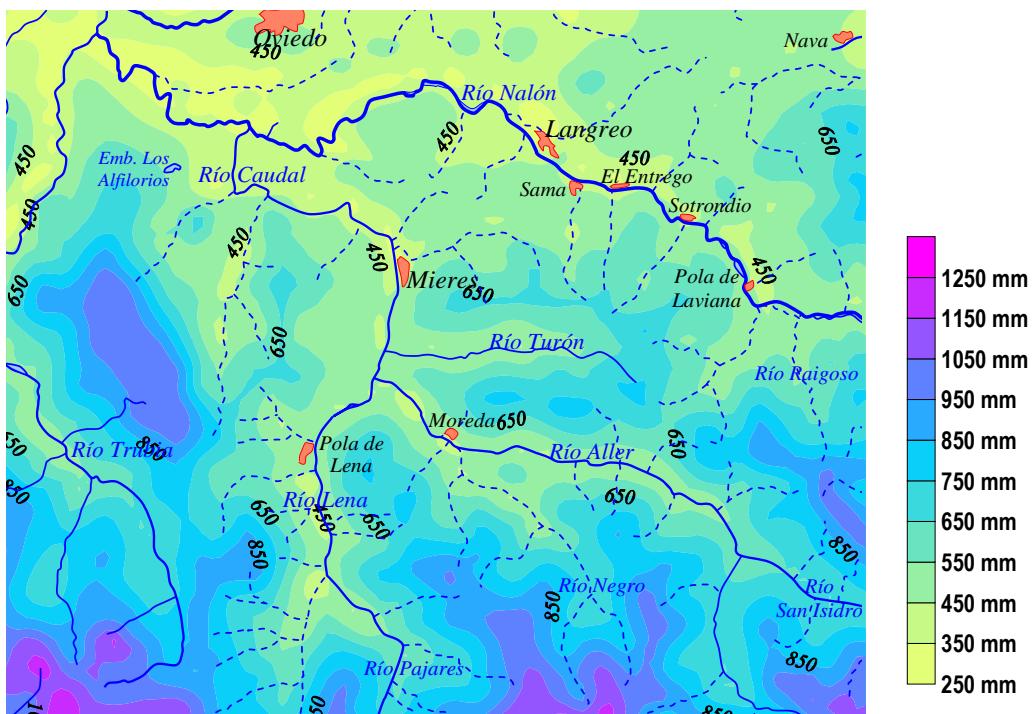


Figura 8-10: Isoyetas de precipitación útil anual (periodo 1970/71 – 2005/06).

9. ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO

La zona de estudio se encuentra incluida en la que actualmente se denomina Masa de Agua Subterránea 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, arcillas, arenas, areniscas y calizas de edad Cretácico 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, secundaria, por fisuración, y materiales de permeabilidad variable, secundaria, 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, secundaria, por fisuración y permeabilidad variable, secundaria, por fracturación 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 $0,005 \text{ m}^2/\text{día}$ y $2,96 \times 10^{-8} \text{ m/s}$, 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 5×10^{-6} y 10^{-6} m/s en condiciones de macizo natural fracturado. Estas observaciones implican un macizo virgen prácticamente impermeable. Los estudios y observaciones realizados en el interior de las explotaciones del Grupo HUNOSA, en zonas no tronadas, avalan también estas conclusiones.

Materiales con permeabilidad baja, secundaria, por fisuración: representados por cuarcitas, areniscas calcáreas y arcillosas, microconglomerados silíceos (micropudingas) y conglomerados silíceos (puingas). 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 $3,92 \times 10^{-5}$ m/s, respectivamente (ITGE, 1995).

Materiales con permeabilidad variable, secundaria, 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. En este apartado se deberían incluir los sedimentos permoestefanienses constituidos por alternancias de lutitas, limolitas, calizas, conglomerados calcáreos, margas y areniscas.

Permeabilidad de los depósitos cretácicos

Los sedimentos cretácicos presentes en el área de estudio corresponden a arcillas, arenas, areniscas, margas y calizas de edad Cretácico. Dentro de estos materiales se pueden diferenciar dos niveles según sus características hidrogeológicas (permeabilidad baja y permeabilidad variable, secundaria, por fracturación y/o karstificación).

Materiales con permeabilidad baja por porosidad intergranular: engloba los materiales del Cretácico inferior, formado por una serie de arcillas, más o menos arenosas, arenas y areniscas poco cementadas, que le confieren al conjunto una permeabilidad primaria intergranular.

Materiales con permeabilidad variable, secundaria, por fisuración y/o karstificación: formado por calizas, margas o arenas del Cretácico superior.

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 del río Nalón a la altura de Sama de Langreo estos sedimentos presentan espesores no superiores a los 10 metros, estando situado el nivel freático en torno a los 5,3-5,9 metros de profundidad (Tecnia, 2009) (Figura 9-1).

SONDEO	S-1	S-2	S-3	FECHAS MEDIDA NIVEL AGUA
COTA INICIO PROSPECCIÓN	212,5	212,6	212,5	
PROF. AGUA (m)	5,30	5,40	---	04/12/09
COTA AGUA (m)	207,2	207,2	---	
PROF. AGUA (m)	5,30	5,40	---	09/12/09
COTA AGUA (m)	207,2	207,2	---	
PROF. AGUA (m)	5,30	5,40	5,90	11/12/09
COTA AGUA (m)	207,2	207,2	206,6	

Figura 9-1.-Lectura de los niveles de agua medidos en los sondeos realizados en Sama de Langreo

(Tecnia, 2009)

Grandes fracturas

Como se había expuesto en el apartado 2 del capítulo 7, existen en la zona de estudio, o en un entorno más o menos próximo, 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.).

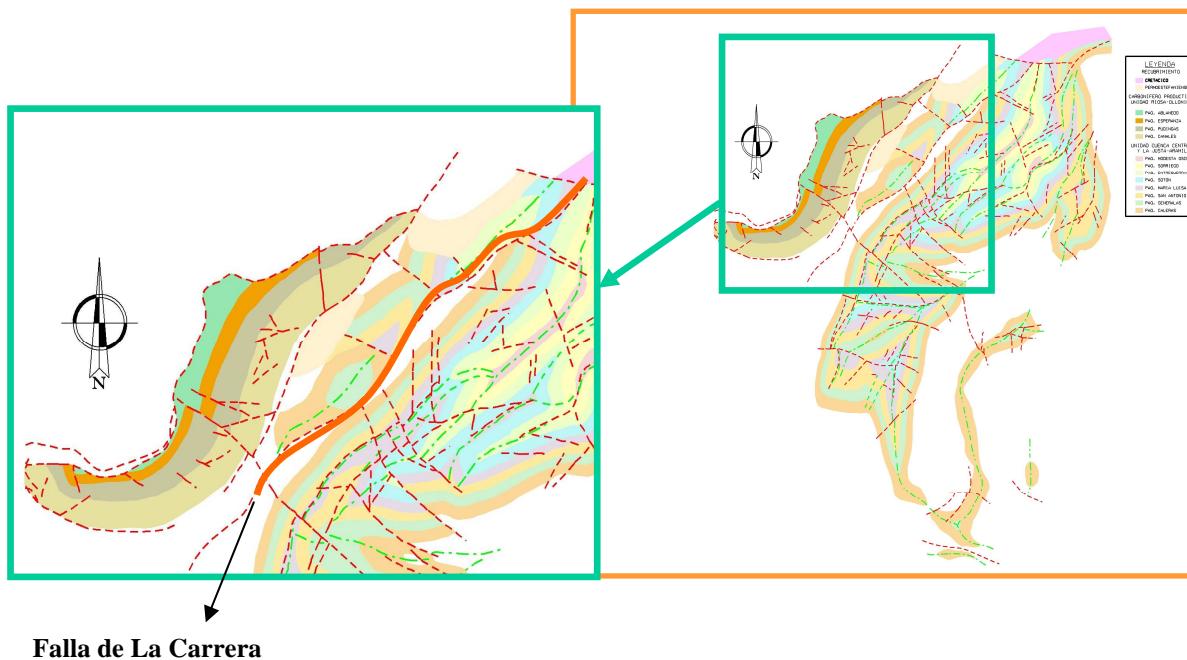


Figura 9-2.-Situación de la Falla de La Carrera, próxima al área de estudio

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 la hoja a escala 1:50.000 nº 53-Mieres.
- 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 INDURROT (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 labores mineras conectadas entre sí, como son los pozos Candín I, Candín II y Fondón, que presentan conexiones entre sí. La zona estudiada abarca, por tanto, parte de la cuenca hidrográfica del río Nalón.

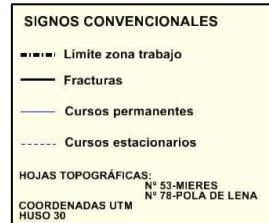
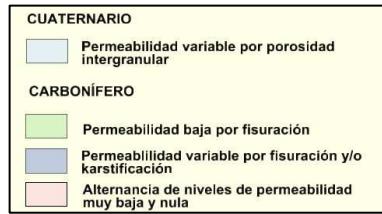
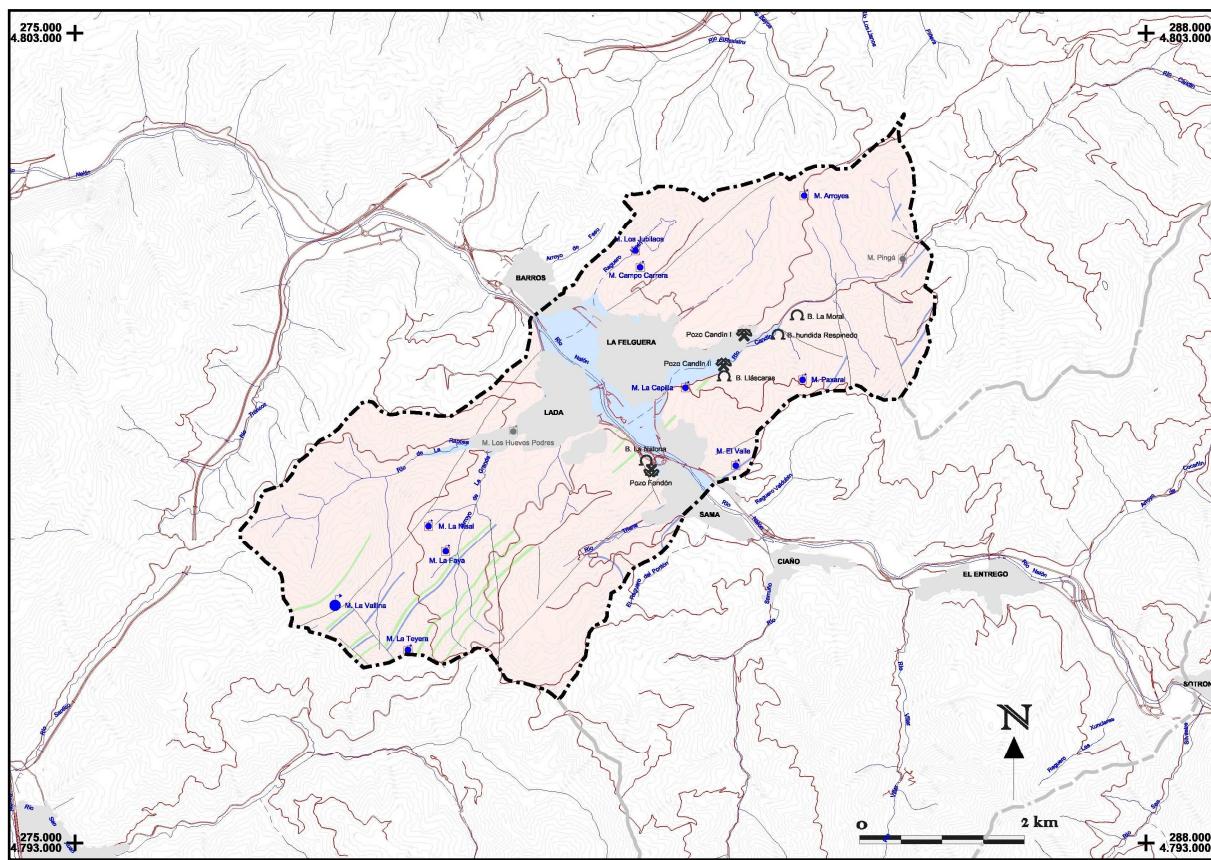


Figura 9-3.-Mapa hidrogeológico de la Zona Candín.

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 secundaria variable por fisuración y/o karstificación (color azul oscuro)
- materiales con permeabilidad secundaria 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 secundaria variable por fisuración y/o karstificación y permeabilidad secundaria 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 Langreo y la empresa CADASA, S.A.). 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, e inventario realizado por la Consejería de Cultura, Comunicación Social y Turismo del Principado de Asturias (Fernández Gutiérrez, 2004), 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, y, por último, 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 y 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 la hoja a escala 1:50.000 nº 53-Mieres.

El inventario de puntos de agua se ha realizado utilizando como referencia metodológica la 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 *in situ* parámetros físico-químicos (pH, conductividad eléctrica, temperatura del agua y temperatura 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 la medida del pH y de la conductividad eléctrica, y el termómetro empleado es de la 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, socavones 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, F, 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 19 puntos de agua, que incluyen 3 pozos mineros, 4 bocaminas relacionadas con galerías de minería de montaña y 12 manantiales. De ellos, 15 puntos (12 manantiales y 3 bocaminas) tienen un caudal $Q < 1 \text{ L/s}$. De los otros cuatro puntos, labores mineras, tres de ellos son pozos: Fondón y Candín I bombean más de 20 L/s y Candín II bombea una media de 4 L/s; el último es la bocamina La Nalona, que bombeaba cerca de 1 L/s cuando fue medida.

De los tres pozos mineros incluidos en el inventario se encuentran activos los dos pozos de Candín, aunque en los tres se bombea al exterior a través de sus cañas.

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.

De los 12 manantiales inventariados, 6 surgen en alternancias de lutitas, limolitas y areniscas westfalienses, una de las cuales está asociada a fracturas; 2 surgen en alternancias de lutitas, limolitas, calizas, conglomerados calcáreos, margas y areniscas permooestefanienses; 1 surge de materiales calcáreos westfalienses, y 3 afloran en los niveles permeables del Cretácico (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 principalmente de litologías siliciclásticas.

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

	LITOLOGÍA DE LA SURGENCIA	Número de manantiales
MANANTIALES	Alternancia de lutitas, limolitas y areniscas westfalienses	5
	Alternancia de lutitas, limolitas, calizas, conglomerados calcáreos, margas y areniscas (Permoestefaniense)	2
	Alternancia de lutitas, limolitas y areniscas westfalienses asociada a fracturas	1
	Calizas o dolomías westfalienses	1
	Cretácico	3

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 s.n.m.)	Q (L/s)	Observaciones
	Longitud	Latitud	Cota (m)						
1305-2-0002	281.859	4.800.109	308	Manantial Campo Carrera	Langreo	manancial		0,4	¿No se utiliza?
1305-2-0003	281.802	4.800.313	299	Manantial Los Jubilaos	Langreo	manancial		0,4	Fuente pública
1305-2-0004	279.327	4.796.564	385	Manantial La Faya	Langreo	manancial		0,45	Fuente pública
1305-2-0005	278.156	4.795.937	476	Manantial La Vallina	Langreo	manancial		0,45	No se utiliza
1305-2-0006	279.291	4.796.918	346	Manantial La Nisal	Langreo	manancial		0,45	Fuente pública y lavadero
1305-2-0020	281.997	4.797.598	210	Pozo Fondón	Langreo	galería	- 449,25	24	No se utiliza
1305-2-0060	281.933	4.797.717	216	Bocamina La Nalona	Langreo	galería		~ 1	No se utiliza
1305-2-0061	279.041	4.795.280	603	Manantial La Teyera	Mieres	manancial		0,4	¿No se utiliza?
1305-2-0062	280.320	4.798.088	227	Manantial Los Huevos Podres	Langreo	manancial		0,45	Fuente pública
1305-3-0004	285.046	4.800.211	234	Manantial La Pingá	Langreo	manancial		0,3	Fuente pública
1305-3-0012	283.818	4.798.724	352	Manantial Paxaral	Langreo	manancial		0,1	Fuente pública
1305-3-0022	283.179	4.799.184	216	Pozo Candín I – Santa Eulalia	Langreo	galería	- 458,71	21	No se utiliza
1305-3-0079	283.851	4.800.998	364	Manantial Arroyes	Langreo	manancial		0,2	Fuente pública
1305-3-0081	283.765	4.799.519	225	Bocamina La Moral	Langreo	galería		0,2	No se utiliza
1305-3-0082	283.532	4.799.269	229	Bocamina hundida de Respinedo	Langreo	galería		0,5	No se utiliza
1305-3-0084	282.879	4.798.760	210	Bocamina Lláscaras	Langreo	galería		~ 0,1	No se utiliza
1305-3-0085	282.409	4.798.624	253	Manantial La Capilla	Langreo	manancial		0,2	¿No se utiliza?
1305-3-0104	282.906	4.798.939	216	Pozo Candín II - Lláscaras	Langreo	galería	- 455,80	4	No se utiliza
1305-3-0129	283.020	4.797.659	260	Manantial El Valle	Langreo	manancial		> 0,09	Fuente pública

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 o en los sedimentos cretácicos, 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, westfalienses y/o permoestefanienses, 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 nivel piezométrico 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 son menores a 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, 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 cretácicos están formados por materiales del Cretácico Inferior (niveles de arenas, areniscas, conglomerados y arcillas arenosas), cuya permeabilidad baja podría estar ligada a la porosidad intergranular de arenas y areniscas poco cementadas, y del Cretácico Superior (calizas alternantes con arcillas, margas o arenas), cuya permeabilidad variable por fisuración y karstificación estaría relacionada con la presencia de niveles carbonatados. No obstante, en los trabajos de campo se comprobó que el caudal de los manantiales surgentes en estos materiales no supera la cifra de 1 L/s.

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, que es el del río Nalón, se ubica en el entorno de las localidades de Sama y La Felguera. Según consta en algún informe (p. ej., Tecnalia, 2009), como ya se comentó anteriormente, estos sedimentos presentan, en zonas próximas a la de estudio, espesores no superiores a los 10 metros, estando situado el nivel freático en torno a los 5,3-5,9 metros de profundidad (Figura

9-1).

La zona de estudio abarca parte de la cuenca del río Nalón y alguno de sus afluentes (río Candín, reguero Llerín, río Triana, río de la Raposa y arroyo de La Granda). 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 general del sistema hidrogeológico.

Por otra parte, existe una clara conexión entre las labores mineras más

antiguas, correspondientes a la denominada minería de montaña, que explotaban 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 circula posteriormente a través de las labores de minería de valle y es evacuada en último término por medio 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 de precipitación recogidos en las estaciones pluviométricas de Oviedo y Santa Cruz de Mieres para el periodo 2002-2010, se estima que el porcentaje medio mensual de bombeo respecto a la lluvia útil calculada en la zona de estudio oscila en torno al 22%. 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 de los pozos Candín I, Candín II y Fondón. 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 llenas 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 por un lado el conjunto de labores mineras de Candín y Fondón como un único sistema hídrico a partir de la conexión por 6^a planta en el que existen vías preferenciales de circulación de agua correspondiente 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. A partir de este nivel, habría que considerar en conjunto, que actuaría como un único embalse, con el punto más bajo de cota en el Pozo Fondón (217,95 m s.n.m.), que está situado sobre los materiales cuaternarios de la llanura aluvial del río Nalón; 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.

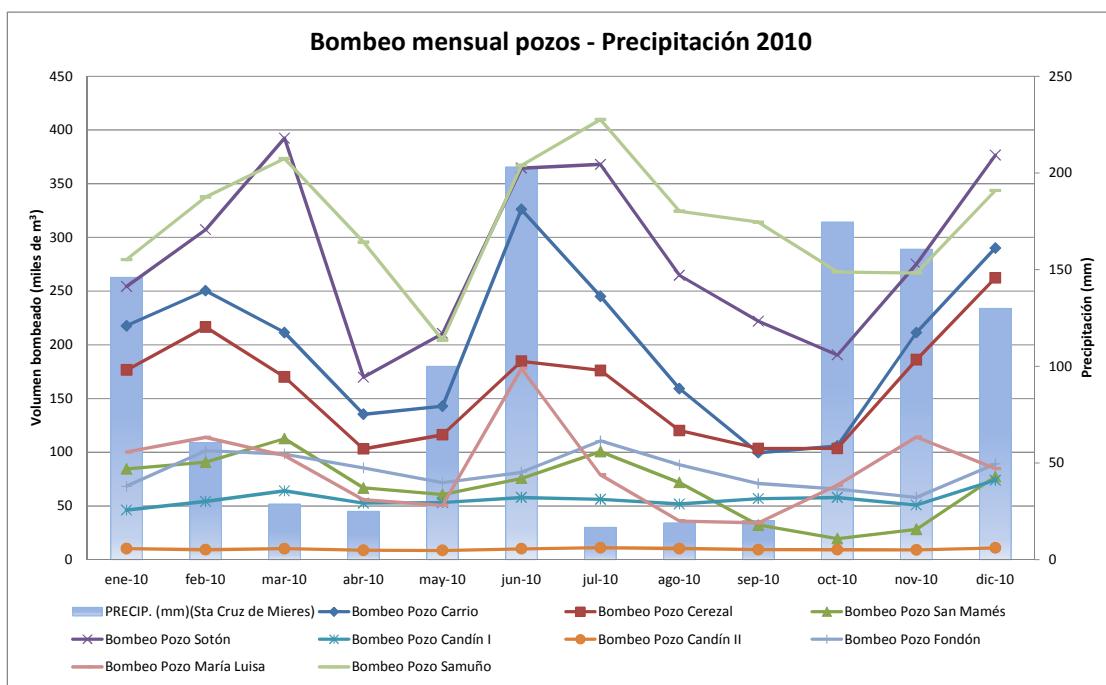


Figura 9-4.-Valores mensuales precipitación-bombeo 2010.

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 escorrentía 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:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas} + \text{Variación en el almacenamiento}$$

La entrada en la zona de trabajo es la precipitación y las salidas son la evapotranspiración, la escorrentía superficial y la escorrentía 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 cuenca del Nalón permitirá conocer la infiltración en la zona de estudio, parte de la cual corresponde a la recarga de agua que se produce en el conjunto de pozos del Grupo HUNOSA y que es captada y bombeada al exterior. Esta infiltración corresponde al término denominado *escorrentía subterránea* de la ecuación del balance hídrico y, por tanto, puede calcularse como diferencia entre la lluvia útil (precipitación menos evapotranspiración real) en la superficie estudiada y la escorrentía superficial, considerando que el término de variación en el almacenamiento, para un estudio prolongado en el tiempo, puede suponerse nulo.

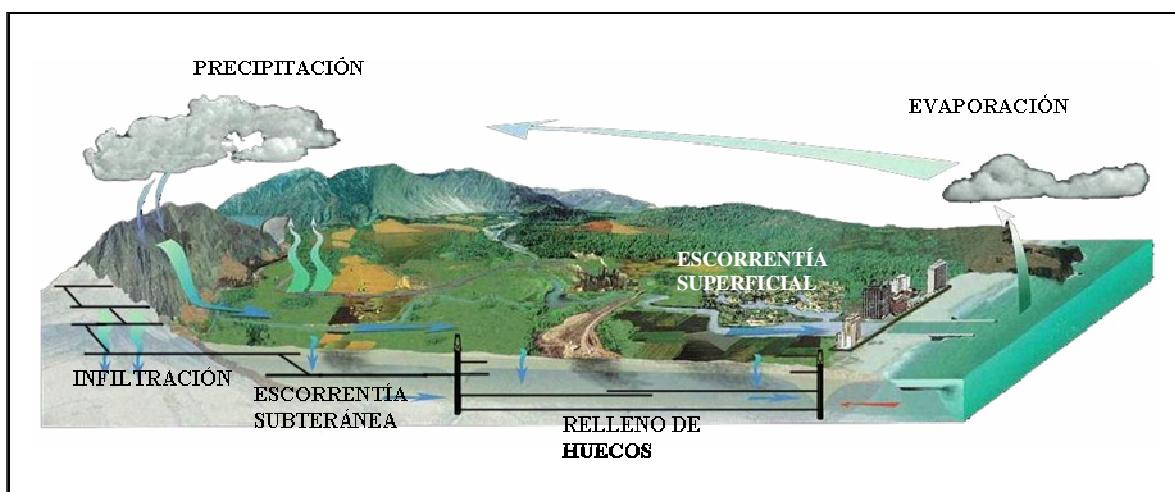


Figura 10-1.- Esquema de balance hídrico (Modificado de López Geta et al, 2001)

Para la obtención de los parámetros anteriores será necesaria la determinación de la lluvia útil, así como la realización de aforos para estimar las escorrentías superficial y subterránea. Para ello se contó con los datos obtenidos de diversas fuentes (Agencia Estatal de Meteorología, campañas de aforos, inventario de puntos de agua, datos de desagües de pozos, etc.).

La delimitación de la zona de trabajo (Figura 10-2) se ha realizado considerando las divisorias de aguas superficiales que limitan la parte de la cuenca hidrográfica del río Nalón en la que quedan incluidas las labores mineras de los 25 pozos que se incluyen en esta zona, así como las divisorias de aguas subterráneas, teniendo en cuenta la extensión en profundidad de las labores mineras correspondientes a dichos pozos, a cuyo interior se puede infiltrar parte de la lluvia útil de la zona.

