



**“CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA Y COMPORTAMIENTO
AMBIENTAL DE BALSAS DE LODOS MINEROS EN DIFERENTES
AMBIENTES”.**

INFORME FINAL

**DOCUMENTO Nº V. CARACTERIZACIÓN
GEOQUÍMICA Y AMBIENTAL DEL DEPÓSITO DE
LODOS MINEROS (0938-1-0001) (CUEVA DE LA
MORA ALMONASTER LA REAL, HUELVA).**



INDICE DEL DOCUMENTO Nº V

1. <u>LOCALIZACIÓN Y ACCESO</u>	1
2. <u>DESCRIPCIÓN DEL MEDIO</u>	3
2.1. GEOLOGÍA	3
2.2. RELIEVE E HIDROLOGÍA	8
2.3. CLIMA	10
2.3.1. <u>Selección de los observatorios</u>	10
2.3.2. <u>Elementos climáticos térmicos</u>	11
2.3.2.1. Temperaturas medias mensuales y estacionales	11
2.3.2.2. Periodo cálido	13
2.3.2.3. Periodo frío, heladas	14
2.3.2.4. Continentalidad. Índice de Gorczyński	14
2.3.3. <u>Elementos climáticos hídricos</u>	15
2.3.3.1. Precipitaciones mensuales y estacionales	15
2.3.3.2. Evapotranspiración potencial mensual y estacional	17
2.3.3.3. Balance hídrico	18
2.3.4. <u>Índices y clasificaciones climáticas</u>	19
2.3.4.1. Índice de aridez de De Martonne	19
2.3.4.2. Índice de aridez de la UNESCO	20
2.3.4.3. Clasificación climática de Thornthwaite	20
2.3.4.4. Clasificación bioclimática de Rivas Martínez	23
2.4. SUELOS	25
2.5. VEGETACIÓN Y USOS DEL SUELO	27
3. <u>EXPLOTACIÓN MINERA</u>	29
4. <u>DESCRIPCIÓN DEL DEPÓSITO DE RESIDUOS</u>	30
5. <u>DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS</u>	34
6. <u>RESULTADOS</u>	40
6.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA	40
6.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA	42



6.2.1. <u>pH, azufre y Contabilidad Ácido-Base</u>	42
6.2.2. <u>Elementos medidos en extracciones secuenciales</u>	46
6.2.3. <u>Análisis ambiental del depósito</u>	49
6.3 CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA	50
7. <u>CONCLUSIONES</u>	51
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	54
ANEXO I. BALANCES HÍDRICOS	57
ANEXO II. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO	59





1. LOCALIZACIÓN Y ACCESO

La división más aceptada de la franja central de la provincia de Huelva distingue dos comarcas: el Andévalo Occidental y el Andévalo Oriental o Cuenca Minera. Cueva de la Mora se encuentra en el Andévalo Occidental, dentro de los límites del término municipal de Almonaster la Real.

El terreno es ondulado y con vegetación mayoritariamente forestal, como ocurre en gran parte de la comarca. En la **figura 1** se aprecia la situación del depósito de lodos estudiado y del poblado de Cueva de la Mora y en la **figura 2** se observa con mayor detalle la distribución de las diferentes estructuras mineras y el entorno cercano. En esta última fotografía se adelanta una subdivisión del depósito en dos partes (BALSA 1 y BALSA 2), lo que se justifica más adelante.

La forma más fácil de acceder al poblado de Cueva de la Mora es tomar la carretera A-488 desde la N-435 (de Badajoz a Huelva), a la altura aproximada del km 148'700. La carretera A-488 continúa hasta las proximidades de Valdelamusa, donde se bifurca en varias carreteras de menor entidad. Se accede a la población a la altura del punto kilométrico 22 de la carretera A-488, donde también se encuentra el puente de la Juliana que salva el barranco del mismo nombre.

La mina de Monte Romero —de la que se supone proceden los residuos mineros estudiados— afecta a la cabecera del denominado en unos mapas Barranco de Monte Romero y, en otros, Barranco de La Malena. La explotación se encuentra dentro de la hoja 938-I del IGN, E:1/25.000 (Patrás). El poblado de Cueva de la Mora es el más cercano a la explotación, a menos de un kilómetro por pistas de tierra.

