
LA ESCOMBRERA DE MORGAO COMO ACUÍFERO: ESTUDIO HIDROGEOQUÍMICO

**LOREDO PÉREZ, Jorge, ORDÓÑEZ ALONSO, Almudena y PENDÁS FERNÁNDEZ,
Fernando.**

Dpto. Explotación y Prospección de Minas. E.T.S. Ingenieros de Minas. Universidad de Oviedo.

Independencia 13. 33004 Oviedo.

E-mail: jlredo@correo.uniovi.es

RESUMEN

La presencia de antiguas actividades mineras (Mina de Los Ruedos) y el almacenamiento de un gran volumen de estériles de lavadero de carbón (Escombrera de Morgao) en la cuenca del arroyo de Morgao incide directamente sobre la regulación y la calidad de las aguas en esta pequeña cuenca que vierte sus aguas al río Caudal, uno de los más importantes de Asturias. Se estudia la calidad de las aguas, tanto superficiales como subterráneas, en diferentes puntos de la cuenca, mediante el análisis de muestras representativas tomadas aguas arriba y abajo de las labores mineras y escombreras. Se considera la influencia de las aguas de mina y lixiviados de escombrera sobre las características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas de la cuenca, y se proponen medidas correctoras.

PALABRAS CLAVE: Hidrogeología, Hidrogeoquímica, contaminación, escombreras

1. INTRODUCCIÓN

La cuenca del arroyo de Morgao constituye una pequeña subcuenca del río Caudal, en la que al final de los años sesenta y principio de los setenta tuvo lugar una actividad minera de poca importancia para extracción de mercurio. Como resultado de esta actividad quedan restos de las labores mineras desarrolladas cerca del paraje de Roiles, consistentes en una pequeña mina de montaña (Mina Los Ruedos) y una escombrera, ambas sobre la ladera de la parte alta del valle del arroyo de Morgao. Aguas abajo de éstas, se encuentra una escombrera de estériles de lavadero de carbón de grandes dimensiones (escombrera de Morgao), en activo durante los años sesenta y setenta y restaurada posteriormente.

Es de sobra conocido que uno de los principales problemas relacionados con las explotaciones mineras es la acidificación de las aguas que entran en contacto con materiales que contienen sulfuros. En la cuenca del arroyo de Morgao tanto las aguas de

escorrentía que se infiltran a través del terreno y circulan a través de los huecos mineros creados en las antiguas explotaciones de Los Rueldos como los lixiviados de la escombrera en la que se almacenan los estériles de mina tienen un carácter muy ácido y altos contenidos en arsénico y metales pesados. Parte de estas aguas se infiltran a través de la escombrera de Morgao que asentada sobre pizarras carboníferas impermeables, muy alteradas en superficie, constituye un acuífero libre de cierta importancia que transmite dichas aguas al río Caudal, aportando de forma continuada contenidos importantes de arsénico y metales pesados a éste.

En el presente artículo se estudian las características hidrogeológicas e hidrogeoquímicas de la cuenca del arroyo de Morgao, y la influencia que sobre ésta presentan las labores mineras y escombreras existentes.

2. ESTUDIO DEL MEDIO FÍSICO

El arroyo de Morgao es un pequeño cauce tributario del río San Xuan, que a su vez es tributario del río Caudal a su paso por la población de Mieres (20 km. al suroeste de Oviedo), de unos 30.000 habitantes en la actualidad (Figura 1). La zona en la que se localiza la cuenca del arroyo de Morgao presenta un clima atlántico, caracterizándose por tener veranos e inviernos suaves, humedad alta y abundantes precipitaciones durante gran parte del año. De acuerdo con los datos facilitados por el Instituto Nacional de Meteorología las temperaturas medias anuales correspondientes a un periodo de 27 años (1972 – 1999), varían entre 7,7°C y 18,4°C; y según las efemérides meteorológicas registradas en los últimos 100 años las máximas absolutas no superaron los 36,4°C, alcanzando las mínimas absolutas los -6,0°C. Las temperaturas medias mensuales fluctúan entre 7,7°C y 14,1°C en los meses de invierno y entre 15,9°C y 18,4°C en los de verano.

Con los datos de una estación meteorológica próxima situada en la cuenca del río Aller, se ha podido determinar que la precipitación media anual, para un periodo de 16 años, desde 1986 hasta 2001, es de 1.056 mm, con valores extremos de 791 mm para el año más seco (1989-90) y de 1.289 mm para el año más húmedo (1987-88). El valor medio de la precipitación máxima en 24 horas, para el mismo periodo de tiempo, es de 51,3 mm. La evapotranspiración potencial media anual, calculada por el método de Thornthwaite y expresada en mm/mes, es de 57,6.

Dado el régimen de precipitaciones y los datos de temperaturas, no se presenta déficit de reservas de agua en el terreno ni siquiera en los meses estivales, coincidiendo la evapotranspiración potencial con la evapotranspiración real, y acumulándose importantes reservas de humedad en el suelo. Dado que la precipitación media anual es de 1.056 mm/año, y el valor de evapotranspiración potencial 691 mm/año, la precipitación útil media anual es de 365 mm/año.