Aunque se han diferenciado tres subcuenca, en función de las conexiones entre pozos, para simplificar el estudio del balance hídrico, se ha considerado el conjunto de las mismas de forma global.

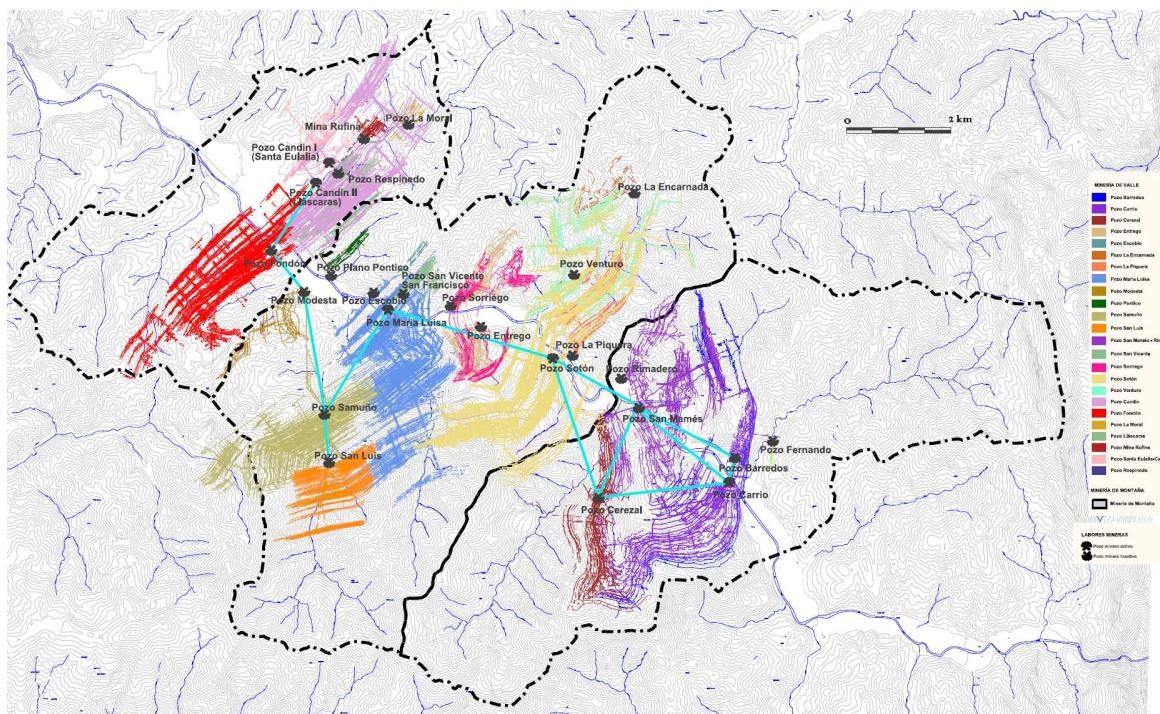


Figura 10-2.- Área de estudio del balance hídrico

10.2. CÁLCULO DE LA PRECIPITACIÓN Y LA LLUVIA ÚTIL

Dado que el área de estudio se extiende a un área amplia ($131,2 \text{ km}^2$), 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.

Según este último método, 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).

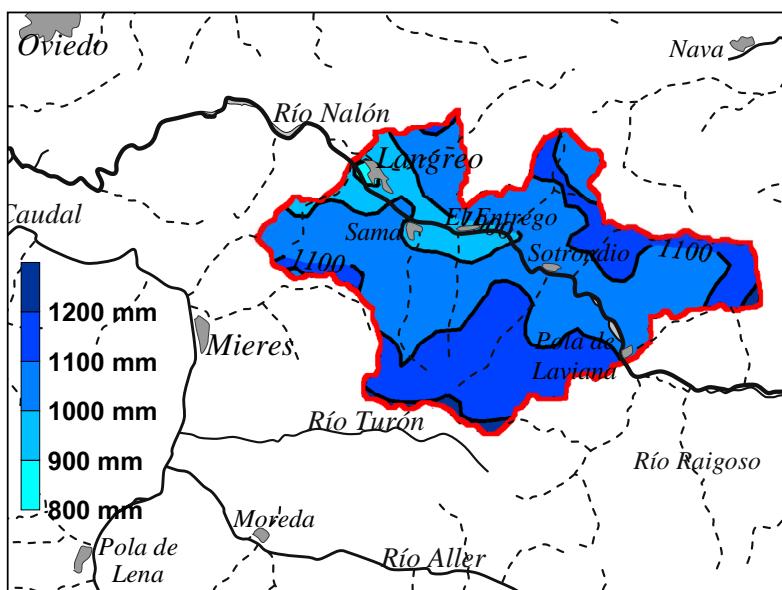
P_i = Precipitación media entre cada dos isoyetas (mm)

A_i = Área entre cada dos isoyetas (km^2).

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. Según se ve en la figura, la precipitación media anual en el área de estudio será:

$$P_m = \frac{(850 \times 0,83) + (950 \times 13,65) + (1050 \times 71,81) + (1150 \times 42,72) + (1250 \times 2,19)}{131,2} = 1074 \text{ mm}$$



- Área total: 131,2 km²
- Áreas parciales:
 - <900 mm: 0,83 km²
 - 900-1000 mm: 13,65 km²
 - 1000-1100 mm: 71,81 km²
 - 1100-1200 mm: 42,72 km²
 - >1200 mm: 2,19 km²

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

De forma análoga, se han calculado los valores medios anuales de evapotranspiración real y de lluvia útil en la cuenca considerada. Estos valores se resumen en la Tabla 10-1.

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

	mm/año	l/s
Precipitación media	1074	4470
Evapotranspiración real media	596	2480
Lluvia útil media	478	1990

10.3. CÁLCULO DE LA ESCORRENTÍA

De acuerdo con la ecuación del balance hídrico, la lluvia útil será igual a la escorrentía total, es decir, la suma de escorrentía superficial y subterránea. En condiciones normales, el agua que lleva el cauce que drena la cuenca -si se trata de un

río ganador, como en este caso-, corresponderá al aporte tanto de escorrentía superficial como subterránea (aquella aportada por el acuífero); sin embargo, en aquellas áreas donde por el mantenimiento de un régimen de bombeo, el nivel piezométrico está deprimido por debajo del lecho del río, éste no recibe aporte subterráneo significativo y se puede considerar que su caudal prácticamente procede de la escorrentía superficial y subsuperficial, mientras que el agua infiltrada a las labores mineras (que es bombeada y generalmente vertida al cauce en superficie) se puede hacer equivalente a la infiltración.

A partir de lo anterior, 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 del río a su paso por las zonas mineras 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 períodos más cortos de tiempo exigiría un volumen de datos muy superior al disponible. Por otra parte, el volumen bombeado de las labores es extraído a la superficie y vertido al cauce del río, por lo que a la salida de la cuenca considerada el río llevará un caudal correspondiente a la lluvia útil (escorrentía superficial más escorrentía subterránea, la cual ha sido infiltrada, bombeada y vertida de nuevo en superficie).

10.3.1. METODOLOGÍA

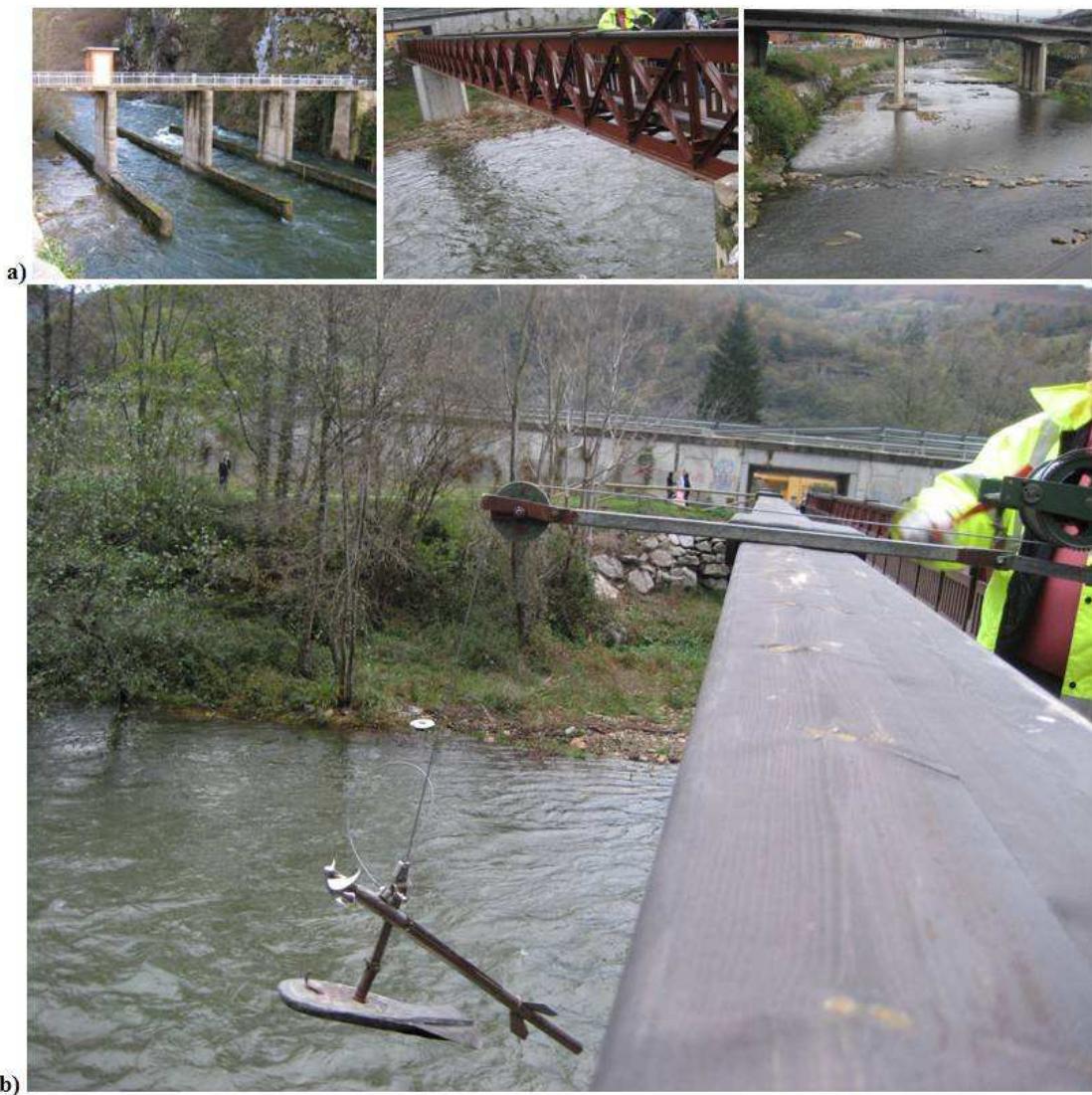
Dado el elevado caudal del río Nalón a su paso por la zona de estudio, ha sido imposible realizar una campaña de aforos sistemática del mismo a la entrada y la salida de la cuenca considerada. Únicamente ha sido posible realizar campañas de aforos puntuales, con personal técnico y equipos de la Confederación Hidrográfica del

Cantábrico (CHC), en dos puntos accesibles desde puentes: Puente La Sota (Laviana), ($X = 291.004$, $Y = 4.792.847$) en la cabecera de la cuenca estudiada, y Puente de Sama (Langreo), cerca de la salida de la misma (donde existe una escala limnimétrica de la CHC), como se indica en la Figura 4-1. Asimismo, para la realización de este estudio se ha contado con los datos históricos recogidos en las estaciones foronómicas de la CHC próximas a la zona de estudio: Puente de Sama ($X = 282.343$, $Y = 4.797.727$), ya citada, y El Condado (Laviana) ($X = 298.035$, $Y = 4.789.767$), cuya situación se muestra en la siguiente figura.



Figura 10-4.- Ubicación de los puntos de aforo del río Nalón considerados (en rojo), en relación al límite de la zona de estudio

Las medidas puntuales de caudal realizadas ex profeso para este estudio se han realizado mediante aforos directos con un molinete clásico en períodos de aguas altas, manejado por personal de la CHC desde los puentes mencionados, como se aprecia en la fotografía 1, y con un equipo Flowtracker en períodos de niveles bajos, realizado por personal del proyecto (fotografía 10-2).



Fotografía 10-1.- a) Estaciones de aforo del Río Nalón en El Condado (izda.), Puente La Sota (centro) y Puente de Sama (dcha.); b) Realización de aforo desde Puente La Sota, mediante molinete clásico



Fotografía 10-2.- Realización de aforo desde Puente de Sama, mediante equipo Flowtracker.

Mediante el molinete se mide la velocidad del agua en toda la superficie de una sección del río determinada. Una vez obtenida la velocidad media de la sección, el caudal se calcula como producto de dicho término por el área total de la misma. A continuación se recogen los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología descrita.

El equipo Flowtracker mide la velocidad del agua mediante ultrasonidos a lo largo de una sección vadeada mientras se toman también medidas de calado en diferentes posiciones. Con estos datos calcula el caudal del río en dicha sección.

10.3.2. AFORO DEL RÍO NALÓN

Los resultados de los aforos realizados en estos puntos se recogen en la Tabla 10-2, donde se indica la fecha en que fueron realizados.

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

Fecha de aforo	Método	Caudal (L/s) Puente La Sota	Caudal (L/s) Puente de Sama
29-10-09	Molinete		2.674
20-11-09	Molinete	26.985	27.066
05-03-10	Molinete		12.247
16-04-10	Molinete		9.520
07-05-10	Molinete		16.730
25-06-10	molinete		10.439
30-07-10	Flowtracker		2.862
02-09-10	Flowtracker		2.407
01-10-10	Flowtracker		2.408
26-10-10	Flowtracker		4.009
26-11-10	molinete	12.250	36.560
11-2-10	molinete		19.139
03-02-10	flotador		52.463
11-02-10	molinete		19.139

Como se puede ver, el número de aforos realizado es limitado, y sería deseable continuar realizando medidas de caudal continuadas. En Puente de Sama existe una escala limnimétrica y se viene registrado su altura desde 2010. Con los datos puntuales de aforo y las correspondientes alturas limnimétricas se ha realizado una curva de gastos aproximada (serían necesarias más parejas de datos para calibrarla), mediante la cual se obtiene una relación altura-caudal que permite realizar un hidrograma con las lecturas limnimétricas registradas durante este tiempo.

Se puede observar en la Figura 10-6 la total correlación entre caudal y precipitación en esta estación de aforo de Puente de Sama, destacando la enorme crecida del río tras las precipitaciones extraordinarias ocurridas el pasado junio de 2010, que causaron grandes avenidas e inundaciones en muchos puntos de Asturias.

Este evento hace subir la media del caudal durante el año registrado. Como se verá más adelante, el caudal medio en este punto se estima en unos $17 \text{ m}^3/\text{año}$.

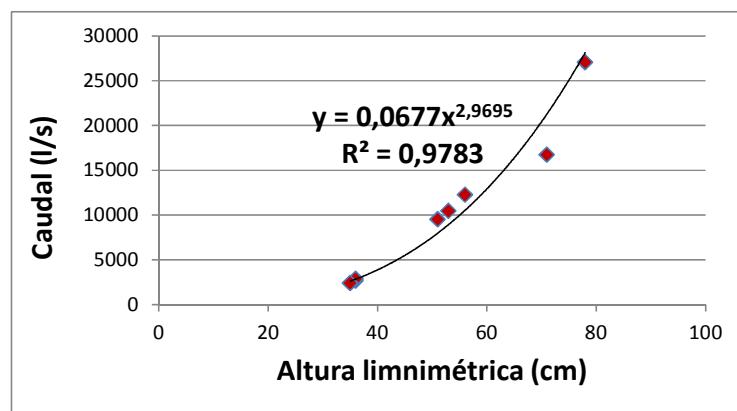


Figura 10-5.- Curva de gastos realizada para la ubicación de la escala limnimétrica en Puente de Sama

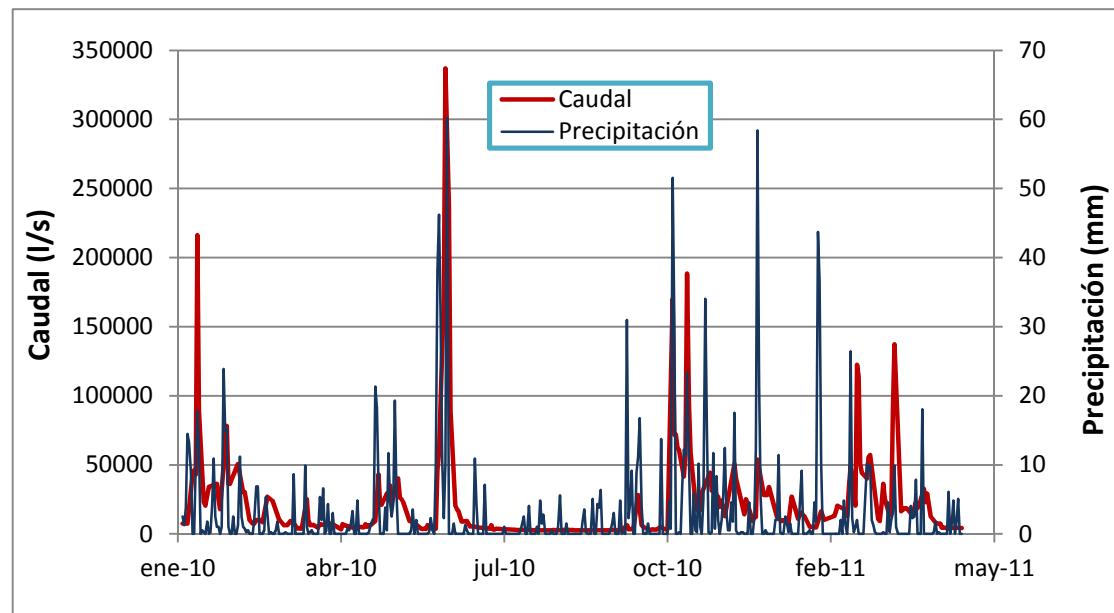


Figura 10-6.- Hidrograma del río Nalón en Puente de Sama, a partir de lecturas diarias de la escala limnimétrica y la curva de gastos de la figura anterior

Por otra parte, los datos disponibles y facilitados por la CHC en sus dos estaciones de aforo, ya mencionadas, corresponden a una serie muy corta de años, en

el caso de Puente de Sama, y a una serie larga y fiable (desde 1971 hasta la actualidad) en el caso de la estación de El Condado. Los valores medios de caudal que se estiman (con diferente precisión, dada la diferencia en número de datos) para ambos puntos se recogen en la Tabla 3. En esta misma tabla se recogen los caudales estimados para el río Nalón a la entrada y salida de la cuenca considerada en este estudio, para cuyo cálculo se han tenido en cuenta los anteriores valores, así como la proporción de superficie de cuenca afectada en cada caso. Debe tenerse en cuenta la variabilidad inducida por la regulación de los embalses de Tanes y Rioseco, situados aguas arriba, así como el aporte no cuantificado de un pequeño cauce al norte de la cuenca definida, cuyo trazado es cortado por el límite de ésta. Se hace hincapié en lo aproximado de estas cifras, que sólo tienen un valor estimativo, dado el reducido volumen de medidas y lo difícil de la obtención de las mismas, pero que se considera suficiente para la estimación global del balance que aquí se pretende.

Tabla 10-3.- Valores medios estimados de caudal del río Nalón

Punto	Caudal (m ³ /s)
El Condado	12,0
Puente Sama	17,0
Entrada a la cuenca	15,5
Salida de la cuenca	17,5

A continuación se muestra el hidrograma del río Nalón en El Condado correspondiente a un año hidrológico medio, obtenido a partir de los valores medios de caudales mensuales registrados en la estación foronómica de dicha localidad, durante su periodo de funcionamiento. Representado conjuntamente con la lluvia útil media calculada para el periodo de más de 30 años para el que se ha realizado el estudio climático, se ve cómo el caudal se reduce en los meses de verano, en los que la lluvia útil es inexistente, dado el alto régimen de evapotranspiración, observándose que el caudal medio ronda los 12.000 L/s (Figura 10.7).

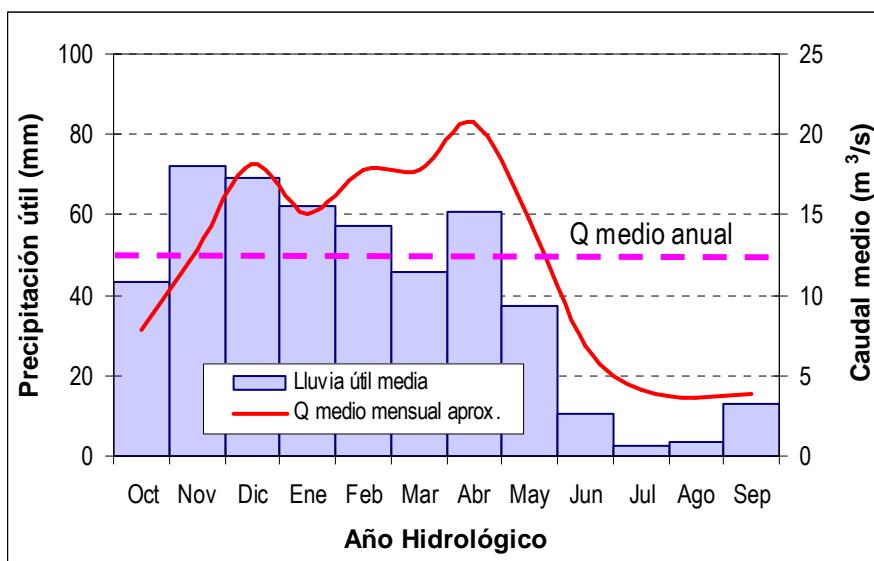


Figura 10-7. Lluvia útil e hidrograma aproximado del río Nalón en El Condado, para un año hidrológico medio

10.4. CÁLCULO DE LA INFILTRACIÓN

Como se ha indicado en el capítulo 6, la zona de estudio se ha visto influenciada primeramente por las labores mineras de montaña, y a partir de los años 50 por las labores de los pozos mineros, algunos de ellos aún en explotación, por lo que continúa el bombeo para mantener determinados niveles. En la figura 10-2 se observan en planta las labores mineras en la zona, las cuales, si bien no ocupan toda la superficie de la cuenca, sí constituyen, por la fracturación del terreno por ellas inducida, la vía preferente de infiltración del agua de lluvia. El mantenimiento del bombeo a un nivel bastante constante, junto con la escasa permeabilidad de aquellos terrenos no afectados por labores mineras, hace que la infiltración para períodos largos, como los aquí considerados, se pueda igualar al bombeo de los pozos.

En la Tabla 10-4 se muestran los caudales medios bombeados de los pozos de la zona objeto de estudio para el periodo 2002-2010, aportados por el departamento de Medio Ambiente del Grupo Hunosa.

Tabla 4 - Caudales evacuados por los pozos de la zona de estudio durante el periodo 2002-2010

	Caudal medio anual evacuado ($m^3/año$)	Caudal medio evacuado (L/s)
Pozo Carrio	2.786.914	88,32
Pozo San Mamés	584.811	18,54
Pozo Cerezal	1.278.273	40,53
Pozo Sotón	2.947.298	93,46
Pozo Candín I	699.657	22,19
Pozo Candín II	126.983	4,03
Pozo Fondón	649.358	20,59
Pozo M ^a Luisa	1.472.299	46,69
Pozo Samuño	3.037.249	96,31
TOTAL	13.582.842	430,66

De los datos anteriores 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 en la zona es de unos 430 L/s.

Con estos datos, junto con los anteriores de los que se dispone, es posible realizar un modelo conceptual simplificado para un año medio. De los aproximadamente 4.470 L/s que caen en forma de precipitación en la cuenca estudiada, aproximadamente un 55% (2.480 L/s) se evapotranspira, como se deduce del estudio climático, mientras que el resto (lluvia útil, del orden de 2.000 L/s) se divide entre escorrentía superficial e infiltración. La infiltración en la cuenca se ha estimado en unos 430 L/s, lo que supone un 22% de la lluvia útil, por lo que el aporte de la precipitación al cauce en forma de escorrentía superficial se estima en unos 1.570 L/s. Como ya se ha apuntado, estas cifras no son más que estimativas y preliminares, y sería deseable disponer de un mayor volumen de datos de aforos y de caudales bombeados en los pozos para poder realizar un balance hídrico más ajustado.

En el año 1999 el Grupo HUNOSA concluyó un proyecto ECSC, de

Referencia: nº 7220-PR057 (Gutiérrez, 1999), que había comenzado tres años antes, durante el cual se procedió a un intenso estudio hidrogeológico de las zonas afectadas por labores mineras, mediante la realización 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, entre 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 ha asignado a la infiltración un valor de 430 L/s, que se corresponde con el valor medio bombeado por los pozos.
- En la Figura 10-8 se muestra un simplificado modelo conceptual de balance de la cuenca. Mientras está activo el bombeo, el nivel piezométrico se encuentra deprimido y prácticamente toda el agua que se infiltra es bombeada y vertida nuevamente al río. Como se ha visto, la suma del bombeo medio de los pozos de la zona es de unos 430 L/s. Se tiene así que el río Nalón incrementaría su caudal a la salida de la zona de estudio unos 2.000 L/s, resultado de la lluvia útil.