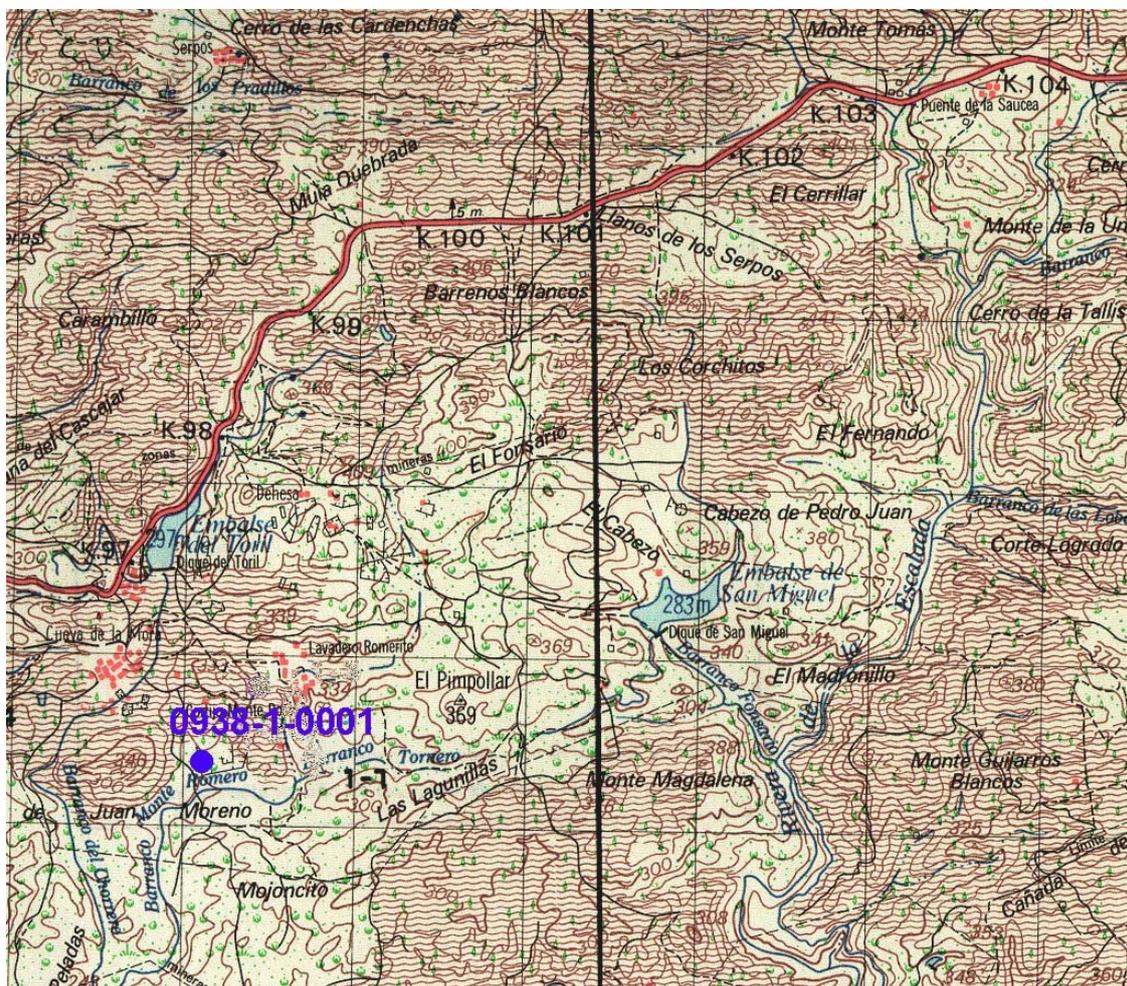


Figura 1. Situación del depósito de lodos de Cueva de la Mora, marcada con un punto sobre la cartografía 1:50.000 (hoja 938) del Servicio Geográfico del Ejército (la escala está algo modificada por el ajuste de la imagen al texto). La referencia numérica es la de “Actualización y ampliación del inventario nacional de depósitos de lodos en procesos de tratamiento de industrias extractivas”. La notación de puntos kilométricos que aparece asociada a la carretera representada en rojo es incorrecta.