3. ÁMBITO GEOLÓGICO

Desde un punto de vista de geología regional, la cuenca del arroyo de Morgao se encuentra situada en el borde noroccidental de la Cuenca Carbonífera Central Asturiana, en la denominada Unidad de La Justa–Aramil, entre dos importantes fracturas de dirección NW-SE: la Falla cabalgante de La Peña y la Falla de La Carrera (Figura 1). Los materiales presentes en la zona corresponden al Carbonífero Superior, de edad Westfaliense D, equivalentes a los definidos en la Cuenca Central para los paquetes Tendeyón y Caleras (García Loygorri et al., 1971). Los sedimentos presentes están constituidos por areniscas, conglomerados, lutitas, lutitas calcáreas, y niveles carbonosos de escaso espesor, y se han depositado en un medio costero, si bien con facies más próximas al continente que las localizadas en la unidad de Cuenca Central (Luque, 1985). Los sedimentos carboníferos están recubiertos, de forma discordante, por materiales pertenecientes al Estefaniense Superior – Pérmico Inferior, que constituyen la “Formación San Tirso” y que comprenden conglomerados calcáreos en la base, lutitas carbonosas, lutitas arcillosas, tobas ácidas o intermedias, generalmente muy alteradas, y cineritas. En particular, la cuenca del arroyo de Morgao se sitúa en la proximidades de la falla de La Carrera, y más en concreto en su zona de influencia, donde existe una intensa tectonización. La formación que constituye la cuenca del arroyo de Morgao es una potente serie de pizarras con intercalaciones de areniscas, conglomerados y calizas. En la figura 1 se representa un esquema geológico y la columna estratigráfica sintética de la zona, que muestra los materiales presentes en el área objeto de estudio y sobre los que se centran los aspectos hidrogeológicos de la cuenca del arroyo de Morgao.

Las características geológicas y metalogenéticas de la mineralización de mercurio explotada en la cuenca del arroyo de Morgao no difieren en gran medida de las de otros yacimientos de mercurio de la zona como La Peña – El Terronal, unos 3 km. más al norte, en el valle del río San Tirso. La mineralización encaja en niveles de areniscas y conglomerados brechoides que alternan con secuencias lutítico-arenosas del paquete Tendeyón (Westfaliense D), distribuyéndose la zona mineralizada principalmente en la brecha y en las fracturas que afectan a las areniscas adyacentes. La paragénesis mineral está constituida por cinabrio, melnikovita, calcopirita, galena, esfalerita, estibina, marcasita, pirita (a veces con elevado contenido en arsénico), rejalgos y minerales de alteración supergénica. El cinabrio se presenta tanto impregnando la matriz arenosa o carbonoso-arenosa de la brecha como en rellenos de fisuras irregulares, correspondientes a diaclasas o fallas que afectan tanto a aquella como a las areniscas.

4. LABORES MINERAS EN LA CUENCA DE MORGAO.

Las labores mineras de Los Ruedos, realizadas a finales de los años sesenta y comienzos de los setenta, en el siglo XX, en el paraje de Roiles, que dista aproximadamente 2 km. de la población de Mieres, adquirieron un escaso desarrollo en ambas laderas de la divisoria entre los valles del arroyo de Morgao y del río San Tirso. Es de destacar que en la ladera