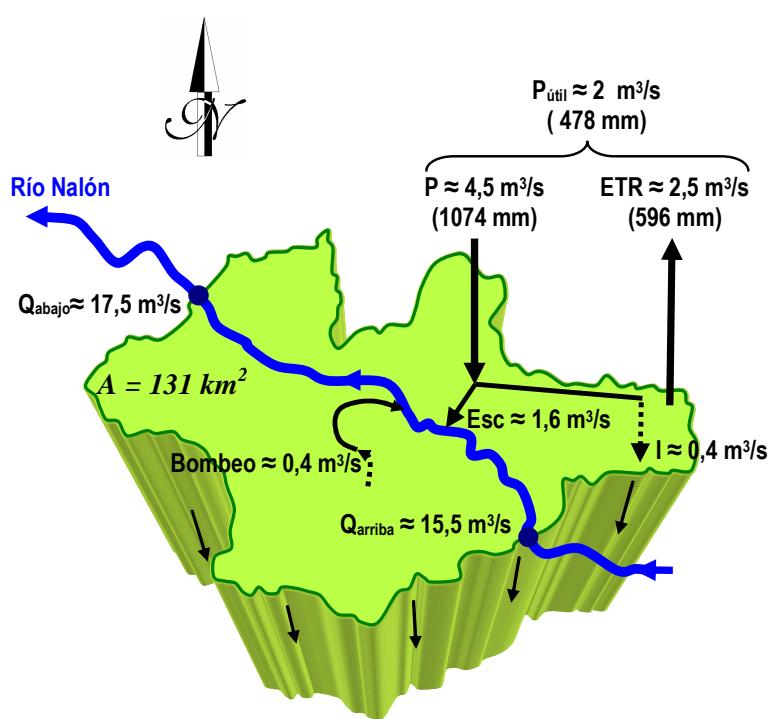


Figura 10-8.- Modelo conceptual simplificado de balance hídrico en la zona de estudio para un periodo anual durante la fase de bombeo.

11. ESTUDIO HIDROQUÍMICO

11.1. INTRODUCCIÓN

Este apartado es compartido entre las zonas de Modesta, Carrio y Candín. Debido a la cercanía y similitud entre los puntos de agua inventariados en las tres zonas, se ha considerado como representativa la realización de una campaña de red de calidad que las englobe.

11.2. METODOLOGÍA

11.2.1. RED DE CALIDAD, CRITERIOS DE SELECCIÓN

De los 54 puntos de agua inventariados se seleccionaron 22 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 manantiales, 8 bocaminas y 9 pozos mineros, en algunos de los cuales se tomaron muestras a diferentes profundidades, por lo que en total se dispone de 15 puntos de muestreo en estas labores mineras. Un ejemplo de cada tipo se muestra en las fotografías 11-1, 11-2 y 11-3.



Fotografía 11-1.-Bocamina La Nalona.



Fotografía 11-2.-Canal de vertido del Pozo Fondón.



Fotografía 11-3.- Manantial Crecimengua.

11.2.2. MUESTREO PARA ANÁLISIS QUÍMICO

En todos los puntos se tomaron 1 L de agua, en botellas de envase de vidrio, para análisis del DQO y 2 L en botella de polietileno, para análisis del resto de las sustancias y parámetros. 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").

11.2.3. ANÁLISIS QUÍMICOS. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En este apartado se incluyen las especificaciones correspondientes a la determinación de los parámetros físico-químicos y químicos en los laboratorios de SGS Tecnos, S.A. (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:

Parámetros físico-químicos

- pH
- Conductividad eléctrica

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 denominada "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.
- Sólidos en suspensión: peso en mg/L después de filtración, desecación y separación por gravimetría.

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. Laboratorios de SGS Tecnos, S.A. (Madrid).

PARÁMETRO	MÉTODOLOGÍA	PROCEDIMIENTO DE ENSAYO	ACREDITACIÓN ISO 17025	LÍMITE DE CUANTIFIC.
ANÁLISIS DE AGUAS SUBTERRÁNEAS Y AGUA DE MINA				
pH	Determinación potenciométrica con ISE, basado en SM 4500 H'B	PE.T.943-LAB/AG-21	Sí	2 unid. de pH
Conductividad	Método electrométrico, basado en SM 2510 B	PE.T.943-LAB/AG-20	Sí	2 µS/cm
Cloruros	Valoración potenciométrica, basado en SM 4500 CL D	PE.T.943-LAB/AG-11	Sí	2 mg/L
Sulfatos	Especrofotometría de absorción molecular, basado en SM 4500 SO4 E	PE.T.943-LAB/AG-13	Sí	15 mg/L
Bicarbonatos	Valoración volumétrica ácido base, basado en SM 2320 B	SM 2320 B	No	1 mg CaCO3/L
Carbonatos	Valoración volumétrica ácido base, basado en SM 2320 B	SM 2320 B	No	1 mg CaCO3/L
Nitratos	Especrofotometría de absorción molecular, basado en SM 4500 NO3 F	PE.T.943-LAB/AG-06	Sí	0,03 mg/L
Sodio	ICP-OES, basado en EN ISO 11885	EN-ISO 11885	Sí	1 mg/L
Magnesio	ICP-OES, basado en EN ISO 11885	EN-ISO 11885	Sí	0,05 mg/L
Calcio	ICP-OES, basado en EN ISO 11885	EN-ISO 11885	Sí	0,05 mg/L
Potasio	ICP-OES, basado en EN ISO 11885	EN-ISO 11885	Sí	0,5 mg/L
Nitritos	Especrofotometría de absorción molecular, basado en SM 4500 NO2 B	PE.T.943-LAB/AG-07	Sí	0,4 mg/L
Amonio	Electrometría, basado en SM-4500-NH ₄ F	PE.T.943-LAB/AG-10	Sí	0,05 mg/L
Fosfatos	Especrofotometría de absorción molecular basado en EN 1189	EN 1189	Sí	0,06 mg/L
Silicio (SiO ₂)	Especrofotometría de absorción molecular basado en UNE 77051	UNE 77051	No	1 mg/L
D.Q.O.	Oxidación de materia orgánica mediante dicromato potásico en medio ácido basado en SM 5220 D.	PE.T.943-LAB/AG-03	Sí	30 mg/L
Fluoruros	Especrofotometría de absorción molecular basado en SM 4500 F C	PE.T.943-LAB/AG-11	Sí	0,10 mg/L
Sulfuros	Especrofotometría de absorción molecular basado en SM 4500-S2	PE.T.943-LAB/AG-16	Sí	0,1 mg/L
Residuo seco	Determinación gravimétrica, basado en SM 2540	SM 2540	No	40 mg/L
Hierro	ICP-OES, basado en EN ISO 11885	EN-ISO 11885	Sí	0,01 mg/L
Manganoso	ICP-OES, basado en EN ISO 11885	EN-ISO 11885	Sí	0,005 mg/L
Cromo	ICP-OES, basado en EN ISO 11885	EN-ISO 11885	Sí	0,005 mg/L
Mercurio	Especrofotometría de absorción atómica con generación de vapor frío, basado en DIN EN 1493	DIN EN 1493	Sí	0,0001 mg/L
Zinc	ICP-OES, basado en EN ISO 11885	EN-ISO 11885	Sí	0,01 mg/L
Cobre	ICP-OES, basado en EN ISO 11885	EN-ISO 11885	Sí	0,005 mg/L
Arsénico	ICP-OES, basado en EN ISO 11885	EN-ISO 11885	Sí	0,005 mg/L
Cadmio	ICP-OES, basado en EN ISO 11885	EN-ISO 11885	Sí	0,0005 mg/L
Plomo	ICP-OES, basado en EN ISO 11885	EN-ISO 11885	Sí	0,005 mg/L
Selenio	ICP-OES, basado en EN ISO 11885	EN-ISO 11885	Sí	0,01 mg/L
Aluminio	ICP-OES, basado en EN ISO 11885	EN-ISO 11885	Sí	0,02 mg/L
Sólidos en suspensión	Filtración sobre membrana, desecación a 105°C y gravimetría, basado en SM 2540 D	PE.T.943-LAB/AG-08	Sí	5 mg/L

Tabla 11-2.- Límites de detección.

Parámetros	Límites de detección
pH	< 2 unid. de pH
Conductividad	< 2 µS/cm
Sodio	< 1 mg/L
Potasio	< 0,5 mg/L
Calcio	< 0,05 mg/L
Magnesio	< 0,05 mg/L
Amonio	< 0,05 mg/L
Cobre	< 0,005 mg/L
Cinc	< 0,01 mg/L
Hierro	< 0,01 mg/L
Manganoso	< 0,005 mg/L
Cromo	< 0,005 µg/L
Cadmio	< 0,5 µg/L
Plomo	< 5 µg/L
Arsénico	< 0,005 mg/L
Selenio	< 0,01 mg/L
Mercurio	< 0,1 µg/L
Cloruros	< 2 mg/L
Sulfatos	< 15 mg/L
Bicarbonatos	< 1 mg/L

Carbonatos	< 1 mg/L
Nitratos	< 0,03 mg/L
Nitritos	< 0,4 mg/L
Fosfatos	< 0,06 mg/L
Fluoruros	< 0,1 mg/L
Aluminio	< 0,02 mg/L
Sulfuros	< 0,1 mg/L
Oxidabilidad	< 30 mg/L
Sílice	< 1 mg/L
Residuo seco	<40 mg/L
Sólidos en Suspensión	<5 mg/L

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

Dureza: expresada en mg/L de CaCO₃, se determina mediante la expresión:

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

Los intervalos considerados son:

D (mg/L CaCO₃)	Mineralización
0 – 40	Muy blanda
41 – 120	Blanda
121 – 350	Media
351 – 650	Dura
> 650	Muy dura

Representaciones gráficas: 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).

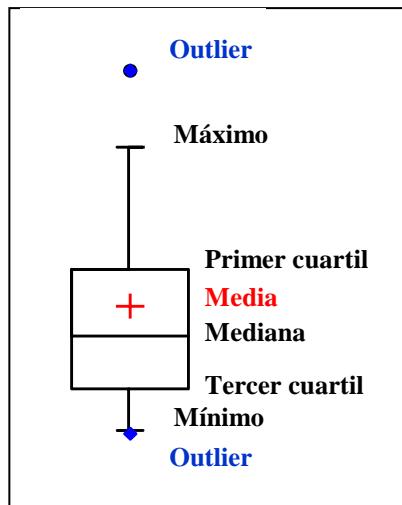


Figura 11-1.- Gráfico boxplot.

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 ($\text{SO}_4^{=}$) y la suma de los iones carbonato y bicarbonato ($\text{CO}_3^{=}$ + 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 ($\text{CO}_3^{=}$ + HCO_3^-) y su complementario ($\text{SO}_4^{=}$ + Cl^-).

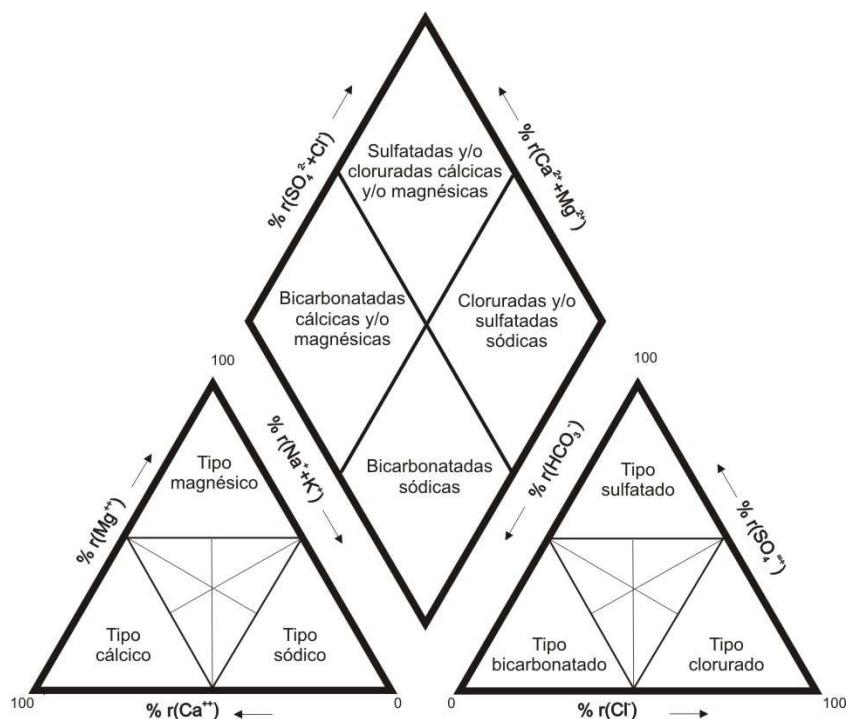


Figura 11-2.- Clasificación de las aguas según el Digrama de Piper.

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.

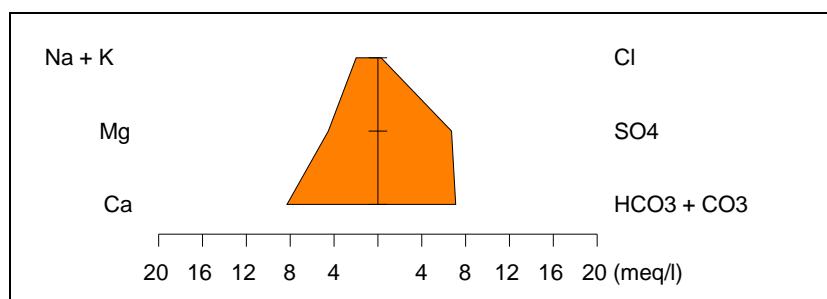


Figura 11-3.- Gráfico de Stiff.

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. La 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	$\frac{\text{rHCO}_3^- + \text{rCO}_3^{2-}}{\text{rCa}^{2+}}$ (1)
Terrenos dolomíticos	$\frac{\text{rHCO}_3^- + \text{rCO}_3^{2-}}{\text{rCa}^{2+} + \text{rMg}^{2+}}$ (2)
Probable oxidación de sulfuros	$\frac{\text{rHCO}_3^- + \text{rCO}_3^{2-} + \text{rSO}_4^{2-}}{\text{rCa}^{2+} + \text{rMg}^{2+}}$ (4)
Intercambio iónico	$\frac{\text{rNa}^+ + \text{rK}^+}{\text{rCa}^{2+} + \text{rMg}^{2+}}$ (6)
	icb: $\frac{\text{rCl}^- - (\text{rNa}^+ + \text{rK}^+)}{\text{rCl}^-}$ (7) $\frac{\text{rCl}^- - (\text{rNa}^+ + \text{rK}^+)}{\text{rNO}_3^- + \text{rHCO}_3^- + \text{rSO}_4^{2-}}$ (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 Fortram 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/)

11.3. RESULTADOS

11.3.1. DETERMINACIONES “IN SITU”

Los parámetros determinados 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 las Tablas 6, 7 y 8. Los valores de temperatura de las muestras están comprendidos entre 9 °C y 24 °C, el dato más bajo corresponde al Pozo Sotón (4^a planta) y el más alto al Pozo Samuño (7^a planta). En términos generales, las aguas procedentes de pozos mineros presentan valores más altos (de 14,9 a 22,9 °C), las que proceden de bocaminas oscilan entre 13,6°C y 22,1°C y las de manantiales son algo más bajas (entre 10,4°C y 19,7°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.

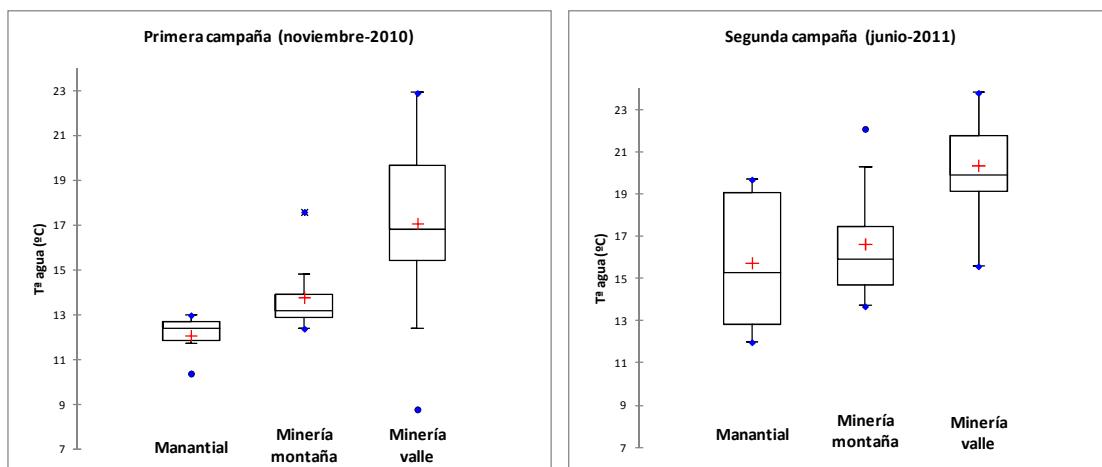


Figura 11-4.- Gráfico boxplot correspondiente a los valores de temperatura medidos “in situ”.

La conductividad presenta valores que oscilan entre 419 y 2.180 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Figura 11-5). Los pozos mineros son los que presentan los valores más altos, excepto 4^a planta del Pozo Sotón (419 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Las aguas procedentes de los manantiales presentan también valores bajos (inferiores a 300 $\mu\text{S}/\text{cm}$) excepto en la fuentes Casielles y Los Jubilaos, cuyos valores superan en ambas campañas el valor de 500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Este parámetro en las aguas procedentes de bocaminas tiene valores que oscilan entre los 555 y 1.614 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

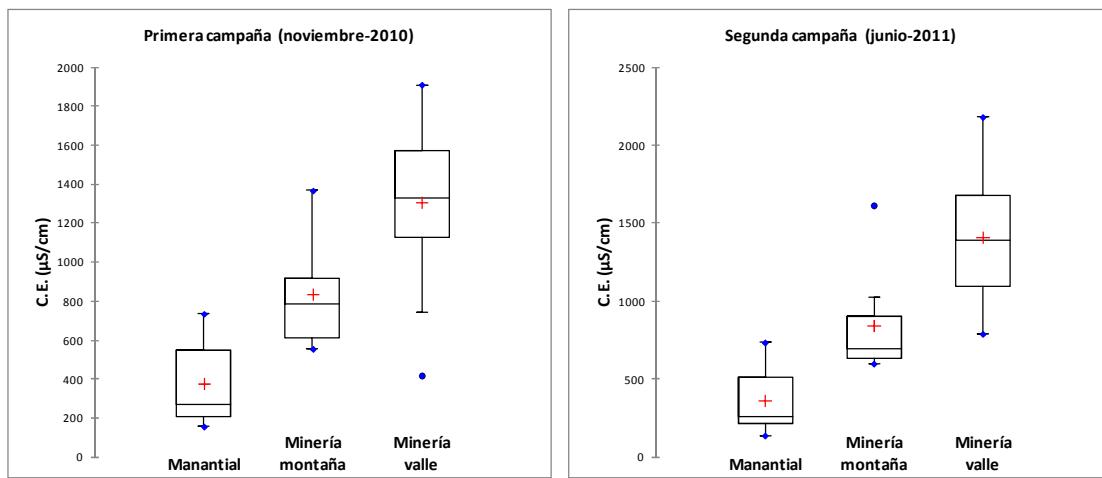


Figura 11-5.- Gráfico boxplot realizado con los valores de conductividad eléctrica del agua medidos “in situ”

Los valores de pH se encuentran en todos los casos en un rango entre 6,6 y

8,5. Las aguas procedentes de bocaminas presentan un rango de pH algo más amplio, entre 6,6 y 8,4, que el resto de las aguas analizadas, las de los pozos mineros presentan valores algo más elevados, con mínimos más altos (varían entre 7,0 y 8,5) y en los manantiales los valores máximos son más bajos, siendo su rango entre 6,7 y 7,8.

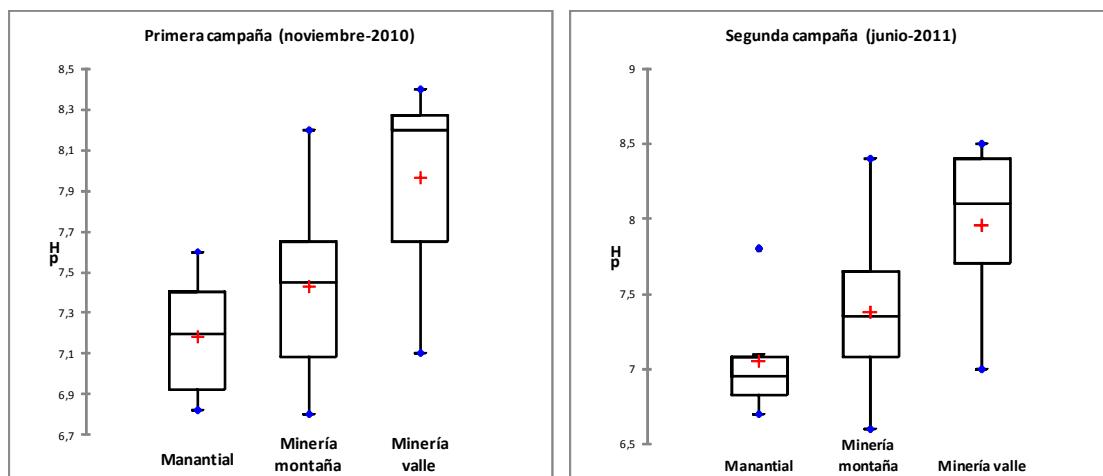


Figura 11-6.- Gráfico boxplot correspondiente a los valores de pH medidos “in situ”.

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

ID IGME	NOMBRE		FECHA	pH	CE	Tºagua
1305-2-0060	Bocamina La Nalona		29/11/2010	7,8	842	13,6
1305-3-0011	Bocamina Samuño		25/11/2010	7,4	1140	14,8
1305-3-0109	Socavón Emilia		25/11/2010	7,6	620	12,4
1305-3-0095	Bocamina Sotón Antiguo		30/11/2010	7,5	782	12,8
1305-3-0116	Bocamina Prau Molín		26/11/2010	8,2	1367	17,6
1305-4-0038	Bocamina Corvero		29/11/2010	6,8	588	13,3
1305-3-0110	Bocamina La Generala		29/11/2010	7,0	795	12,9
1305-3-0091	Bocamina Los Cuarteles		29/11/2010	7,1	555	13
1305-2-0020	Pozo Fondón	5ª planta nueva	26/11/2010	7,2	1490	22,4
1305-3-0022	Pozo Candín I	5ª planta	26/11/2010	8,2	1670	18,5
1305-3-0104	Pozo Candín II	Prof. 250 m	26/11/2010	7,5	1565	14
1305-3-0027	Pozo María Luisa	1ª planta	25/11/2010	7,8	744	16,9
1305-3-0027	Pozo María Luisa	3ª planta	25/11/2010	8,2	1111	15,9
1305-3-0029	Pozo Sotón	4ª planta	29/11/2010	8,2	419	8,8
1305-3-0029	Pozo Sotón	7ª planta	26/11/2010	8,4	1311	12,4
1305-3-0024	Pozo Samuño	5ª planta	25/11/2010	8,1	1685	17,6
1305-3-0024	Pozo Samuño	7ª planta	25/11/2010	7,9	1586	20,8
1305-3-0024	Pozo Samuño	10ª planta	25/11/2010	8,4	1910	22,9
1305-3-0094	Pozo Sorriego	vertido	29/11/2010	7,5	1138	14,9
1305-4-0012	Pozo San Mamés	bombeo	26/11/2010	7,1	1482	16,6

1305-4-0013	Pozo Carrio	1ª planta	26/11/2010	8,3	1159	16,8
1305-4-0013	Pozo Carrio	2ª planta	26/11/2010	8,2	1006	16,7
1305-4-0013	Pozo Carrio	4ª planta	26/11/2010	8,4	1329	21,1
1305-2-0003	Manantial Los Jubilaos		30/11/2010	6,9	735	12,6
1305-7-0061	Manantial Crecimengua		30/11/2010	7,6	188	10,4
1305-3-0044	Manantial El Polledo		29/11/2010	7,4	266	11,7
1305-4-0047	Manantial El Puente		29/11/2010	7,4	157	12,2
1305-3-0020	Manantial Fte. Casielles		29/11/2010	6,8	643	13
1305-3-0048	Manantial Linares		29/11/2010	6,9	275	12,7

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

ID IGME	NOMBRE		FECHA	pH	CE	Tºagua
1305-2-0060	Bocamina La Nalona		09/06/2011	7,2	861	15
1305-3-0011	Bocamina Samuño		08/06/2011	7,4	1028	16
1305-3-0109	Socavón Emilia		08/06/2011	7,8	637	13,8
1305-3-0095	Bocamina Sotón Antiguo		09/06/2011	7,6	747	16,5
1305-3-0116	Bocamina Prau Molín		07/06/2011	8,4	1614	20,3
1305-4-0038	Bocamina Corvero		08/06/2011	6,6	599	22,1
1305-3-0110	Bocamina La Generala		09/06/2011	7,3	633	13,7
1305-3-0091	Bocamina Los Cuarteles		08/06/2011	6,7	629	15,8
1305-2-0020	Pozo Fondón	5ª planta nueva	06/06/2011	7,7	1720	23,6
1305-3-0022	Pozo Candín I	5ª planta	08/06/2011	7,7	1665	22,3
1305-3-0104	Pozo Candín II	Prof. 250 m	08/06/2011	7	1627	19,1
1305-3-0027	Pozo María Luisa	1ª planta	07/06/2011	8,4	1037	19,9
1305-3-0027	Pozo María Luisa	3ª planta	07/06/2011	8,1	1080	18,9
1305-3-0029	Pozo Sotón	4ª planta	07/06/2011	8,5	1395	21,2
1305-3-0029	Pozo Sotón	7ª planta	07/06/2011	8,4	790	19,6
1305-3-0024	Pozo Samuño	5ª planta	08/06/2011	7,9	1816	21
1305-3-0024	Pozo Samuño	7ª planta	08/06/2011	7,8	1683	23,1
1305-3-0024	Pozo Samuño	10ª planta	08/06/2011	8,4	2180	23,8
1305-3-0094	Pozo Sorriego	vertido	09/06/2011	7,2	914	15,6
1305-4-0012	Pozo San Mamés	bombeo	06/06/2011	7,4	1548	18,8
1305-4-0013	Pozo Carrio	1ª planta	06/06/2011	8,4	1337	19,2
1305-4-0013	Pozo Carrio	2ª planta	06/06/2011	8,2	1114	19,1
1305-4-0013	Pozo Carrio	4ª planta	06/06/2011	8,3	1236	20,4
1305-2-0003	Manantial Los Jubilaos		08/06/2011	7	735	12,8
1305-7-0061	Manantial Crecimengua		09/06/2011	7,8	139	12
1305-3-0044	Manantial El Polledo		08/06/2011	6,8	268	17,5
1305-4-0047	Manantial El Puente		08/06/2011	6,7	199	13
1305-3-0020	Manantial Fte. Casielles		08/06/2011	7,1	590	19,7
1305-3-0048	Manantial Linares		08/06/2011	6,9	256	19,6

11.3.2. ANÁLISIS QUÍMICOS

Los resultados de los análisis químicos de las muestras tomadas durante la primera campaña (noviembre de 2010) y segunda (junio 2011) figuran en las tablas 11-6, 11-7, 11-9 y 11-10. Como ya se mencionó anteriormente, todos los análisis han sido realizados en el Laboratorio SGS Tecnos, S.A. (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 Tablas 11-8 y 11-11 parámetros minoritarios y traza no se han incluido en estas tablas, ya que serán comentados posteriormente.