Figura 2. Ortoimagen centrada aproximadamente en el depósito de lodos de Cueva de la Mora. Extraída a partir del ortofotomapa E5 0938-02-03 (vuelo de 1987) de la Dirección General del Catastro.

2. DESCRIPCIÓN DEL MEDIO

2.1 GEOLOGÍA

La Zona Sudportuguesa representa la zona externa meridional del Macizo Ibérico. En Andalucía ocupa la parte central de la provincia de Huelva, y se prolonga hasta la provincia de Sevilla. El contacto entre ella y la Zona de Ossa Morena es una importante sutura de la Cadena Hercínica Europea, marcada por las anfibolitas de Acebuches. Según Mantero *et al.* (2007), el llamado Dominio Septentrional de la Zona Sudportuguesa está constituido en su sector oriental por la Formación Pulo do Lobo del



Devónico inferior a medio (Carvalho *et al.*, 1976) y los materiales discordantes de la Formación Ferreira-Ficalho, de edad mínima Frasnense inferior (Carvalho *et al.*, 1996). En el sector oriental intruyen cuerpos plutónicos de edad Carbonífero inferior (Barrie *et al.*, 2002).

La Zona Sudportuguesa (ZSP) es, por tanto, la unidad más meridional del segmento Ibérico del Macizo Hercínico o Varisco. Se ha descrito como un terreno exótico acrecionado al autóctono ibérico como un cinturón de pliegues y cabalgamientos de vergencia suroeste (Silva *et al.*, 1990; Quesada, 1998) y con un grado metamórfico bajo. La Faja Pirítica Ibérica —identificada como Dominio Central por Mantero *et al.* (2007)— es una banda de más de 250 km de largo y 75 km de anchura máxima, donde se han localizado más de 80 yacimientos de sulfuros masivos polimetálicos y más de 300 de manganeso. Desde un punto de vista estratigráfico, la Faja Pirítica presenta rocas sedimentarias e ígneas de edad Devónico Superior–Carbonífero. La secuencia general para toda la Faja Pirítica Ibérica es simple y bien conocida, aunque las edades y evolución lateral de las tres unidades principales aún plantean algunos enigmas. Se pueden diferenciar tres unidades litoestratigráficas, que de muro a techo, son el Grupo de Filitas y Cuarzitas (Grupo PQ), el Complejo Volcano-Sedimentario (CVS) y el Grupo Culm (Schermerhorn, 1971). En este periodo los ambientes evolucionan desde una plataforma estable (Grupo PQ) hasta una cuenca antepaís sinorogénica, con la deposición del flysch (Grupo Culm) en un surco que se desplaza hacia el sur siguiendo el avance de la orogenia Hercínica (Silva *et al.*, 1990; Quesada, 1998). El Complejo Volcano-Sedimentario, es especialmente variado, con abundantes cambios laterales de litologías y facies, no existiendo niveles-guía estratigráficos que ayuden a identificar la estructura geológica. Tradicionalmente se ha reconocido que los principales yacimientos de sulfuros masivos o complejos y de manganeso de la Faja Pirítica Ibérica están asociados al llamado volcanismo ácido primero del CVS, al que se le atribuye una edad Tournaisense-Viseense inferior a medio.



A grandes rasgos, parece haber dos estilos de sulfuros masivos en la Faja Pirítica (Leistel *et al.*, 1998; Tornos, 2006). En IGME (1982) se describían las rocas encajantes de la parte norte de la Faja Pirítica como tobas ácidas esquistosas de grano medio muy silificadas. En trabajos más recientes, en los que se realizó una reinterpretación de las cartografías existentes dando un gran peso al análisis de facies volcánicas, se afirma que en la zona norte, en la que dominan las rocas volcánicas, los sulfuros encajan en niveles volcanoclásticos o epiclásticos, lo que se interpreta como producto del remplazamiento de rocas volcánicas. Por el contrario, en la zona sur, los sulfuros parecen ser exhalativos en el fondo marino y encajan predominantemente en pizarras (IGME, 2007). Además, la zona norte alberga cuerpos de sulfuros (Aguas Teñidas, San Telmo, Cueva de la Mora, San Platón, etc.) que se caracterizan por un notable incremento en metales base, en comparación con los depósitos equivalentes de la zona sur (Conde y Tornos, 2007).