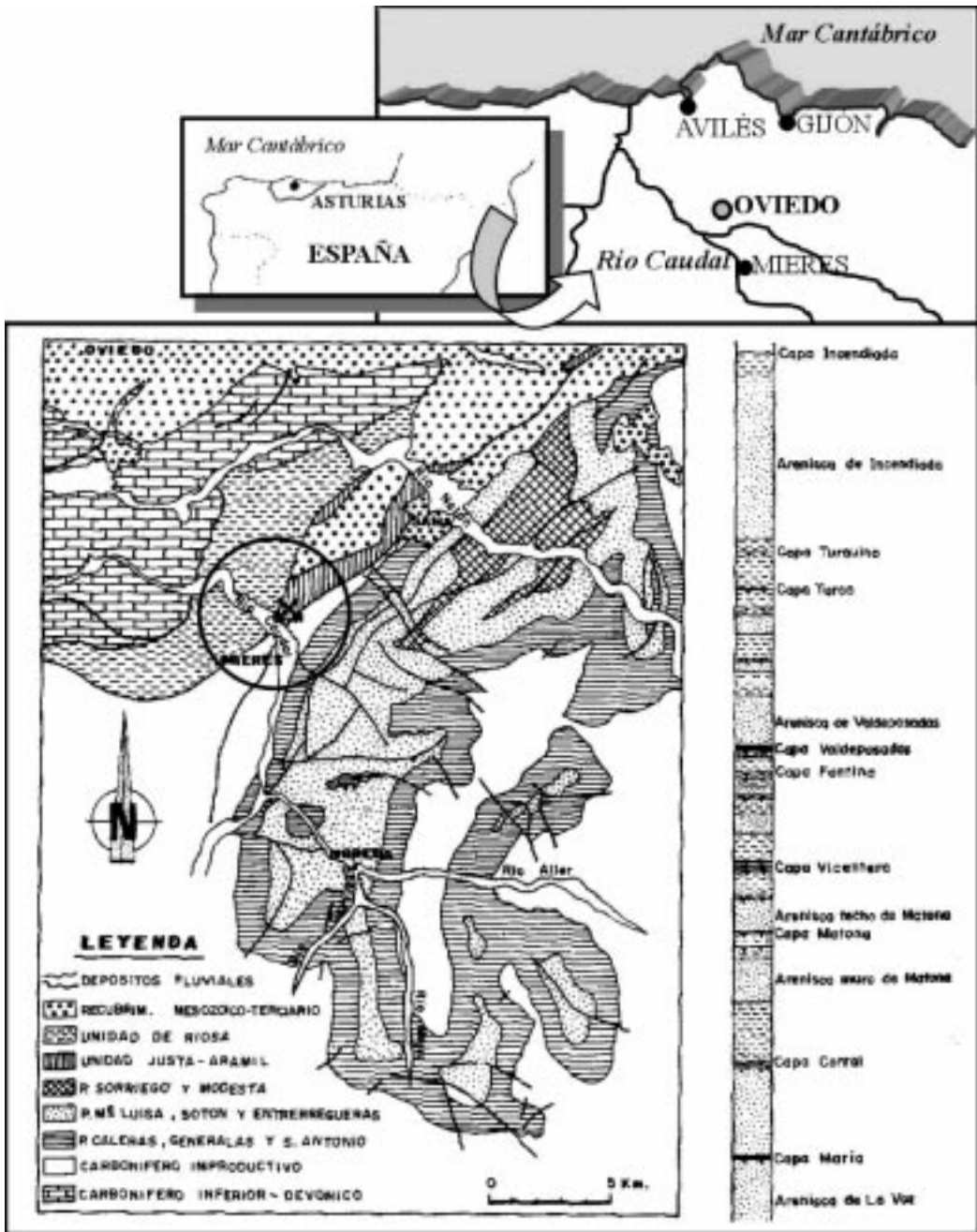


Figura 1. Mapa de situación, mapa geológico y columna estratigráfica sintética, indicando las capas de carbón de la zona (modificado de Luque et al., 1992)

situada más al norte se realizó un transversal pero sin llegar a interceptar la mineralización reconocida en la ladera situada más al sur. Estas labores mineras, que intentaron repetir, sin éxito, la explotación de niveles mineralizados similares en las zonas de La Peña y El Terronal, en el valle del río San Tirso, que son las minas de mercurio de mayor importancia de todas las explotadas en Asturias, no llegaron a adquirir la importancia de éstas, puesto que, tanto las reservas como las leyes del nivel mineralizado son notablemente inferiores a las de aquellas. En la cuenca del arroyo de Morgao la explotación de mercurio se manifiesta en forma de dos bocaminas, a diferente cota topográfica, en la ladera NW del valle de Morgao, y una escombrera de estériles de mina en la que se almacenó el material desechado para su envío a tratamiento en planta metalúrgica (Foto 1).



Foto 1. Vista general de ambas escombreras y la cuenca del arroyo Morgao

La escombrera de mercurio de Los Ruedos está situada en la parte alta del valle de Morgao, en la divisoria entre éste y el valle del río San Tirso a pocos metros de las dos bocaminas. Esta escombrera tiene un volumen de residuos acumulados del orden de 3.000 m³ de estériles de mina de tamaño grueso a fino, bastante heterogéneo, repartidos sobre una superficie de unos 1.400 m² (Baldo, 2000). Desde un punto de vista geomorfológico la escombrera se sitúa en una zona de fuerte pendiente, lo que hace que los arrastres del material por el agua de escorrentía en época de lluvias intensas sea apreciable y se produzcan profundos surcos de erosión sobre su superficie. La escombrera está formada por dos bancos de diferente altura y pendiente, separados por un gran

socavón formado por el agua de escorrentía. El sector superior que es el de mayor extensión, también es el que tiene una mayor pendiente (del orden de un 40 %).

De la bocamina inferior fluye, durante todo el año, un pequeño caudal de agua formándose a la entrada de la misma una pequeña balsa de aguas ácidas. Al pie de la escombrera de Hg existe un canal perimetral excavado en la escombrera de carbón, no impermeabilizado, para recoger las aguas de mina que salen de la bocamina inferior y los lixiviados de la escombrera. Los materiales almacenados en la escombrera presentan un pH que varía entre 3,3 y 4,6 unidades y contenidos muy altos en arsénico y metales pesados (Loredo, 2000; Loredo et al., 1999). En la tabla 1 vienen indicados los valores de los análisis químicos para As, Hg, Pb y Sb, de 9 muestras representativas del material presente en la parte superficial de la escombrera (0,20 m), tomadas en diferentes puntos de la misma; también se incluyen los análisis de 4 muestras tomadas a diferentes profundidades en una calicata realizada con pala mecánica en la base de la escombrera hasta llegar a cortar los materiales subyacentes (arcillas). En esta zona el espesor de residuos mineros acumulados en la escombrera es de 0,80 metros, por debajo de los cuales ya se encuentran las arcillas subyacentes. Las muestras han sido analizadas mediante ICP en los laboratorios de ACME en Vancouver (Canada).

	N° Muestras	Profundidad (m) y Tipo Material	As (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Sb (mg/kg)
Muestras superficiales	9	0,20 (Estériles)	Med.:33.842 Min.:4.746 Max.:62.196	Med.:526 Min.:14 Max.:2.224	Med.:3.931 Min.:92 Max.:22.667	Med.:2.391 Min.:23 Max.:17.396
Muestras en un perfil vertical en la escombrera	1	0,20 (Estériles)	41.939	69	274	68,2
	1	0,55 (Estériles)	29.127	71	230	68,4
	1	0,80 (Arcillas)	4.190	22	51	13,2
	1	1,40 (Arcillas)	3.344	18	19	6,6

Tabla 1. Intervalos y valores medios de concentraciones de algunos elementos en muestras superficiales de escombrera y evolución de la concentración con la profundidad en un corte en la escombrera.