El ión cloruro está presente en todas las muestras con concentraciones que oscilan entre 5 y 99 mg/L; cabe destacar que los valores más elevados han sido analizados en las aguas procedentes de los pozos mineros. Los valores de sodio son mayores en aguas procedentes de minería de valle, si bien las aguas muestreadas en la bocamina Prau Molín también presentan valores muy elevados de este parámetro. El potasio aparece con concentraciones inferiores a 15 mg/L en todas las muestras.

Respecto al contenido en bicarbonatos, si bien se detectan ligeras variaciones, no se consideran significativas ya que este anión es poco estable y su concentración viene condicionada por el valor de pH (Figura 11-7). En general, la concentración es mayor en las aguas que proceden de las labores mineras de minería de valle, aunque también se encuentran valores elevados en aguas procedentes de alguna labor de minería de montaña (Figura 11-8).

En la Figura 11-9 se han representado los gráficos box plot relativos a los cationes calcio y magnesio en ambas campañas. En términos generales, las concentraciones más elevadas del catión magnesio se han obtenido en aguas

procedentes de labores mineras de minería de valle, seguido de labores de minería de montaña, si bien los rangos son similares (entre 94 y 12 mg/L). Los valores de las concentraciones de calcio son más elevados en aguas procedentes de labores mineras tanto de minería de montaña como de valle (entre 170 y 30 mg/L), y las variaciones de este catión entre ambas campañas son mínimas.

La concentración de sulfatos es superior, en general, en las aguas procedentes de las labores mineras, siendo proporcionalmente mayor en las que provienen de minería de valle. La máxima concentración, con un valor de 370 mg/L, se ha medido en el Pozo María Luisa, si bien en otras labores mineras se han obtenido valores similares. Las aguas procedentes de los manantiales presentan un valor de concentración en sulfatos inferior a 70 mg/L en todos los casos (Figura 11-10).

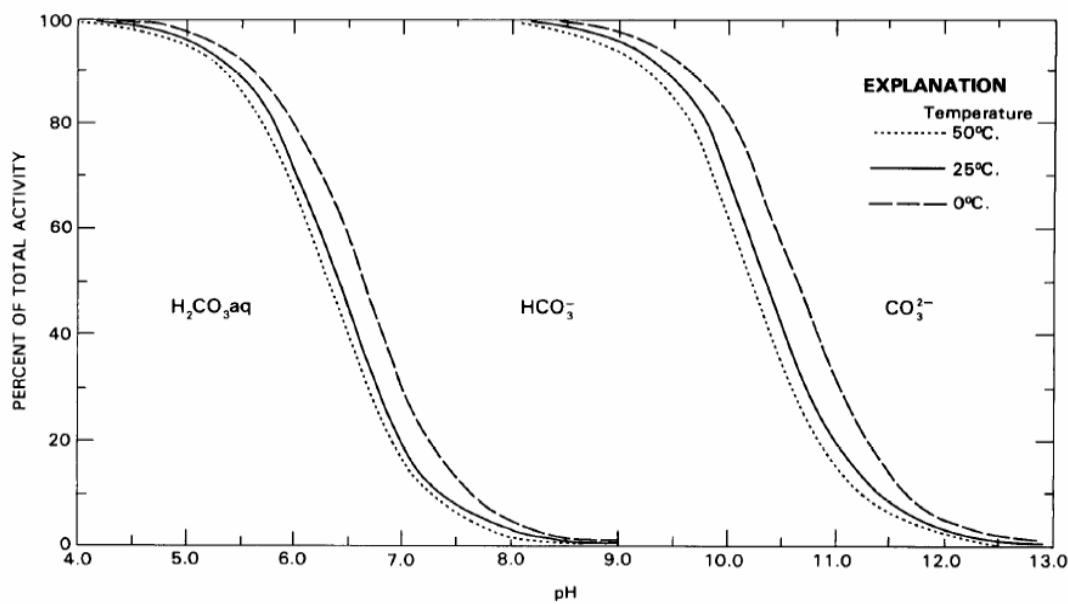


Figura 11-7.- Actividades, en porcentaje, de las especies de dióxido de carbono disueltas (1 atmósfera de presión y varias temperaturas) en función del pH (Hem, 1985).

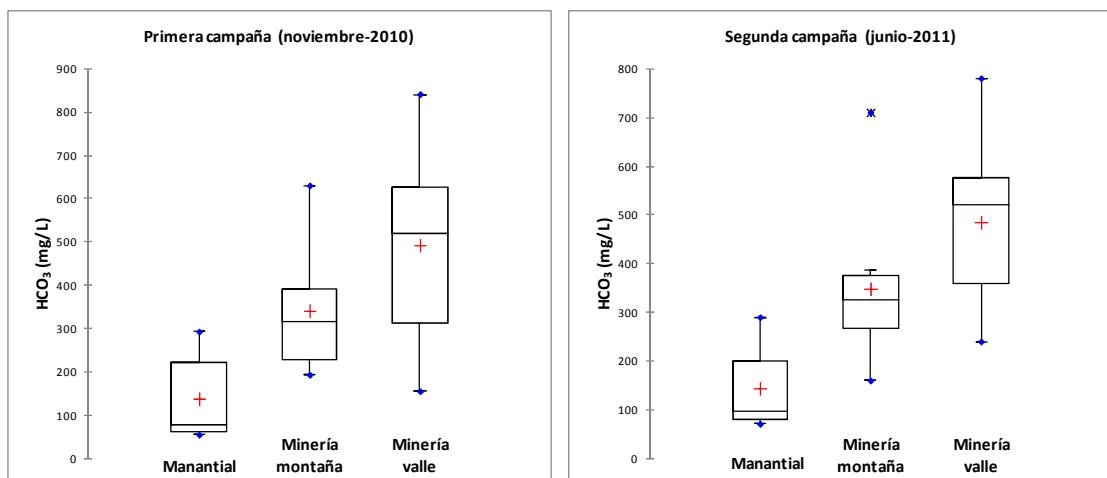


Figura 11-8.- Gráficos box plot de la concentración de bicarbonatos (mg/L).

Tabla 11-6.- Resultados de los análisis químicos de la primera campaña (noviembre/2010).

Id IGME	Muestra	Fecha muestreo	mg/L													
			DQO	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ²⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄	P ₂ O ₅	SiO ₂	Na	Mg	Ca	K
1305-2-0060	Bocamina La Nalona	29/11/2010	<30	15	116	370	0,00	0,6	<0,01	0,18	0,00	9	10,2	40,5	117	6,0
1305-3-0011	Bocamina Samuño	25/11/2010	<30	8	198	450	0,00	<0,1	<0,01	0,12	0,00	10	40,5	49,9	148	7,1
1305-3-0109	Socavón Emilia	25/11/2010	<30	8	101	235	0,00	0,8	<0,01	<0,05	0,00	8	16,2	24,3	86,2	3,2
1305-3-0095	Bocamina Sallosas	30/11/2010	<30	9	108	325	0,00	0,5	<0,01	0,11	0,00	9	18,5	30,0	112	3,4
1305-3-0116	Bocamina Prau Molín	26/11/2010	<30	13	123	630	0,00	0,4	<0,01	0,18	0,00	4	221	30,8	60,6	5,9
1305-4-0038	Bocamina El Corvero	29/11/2010	<30	8	128	193	0,00	0,8	<0,01	0,11	0,00	5	8,2	20,9	80,2	1,5
1305-3-0110	Bocamina La Generala	29/11/2010	<30	8	113	310	0,00	0,2	<0,01	<0,05	0,00	8	7,6	28,0	123	1,8
1305-3-0091	Bocamina Los Cuarteles	29/11/2010	<30	9	44	215	0,00	0,5	<0,01	0,06	0,00	5	17,1	14,9	74,4	4,6
1305-2-0020	Pozo Fondón	26/11/2010	<30	48	65	705	0,00	0,2	<0,01	0,12	0,00	6	167	47,8	110	12,6
1305-3-0022	Pozo Candín I-5 ^a	26/11/2010	<30	20	213	555	0,00	0,5	<0,01	0,07	0,00	5	213	66,3	78,9	14,6
1305-3-0104	Pozo Candín II-250	26/11/2010	<30	32	324	590	0,00	0,3	<0,01	0,09	0,00	11	65,7	92,2	171	13,1
1305-3-0027	Pozo María Luisa-1 ^a	25/11/2010	<30	10	372	235	0,00	0,7	<0,01	<0,05	0,00	9	34,9	47,8	140	3,6
1305-3-0027	Pozo María Luisa-3 ^a	25/11/2010	<30	15	90	305	0,00	0,4	<0,01	0,12	0,00	8	43,7	23,2	85,1	4,6
1305-3-0029	Pozo Sorriego Vertido	29/11/2010	<30	16	134	490	0,00	0,1	<0,01	0,33	0,00	9	42,4	42,0	148	12,8
1305-3-0029	Pozo Sotón-4 ^a	29/11/2010	<30	6	51	155	0,00	0,4	<0,01	<0,05	0,00	4	19,6	11,9	53,3	2,2
1305-3-0024	Pozo Sotón-7 ^a	26/11/2010	<30	34	139	520	0,00	0,4	<0,01	0,06	0,00	6	211	30,1	42,1	6,5
1305-3-0024	Pozo Samuño-5 ^a	25/11/2010	<30	9	287	665	0,00	0,5	0,11	0,29	0,00	11	162	61,9	120	9,8
1305-3-0024	Pozo Samuño-7 ^a	25/11/2010	<30	13	175	728	0,00	0,4	0,05	0,37	0,00	6	196	47,5	109	8,7
1305-3-0094	Pozo Samuño-10 ^a	25/11/2010	<30	29	192	841	0,00	0,4	0,03	0,13	0,00	4	4,4	33,8	38,9	8,1
1305-4-0012	Pozo San Mamés-bombeo	26/11/2010	<30	12	332	390	0,00	0,1	0,01	0,09	0,00	9	73,5	57,7	163	6,4
1305-4-0013	Pozo Carrió-1 ^a	26/11/2010	<30	8	322	295	0,00	0,3	<0,01	0,08	0,00	6	88,7	43,3	120	4,1
1305-4-0013	Pozo Carrió-2 ^a	26/11/2010	<30	8	187	324	0,00	0,2	<0,01	0,08	0,00	8	49,1	40,7	118	4,6
1305-4-0013	Pozo Carrió-4 ^a	02/12/2010	<30	11	199	585	0,00	0,3	<0,01	<0,05	0,00	4	282	28,9	38,3	6,1
1305-2-0003	Manantial Fuente Los Jubilaos	30/11/2010	<30	26	65	265	0,00	1,4	<0,01	<0,05	0,00	7	33,1	7,3	107	1,1
1305-7-0061	Manantial El Polledo	02/12/2010	<30	8	26	88	0,00	0,4	<0,01	<0,05	0,00	5	4,8	7,5	31,3	0,9
1305-3-0044	Manantial Crecimengua	30/11/2010	<30	7	<15	67	0,00	0,6	<0,01	<0,05	0,00	5	6,9	3,7	26,4	0,9
1305-4-0047	Manantial Fuente el Puente	29/11/2010	<30	8	5	55	0,00	1,1	<0,01	<0,05	0,00	5	5,1	2,5	22,5	2,0
1305-3-0020	Manantial Fuente Casielles	29/11/2010	<30	23	49	293	0,00	4,5	<0,01	<0,05	0,00	7	13,6	9,0	101	4,9
1305-3-0048	Manantial Linares	29/11/2010	<30	12	24	60	0,00	5,1	<0,01	<0,05	0,00	6	5,1	8,2	7,9	27,9

Tabla 11-7.- Resultados de los análisis químicos de la primera campaña (noviembre/2010).

Id IGME	Muestra	Fecha muestreo	mg/L			$\mu\text{S}/\text{cm}$									
			SS	TSD	F	S	Al	Fe	Mn	Cr	Cd	Pb	As	Se	Hg
1305-2-0060	Bocamina La Naloná	29/11/2010	<5	532	0,2	<0,1	<5	300	200	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0011	Bocamina Samuño	25/11/2010	6	754	0,2	<0,1	<5	35	230	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0109	Socavón Emilia	25/11/2010	22	408	0,2	<0,1	120	65	6	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0095	Bocamina Sallosas	30/11/2010	<5	485	0,2	<0,1	7	1	<5	<1	<0,2	<1	2,00	<1	<0,1
1305-3-0116	Bocamina Prau Molín	26/11/2010	5	816	0,5	<0,1	5	<10	<5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-4-0038	Bocamina El Corvero	29/11/2010	11	410	0,1	<0,1	<5	<10	<5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0110	Bocamina La Generala	29/11/2010	<5	512	0,1	<0,1	<5	<10	<5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0091	Bocamina Los Cuarteles	29/11/2010	<5	297	0,4	<0,1	7	15	29	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-2-0020	Pozo Fondón	26/11/2010	<5	790	0,30	<0,1	<5	45	38	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0022	Pozo Candín I-5 ^a	26/11/2010	<5	994	0,40	<0,1	42	<10	5,000	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1
1305-3-0104	Pozo Candín II-250	26/11/2010	<5	1080	0,2	<0,1	<5	21	84	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0027	Pozo María Luisa-1 ^a	25/11/2010	<5	938	0,2	<0,1	<5	<10	<5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0027	Pozo María Luisa-3 ^a	25/11/2010	8	452	0,2	<0,1	<5	<10	<5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1
1305-3-0029	Pozo Sorriego Vertido	29/11/2010	<5	256	0,2	<0,1	44	<10	<5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0029	Pozo Sotón-4 ^a	29/11/2010	41	702	0,5	<0,1	180	50	<5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1
1305-3-0024	Pozo Sotón-7 ^a	26/11/2010	10	1070	0,3	<0,1	<5	63	19	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0024	Pozo Samuño-5 ^a	25/11/2010	<5	887	0,4	<0,1	<5	16	75	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1
1305-3-0024	Pozo Samuño-7 ^a	25/11/2010	<5	1110	0,7	<0,1	14	79	<5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1
1305-3-0094	Pozo Samuño-10 ^a	25/11/2010	<5	634	0,2	<0,1	<5	40	330	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-4-0012	Pozo San Mamés-bombeo	26/11/2010	6	978	0,2	<0,1	<5	57	140	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-4-0013	Pozo Carrió-1 ^a	26/11/2010	<5	810	0,2	<0,1	<5	<10	<5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-4-0013	Pozo Carrió-2 ^a	26/11/2010	612	612	0,2	<0,1	<5	12	<5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1
1305-4-0013	Pozo Carrió-4 ^a	02/12/2010	880	880	0,5	<0,1	100	47	<5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1
1305-2-0003	Manantial Fuente Los Jubilaos	30/11/2010	<5	349	0,1	<0,1	<5	<10	<5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-7-0061	Manantial El Polledo	02/12/2010	<5	101	<0,1	<0,1	130	56	<5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0044	Manantial Crecimengua	30/11/2010	<5	144	0,10	<0,1	<5	<10	<5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1
1305-4-0047	Manantial Fuente el Puente	29/11/2010	<5	105	<0,1	<0,1	220	100	<5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1
1305-3-0020	Manantial Fuente Casielles	29/11/2010	<5	367	<0,1	<0,1	15	<10	<5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1
1305-3-0048	Manantial Linares	29/11/2010	<5	160	<0,1	<0,1	32	13	<5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1

Tabla 11-8.- Valores máximos y mínimos de la primera campaña (noviembre/2010).

		mg/l										μS/cm					
		Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	SiO ₂	Na	Mg	Ca	K	F	NH ₄	Fe	Mn	As	Al	Se
BOCAMINA	MAX	15	198	630	0,8	10	221	49,9	148	7,1	0,5	0	970	1100	2	120	0
	MIN	8	44	193	0	4	7,6	14,9	60,6	1,5	0,1	0	<10	<5	2	5	0
POZO	MAX	48	372	841	0,7	11	282	92,2	171	14,6	0,7	0	79	330	0	180	0
	MIN	6	51	155	0	4	4,4	11,9	38,3	2,2	0,2	0	<10	<5	0	14	0
MANANTIAL	MAX	26	65	293	5,1	7	33,1	9	107	4,9	0,1	0	100	<5	0	220	0
	MIN	7	5	55	0,4	5	4,8	2,5	22,5	0,9	<0,1	0	<10	<5	0	15	0

Tabla 11-9.- Resultados de los análisis químicos de la segunda campaña (junio/2011).

Id IGME	Muestra	Fecha muestreo	mg/L														
			DQO	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	NO ₃ ²⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄	P ₂ O ₅	SiO ₂	Na	Mg	Ca	K	
1305-2-0060	Bocamina La Nalma	29/11/2010	0,00	17	110	374	<1	0,2	<0,01	0,22	10	45	116	6,8	17	110	
1305-3-0011	Bocamina Samuño	25/11/2010	0,00	5	158	386	<1	<0,1	<0,01	0,94	34	43	123	6,3	5	158	
1305-3-0109	Socavón Emilia	25/11/2010	0,00	6	86	224	<1	1,2	<0,01	<0,05	15	22	75	3,2	6	86	
1305-3-0095	Bocamina Sallosas	30/11/2010	0,00	7	76	334	<1	<0,1	<0,01	0,61	18	28	104	3,4	7	76	
1305-3-0116	Bocamina Prau Molín	26/11/2010	0,00	13	77	710	<1	0,4	<0,01	0,15	274	28	40	6,5	13	77	
1305-4-0038	Bocamina El Corvero	29/11/2010	0,00	6	168	160	<1	1,1	<0,01	<0,05	7	23	93	1,8	6	168	
1305-3-0110	Bocamina La Generala	29/11/2010	0,00	8	64	282	<1	<0,1	<0,01	<0,05	7	21	101	1,8	8	64	
1305-3-0091	Bocamina Los Cuarteles	29/11/2010	0,00	8	36	316	<1	0,2	0,02	0,58	29	18	98	6,3	8	36	
1305-2-0020	Pozo Fondón	26/11/2010	0,00	44	109	658	<1	0,1	<0,01	0,52	160	48	105	12,4	44	109	
1305-3-0022	Pozo Candín I-5 ^a	26/11/2010	0,00	99	190	532	<1	0,5	<0,01	0,10	221	60	52	13,9	99	190	
1305-3-0104	Pozo Candín II-250	26/11/2010	0,00	19	345	572	<1	0,4	0,02	0,35	71	94	166	13,5	19	345	
1305-3-0027	Pozo María Luisa-1 ^a	25/11/2010	0,00	9	248	240	<1	0,5	<0,01	<0,05	37	40	117	3,3	9	248	
1305-3-0027	Pozo María Luisa-3 ^a	25/11/2010	0,00	12	145	394	<1	0,3	<0,01	0,08	86	38	75	6,2	12	145	
1305-3-0029	Pozo Sorriego Vertido	29/11/2010	0,00	34	122	522	<1	0,5	<0,01	<0,05	211	34	32	7,3	34	122	
1305-3-0029	Pozo Sotón-4 ^a	29/11/2010	0,00	12	91	302	<1	0,3	<0,01	0,08	54	23	74	6,0	12	91	
1305-3-0024	Pozo Sotón-7 ^a	26/11/2010	0,00	27	200	780	<1	0,9	0,03	0,27	392	35	29	8,4	27	200	
1305-3-0024	Pozo Samuño-5 ^a	25/11/2010	0,00	7	244	582	<1	0,4	0,05	1,52	168	59	105	10,5	7	244	
1305-3-0024	Pozo Samuño-7 ^a	25/11/2010	0,00	8	163	620	<1	0,4	0,02	1,07	206	42	86	8,7	8	163	
1305-3-0094	Pozo Samuño-10 ^a	25/11/2010	0,00	13	144	378	<1	0,2	<0,01	0,67	27	31	129	10,5	13	144	
1305-4-0012	Pozo San Mamés-bombeo	26/11/2010	0,00	8	215	530	<1	0,2	<0,01	0,14	124	48	118	7,6	8	215	
1305-4-0013	Pozo Carrió-1 ^a	26/11/2010	0,00	5	321	326	<1	0,2	<0,01	<0,05	117	44	101	4,5	5	321	
1305-4-0013	Pozo Carrió-2 ^a	26/11/2010	0,00	6	192	340	<1	0,2	<0,01	<0,05	66	38	107	4,8	6	192	
1305-4-0013	Pozo Carrio-4 ^a	02/12/2010	0,00	7	171	492	<1	0,3	<0,01	<0,05	235	27	30	5,6	7	171	
1305-2-0003	Manantial Fuente Los Jubilos	30/11/2010	0,00	25	71	290	<1	1,1	<0,01	<0,05	40	7	117	1,2	25	71	
1305-7-0061	Manantial El Polledo	02/12/2010	0,00	5	<15	78	<1	0,7	<0,01	<0,05	6	4	29	1,0	5	<15	
1305-3-0044	Manantial Crecimengua	30/11/2010	0,00	7	24	106	<1	0,5	<0,01	<0,05	5	9	38	1,4	7	24	
1305-4-0047	Manantial Fuente el Puente	29/11/2010	0,00	5	<15	86	<1	1,0	<0,01	<0,05	4	3	34	1,6	5	<15	
1305-3-0020	Manantial Fuente Casielles	29/11/2010	0,00	16	44	232	<1	4,0	<0,01	<0,05	13	9	102	4,9	16	44	
1305-3-0048	Manantial Linares	29/11/2010	0,00	11	44	71	<1	4,2	<0,01	<0,05	7	8	31	3,7	11	44	

Tabla 11-10.- Resultados de los análisis químicos de la segunda campaña (junio/2011).