En la franja norte, la secuencia litológica encajante está formada por rocas deL CVS; al norte, y limitado por grandes cabalgamientos, aflora el Grupo PQ compuesto por pizarras y areniscas del Devónico Superior. El CVS esta compuesto por una alternancia de rocas volcánicas masivas y volcanoclásticas de carácter félsico, intermedio y máfico, intercaladas por niveles menos potentes de pizarra. La serie culmina con una secuencia de pizarra y arenisca de tipo turbidítico, el Grupo Culm, que aflora al oeste de la zona estudiada (Conde y Tornos, 2007).

Para el sector septentrional, se han diferenciado, de muro a techo, seis unidades tectónicas dentro del Complejo Volcano-Sedimentario (IGME, 2007; ver **figura 3**). La Unidad Riolítica de Muro (URD) esta compuesta por riolita porfídica rica en feldespato y cuarzo que forma un sistema de domos y criptodomas intruidos por sills y diques, y brechas hialoclásticas asociadas. A techo y lateralmente, alternan niveles de argilitas volcanoclásticas y brechas volcanoclásticas ricas en fragmentos de pómez y vidrio. La zona más superior de esta unidad tiene abundantes niveles en los que se reconocen fragmentos muy deformados y alterados de pómez y vidrio. Los fragmentos tienen un tamaño irregular y una morfología lenticular paralela a la foliación, y están compuestos por una masa de clorita con gran proporción de cristales idiomorfos o subidiomorfos de



feldespato y cuarzo. Lateralmente, estas brechas pasan a niveles volcanoclasticos de grano más fino interestratificados con cinerita. Están compuestos por cuarzo y sericita, y menor contenido de clorita, epidota y sulfuros diseminados. A techo de esta unidad, y en relación directa con los niveles de brecha se localizan los sulfuros masivos de Aguas Teñidas, Castillejito y Cueva de la Mora. Estos sulfuros tienen una zona de *stockwork* infrayacente y contacto remplazante con la roca de muro. En general, todas las rocas que constituyen esta unidad están irregularmente alteradas, probablemente por efecto de la circulación hidrotermal asociada a la formación de la mineralización. Mediante un contacto tectónico definido por una importante zona de cizalla, la secuencia pasa a la que se ha denominado Unidad Volcano-Sedimentaria (UVS), formada por lavas basálticas vacuolares y rocas epiclásticas asociadas (areniscas y argilitas) alternando con pequeños niveles de pizarras. Esta unidad se caracteriza por los frecuentes cambios laterales de facies. Mediante otro contacto tectónico, la secuencia pasa a otra unidad dominada por rocas félsicas que alternan con niveles polimicticos con numerosas intrusiones félsicas y máficas, formando la Unidad Riolítica Superior (URT). Otro contacto tectónico pone en contacto la URT con Unidad Sedimentaria (US) compuesta por pizarra gris interestratificada por argilita y sedimentos volcanoclásticos de grano fino. Esta unidad está caracterizada por una intensa deformación. La secuencia culmina con dos unidades volcánicas. La Unidad Dacítica Superior (UDS) está compuesta por rocas félsicas asociadas a un complejo tipo domo y con características similares a la URD. Por último, la Unidad Andesítica (UA) está formada por estructuras de tipo domo, ricas en hialoclastitas, y rocas volcanoclásticas de composición andesítica y cortadas por diques félsicos. Dentro de esta unidad se ha reconocido una banda norte, que engloba los afloramientos más septentrionales de la zona (Lomero Poyatos), y una zona sur, que es poco conocida, y que engloba amplios afloramientos de rocas volcánicas intermedias sin mineralizaciones conocidas (Conde y Tornos, 2007).

Todos los sulfuros masivos se encuentran muy deformados y generalmente adyacentes a grandes fracturas regionales —hasta tres fases de deformación se han reconocido en la Faja pirítica (Quesada, 1998; Soriano *et al.*, 2002)—. Esto puede ser debido a que las zonas de alteración hidrotermal adyacentes a los sulfuros masivos y ricas en filosilicatos

han canalizado la deformación, a que los sulfuros masivos son reológicamente muy distintos a las rocas encajantes o que las estructuras variscas han rejugado estructuras anteriores de alimentación de los sulfuros masivos (IGME, 2007).