Como ya se ha mencionado, la parte inferior de la escombrera de la mina de Los Ruedos descansa sobre una escombrera rehabilitada de estériles de carbón procedentes del lavadero de El Batán, de la empresa HUNOSA. Esta escombrera de estériles (escombrera de Morgao), ocupa una superficie de unas 175.000 m², y almacena un volumen de residuos del orden de los 3.000.000 m³, llegando a alcanzar en algunas zonas un espesor de unos 50 m. sobre la cota topográfica del valle original.

5. SISTEMAS DE DRENAJE DE AGUAS

La escombrera de Morgao está constituida por estériles procedentes de un lavadero de carbón, de forma que el material es bastante homogéneo, con una densidad media de 2,15 g/cm³, 5,9 % de humedad y permeabilidad de 1,21 x 10⁻⁵ (ENADIMSA, 1.972). Otras características físico-químicas de estos materiales son: 10,9 % carbono fijo, 81,1 % cenizas, 8,0 % volátiles, 0,33 % azufre y 19,6 % pérdidas por calcinación.

La escombrera de estériles de carbón se apoya sobre un substrato de pizarras, cuyo nivel superior está fuertemente alterado. En esta escombrera, se empezaron a depositar los estériles en 1961, cuando la concesión minera pertenecía a la empresa Fábrica de Mieres, que posteriormente se integró en HUNOSA. El procedimiento de vertido empleado era el de cangilones, guiados por un teleférico, que descargaban el material por medio de un basculador móvil en conos que eran posteriormente aplanados, sin compactación posterior; formando los taludes del depósito una especie de dique transversal al cauce del arroyo de Morgao, que se encuentra canalizado a su paso por la escombrera de carbón, a través de una galería subterránea, que sirve de galería de drenaje. A mitad de los años 60 un gran deslizamiento, causado por la acumulación de agua en la escombrera de carbón como consecuencia de la baja permeabilidad de los estériles, anegó varias casas y llegó a cortar la carretera general N-630, distante casi un kilómetro de distancia de la base de la escombrera.

En 1967 se inicia la construcción de un sistema de drenaje consistente en dos galerías excavadas en material de la escombrera. Dichas galerías principales de drenaje, de 1,5 m de alto por 1 m de ancho aproximadamente y pendiente variable, están conectadas a otras galerías secundarias que encauzan las aguas que llegan a la escombrera en el contacto con las primitivas laderas. Las dos galerías principales tienen un recubrimiento de hormigón armado con agujeros perforados de pequeño diámetro para permitir la infiltración de las aguas. Estas galerías confluyen en la base de la escombrera y conectada a ellas existe otra red de drenaje secundario que guía las aguas superficiales por el interior de la escombrera, incluyendo el arroyo de Morgao. Estas redes de drenaje secundario recogen filtraciones del subsuelo, el agua superficial de escorrentía y el agua que se infiltra directamente a través del material de la escombrera.

El sistema de drenaje superficial está constituido por una serie de zanjas perimetrales que impiden que el agua de escorrentía penetre en el interior de la escombrera y llevan esta agua hacia la base de la misma por medio de una zanja parcialmente revestida de hormigón que también recoge el agua superficial de la parte baja de la escombrera por medio de una serie de canales de tierra. En la base de la escombrera confluyen el sistema de drenaje superficial y el subterráneo, para constituir el canal principal de desagüe en la base de la escombrera, donde se juntan las canalizaciones subterráneas y la acequia de hormigón que drena superficialmente la escombrera. Esta galería que vierte el agua de la escombrera en el cauce del arroyo de Morgao, tiene una sección de 1,90 m de alto por 1 m de ancho, y una inclinación de un 4 %. En la figura 2 viene representado de forma esquemática el canal de drenaje, tanto superficial como subterráneo.

Las aguas procedentes de la mina de mercurio y los lixiviados de escombrera de ésta son guiados a través de un canal perimetral que tiene una sección bastante irregular, pero que se puede promediar en 1 m de ancho y 0,8 m de profundidad, con una inclinación de un 4 %, y conducidos al arroyo de Morgao. Al no estar impermeabilizado el canal, la mayor parte del agua se infiltra a través del terreno y circula a través de la escombrera de carbón.