Id IGME	Muestra	Fecha muestreo	mg/L			μS/cm								
			SS	TSD	F	Al	Fe	Mn	Cr	Cd	Pb	As	Se	Hg
1305-2-0060	Bocamina La Nalona	29/11/2010	6	529	0.2	<0,005	350	130	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0011	Bocamina Samuño	25/11/2010	<5	584	0.2	<0,005	140	190	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0109	Socavón Emilia	25/11/2010	<5	373	0.2	<0,005	10	>5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0095	Bocamina Sallosas	30/11/2010	<5	452	0.1	<0,005	160	75	<1	<0,2	<1	1	<1	<0,1
1305-3-0116	Bocamina Prau Molín	26/11/2010	<5	906	0.5	<0,005	<10	>5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-4-0038	Bocamina El Corvero	29/11/2010	<5	430	0.1	0,01	<10	47	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0110	Bocamina La Generala	29/11/2010	<5	387	0.1	<0,005	<10	>5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0091	Bocamina Los Cuarteles	29/11/2010	<5	349	0.2	<0,005	<10	78	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-2-0020	Pozo Fondón	26/11/2010	<5	368	0.4	<0,005	80	58	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0022	Pozo Candín I-5 ^a	26/11/2010	<5	932	0.5	0,04	20	>5	<1	<0,2	<1	1	<1	<1
1305-3-0104	Pozo Candín II-250	26/11/2010	<5	1159	0.2	<0,005	30	65	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0027	Pozo María Luisa-1 ^a	25/11/2010	<5	664	0.2	<0,005	10	>5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0027	Pozo María Luisa-3 ^a	25/11/2010	<5	566	0.3	<0,005	30	60	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1
1305-3-0029	Pozo Sorriego Vertido	29/11/2010	<5	583	0.3	<0,005	30	>5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0029	Pozo Sotón-4 ^a	29/11/2010	5	672	0.5	0,03	120	>5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1
1305-3-0024	Pozo Sotón-7 ^a	26/11/2010	24	452	0.3	0,01	80	>5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0024	Pozo Samuño-5 ^a	25/11/2010	6	951	0.4	<0,005	320	14	<1	<0,2	<1	1	<1	<1
1305-3-0024	Pozo Samuño-7 ^a	25/11/2010	<5	943	0.4	0,01	30	30	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1
1305-3-0094	Pozo Samuño-10 ^a	25/11/2010	<5	731	0.7	<0,005	480	220	<1	<0,2	<1	1	<1	<0,1
1305-4-0012	Pozo San Mamés-bombeo	26/11/2010	<5	873	0.3	<0,005	70	21	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-4-0013	Pozo Carrío-1 ^a	26/11/2010	<5	823	0.3	<0,005	<10	>5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-4-0013	Pozo Carrío-2 ^a	26/11/2010	<5	589	0.2	<0,005	40	>5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1
1305-4-0013	Pozo Carrío-4 ^a	02/12/2010	<5	596	0.4	0,01	20	>5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1
1305-2-0003	Manantial Fuente Los Jubilos	30/11/2010	<5	441	0,1	<0,005	<10	>5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-7-0061	Manantial El Polledo	02/12/2010	<5	159	<0,1	0,02	50	>5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<0,1
1305-3-0044	Manantial Crecimengua	30/11/2010	<5	104	<0,1	0,08	10	>5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1
1305-4-0047	Manantial Fuente el Puente	29/11/2010	<5	114	<0,1	0,19	120	>5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1
1305-3-0020	Manantial Fuente Casielles	29/11/2010	<5	344	<0,1	<0,005	<10	>5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1
1305-3-0048	Manantial Linares	29/11/2010	<5	146	<0,1	0,02	<10	>5	<1	<0,2	<1	<1	<1	<1

Tabla 11-11.- Valores máximos y mínimos de la segunda campaña (junio/2011).

		mg/l										$\mu\text{S}/\text{cm}$					
		Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	SiO ₂	Na	Mg	Ca	K	F	NH ₄	Fe	Mn	As	Al	Se
BOCAMINA	MAX	15	198	630	0.8	7.7	274.0	44.5	123.0	6.8	0.5	0.9	350	190	1	100	0
	MIN	8	44	193	0	0.0	7.2	17.5	40.4	1.8	0.1	0.0	<10	<5	<1	<5	0
POZO	MAX	48	372	841	0.7	8.5	392.0	94.3	166.0	13.9	0.7	1.5	480	22	<1	40	0
	MIN	6	51	155	0	1.8	27.1	22.7	29.4	3.3	0.2	0.0	<10	<5	<1	<5	0
MANANTIAL	MAX	26	65	293	5.1	5.0	40.0	9.0	117.0	4.9	0.1	0.0	120	<5	<1	190	0
	MIN	7	5	55	0.4	3.2	4.2	3.1	29.2	1.0	<0.1	0.0	<10	<5	<1	<5	0

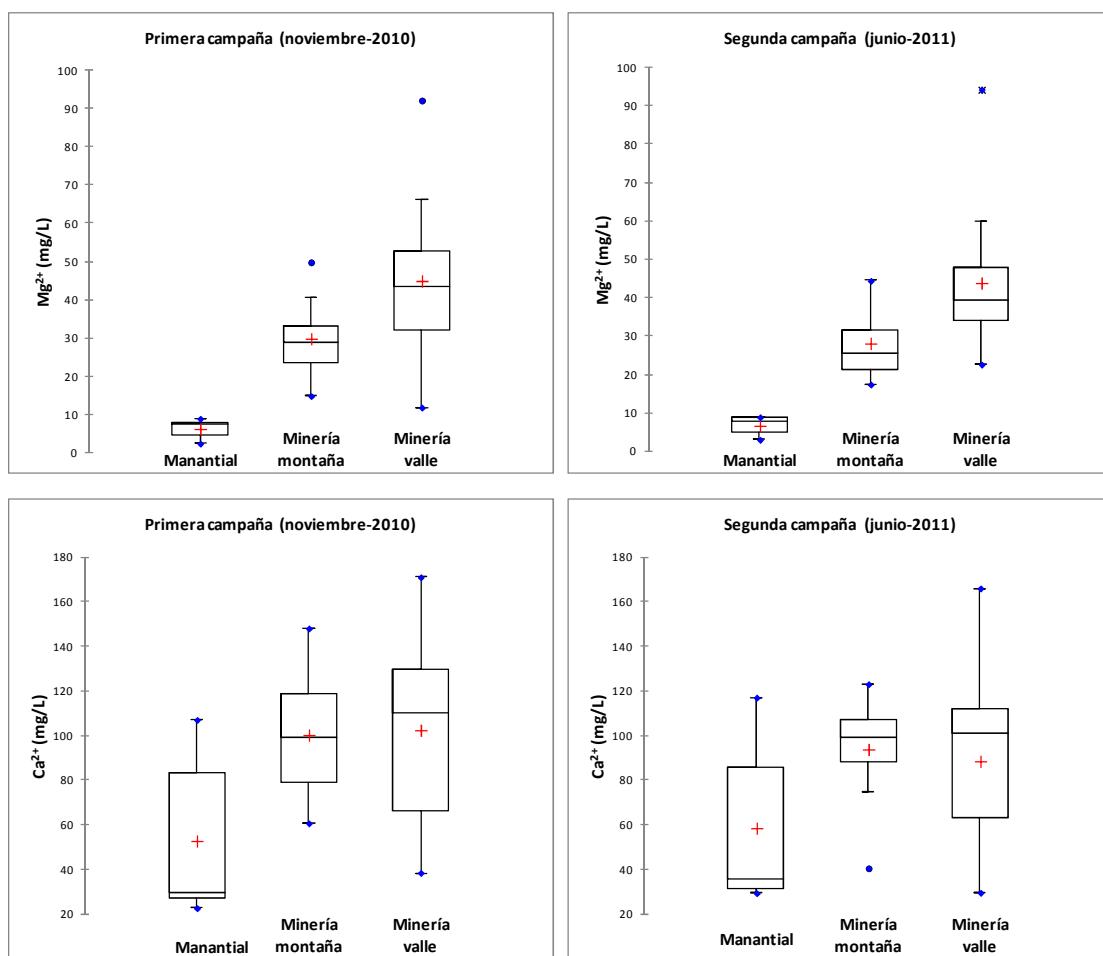


Figura 11-7.- Gráficos box plot de la concentración de magnesio y calcio (meq/L)

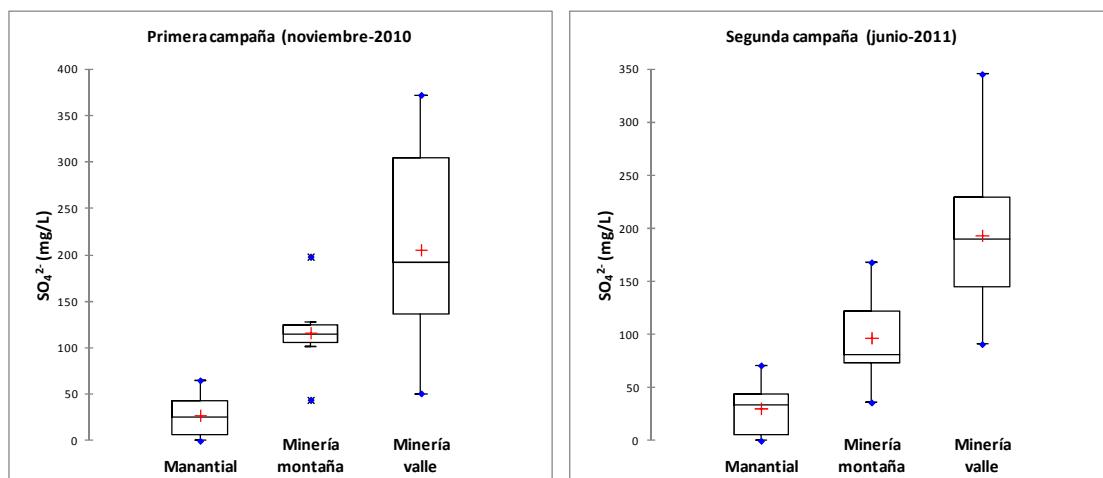


Figura 11-8.- Gráficos box plot de la concentración de sulfatos (mg/L).

El contenido en hierro en las tres categorías establecidas se muestra

gráficamente en la Figura 11-11. El contenido en este parámetro es similar en los tres tipos de agua analizados en la primera campaña, destacando un valor extremo (970 $\mu\text{g/L}$) en la muestra de la Bocamina Sallosas. En la segunda campaña la concentración de hierro es algo mayor, en general en aguas procedentes de minería de montaña; sin embargo, los máximos se corresponden con muestras de minería de valle (480 y 320 $\mu\text{g/L}$ en el Pozo Samuño).

El contenido en manganeso en las muestras tomadas de surgencias naturales es nulo, mientras que en las que proceden de labores mineras se han detectado valores elevados en algunas de los puntos, entre los que destaca la bocamina El Corvero, en la que se detectaron 1.100 $\mu\text{g/L}$ en la primera campaña.

Entre los elementos traza y minoritarios analizados, no presentan valores superiores a los límites de detección en ninguna muestra los siguientes: cinc, mercurio, plomo, selenio y cromo, y el cobre únicamente lo supera en algunas muestras, en la segunda campaña, con concentraciones inferiores a 2 $\mu\text{g/L}$.

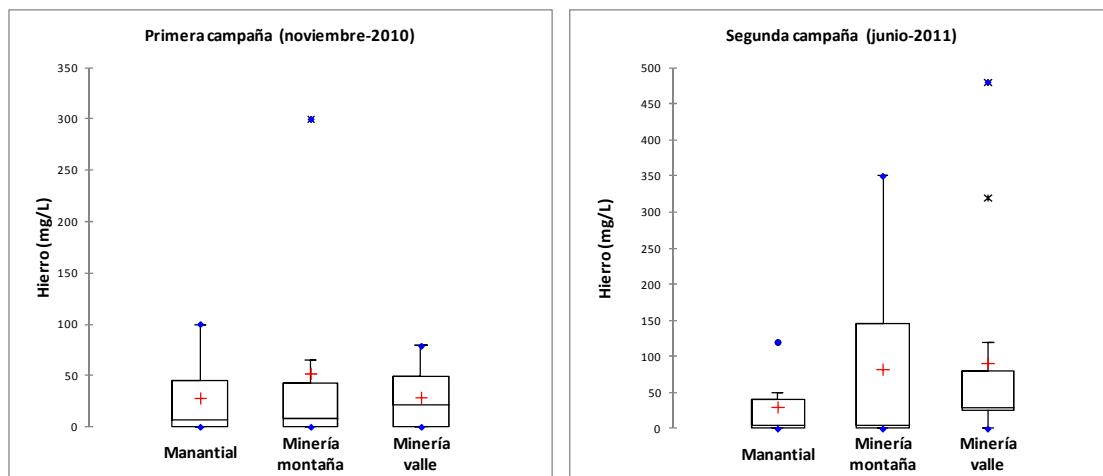


Figura 11-9.- Gráficos box plot de la concentración de hierro ($\mu\text{g/L}$).

El aluminio está presente en ambas campañas, y se destaca que los valores son sensiblemente más altos en las muestras procedentes de manantiales, alcanzando

valores de más de 200 µg/L en alguna ocasión. El arsénico aparece esporádicamente en alguna muestra con valores que en ningún caso superan los 3 µg/L.

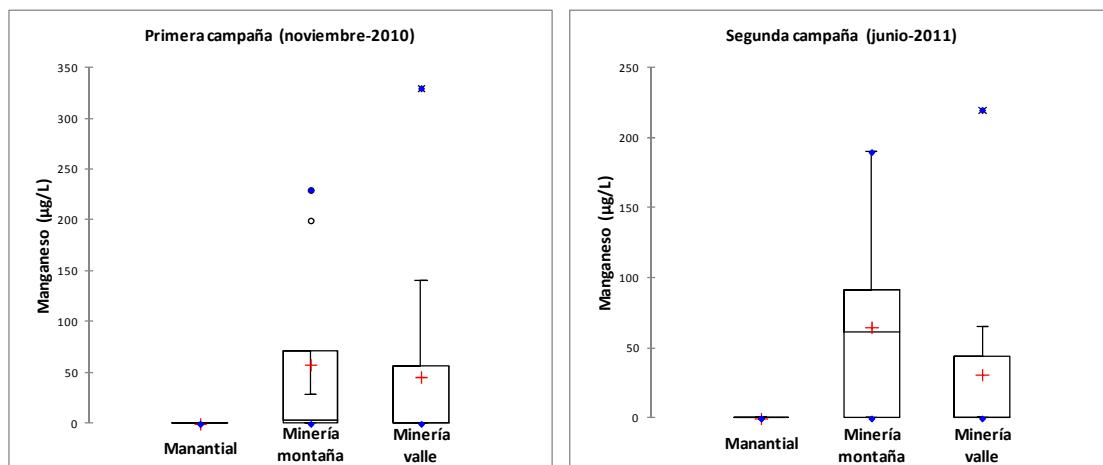


Figura 11-10.- Gráficos box plot de la concentración de manganeso ($\mu\text{g/L}$).

11.3.3. 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.

El agua procedente de los pozos mineros incluidos en la red de calidad presenta, en ambas campañas, mineralización notable, con una excepción en cada campaña: en la primera campaña la muestra tomada en el vertido del Pozo Sorriegu presenta mineralización ligera, y en la segunda campaña la muestra tomada en el Pozo Samuño, 7^a planta, la mineralización es fuerte. La dureza es variable, predominando

las aguas duras, seguido de dureza media y únicamente las aguas del Pozo Candín II (2^a planta) son aguas muy duras. Todas las muestras son estables en ambas campañas respecto a este parámetro, excepto el vertido del Pozo Sorriego, en el que en la primera campaña el agua es dura y en la segunda campaña se califica como agua de dureza media, y el Pozo Samuño (10^a planta) cuyo comportamiento es contrario al mencionado.

En la primera campaña, la facies aniónica es bicarbonatada sulfatada o sulfatada bicarbonatada, a excepción de las muestras recogidas en los pozos Fondón, Sorriego y Samuño, 7^a y 10^a planta, que son aguas bicarbonatadas, y el Pozo María Luisa, que se trata de aguas sulfatadas. En la segunda campaña todas las aguas presentan facies bicarbonatada sulfatada o sulfatada bicarbonatada, excepto en los pozos Fondón, Sotón, 4^a planta y Samuño, 7^a y 10^a planta, que son, igual que en el caso anterior, aguas bicarbonatadas.

La facies catiónica es variable en ambas campañas, si bien en la primera campaña en un 46% de las muestras analizadas está presente el sodio, ya sea en la facies predominante o en la secundaria, mientras que en la segunda campaña esta proporción aumenta hasta el 73 %.

Todas las muestras procedentes de bocaminas presentan una mineralización notable en ambas campañas; el valor de dureza es variable, en un rango entre 200 y 600 ppm CaCO₃. En la mayor parte de las muestras se aprecia una disminución en la dureza en la segunda campaña, si bien este parámetro aumenta en las bocaminas La Nalona, El Corvero y Los Cuarteles. La facies aniónica es bicarbonatada sulfatada o sulfatada bicarbonatada en la mayor parte, excepto en las aguas procedentes de las bocaminas Sallosas, Prau Molín, La Generala y Los Cuarteles, en las que predomina el bicarbonato en ambas campañas o en una de ellas.

La facies catiónica, aunque variable, es mayoritariamente cálcico magnésica o

cálcica, a excepción de las aguas muestreadas en la Bocamina Prau Molín, que es sódica.

Todos los manantiales muestreados presentan mineralización ligera o muy débil, excepto el manantial de los Jubilaos y la Fuente Casielles, en los que se clasifican como aguas de mineralización notable. Se trata de aguas blandas o con dureza media con un rango bastante amplio (90-300 ppm CO₃Ca), coincidiendo las aguas de mayor dureza, con las de mayor mineralización. La facies aniónica es bicarbonatada en todos los casos, excepto en el manantial Linares, que es bicarbonatada sulfatada, y la facies secundaria es cálcica en todas las muestras, a excepción de los manantiales Polledo y Linares, en los 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, si bien cabe destacar que en la muestra correspondiente al Pozo Samuño, 10^a planta, se superan ligeramente los 2000 ppm. La concentración del anión HCO₃⁻ es mayor de 100 mg/L en las labores mineras, tanto de valle como de montaña, por lo que la alcalinidad se puede calificar como muy alta respecto al bicarbonato. Las aguas procedentes de las surgencias naturales presentan valores inferiores o cercanos a 100 mg/L, excepto en las muestras tomadas en los manantiales Fuente de los Jubilaos y Linars.

Representaciones gráficas

La representación de los análisis en el diagrama de Piper (Figura 11-3) muestra, en ambas campañas, una zona del diagrama de aguas con mayor concentración de sodio. Se puede apreciar que en la segunda campaña el número de muestras en este sector es mayor. Estas muestras corresponden a aguas procedentes de labores mineras de minería de interior y al agua muestreada en la Bocamina Prau Molín. Las aguas que proceden de bocaminas se sitúan en el diagrama en el área de

aguas bicarbonatadas-sulfatadas cárbo-c magnésicas y no se aprecian variaciones notables entre ambas. Destaca en ambas campañas, como ya se había comentado anteriormente, la situación de la Bocamina Prau Molín, en la zona inferior del sector de aguas bicarbonatadas sódicas. La situación de los manantiales apenas varía entre ambas campañas, permaneciendo en el sector de aguas bicarbonatadas cárbo-cicas. Los diagramas de Sitff elaborados para cada punto se han incluido en el mapa hidroquímico (mapa II.6) elaborado con los datos de ambas campañas.

Tabla 11-12.- Caracterización hidroquímica. Primera campaña.

Muestra	Fecha de muestreo	Facies Aniónica	Facies Catiónica	Mineralización	Dureza
Bocamina La Nalona	29/11/2010	Bicarbonatada Sulfatada	Cálcico magnésica	Notable	Dura
Bocamina Samuño	25/11/2010	Bicarbonatada Sulfatada	Cálcico magnésica	Notable	Dura
Socavón Emilia	25/11/2010	Bicarbonatada Sulfatada	Cálcico magnésica	Notable	Media
Bocamina Sallosas	30/11/2010	Bicarbonatada Sulfatada	Cálcico magnésica	Notable	Dura
Bocamina Prau Molín	26/11/2010	Bicarbonatada	Sódico	Notable	Media
Bocamina El Corvero	29/11/2010	Bicarbonatada Sulfatada	Cálcico magnésica	Notable	Media
Bocamina La Generala	29/11/2010	Bicarbonatada Sulfatada	Cálcico magnésica	Notable	Dura
Bocamina Los Cuarteles	29/11/2010	Bicarbonatada	Cálcica	Notable	Media
Pozo Fondón	26/11/2010	Bicarbonatada	Sódico-cálcica	Notable	Dura
Pozo Candín I-5 ^a	26/11/2010	Bicarbonatada Sulfatada	Sódico-magnésica	Notable	Dura
Pozo Candín II-250	26/11/2010	Bicarbonatada Sulfatada	Cálcico-magnésica	Notable	Muy dura
Pozo María Luisa-1 ^a	25/11/2010	Sulfatada	Cálcico magnésica	Notable	Dura
Pozo María Luisa-3 ^a	25/11/2010	Bicarbonatada Sulfatada	Cálcica	Notable	Media
Pozo Sorriego Vertido	29/11/2010	Bicarbonatada	Cálcico magnésica	Notable	Dura
Pozo Sotón-4 ^a	29/11/2010	Bicarbonatada Sulfatada	Cálcica	Ligera	Media
Pozo Sotón-7 ^a	26/11/2010	Bicarbonatada	Sódica	Notable	Media
Pozo Samuño-5 ^a	25/11/2010	Bicarbonatada Sulfatada	Sódico-cálcica	Notable	Dura
Pozo Samuño-7 ^a	25/11/2010	Bicarbonatada	Sódico-cálcica	Notable	Dura
Pozo Samuño-10 ^a	25/11/2010	Bicarbonatada	Magnésico cálcica	Notable	Media
Pozo San Mamés-bombeo	26/11/2010	Sulfatada Bicarbonatada	Cálcico magnésica	Notable	Dura
Pozo Carrió-1 ^a	26/11/2010	Sulfatada Bicarbonatada	Cálcico-sódica	Notable	Dura
Pozo Carrió-2 ^a	26/11/2010	Bicarbonatada Sulfatada	Cálcico magnésica	Notable	Dura
Pozo Carrió-4 ^a	26/11/2010	Bicarbonatada Sulfatada	Sódica	Notable	Media
Manantial Fuente Los Jubilaos	30/11/2010	Bicarbonatada	Cálcica	Notable	Media
Manantial El Polledo	29/11/2010	Bicarbonatada	Cálcico magnésica	Ligera	Blanda
Manantial Crecimengua	30/11/2010	Bicarbonatada	Cálcica	Muy débil	Blanda
Manantial Fuente el Puente	29/11/2010	Bicarbonatada	Cálcica	Muy débil	Blanda
Manantial Fuente Casielles	29/11/2010	Bicarbonatada	Cálcica	Notable	Media
Manantial Linares	29/11/2010	Bicarbonatada Sulfatada	Cálcico magnésica	Ligera	Blanda

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

Tabla 11-13.- Caracterización hidroquímica. Segunda campaña*.