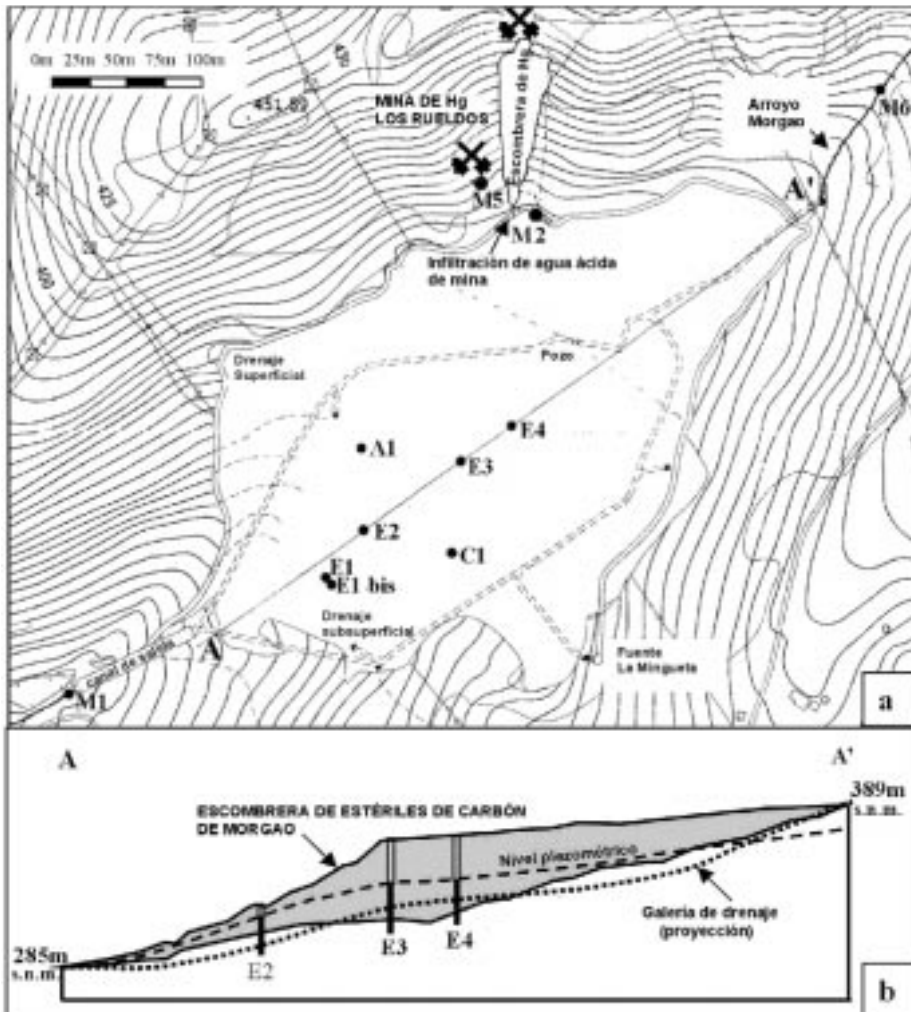


Figura 2. a) Representación esquemática de los sistemas de drenaje de la escombrera de Morgao; b) Sección de la misma.

Como consecuencia de un estudio realizado por la Empresa Nacional Adaro en 1972 se paraliza el vertido de los estériles del lavadero de carbón de El Batán en la escombrera de Morgao (ENADIMSA, 1972), que dejó de ser utilizada, así mismo se rebajó la altura de la parte superior de la escombrera y se redujo el ángulo del talud. En fechas posteriores se procedió a revegetar la parte inferior de la escombrera y se desmontó el teleférico que servía para el transporte de material. En 1997 se realizó en la explanada superior de la escombrera una plantación de manzanos de sidra.

5. HIDROGEOLOGÍA

El arroyo de Morgao se encuentra canalizado en gran parte de su extensión a lo largo de toda la escombrera de carbón (escombrera de Morgao) y reaparece aguas abajo de dicha escombrera, drenando las aguas de una pequeña cuenca de 616.300 m² de extensión (figura 3). Dicho arroyo desemboca en el río San Xuan, que a su vez es afluente del río Caudal. El caudal del arroyo de Morgao se estima en unos 20 l/s (en periodos secos llega a ser de unos 5 a 10 l/s), mientras que el del río San Xuan es de unos 490 l/s (Medina, 1999). En la cuenca de drenaje, el agua de escorrentía superficial es interceptada por una serie de zanjas transversales que la conducen al arroyo de Morgao.

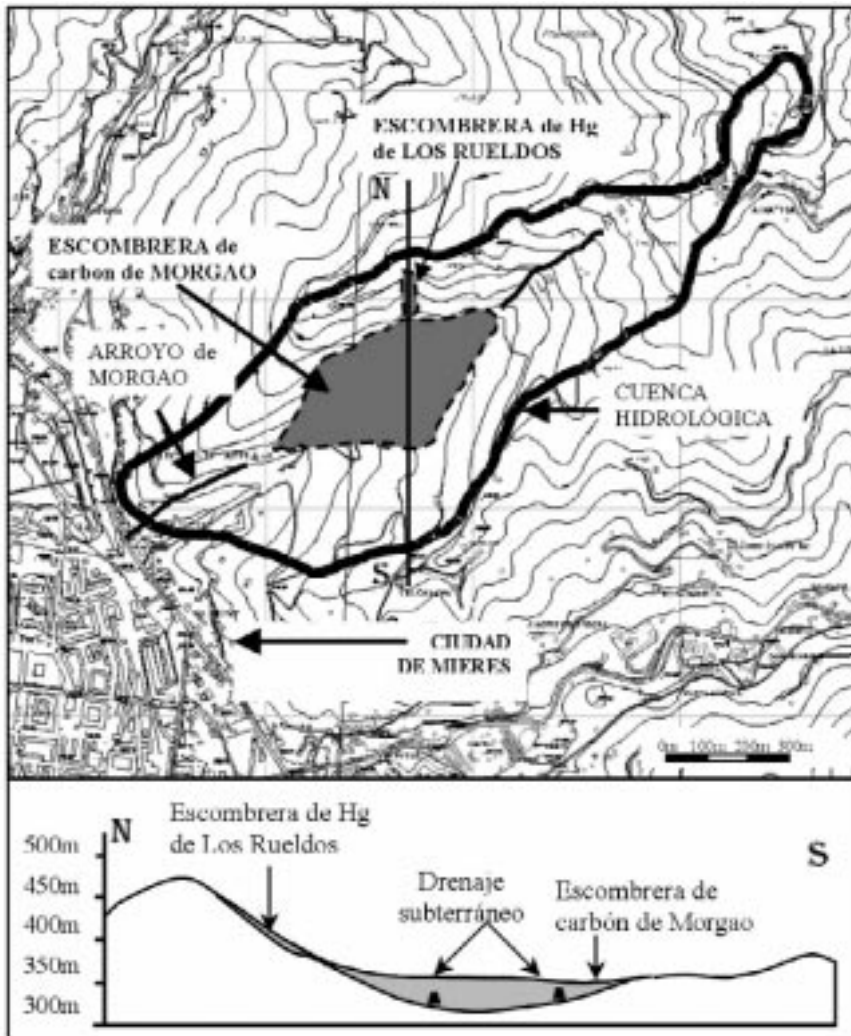


Figura 3. Delimitación de la cuenca de drenaje y localización de escombreras

En cuanto a las características hidráulicas de los diferentes materiales que constituyen el substrato de la cuenca, constituido por una alternancia de areniscas, pizarras y alguna capa de carbón, éstos se pueden considerar como un conjunto de rocas bastante homogéneo, y desde el punto de vista hidrogeológico, se comportan como substrato impermeable. El agua que no se evapora ni fluye superficialmente, se infiltra a través de los materiales coluviales y pizarras alteradas, más permeables, dando lugar a la aparición de manantiales de pequeños caudales como es el caso de la fuente de La Mingueta (Fig. 2). La potencia de pizarras meteorizadas es mayor en la zona de la ladera NW del valle, y por lo tanto la infiltración también será mayor. Las areniscas constituyen un acuífero local aislado, condicionado además por su estado de fisuración. A pesar de considerar los materiales de la zona como impermeables, debido a una descompresión producida por la excavación del valle, aparecen pequeños manantiales en algunas partes.

Cabe destacar la presencia de un pequeño caudal de agua ácida ya mencionado, con valores de pH entorno a 2 y coloración rojiza, que mana del transversal de la mina de Los Rueldos situado en la parte inferior de la escombrera. Esta agua forma un pequeño embalse a la entrada de la bocamina de menor cota y luego fluye hasta una canaleta perimetral, sin revestimiento, que bordea la escombrera de carbón de Morgao, para interceptar el agua de escorrentía. El agua que llega a esta pequeña zanja perimetral, en parte se infiltra en el terreno, a través de la escombrera de carbón, y en parte escorre por dicha zanja para incorporarse al arroyo de Morgao aguas abajo de las escombreras de Los Rueldos (minería de mercurio) y Morgao (minería de carbón).

El cálculo de la intensidad máxima de lluvia en una hora se ha realizado a partir de los datos de precipitaciones diarias máximas de un Observatorio Meteorológico situado en la cuenca del río Aller, entre los años 1986 y 2000, haciendo un ajuste de esa serie de datos a la distribución de Gumbel para el cálculo de la pluviometría correspondiente a un periodo de retorno dado. Como resultado se obtiene una pluviometría de 70,60 mm/día para un periodo de retorno de 10 años, 81,58 mm/día para un periodo de retorno de 25 años, 89,73 mm/día para un periodo de retorno de 50 años, y 97,82 mm/día para un periodo de retorno de 100 años. Considerando la pluviometría para un periodo de retorno de 100 años, el valor de la intensidad máxima de lluvia correspondiente es de 14,42 mm/hora.

La escombrera de Morgao funciona en la actualidad como un acuífero pseudokárstico de doble permeabilidad en el que las galerías de drenaje hacen el papel de conductos kársticos y la matriz está formada por estériles de baja permeabilidad. Los niveles piezométricos y las galerías se controlan por seis piezómetros, repartidos en distintos puntos de la escombrera, de los cuales cinco se encuentran en la parte baja de la misma y uno en la parte superior (figura 2).

Tomando como referencia los valores de los niveles piezométricos medidos en 1.976, año de rehabilitación de la escombrera, se puede apreciar en su evolución en el tiempo una elevación considerable del nivel piezométrico en los sondeos correspondientes a la parte baja de la escombrera (C1, E12, E1 y E2) y una ligera disminución en los correspondientes

a las zonas más elevadas de la misma (E3 y E4). Las variaciones de los niveles piezométricos están fuertemente correlacionados con la infiltración de aguas pluviales. La relación entre pluviometría y nivel piezométrico, en base a las medidas semanales realizadas durante dos años en el sondeo más profundo (E4) ubicado sobre la escombrera de Morgao, viene representada en la figura 4. Se puede observar un periodo de retardo de unas tres semanas entre los periodos de fuerte lluvia y el aumento del nivel piezométrico en el sondeo, debido a la poca permeabilidad del material de la escombrera, y que da una idea de la limitación del drenaje subterráneo, factor que llevó en su momento a realizar un drenaje subterráneo en la misma a base de las galerías, para impedir problemas de estabilidad de la escombrera como había ocurrido en los años sesenta. Cabe resaltar la importancia de la escorrentía diferida provocada por la escombrera, que mantiene el caudal varios días después de las precipitaciones (el material de la escombrera actúa como regulador del caudal de arroyo de Morgao).