Muestra	Fecha de muestreo	Facies Aniónica	Facies Catiónica	Mineralización	Dureza
Bocamina La Nalona	09/06/2011	Bicarbonatada Sulfatada	Cálcico magnésica	Notable	Dura
Bocamina Samuño	08/06/2011	Bicarbonatada Sulfatada	Cálcico magnésica	Notable	Dura
Socavón Emilia	08/06/2011	Bicarbonatada Sulfatada	Cálcico magnésica	Notable	Media
Bocamina Sallosas	09/06/2011	Bicarbonatada	Cálcico magnésica	Notable	Dura
Bocamina Prau Molín	07/06/2011	Bicarbonatada	Sódica	Notable	Media
Bocamina El Corvero	08/06/2011	Sulfatada Bicarbonatada	Cálcico magnésica	Notable	Media
Bocamina La Generala	09/06/2011	Bicarbonatada	Cálcica	Notable	Media
Bocamina Los Cuarteles	08/06/2011	Bicarbonatada	Cálcica	Notable	Media
Pozo Fondón	06/06/2011	Bicarbonatada	Sódico-cálcica	Notable	Dura
Pozo Candín I-5 ^a	08/06/2011	Bicarbonatada Sulfatada	Sódico magnésica	Notable	Dura
Pozo Candín II-250	08/06/2011	Bicarbonatada Sulfatada	Cálcico-magnésica	Notable	Muy dura
Pozo María Luisa-1 ^a	07/06/2011	Sulfatada Bicarbonatada	Cálcico magnésica	Notable	Dura
Pozo María Luisa-3 ^a	07/06/2011	Bicarbonatada Sulfatada	Sódico-cálcica	Notable	Media
Pozo Sorriego Vertido	09/06/2011	Bicarbonatada Sulfatada	Sódica	Notable	Media
Pozo Sotón-4 ^a	07/06/2011	Bicarbonatada	Cálcico-sódica	Notable	Media
Pozo Sotón-7 ^a	07/06/2011	Bicarbonatada Sulfatada	Sódica	Notable	Media
Pozo Samuño-5 ^a	08/06/2011	Bicarbonatada Sulfatada	Sódico-cálcica	Notable	Dura
Pozo Samuño-7 ^a	08/06/2011	Bicarbonatada	Sódico cálcica	Fuerte	Dura
Pozo Samuño-10 ^a	08/06/2011	Bicarbonatada	Cálcica	Notable	Dura
Pozo San Mamés-bombeo	06/06/2011	Bicarbonatada Sulfatada	Cálcico-sódica	Notable	Dura
Pozo Carrió-1 ^a	06/06/2011	Sulfatada Bicarbonatada	Sódico-cálcica	Notable	Dura
Pozo Carrió-2 ^a	06/06/2011	Bicarbonatada Sulfatada	Cálcico-magnésica	Notable	Dura
Pozo Carrió-4 ^a	06/06/2011	Bicarbonatada Sulfatada	Sódica	Notable	Media
Manantial Fuente Los Jubilaos	08/06/2011	Bicarbonatada	Cálcica	Notable	Media
Manantial El Polledo	08/06/2011	Bicarbonatada	Cálcica	Muy débil	Blanda
Manantial Crecimengua	09/06/2011	Bicarbonatada	Cálcico magnésica	Ligera	Media
Manantial Fuente el Puente	08/06/2011	Bicarbonatada	Cálcica	Muy débil	Blanda
Manantial Fuente Casielles	08/06/2011	Bicarbonatada	Cálcica	Notable	Media
Manantial Linares	08/06/2011	Bicarbonatada -Sulfatada	Cálcico magnésica	Ligera	Blanda

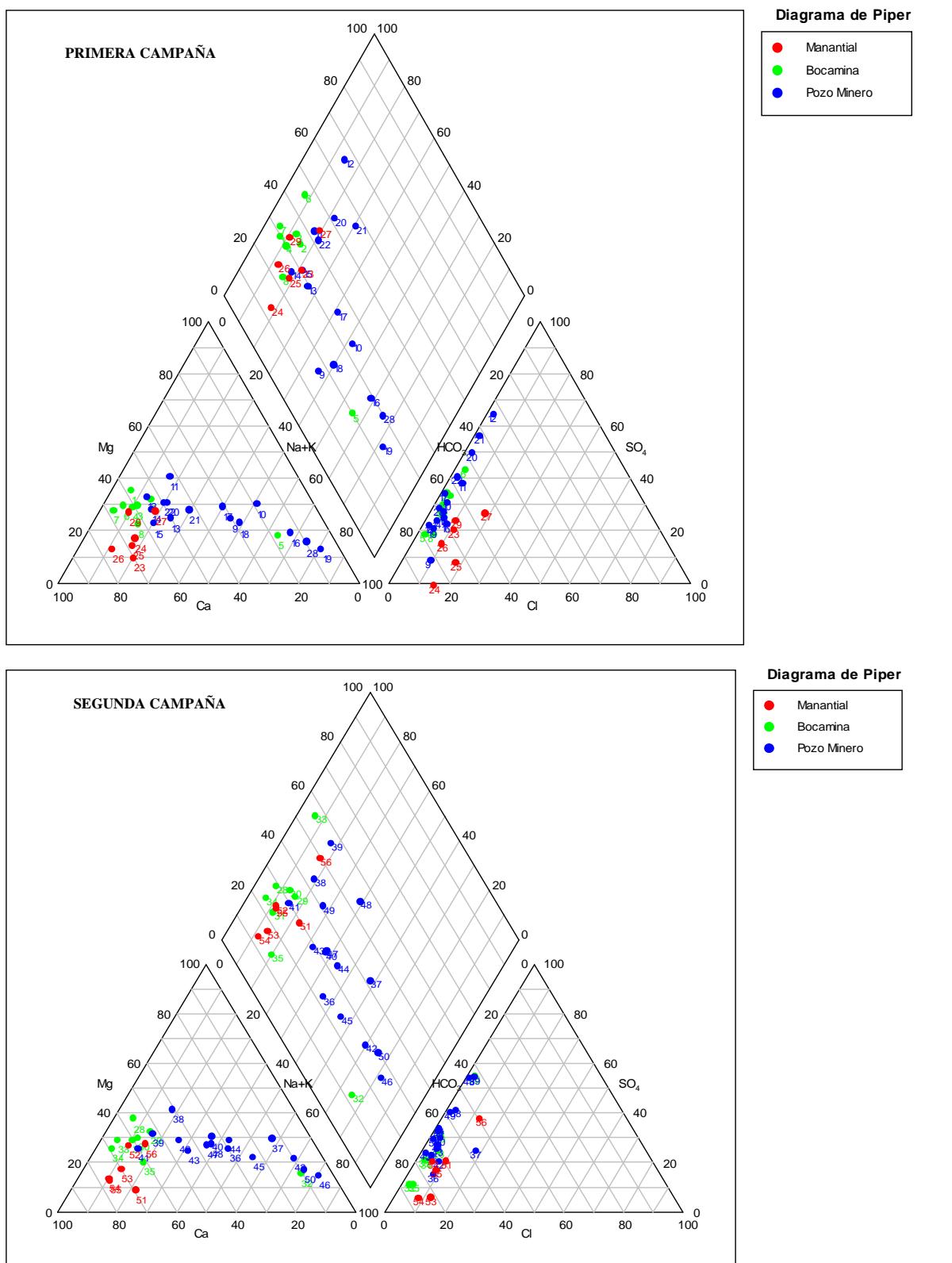


Figura 11-11.- Diagramas de Piper para las muestras tomadas en la primera y segunda campañas
(numeración de los puntos en tabla 11-14).

Tabla 11-14. Puntos representados en el Gráfico de Piper.

PRIMERA CAMPAÑA		SEGUNDA CAMPAÑA		SEGUNDA CAMPAÑA	
1	Bocamina La Nalona	16	Pozo Sotón-7 ^a	28	Bocamina La Nalona
2	Bocamina Samuño	17	Pozo Samuño-5 ^a	29	Bocamina Samuño
3	Socavón Emilia	18	Pozo Samuño-7 ^a	30	Socavón Emilia
4	Bocamina Sallosas	19	Pozo Samuño-10 ^a	31	Bocamina Sallosas
5	Bocamina Prau Molín	20	Pozo San Mamés-bombeo	32	Bocamina Prau Molín
6	Bocamina El Corvero	21	Pozo Carrió-1 ^a	33	Bocamina El Corvero
7	Bocamina La Generala	22	Pozo Carrió-2 ^a	34	Bocamina La Generala
8	Bocamina Los Cuarteles	28	Pozo Carrio-4 ^a	35	Bocamina Los Cuartelos
9	Pozo Fondón	23	Manantial Fuente Los Jubilaos	36	Pozo Fondón
10	Pozo Candín I-5 ^a	29	Manantial El Polledo	37	Pozo Candín I-5 ^a
11	Pozo Candín II-250	24	Manantial Crecimengua	38	Pozo Candín II-250
12	Pozo María Luisa-1 ^a	25	Manantial Fuente el Puente	39	Pozo María Luisa-1 ^a
13	Pozo María Luisa-3 ^a	26	Manantial Fuente Casielles	40	Pozo María Luisa-3 ^a
14	Pozo Sorriego Vertido	27	Manantial Linares	41	Pozo Sorriego Vertido
15	Pozo Sotón-4 ^a			42	Pozo Sotón-4 ^a

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, la metodología y explicación de las mismas ha sido expuesta anteriormente en el apartado 11.2.4.

Las relaciones que hacen referencia al equilibrio con litologías calcáreas y dolomíticas indican una mayor presencia de las primeras en las aguas procedentes de manantiales. 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 Prau Molín. En los pozos mineros estas relaciones presentan valores indicativos de equilibrio con estas litologías en la mayor parte de las muestras analizadas; sin embargo, en los pozos Candín I, Sotón, Samuño y Carrio estas relaciones muestran valores por encima de la unidad. La relación 3, que hace referencia a la influencia de terrenos dolomíticos, presenta valores por debajo de la unidad, por lo que se desecha la presencia de estas litologías, a excepción de los pozos Candín I, Sotón, Samuño y Carrio, en los que esta relación presenta valores mayores, si bien, teniendo en cuenta los valores obtenidos para las relaciones (1) y (2), también se desestima la presencia de litologías dolomíticas.

Las relaciones (4) y (5) hacen referencia a la oxidación de sulfuros. La primera de ellas permite diferenciar que los procesos de oxidación de sulfuros son de mayor importancia en las aguas procedentes de la minería de valle, apreciándose en la mayor parte de las muestras analizadas valores superiores a 1. En las aguas procedentes de bocaminas y manantiales esta relación presenta cifras menores de 1, excepto en el caso de la Bocamina Prao Molín. En lo que se refiere a la relación 5, cabe destacar

que en los pozos San Mamés, María Luisa y Carrio el valor obtenido es mayor que 1, mientras que en la mayor parte de las aguas analizadas es inferior a 0,6. Este hecho parece indicar que los procesos de oxidación de sulfuros son de mayor importancia en la zona Carrio y en el sector occidental de la Zona Modesta.

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 procedentes de manantiales se agrupan en la parte inferior del diagrama, pudiendo apreciarse una ligera tendencia positiva; es decir, a mayor concentración de sulfatos, mayor concentración de bicarbonatos. Esta misma tendencia se aprecia en algunas de las muestras analizadas, tanto de minería de valle como de montaña, si bien, en conjunto, se aprecia una gran dispersión en esta correlación.

Las relaciones que estudian la presencia de intercambios catiónicos (n° s 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 mucho más negativos. Los valores del icb correspondientes a la segunda campaña son más negativos que los de la primera campaña en prácticamente todas las muestras, hecho que se puede relacionar con valores mayores de la concentración de sodio en el agua.

Tabla 11-15- Relaciones iónicas; primera campaña (noviembre/2010).

Id IGME	Muestra	Fecha muestreo	$\frac{r\text{HCO}_3^- + r\text{CO}_3^{2-}}{r\text{Ca}^{2+}}$	$\frac{r\text{HCO}_3^- + r\text{CO}_3^{2-}}{r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}}$	$\frac{r\text{Mg}^{2+}}{r\text{Ca}^{2+}}$	$\frac{r\text{HCO}_3^- + r\text{CO}_3^{2-} + r\text{SO}_4^{2-}}{r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}}$	$\frac{r\text{SO}_4^{2-}}{r\text{HCO}_3^-}$	$\frac{r\text{Na}^+ + r\text{K}^+}{r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}}$	icb	Icb(-)
1305-2-0060	Bocamina La Nalona	29/11/2010	1,04	0,66	0,57	0,92	0,40	0,07	-0,41	-0,02
1305-3-0011	Bocamina Samuño	25/11/2010	1,00	0,64	0,56	1,00	0,56	0,17	-7,61	-0,15
1305-3-0109	Socavón Emilia	25/11/2010	0,90	0,61	0,46	0,95	0,55	0,12	-2,49	-0,09
1305-3-0095	Bocamina Sallosas	30/11/2010	0,95	0,66	0,44	0,94	0,42	0,11	-2,51	-0,08
1305-3-0116	Bocamina Prau Molín	26/11/2010	3,41	1,86	0,84	2,32	0,25	1,76	-25,63	-0,73
1305-4-0038	Bocamina El Corvero	29/11/2010	0,79	0,55	0,43	1,02	0,84	0,07	-0,75	-0,03
1305-3-0110	Bocamina La Generala	29/11/2010	0,83	0,60	0,38	0,88	0,46	0,04	-0,67	-0,02
1305-3-0091	Bocamina Los Cuarteles	29/11/2010	0,95	0,71	0,33	0,90	0,26	0,17	-2,39	-0,14
1305-2-0020	Pozo Fondón	26/11/2010	2,11	1,23	0,72	1,37	0,12	0,81	-4,60	-0,48
1305-3-0022	Pozo Candín I-5 ^a	26/11/2010	2,31	0,97	1,39	1,44	0,49	1,03	-16,08	-0,67
1305-3-0104	Pozo Candín II-250	26/11/2010	1,13	0,60	0,89	1,02	0,70	0,20	-2,54	-0,14
1305-3-0027	Pozo María Luisa-1 ^a	25/11/2010	0,55	0,35	0,56	1,06	2,01	0,15	-4,71	-0,11
1305-3-0027	Pozo María Luisa-3 ^a	25/11/2010	1,18	0,81	0,45	1,12	0,37	0,33	-3,77	-0,23
1305-3-0029	Pozo Sorriego Vertido	29/11/2010	1,09	0,74	0,47	1,00	0,35	0,20	-3,81	-0,16
1305-3-0029	Pozo Sotón-4 ^a	29/11/2010	0,96	0,70	0,37	0,99	0,42	0,25	-4,37	-0,20
1305-3-0024	Pozo Sotón-7 ^a	26/11/2010	4,06	1,86	1,18	2,49	0,34	2,04	-8,74	-0,73
1305-3-0024	Pozo Samuño-5 ^a	25/11/2010	1,82	0,98	0,85	1,52	0,55	0,66	-27,74	-0,42
1305-3-0024	Pozo Samuño-7 ^a	25/11/2010	2,19	1,28	0,72	1,67	0,31	0,94	-22,86	-0,54
1305-3-0094	Pozo Samuño-10 ^a	25/11/2010	7,10	2,92	1,43	3,77	0,29	4,10	-22,65	-1,04
1305-4-0012	Pozo San Mamés-bombeo	26/11/2010	0,79	0,50	0,58	1,03	1,08	0,26	-8,93	-0,23
1305-4-0013	Pozo Carrió-1 ^a	26/11/2010	0,81	0,51	0,59	1,21	1,39	0,42	-16,56	-0,32
1305-4-0013	Pozo Carrió-2 ^a	26/11/2010	0,90	0,57	0,57	1,00	0,73	0,24	-8,99	-0,22
1305-4-0013	Pozo Carrio-4 ^a	02/12/2010	5,02	2,24	1,24	3,20	0,43	2,90	-39,03	-0,88
1305-2-0003	Manantial Fuente Los Jubilaos	30/11/2010	0,81	0,73	0,11	0,96	0,31	0,25	-1,00	-0,13
1305-7-0061	Manantial El Polledo	02/12/2010	0,92	0,66	0,40	0,91	0,38	0,11	-0,03	0,00
1305-3-0044	Manantial Crecimengua	30/11/2010	0,83	0,68	0,23	0,68	0,00	0,20	-0,64	-0,11
1305-4-0047	Manantial Fuente el Puente	29/11/2010	0,80	0,68	0,18	0,76	0,12	0,21	-0,21	-0,05
1305-3-0020	Manantial Fuente Casielles	29/11/2010	0,95	0,83	0,15	1,01	0,21	0,12	-0,10	-0,01
1305-3-0048	Manantial Linares	29/11/2010	0,71	0,48	0,47	0,73	0,51	0,22	-0,35	-0,08

Tabla 1-15- Relaciones iónicas; segunda campaña (junio/2011).

Id IGME	Muestra	Fecha muestreo	$\frac{r\text{HCO}_3^- + r\text{CO}_3^{2-}}{r\text{Ca}^{2+}}$	$\frac{r\text{HCO}_3^- + r\text{CO}_3^{2-}}{r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}}$	$\frac{r\text{Mg}^{2+}}{r\text{Ca}^{2+}}$	$\frac{r\text{HCO}_3^- + r\text{CO}_3^{2-} + r\text{SO}_4^{2-}}{r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}}$	$\frac{r\text{SO}_4^{2-}}{r\text{HCO}_3^-}$	$\frac{r\text{Na}^+ + r\text{K}^+}{r\text{Ca}^{2+} + r\text{Mg}^{2+}}$	icb	Icb(-)
1305-2-0060	Bocamina La Nalona	29/11/2010	1,06	0,65	0,63	0,89	0,37	0,07	-0,31	-0,02
1305-3-0011	Bocamina Samuño	25/11/2010	1,03	0,66	0,57	1,00	0,52	0,17	-10,66	-0,16
1305-3-0109	Socavón Emilia	25/11/2010	0,98	0,67	0,47	0,99	0,49	0,13	-3,31	-0,10
1305-3-0095	Bocamina Sallosas	30/11/2010	1,05	0,73	0,44	0,94	0,29	0,12	-3,38	-0,09
1305-3-0116	Bocamina Prau Molín	26/11/2010	5,77	2,70	1,14	3,07	0,14	2,80	-31,95	-0,88
1305-4-0038	Bocamina El Corvero	29/11/2010	0,57	0,40	0,41	0,94	1,33	0,06	-1,15	-0,03
1305-3-0110	Bocamina La Generala	29/11/2010	0,92	0,68	0,34	0,88	0,29	0,05	-0,59	-0,02
1305-3-0091	Bocamina Los Cuarteles	29/11/2010	1,06	0,82	0,30	0,94	0,14	0,23	-5,36	-0,20
1305-2-0020	Pozo Fondón	26/11/2010	2,06	1,17	0,75	1,42	0,21	0,79	-4,86	-0,46
1305-3-0022	Pozo Candín I-5 ^a	26/11/2010	3,35	1,16	1,90	1,68	0,45	1,32	-2,57	-0,57
1305-3-0104	Pozo Candín II-250	26/11/2010	1,13	0,58	0,94	1,03	0,77	0,21	-5,41	-0,17
1305-3-0027	Pozo María Luisa-1 ^a	25/11/2010	0,67	0,43	0,56	1,00	1,31	0,19	-5,74	-0,16
1305-3-0027	Pozo María Luisa-3 ^a	25/11/2010	1,73	0,94	0,84	1,38	0,47	0,57	-10,53	-0,38
1305-3-0029	Pozo Sorriego Vertido	29/11/2010	0,96	0,69	0,39	0,98	0,41	0,16	-2,95	-0,12
1305-3-0029	Pozo Sotón-4 ^a	29/11/2010	5,34	1,96	1,73	2,54	0,30	2,14	-8,76	-0,76
1305-3-0024	Pozo Sotón-7 ^a	26/11/2010	1,35	0,89	0,51	1,24	0,38	0,45	-6,34	-0,31
1305-3-0024	Pozo Samuño-5 ^a	25/11/2010	1,82	0,95	0,93	1,45	0,53	0,75	-37,37	-0,50
1305-3-0024	Pozo Samuño-7 ^a	25/11/2010	2,36	1,31	0,81	1,74	0,33	1,18	-39,69	-0,66
1305-3-0094	Pozo Samuño-10 ^a	25/11/2010	8,71	2,96	1,94	3,93	0,33	4,00	-21,67	-0,97
1305-4-0012	Pozo San Mamés-bombeo	26/11/2010	1,48	0,88	0,67	1,34	0,52	0,57	-23,76	-0,41
1305-4-0013	Pozo Carrió-1 ^a	26/11/2010	1,06	0,62	0,71	1,39	1,25	0,60	-35,90	-0,42
1305-4-0013	Pozo Carrió-2 ^a	26/11/2010	1,04	0,66	0,59	1,13	0,72	0,35	-16,66	-0,29
1305-4-0013	Pozo Carrio-4 ^a	02/12/2010	5,48	2,20	1,49	3,18	0,44	2,83	-51,49	-0,87
1305-2-0003	Manantial Fuente Los Jubilaos	30/11/2010	0,81	0,74	0,10	0,97	0,31	0,28	-1,51	-0,17
1305-7-0061	Manantial El Polledo	02/12/2010	0,92	0,66	0,39	0,85	0,29	0,11	-1,10	-0,07
1305-3-0044	Manantial Crecimengua	30/11/2010	0,88	0,72	0,22	0,78	0,08	0,14	-0,27	-0,04
1305-4-0047	Manantial Fuente el Puente	29/11/2010	0,84	0,73	0,15	0,78	0,07	0,12	-0,59	-0,05
1305-3-0020	Manantial Fuente Casielles	29/11/2010	0,75	0,65	0,14	0,81	0,24	0,12	-0,57	-0,05
1305-3-0048	Manantial Linares	29/11/2010	0,76	0,53	0,44	0,94	0,79	0,18	-0,30	-0,04

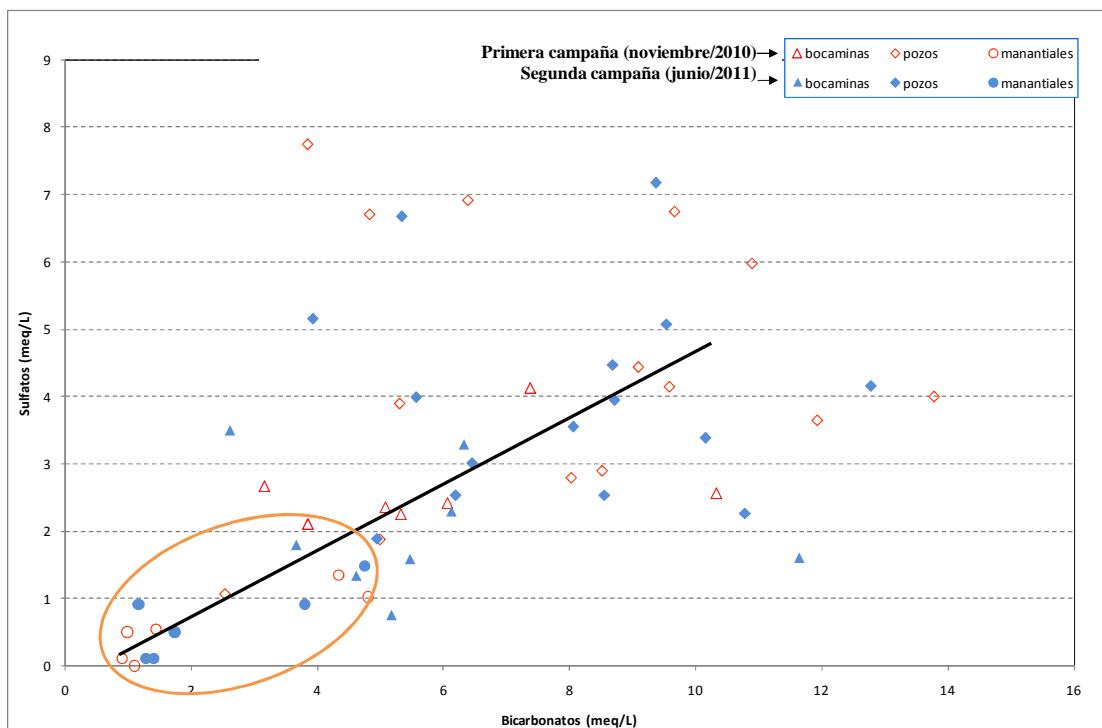


Figura 11-14.- Relación sulfatos-bicarbonatos.

Correlación estadística

Utilizando la aplicación XLstat (Addinsoft) se ha realizado una correlación entre las distintas variables, a fin de establecer el grado de relación entre ellas. Se ha optado por calcular el coeficiente de Spearman. 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. Los resultados obtenidos se muestran en las tablas 11-16 a 11-19.

Tabla 11-16: valores de correlación considerando todas las muestras.

p-valores: coeficiente de correlación

Variables	C1	SO4	HCO3	NO3	Na	Mg	Ca	K
C1	0	0,615	0,107	0,900	0,541	0,336	0,600	0,117
SO4	0,615	0	0,560	0,747	0,917	0,011	0,133	0,912
HCO3	0,107	0,560	0	0,023	0,002	0,002	0,376	0,000
NO3	0,900	0,747	0,023	0	0,274	0,170	0,035	0,093
Na	0,541	0,917	0,002	0,274	0	0,216	0,556	0,002
Mg	0,336	0,011	0,002	0,170	0,216	0	0,013	0,025
Ca	0,600	0,133	0,376	0,035	0,556	0,013	0	0,409
K	0,117	0,912	0,000	0,093	0,002	0,025	0,409	0

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación alfa=0,07

Coeficientes de determinación (Spearman):

Variables	C1	SO4	HCO3	NO3	Na	Mg	Ca	K
C1	1	0,019	0,174	0,001	0,027	0,065	0,020	0,166
SO4	0,019	1	0,024	0,007	0,001	0,388	0,153	0,001
HCO3	0,174	0,024	1	0,325	0,515	0,547	0,055	0,630
NO3	0,001	0,007	0,325	1	0,084	0,130	0,285	0,190
Na	0,027	0,001	0,515	0,084	1	0,106	0,025	0,514
Mg	0,065	0,388	0,547	0,130	0,106	1	0,374	0,317
Ca	0,020	0,153	0,055	0,285	0,025	0,374	1	0,048
K	0,166	0,001	0,630	0,190	0,514	0,317	0,048	1

Tabla 11-17: Valores de correlación para muestras tomadas en bocaminas.

Variables	p-valores: coeficiente de correlación							
	Cl	SO4	HCO3	NO3	Na	Mg	Ca	K
Cl	0	0,615	0,107	0,900	0,541	0,336	0,600	0,117
SO4	0,615	0	0,560	0,747	0,917	0,011	0,133	0,912
HCO3	0,107	0,560	0	0,023	0,002	0,002	0,376	0,000
NO3	0,900	0,747	0,023	0	0,274	0,170	0,035	0,093
Na	0,541	0,917	0,002	0,274	0	0,216	0,556	0,002
Mg	0,336	0,011	0,002	0,170	0,216	0	0,013	0,025
Ca	0,600	0,133	0,376	0,035	0,556	0,013	0	0,409
K	0,117	0,912	0,000	0,093	0,002	0,025	0,409	0

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación alfa=0,05

Variables	Coeficientes de determinación (Spearman):							
	Cl	SO4	HCO3	NO3	Na	Mg	Ca	K
Cl	1	0,019	0,174	0,001	0,027	0,065	0,020	0,166
SO4	0,019	1	0,024	0,007	0,001	0,388	0,153	0,001
HCO3	0,174	0,024	1	0,325	0,515	0,547	0,055	0,630
NO3	0,001	0,007	0,325	1	0,084	0,130	0,285	0,190
Na	0,027	0,001	0,515	0,084	1	0,106	0,025	0,514
Mg	0,065	0,388	0,547	0,130	0,106	1	0,374	0,317
Ca	0,020	0,153	0,055	0,285	0,025	0,374	1	0,048
K	0,166	0,001	0,630	0,190	0,514	0,317	0,048	1

Tabla 11-18: Valores de correlación para muestras tomadas en pozos mineros.

Variables	p-valores: coeficiente de correlación							
	Cl	SO4	HCO3	NO3	Na	Mg	Ca	K
Cl	0	0,175	0,007	0,392	0,317	0,362	0,585	0,000
SO4	0,175	0	0,912	0,335	0,967	0,000	0,011	0,980
HCO3	0,007	0,912	0	0,493	0,003	0,044	0,376	< 0,0001
NO3	0,392	0,335	0,493	0	0,212	0,907	0,055	0,970
Na	0,317	0,967	0,003	0,212	0	0,402	0,006	0,071
Mg	0,362	0,000	0,044	0,907	0,402	0	0,001	0,001
Ca	0,585	0,011	0,376	0,055	0,006	0,001	0	0,393
K	0,000	0,980	< 0,0001	0,970	0,071	0,001	0,393	0

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación alfa=0,05

Coefficientes de determinación (Spearman):

Variables	Cl	SO4	HCO3	NO3	Na	Mg	Ca	K
Cl	1	0,065	0,237	0,026	0,035	0,030	0,011	0,396
SO4	0,065	1	0,000	0,033	0,000	0,379	0,215	0,000
HCO3	0,237	0,000	1	0,017	0,279	0,137	0,028	0,520
NO3	0,026	0,033	0,017	1	0,055	0,000	0,126	0,000
Na	0,035	0,000	0,279	0,055	1	0,025	0,242	0,112
Mg	0,030	0,379	0,137	0,000	0,025	1	0,352	0,349
Ca	0,011	0,215	0,028	0,126	0,242	0,352	1	0,026
K	0,396	0,000	0,520	0,000	0,112	0,349	0,026	1

Tabla 11-19: Valores de correlación para muestras tomadas en manantiales.

p-valores: coeficiente de correlación								
Variables	Cl	SO4	HCO3	NO3	Na	Mg	Ca	K
Cl	0	< 0,0001	0,067	0,030	0,000	0,208	0,040	0,247
SO4	< 0,0001	0	0,005	0,157	0,003	0,064	0,002	0,446
HCO3	0,067	0,005	0	0,826	0,069	0,097	< 0,0001	0,765
NO3	0,030	0,157	0,826	0	0,034	0,292	0,667	0,003
Na	0,000	0,003	0,069	0,034	0	0,217	0,050	0,365
Mg	0,208	0,064	0,097	0,292	0,217	0	0,149	0,111
Ca	0,040	0,002	< 0,0001	0,667	0,050	0,149	0	0,666
K	0,247	0,446	0,765	0,003	0,365	0,111	0,666	0

Los valores en negrita son diferentes de 0 con un nivel de significación alfa=0,05

Coefficientes de determinación (Spearman):

Variables	Cl	SO4	HCO3	NO3	Na	Mg	Ca	K
Cl	1	0,803	0,301	0,399	0,742	0,152	0,366	0,129
SO4	0,803	1	0,584	0,189	0,635	0,307	0,652	0,058
HCO3	0,301	0,584	1	0,005	0,298	0,252	0,878	0,009
NO3	0,399	0,189	0,005	1	0,384	0,108	0,019	0,648
Na	0,742	0,635	0,298	0,384	1	0,146	0,337	0,081
Mg	0,152	0,307	0,252	0,108	0,146	1	0,195	0,234
Ca	0,366	0,652	0,878	0,019	0,337	0,195	1	0,019
K	0,129	0,058	0,009	0,648	0,081	0,234	0,019	1

Se aprecian notables diferencias entre los distintos tipos de aguas, atendiendo a su procedencia, de este modo mientras que en las aguas relacionadas con las labores mineras la correlación es más elevada entre el ión bicarbonato y el sodio, el potasio o el magnesio, en las que proceden de manantiales, el valor del coeficiente de determinación es más elevado en el par bicarbonato-calcio. En el caso de los sulfatos, en el grupo de aguas procedentes de labores mineras, se ha podido apreciar que la mejor correlación se establece con el magnesio, mientras que en las aguas procedentes de manantiales la mejor correlación es con el calcio y con el sodio. El resumen de estas correlaciones se recoge en la tabla 11-20.

Tabla 11-20: Valores de correlación para muestras.

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

11.3.4. ESTABILIDAD MINERAL

Los cálculos referentes a la estabilidad mineral se hicieron utilizando la base termodinámica PHREEQC-2, que constituye una modificación de Parkhurst (1980). Aunque en el proceso de estudio se han incluido un amplio número de especies minerales, se reflejan únicamente aquellas en las que se han obtenido valores positivos en alguna de las muestras y se consideran significativas para la interpretación hidroquímica. En estado de equilibrio el valor del índice de saturación es igual a 0, valores positivos indican sobresaturación en la especie mineral considerada y valores negativos subsaturación. Estos estados no indican que se produzca precipitación o disolución de la especie mineral, ya que para que esto suceda son necesarias unas condiciones determinadas de presión y temperatura.

Respecto a las especies minerales calcita, dolomita, aragonito, siderita y rodrocrosita (Figura 11-15), todos los manantiales muestran subsaturación en la primera campaña, mientras que en la segunda el índice de saturación es superior a la unidad en calcita en los manantiales Polledo, Fuente de los Jubilaos y Casielles; esta última surgencia también está sobresaturada en aragonito. Las mayor parte de las aguas procedentes de bocaminas, en la primera campaña, están subsaturadas en dichas especies minerales; únicamente no lo están en aragonito, dolomita y calcita las aguas muestreadas en La Nalona, Prau Molín y Samuño, en la Bocamina Sallosas en siderita y calcita, y en la Bocamina Generala en calcita. En la segunda campaña todas las muestras están sobresaturadas en calcita, aragonito y dolomita, a excepción de las aguas procedentes de las bocaminas Los Cuarteles y Corvero. Además, las aguas procedentes de la Bocamina Samuño también están sobresaturadas en rodrocrosita. Todos los pozos presentan sobresaturación en calcita, aragonito y dolomita en ambas campañas, excepto el Pozo María Luisa (1^a planta) en la primera campaña; además, en la segunda campaña, las aguas procedentes del Pozo María Luisa (3^a planta) están sobresaturadas en rodrocrosita y las del Pozo Sorriego en siderita.

Respecto a los minerales arcillosos (Figura 11-16), la mayor parte de las muestras tomadas durante la primera campaña están sobresaturadas en caolinita, illita y montmorillonita y presentan subsaturación en illita el manantial El Polledo, la Bocamina El Corvero y los pozos Fondón, Samuño (7^a planta) y María Luisa (3^a planta); además están subsaturadas en illita y montmorillonita las aguas correspondientes a la Bocamina Prau Molín y a los pozos Carrio (1^a y 2^a planta) y Samuño (10^a planta). En la segunda campaña, prácticamente todos los pozos muestran estado de subsaturación en illita y montmorillonita, con la excepción de Sorriego, y también están subsaturadas respecto a la illita las bocaminas La Generala, Los Cuarteles y Sallosas y los manantiales Fuente Casielles, Fuente Los Jubilaos y El Polledo.

Todos los manantiales y bocaminas, respecto a los filosilicatos estudiados (Figura 11-17), están subsaturados en feldespato potásico, talco y clorita, en ambas campañas. En las labores mineras la mayor parte está subsaturada en las tres especies minerales, mientras que en la segunda campaña en los pozos Sotón, Carrio, Samuño y María Luisa se aprecia sobresaturación en talco, clorita o ambos.

En la primera campaña todas las muestras analizadas están sobresaturadas, en mayor o menor medida, en goethita, gibsita y hematites, mientras que en la segunda algunas de las muestras procedentes de labores mineras denotan subsaturación en gibsita (Figura 11-18), en concreto las tomadas en la Bocamina Prau Molín y en los pozos Sotón (7^a planta), Samuño (10^a planta), Carrio y María Luisa (1^a planta).

11.4. 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 silicílica 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 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 explotarse y el agua se bombea desde las plantas más profundas.

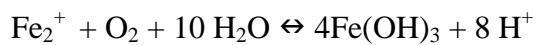
En esta zona minera tienen lugar procesos de oxidación de sulfuros, que van a condicionar el químismo del agua. Aunque la pirita es el sulfuro más abundante, existen otros sulfuros metálicos que pueden ser oxidados en condiciones ambientales similares, como marcasita, pirrotina, calcopirita, arsenopirita, esfalerita, etc. El proceso de oxidación de la pirita consta de las siguientes etapas (varios autores en Galán, 2003):

Etapa 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:



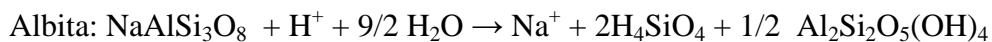
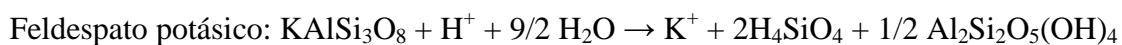
El agua de drenaje en esta etapa se caracteriza por bajos contenidos en hierro y elevadas concentraciones de sulfatos; si progresla la oxidación de la pirita y se agotan los minerales neutralizantes, aumenta la generación de ácido y el pH disminuye pasando el proceso a la Etapa II. Esta etapa se caracteriza 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 \approx ankerita > siderita.

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



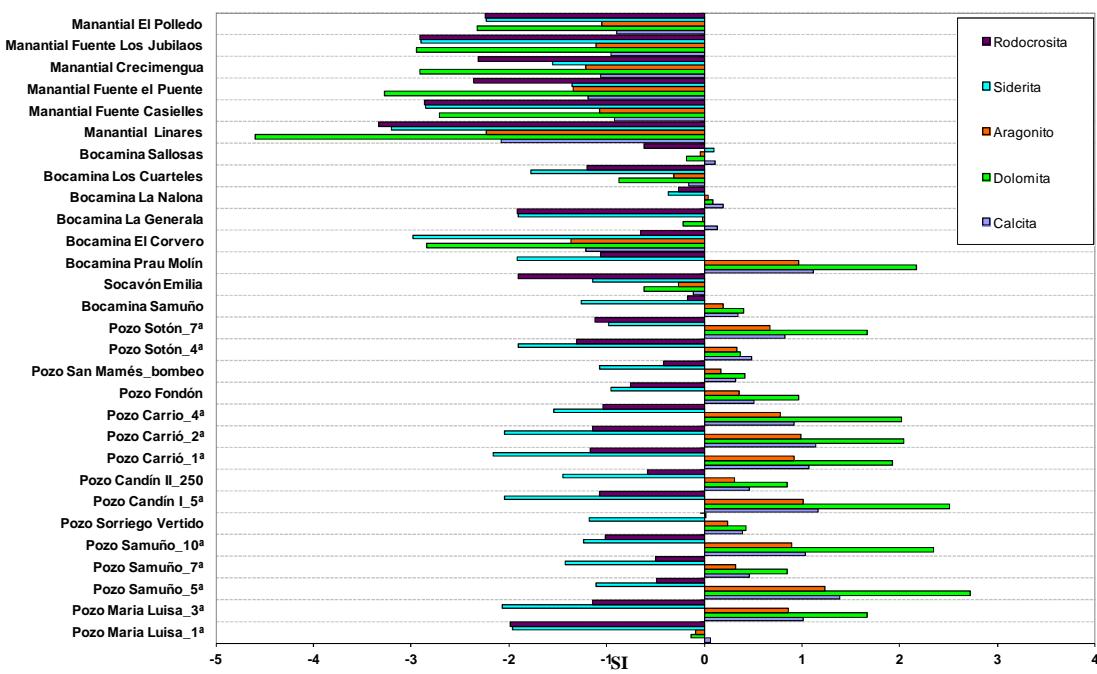
Según estas reacciones, hacen falta 2 moles de calcita o dolomita para neutralizar 1 mol de pirita. Además de la disolución de la calcita, la alteración de minerales aluminosilicatados también constituye una fuente de consumo de acidez; sin embargo, la velocidad de disolución es mucho más lenta que en 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 (p.ej., 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.



Primera Campaña: noviembre 2010

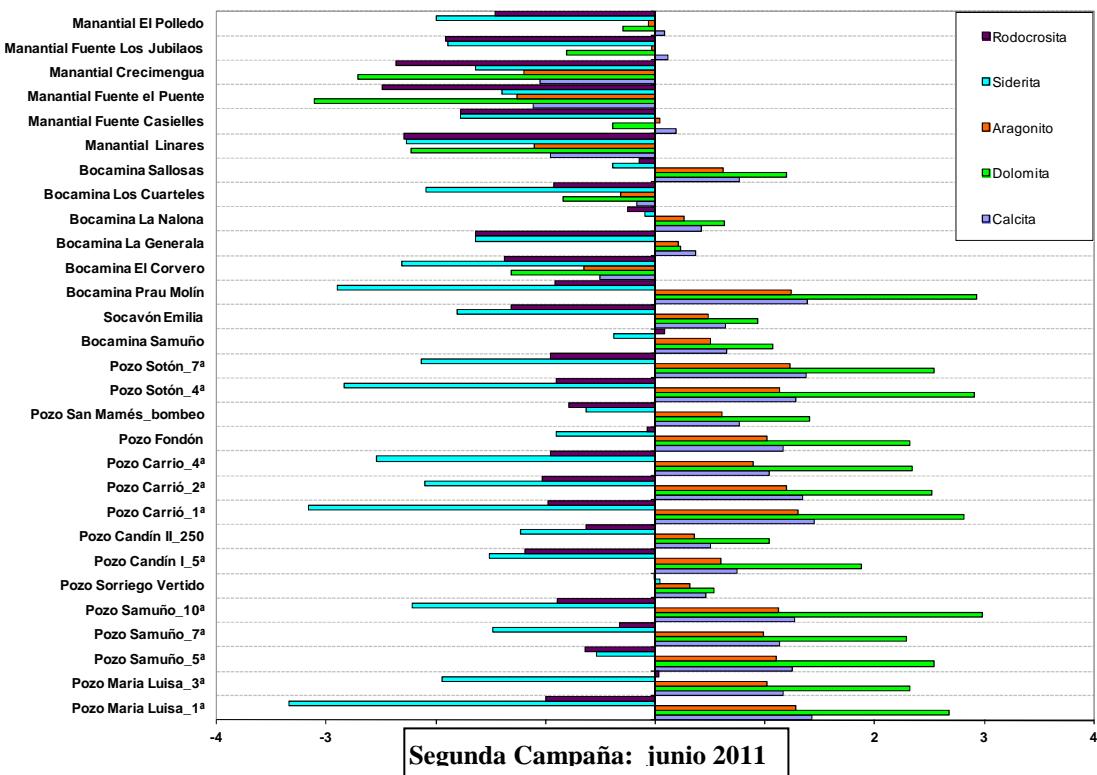
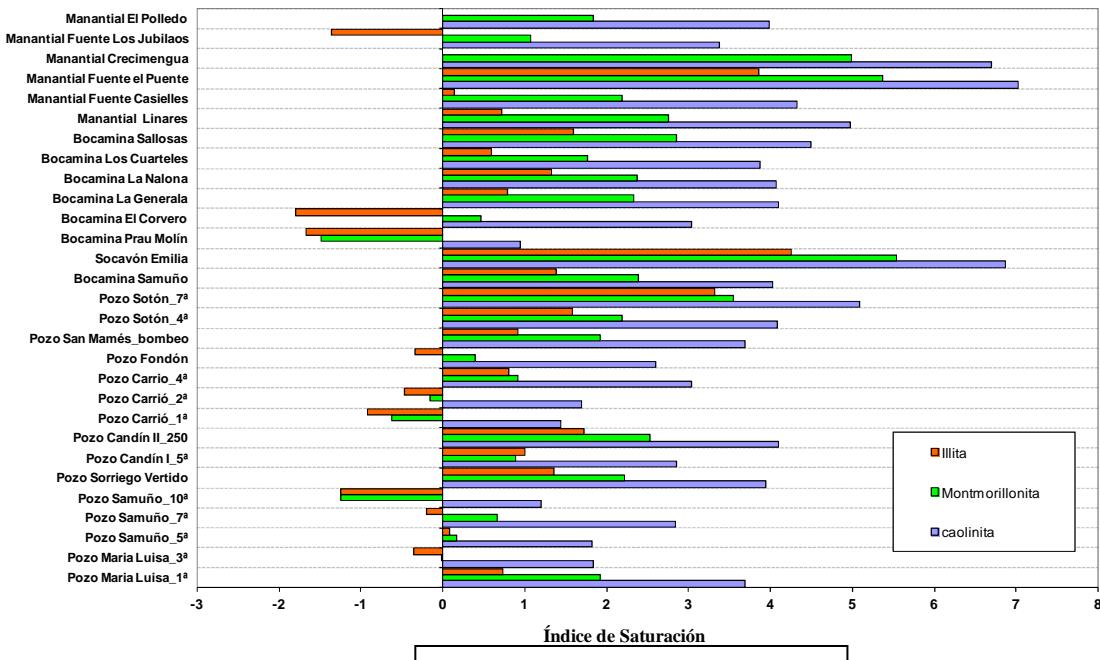
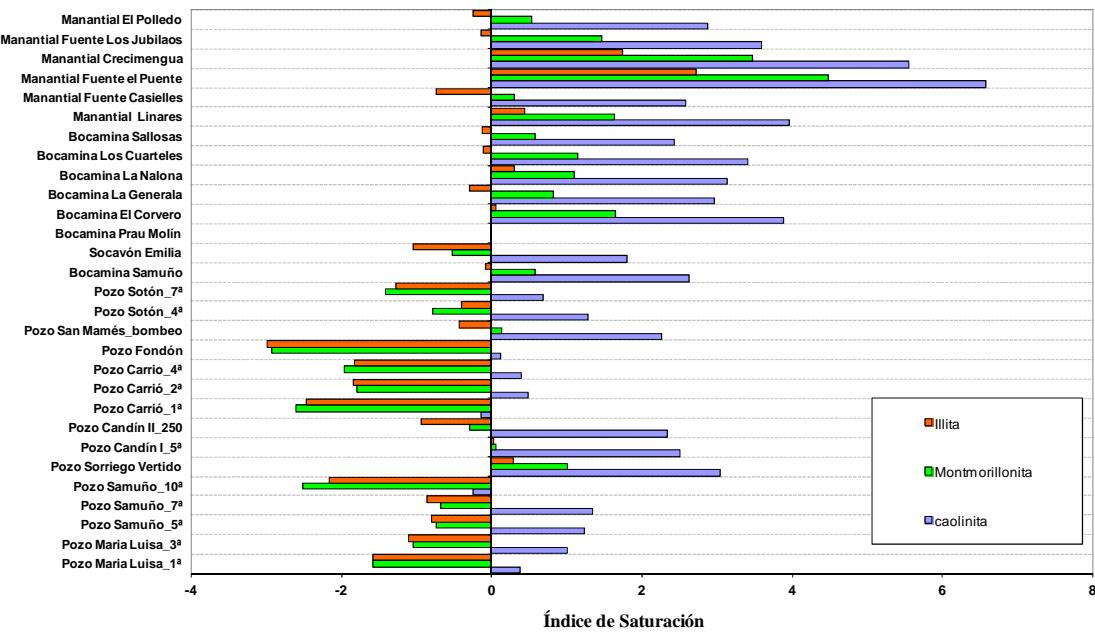


Figura 11-15.- Diagramas de estabilidad mineral respecto calcita, dolomita, aragonito, siderita y rodrocrosita.

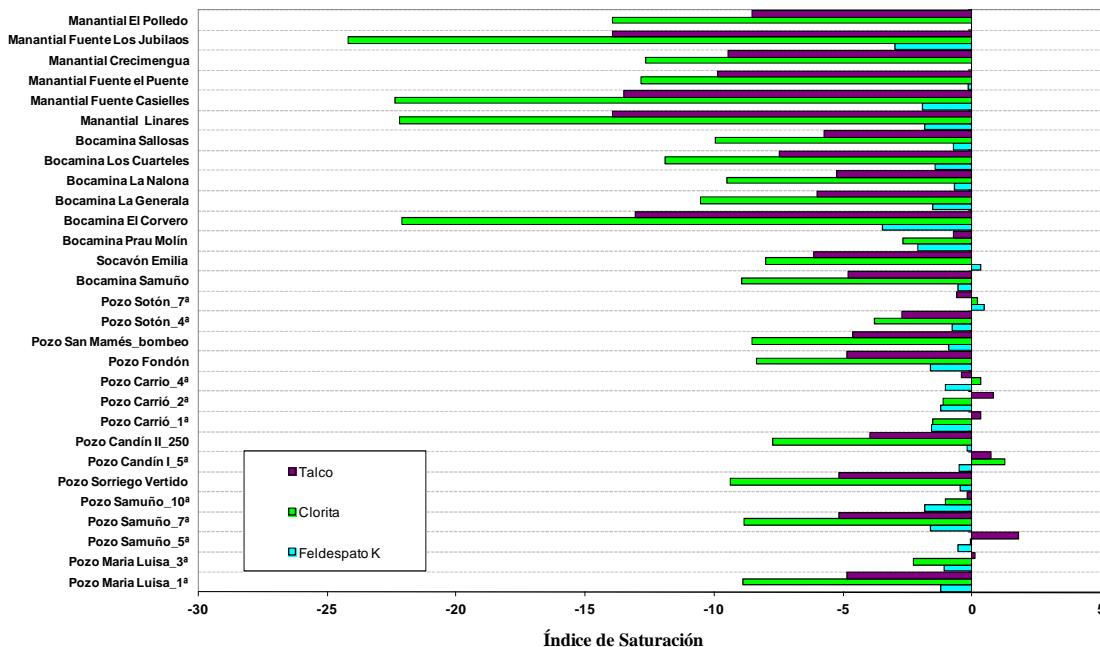


Primera Campaña: noviembre 2010

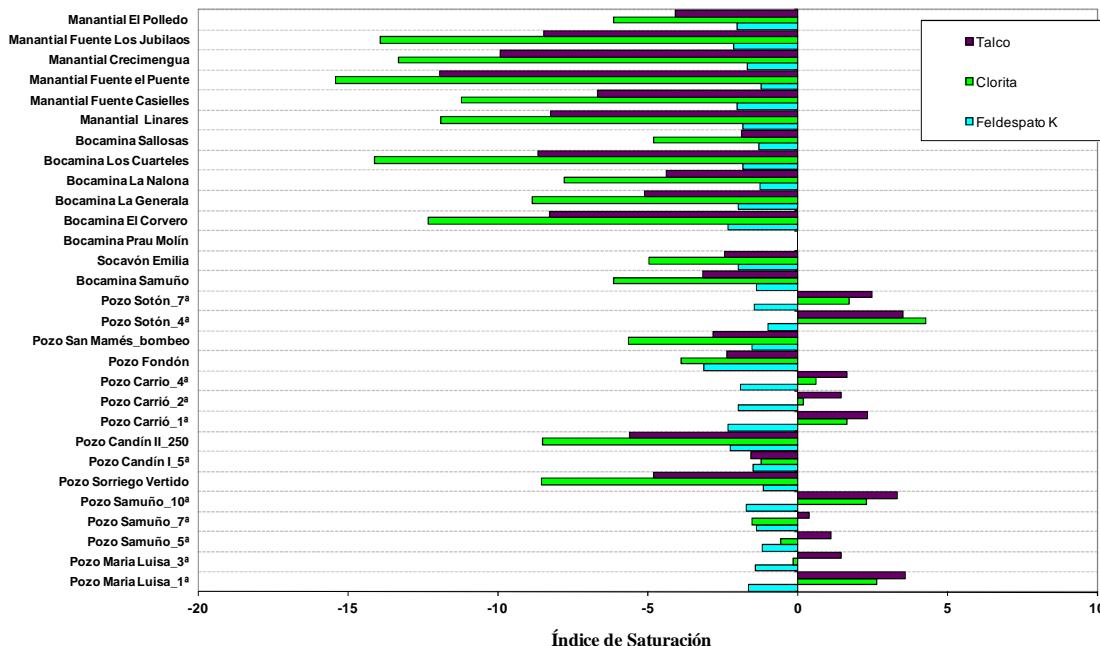


Segunda Campaña: junio 2011

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

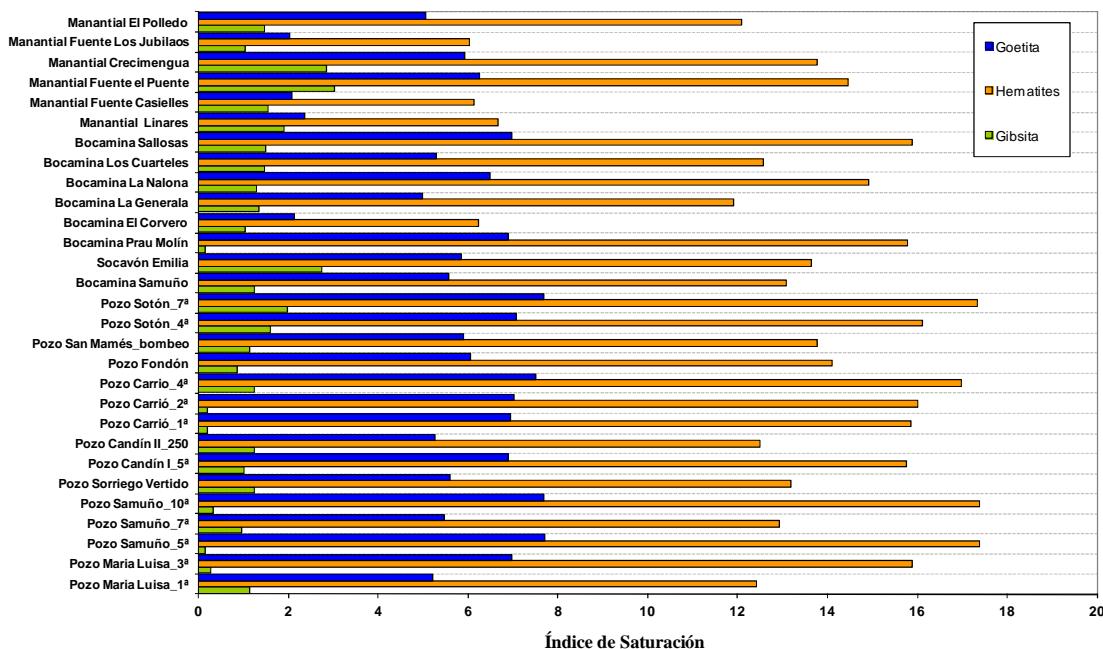


Primera Campaña: noviembre 2010

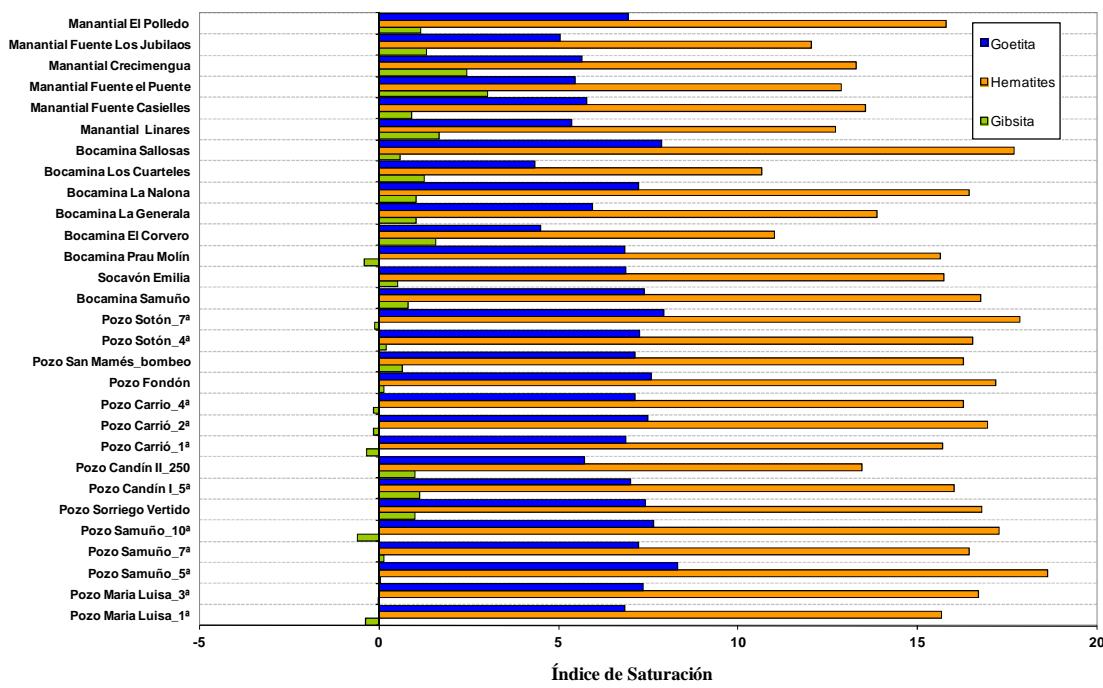


Segunda Campaña: junio 2011

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



Primera Campaña: noviembre 2010



Segunda Campaña: junio 2011

Figura 11-18.- Diagramas de estabilidad mineral respecto goethita, gibsita 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 cárnicas, con presencia de sulfatos en mayor o menor concentración, pero que en general no superan el 25% del total de los aniones, salvo en el Manantial Linares en el que este anión presenta una concentración mayor. El origen de estos sulfatos podría establecerse en la oxidación de los sulfuros contenidos en las rocas por las que circula el agua, si bien las relaciones iónicas calculadas denotan una baja presencia de los mismos. En el manantial mencionado el valor de la relación sulfatos-bicarbonatos es similar al obtenido en aguas procedentes de labores mineras, por lo que se estima que existe una mayor presencia de sulfuros en los materiales atravesados por el agua.