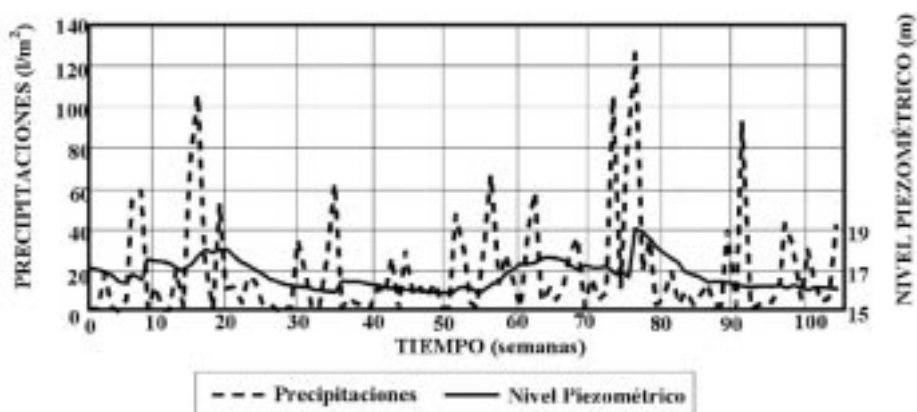


Figura 4. Relación pluviometría – Nivel piezométrico.

6. HIDROQUÍMICA

Tanto el agua de escorrentía que se infiltra y circula a través de la mina de Los Ruedos para salir por la bocamina inferior, como el que circula a través de la escombrera, están intensamente contaminadas por contacto con materiales con altos contenidos de arsénico y de metales pesados. Considerando la pluviometría y la evapotranspiración en el área de afección de las explotaciones mineras de mercurio en la cuenca de Morgao, evaluada en unos 6.000 m² (frente a los 616.300 m² estimados para el área del total de la cuenca), el flujo de agua contaminada por circulación a través de las labores mineras de mercurio (Mina de Los Ruedos y escombrera) se puede estimar en unos 3.200 m³/año, de los que parte circula por la zanja perimetral entre las dos escombreras, para alcanzar el arroyo de Morgao, aguas abajo de la escombrera de Morgao, y parte se infiltra directamente a la escombrera de Morgao. Considerando un coeficiente de evapotranspiración de 0,55 y unos valores de precipitación media anual de 971 mm, el flujo total anual de agua a través de la escombrera de carbón de Morgao es del orden de 329.135 m³, que se corresponde con el flujo de agua canalizada e infiltrada.

Se tomaron muestras de aguas superficiales tanto aguas arriba (M6) (figura 2) como aguas abajo de las labores mineras y escombreras (M1, M2, M5) (figura 2), para distintas épocas del año. Las muestras una vez filtradas y analizadas mediante ICP y AAS arrojan los resultados analíticos expresados en la tabla 2. También se tomaron muestras de aguas subterráneas en fuentes localizadas en las inmediaciones de las escombreras de Los Ruidos y Morgao, y sus resultados analíticos vienen indicados en la misma tabla. Las medidas de pH y conductividad se realizaron “in situ” con equipos portátiles de la casa HANNA.

		Mina Los Ruidos	Lixiviados escombrera Los Ruidos	Lixiviados escombrera Morgao	Arroyo Morgao aguas arriba escombreras	Arroyo Morgao aguas abajo escombreras	Aguas subterráneas
N° Muestras		3	6	8	3	3	4
pH (unid.)	Promedio	1.84	2.53	7.78	6.94	6.93	7.2
	Intervalo	1.60-2.11	2.15-3.00	6.65-8.29	6.78-7.15	6.00-7.60	7.1-7.3
Conduct. (mS/cm)	Promedio	5.53	4.85	No medido	No medido	No medido	No medido
	Intervalo	5.32-5.70	3.90-5.56	No medido	No medido	No medido	No medido
Sulfatos (mg/l)	Promedio	5300	3750	269	39	340	No medido
	Intervalo	5100-5400	2900-4600	112-356	36-42	220-480	No medido
As (µg/l)	Promedio	13400	5050	240	1	73	10
	Intervalo	9100-17700	1410-9200	80-400	1	5-200	1-23
Hg (µg/l)	Promedio	2.45	4.9	3.6	<1	<1	0.6
	Intervalo	1.2-3.7	<1-14	<1-6.1	<1	<1	0.1-0.9
Pb (µg/l)	Promedio	170	200	20	No medido	No medido	4
	Intervalo	20-330	30-480	18-22	No medido	No medido	2-15

Tabla 2. Calidad de las aguas muestreadas en el área de estudio

Los contenidos elementales de las aguas de mina y lixiviados de escombrera son notablemente más elevados en las épocas de estío, en las que el contenido en arsénico en aguas de la mina de Los Ruidos llega a alcanzar el valor de 17,7 mg/l, y se alcanzan valores de 9,2 mg/l en lixiviados de la escombrera de Los Ruidos.

Las medidas de sólidos en suspensión a la salida de la escombrera de Morgao muestran dos tipos de sólidos, en épocas lluviosas se observan unos sólidos de color pardo, que indican un arrastre de materiales arcillosos procedentes de la alteración de las pizarras, mientras que las muestras recogidas en tiempo seco presentan una turbidez rojiza, debida a la presencia de óxidos de hierro, pero en ningún caso se supera el valor límite de 80 mg/l.

El análisis mediante Electroforesis Capilar de Alta resolución (HPCE) de especies organometálicas de mercurio (HgPh⁺, HgEt⁺, HgMe⁺) en dos muestras de agua correspondientes a drenaje de mina y lixiviados de escombrera, previo filtrado de las mismas, indica valores inferiores a 2 mg/l que es el límite de cuantificación del equipo utilizado.