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 predominantemente carbonatos o bicarbonatos y cationes como calcio, magnesio o sodio, que en ocasiones están presentes en elevadas concentraciones; en algunos los pozos se superan los 200 mg/L de sodio, llegándose a alcanzar valores próximos a 400 mg/L en el Pozo Samuño. La alteración de sulfuros libera iones metálicos como hierro y manganeso, que pueden permanecer en solución o precipitar específicamente como minerales oxídos-hidróxidos (Fe(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 algunas de las bocaminas. 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 11-14.

Tabla 11-14.- 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/10	jun/11	nov/10	jun/11	nov/10	jun/11
1305-3-0011	Bocamina Samuño	35	140	230	190	7.4
1305-3-0109	Socavón Emilia	65	10	6	<5	7.6
1305-3-0095	Bocamina Sotón Antiguo	970	160	98	75	7.5
1305-3-0116	Bocamina Prau Molín	<10	<10	<5	<5	8.2
1305-3-0091	Bocamina Los Cuarteles	15	<10	29	78	7.1
1305-3-0027	Pozo María Luisa	<10	30	<5	60	8.2
1305-3-0094	Pozo Sorriego	40	480	330	220	7.5
1305-3-0029	Pozo Sotón	50	120	<5	<5	8.4
1305-3-0024	Pozo Samuño	63	320	19	14	8.1
1305-4-0012	Pozo San Mamés	57	70	140	21	7.1
1305-3-0011	Bocamina Samuño	35	140	230	190	7.4

Como se puede apreciar en la tabla, en la mayor parte de los puntos se produce un importante aumento en la concentración de hierro tras la época lluviosa (campaña de junio/2010), únicamente es presenta una tendencia inversa la Bocamina Sotón Antiguo. Sin embargo, la concentración en manganeso es mayor casi todas las muestras tomadas durante la primera campaña, a excepción de las correspondientes a la Bocamina Los Cuarteles y al Pozo María Luisa.

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. La mayor concentración de hierro ha sido analizada en el Manantial Fuente El Puente, situado en las proximidades del Pozo Fernando, en la zona San Mamés.

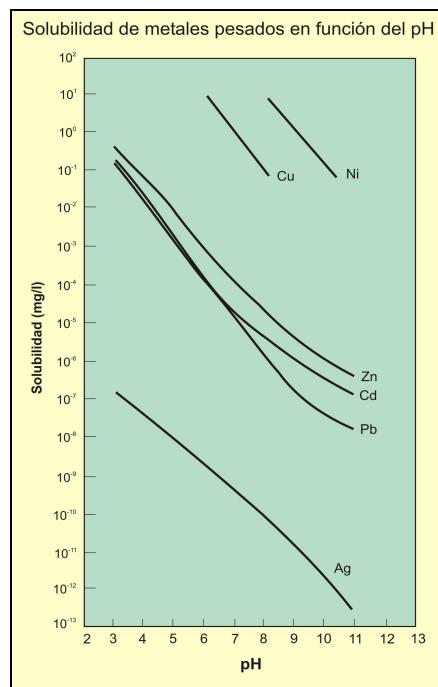


Figura 11-19.- Solubilidad de algunos metales pesados en función del pH
(<http://www.uclm.es/users/higueras/MAM/MMAM3.htm>).

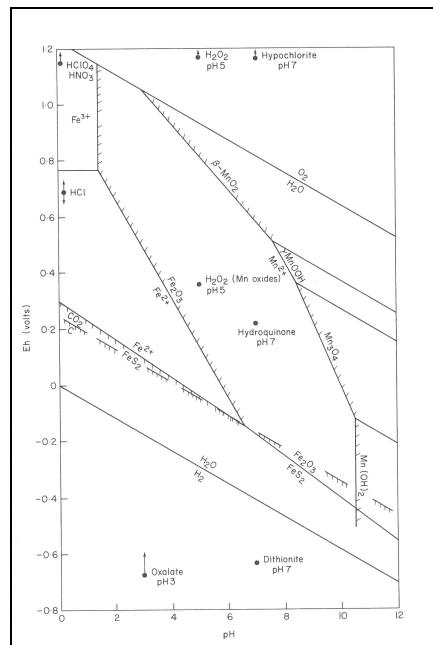


Figura 11-20.- Diagrama de estabilidad de óxidos de hierro, óxidos de manganeso, pirita y materia orgánica (C), en función del Eh y pH. Las fases sólidas son estables en las líneas sombreadas con finos trazos (Rose et al, 1979).

12. PROCESO DE INUNDACIÓN

12.1. ESTUDIO DEL PROCESO DE INUNDACIÓN

El proceso de inundación de los pozos de la Zona Candín se ha estimado teóricamente. Actualmente se extrae agua a través de la caña del pozo en el Pozo Candín I, que bombea al exterior desde 7^a planta, en el Pozo Candín II que bombea el agua al exterior desde 250 m de profundidad y en el Pozo Fondón, que bombea al exterior desde 5^a planta.

Para el estudio del proceso de inundación de la Zona Candín se han realizado estimaciones teóricas a partir de los datos de bombeo de los pozos mineros entre los años 2002 y 2010 (caudal medio anual: 1.616.373 m³) y del volumen de huecos calculado en 11,9 Millones de m³.

Con los datos expuestos, se ha calculado el tiempo de inundación de los pozos Candín I, Candín II y Fondón (figura 12-1).

Según el posible escenario de cierre de los pozos mineros, se estima que el cese de actividad de la Unidad Candín-Fondón y por consiguiente su inundación, comenzará a partir del 1 de enero de 2013. Se estima que, con un caudal de llenado de 134.698 m³/mes, calculado de la media de bombeos de los últimos años (2002-2010), en el tiempo estimado de 7 años y 5 meses se llenará un volumen de huecos de 11,9 Mm³ (figura 12-2).

Esta inundación hay que abarcarla por bloques. Se llenarán en primer lugar las plantas inferiores de los pozos individualmente, hasta la primera conexión inferior, en 5^a planta nueva (-254 m s.n.m.). Tomando en conjunto los volúmenes de huecos de las

plantas inferiores y con el caudal de entrada medio considerado anteriormente, se estima su llenado en 1 año y 2 meses; aunque esta cifra será variable, ya que hay que tener en cuenta que cada pozo se llenará, hasta este nivel de conexión, por individual y con diferentes caudales de entrada. Una vez alcanzada la cota de conexión en 5^a planta, estimada para principios de marzo del año 2014, se llenará en bloque todo el conjunto. La siguiente cota de conexión se alcanzará 1 año y 8 meses después, 1 de noviembre de 2015.

Finalmente, con el mismo caudal, se llenarán el resto de las labores, hasta el punto de vertido natural, que sería la brocal del pozo Fondón (217,95 m s.n.m.) en 7 años y 5 meses.

Por después del cierre de la unidad Candín-Fondón, propuesto para el 1 de enero del año 2013, y según los cálculos expuestos, la inundación total finalizaría en el mes de abril del año 2023.

Hay que tener en cuenta que estas estimaciones se han realizado con datos de caudales bombeados nominales y de un periodo de tiempo corto (6 años). Para afinar mejor los cálculos habría que realizar más estudios de caudales y estimaciones climáticas. Por ejemplo, si se utiliza la media mensual del caudal de bombeo del año más lluvioso, (dentro del margen de datos entre el 2002 y el 2011), que sería el año 2009, el caudal de entrada utilizado para los cálculos sería de 195.671 m³/mes. Este caudal daría un tiempo de llenado del hueco, hasta el brocal del pozo Fondón, de 5 años y 1 mes, siendo 5 años y 2 meses inferior al anteriormente estimado.

Esta gran diferencia de tiempo, hace que sea necesario realizar un seguimiento y control de dicha inundación a través de la medida de niveles en las cañas de los pozos y recomendable las instalación de piezómetros en un entorno próximo.

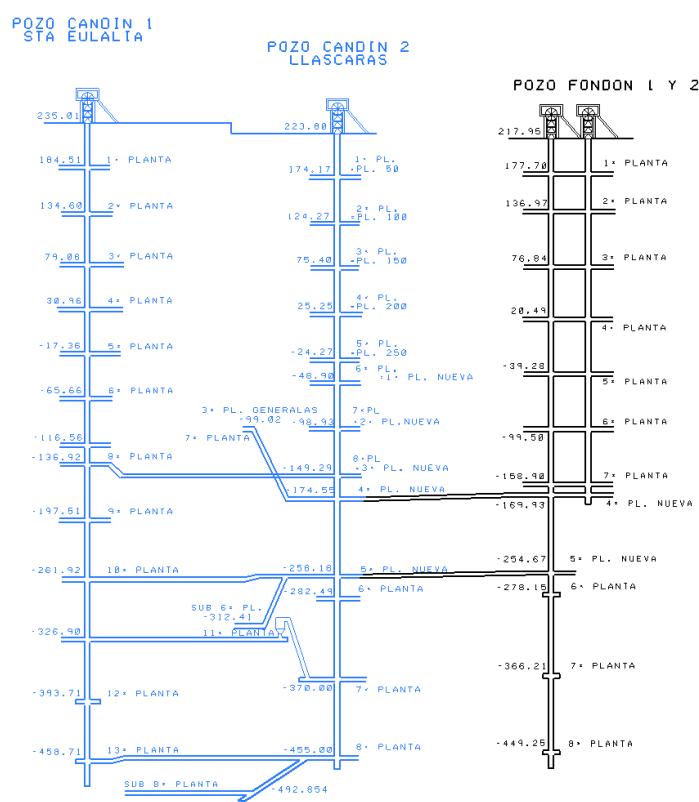


Figura 12-1.- Esquema de conexiones de labores mineras de la Zona Candín.

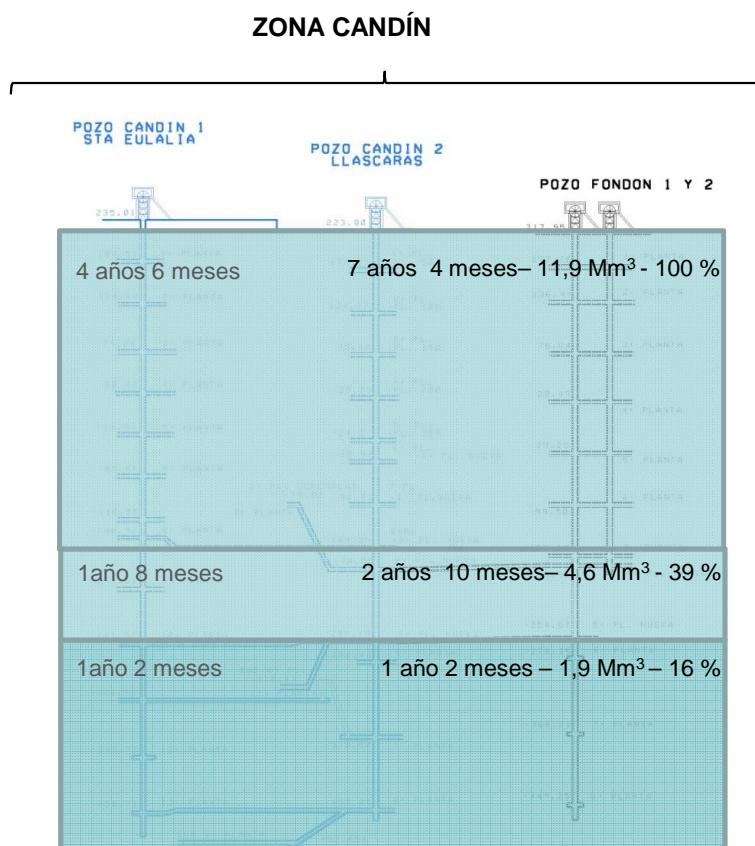


Figura 12-2.- Estimación de llamado de las labores mineras de las Zonas Candín.

12.2. MODELO DE INUNDACIÓN

Ante la necesidad de conocer la evolución del almacenamiento 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, en colaboración con 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 necesaria

para el normal desarrollo de la actividad (pozos de extracción, galerías de acceso, galerías de explotación, etc.), 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, basándose en 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 los anexos, en el apartado I.3 correspondiente al Modelo de inundación, aparece una descripción de la solución implementada, sus funciones, instalación y ejecución.

Funcionalidades de la aplicación

En primer lugar, la aplicación 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.

Se tuvieron en cuenta los volúmenes de huecos mineros de los pozos Candín I, Candín II y Fondón, que se representan en la figura 12-3.

Posteriormente se calculan los volúmenes reales representados por las líneas (galerías) y superficies (capas). Finalmente, se divide 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.

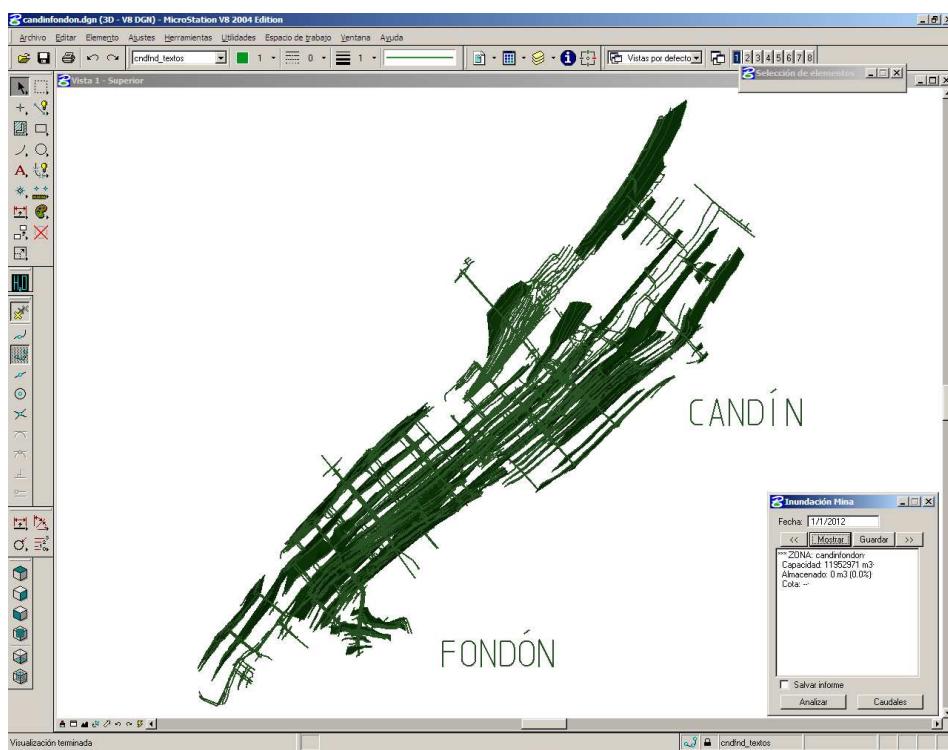


Figura 12-3.- Representación gráfica de las labores y capas explotadas de los pozos Fondón, Candín I y Candín II para el funcionamiento del modelo de inundación

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. Una vez calculadas las condiciones resultantes 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 la ventana de texto del interfaz, y gráficamente se visualizan sobre el fichero DGN 3D de las diferentes labores mineras (Figura 12-4).

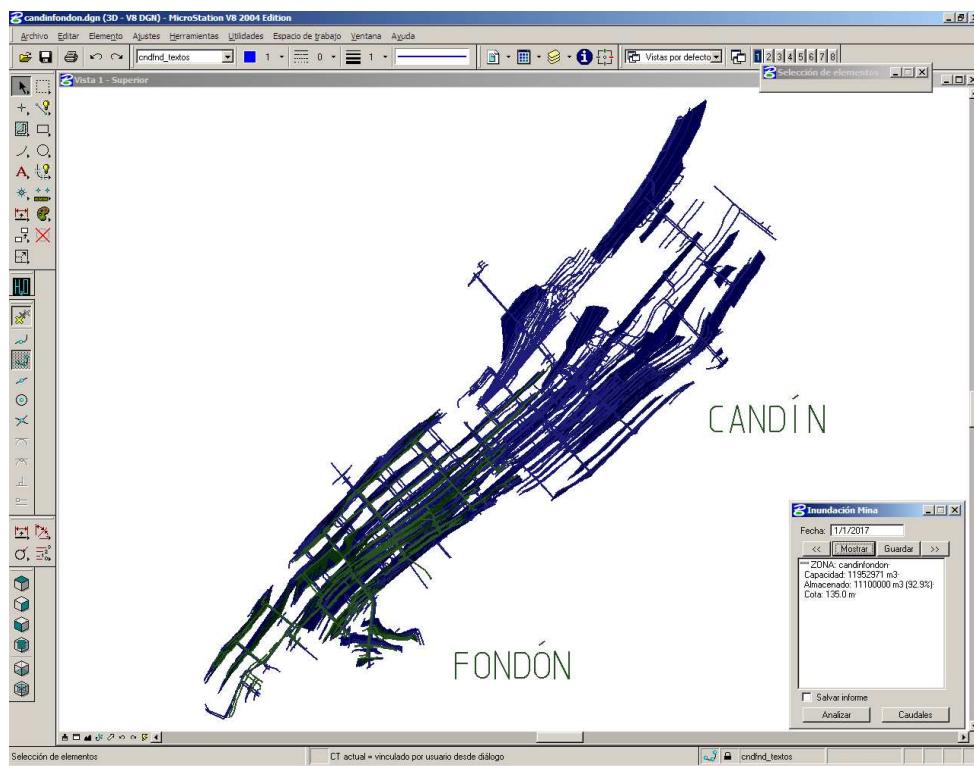


Figura 12-4.- Ejemplo de la visualización de la inundación de las labores de los pozos, donde se muestra la interfaz con los valores de volumen almacenado y cota del agua. El color azul muestra las labores ya inundadas.

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 la Zona Candín sería la que corresponde a la del brocal del Pozo Fondón (217,95 m s.n.m.) debido a la conexión existente entre el Pozo Candín II y el Pozo Fondón. 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 tendría 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.

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 +215 m s.n.m., que es la cota estimada de seguridad respecto a la que se encuentra el brocal del Pozo Fondón. En el mapa II.7 se refleja esta zona inundable y se puede observar que en ella afloran sedimentos cuaternarios, cretácicos 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 cretácicos, como ya se ha visto tienen permeabilidad variable, un aspecto que es importante a tener en cuenta para el análisis de riesgos. Los 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.

Sí pueden existir, aunque no serán considerados en este capítulo, riesgos debidos a las crecidas de los ríos, que podrían afectar a las construcciones situadas en el depósito permeable del cuaternario, ya descrito en el capítulo de hidrogeología (capítulo 9), y que podrían verse agravadas por la existencia de labores mineras.

Respecto a la afección potencial sobre los cursos superficiales se debe tener en cuenta que el porcentaje del agua de bombeo representa menos del 4% del caudal circulante, por lo que no se estima que suponga una afección negativa sobre el volumen ni la calidad del agua que forma el curso.

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 el Ayuntamiento de Langreo, y

con la mayoría de las empresas sitas en los polígonos industriales cercanos a los puntos de vertido, concretamente las ubicadas en el polígono de Lada y las zonas industriales de La Felguera, Barros, Frieres y Ciaño.

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 éstas 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 Fondón, Candín I y Candín II (caudal medio entre los años 2002 y 2010 de $1,6 \text{ Hm}^3 / \text{año}$) 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:

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

en la que:

- ΔT = salto térmico aprovechable (°C), que en un caso conservador se podría aproximar a 5°C.
- Q = volumen evacuado anualmente (m^3), que en este caso sería de hasta $1,6 \text{ Hm}^3$.
- C_e = calor específico del agua (J/kg.°C).
- ρ = densidad del agua (kg/m^3).
- t = tiempo de funcionamiento (s).

$$P_t = 5^\circ\text{C} \times 1,6 \times 10^6 \text{m}^3 \times 4186 \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} \times 1/(365 \times 24 \times 3600) \text{ s}^{-1} \approx 1,05 \text{ MW}_t$$

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 COP ≥ 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:

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

$$W_e \approx 0,26 \text{ MW}_{\text{eléctricos}}$$

A partir de estos datos, considerando el rendimiento de las bombas de calor habituales, se tiene que un consumo de 0,26 MW_{eléctricos} generaría una potencia térmica de calefacción de $1,05 + 0,26 = 1,31 \text{ MW}_t$.

Puesto que, como se ha dicho, la bomba estaría disponible durante 24 horas diarias, esto supondría una energía térmica anual disponible para calefacción de 11.498 MWh_t/año, consumiendo únicamente 2.300 MWh_{eléctricos}/año.

El uso de esta fuente de calor disminuye de forma importante las emisiones de CO₂ 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.

Cabe señalar, además, que este suministro térmico puede ser muy competitivo económicamente frente a los sistemas convencionales de suministro de refrigeración y calefacción, 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, energía eléctrica 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. Integrando 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.

Asimismo, y 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 11,9 hectómetros cúbicos, en el cual se infiltran anualmente una media de 1,6 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 30 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 20º 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 Candín I, Candín II y Fondón se ha estimado en 1,05 MWt, sin considerar tecnologías de reinyección del agua en las mismas.

16. 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.

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.

Convenio de Colaboración entre HUNOSA, Universidad de Oviedo e IGME (Convenio HUNOSA-IGME-UNIOVI) (2011). Estudio sobre la inundación de los pozos mineros de la Zona Modesta (Valle del Nalón). Documento inédito.

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.

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.

García-Loygorri, A., Ortúñoz, 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, A. (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 residenciasl “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 Fundacion Marcelino Botín. 94 pp

Lotze, F. (1945): Zur Gliderung der Varisziden der Iberischen 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 Roces, 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., Gerville, M., Laveine, J.P., Loboziak, S., Brousseiche, 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 Llaneza, 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.

Tecnia, (2009). Proyecto del aparcamiento subterráneo en Sama de Langreo

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).