6. CONCLUSIONES

El flujo de agua subterránea a través de escombreras y galerías de mina se puede considerar que se comporta como un acuífero pseudokárstico, en contraste con el flujo a través de un medio poroso convencional, caracterizado por una circulación más lenta a través de los espacios intergranulares o fracturas de las rocas. El flujo de agua subterránea en un medio pseudokárstico se puede considerar caracterizado por múltiples caminos de flujo, altos valores de conductividad hidráulica y un alto grado de impredecibilidad. En el caso de la cuenca del arroyo de Morgao, los estériles de lavadero de carbón de la escombrera de Morgao y aquella parte del substrato constituida por las pizarras alteradas se pueden considerar como un claro ejemplo de un acuífero en el que la matriz está constituida por residuos mineros. Por otra parte el gran espesor que en algunos puntos llega a alcanzar la escombrera (hasta 50 m) y su extensión, 175.000 m² frente a los 616.300 m² en los que se ha evaluado la cuenca, hacen de ella un acuífero relativamente importante, con gran capacidad de almacenamiento de agua.

A este acuífero, que regula el flujo de agua de la cuenca del arroyo de Morgao hacia el río Caudal, le llegan aguas con contenidos importantes en arsénico y metales pesados procedentes de las viejas explotaciones de mercurio. Estas aguas de mina y lixiviados de escombrera contaminados se mezclan con las aguas del arroyo de Morgao y con las aguas de escorrentía del conjunto de la cuenca, con lo que tiene lugar una importante dilución de los contenidos en arsénico y metales pesados. El conjunto de estas aguas, que salen canalizadas en la parte más baja de la escombrera de Morgao y siguen el cauce del arroyo de Morgao hasta su confluencia con el río San Xuan, presentan unos contenidos en arsénico de hasta 200 µg/l. Por tanto, las aguas de la mina de Los Ruedos y los lixiviados de la escombrera de ésta, ambas de características ácidas, aportan una importante carga contaminante en arsénico y metales pesados a cursos de agua tributarios del río Caudal.

A escala de la cuenca, el funcionamiento hidráulico viene determinado por los niveles de alimentación y de descarga del acuífero. La recarga fundamental procede de la infiltración del agua de lluvia así como de los aportes fluviales que saturan los materiales por los que circulan los arroyos, mientras que el cauce del arroyo de Morgao, aguas abajo de las escombreras, constituye el principal nivel de drenaje o de descarga de la cuenca.

A la vista de los contenidos en arsénico que presentan las muestras de agua analizadas parece necesario que se adopte algún tipo de medida conducente a evitar que aguas con contenidos importantes en arsénico y metales pesados lleguen al río Caudal y sus tributarios en la zona, permitiendo preservar de forma correcta la calidad del agua por razones de salud pública y medio ambiente. Entre estas medidas se puede considerar el revestimiento con lámina de polietileno de la cuneta perimetral entre la mina de Los Ruedos y la escombrera de Morgao, que está excavada directamente sobre los estériles de carbón. Se evitaría así la infiltración de aguas ácidas en la escombrera de Morgao y con ello posibles precipitaciones y acumulación de metales pesados en el interior de la escombrera, que se lixiviarían en épocas de lluvias. Incluso se podría neutralizar el agua

ácida procedente de la mina y de los lixiviados de la escombrera mediante el relleno de la cuneta perimetral con caliza, de forma que funcione, en algunas partes de la misma, como un drenaje anóxico. También se podría considerar la retirada de los 3.000 m³ de estériles que producen lixiviados ácidos y tratar el pequeño caudal de agua que sale de la mina por ósmosis inversa u otro tipo de técnica.

BIBLIOGRAFÍA

- Baldo, C. (2000). Impacto ambiental en áreas afectadas por minería antigua de mercurio en el Concejo de Mieres (Asturias). Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo. Inédita.
- ENADIMSA (1972). Estudio de la estabilidad en la escombrera de Morgao. Inédito.
- García-Loygorri, A., Ortuño, G., Caride, E., Gervilla, M., Greber, Ch., Feys, R. (1971). El carbonífero de la Cuenca central Asturiana. *Trabajos Geología*, 3, 101-150. Univ. Oviedo.
- Loredó, J. (2000). Historic unreclaimed mercury mines in Asturias (Northwestern Spain): Environmental approaches. En: *Assessing and managing mercury from historic and current mining activities*. pp. 175-180. Environmental Protection Agency. USA.
- Loredó, J., Ordóñez, A., Rodríguez, J.R., Baldo, C., García Iglesias, J. (1999). Geochemical characterization of mercury mining spoil heaps in the area of Mieres (Asturias, northern Spain). *Journal Geochem. Exploration*, 67, 377-390. Ámsterdam.
- Luque, C. (1985). Las mineralizaciones de mercurio de la Cordillera Cantábrica. Tesis Doctoral. Universidad de Oviedo. Inédito.
- Luque, C. (1992). Análisis hidrogeológico de las explotaciones subterráneas de carbón en el grupo Aller de HUNOSA. En: *Jornadas sobre tecnología del agua en la minería*. Colección Tems Geológicos-Mineros. ITGE.
- Medina, A. (1999). Estudio hidrogeológico en la escombrera de Morgao. Proyecto Fin de Carrera. EUITMM. Universidad de Oviedo. 100p. Inédito.