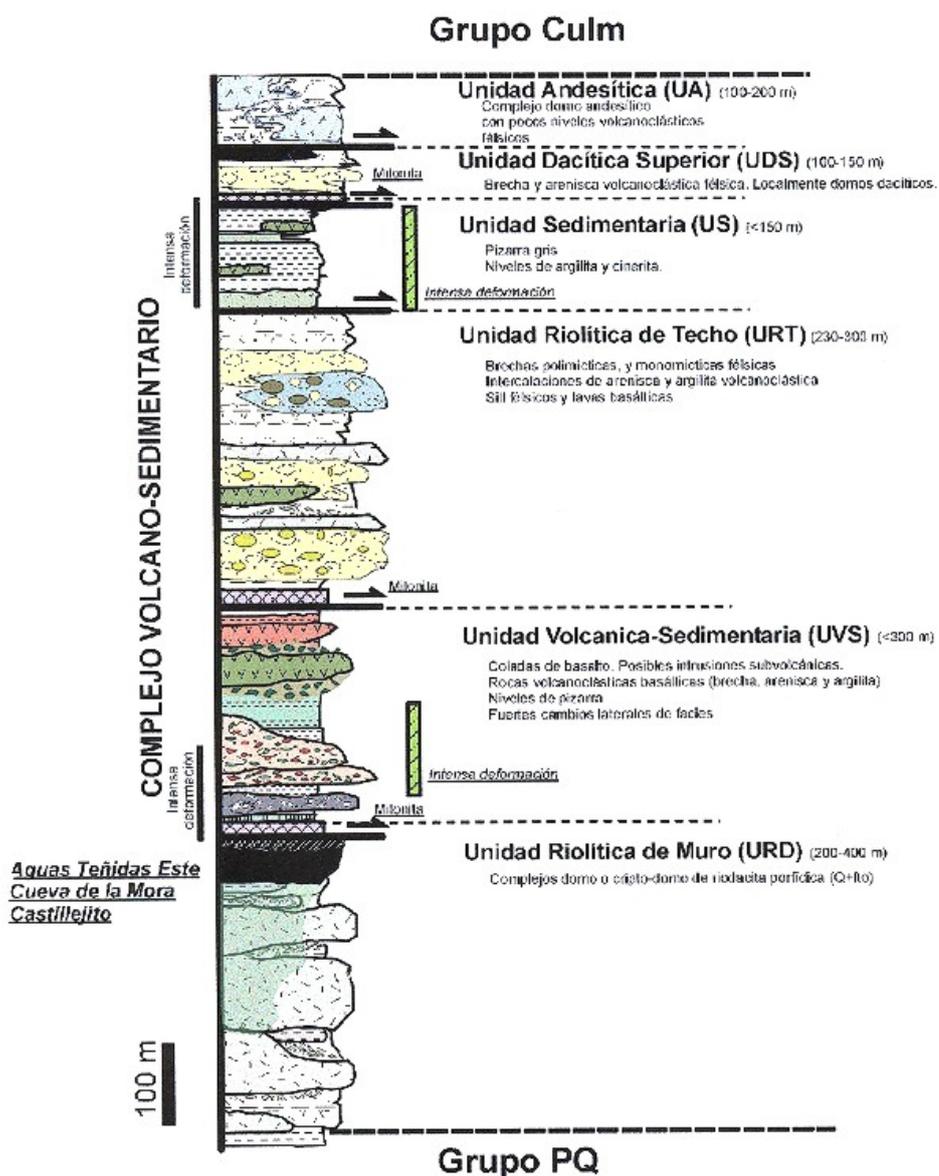


Figura 3. Columna general de la secuencia volcano-sedimentaria del área norte de la Faja Pirítica, en la banda San Telmo-Cueva de la Mora. Tomado de IGME (2007).



La mineralogía de los yacimientos de Cueva de la Mora y de Monte Romero, situados respectivamente al oeste y al este del poblado minero, ha sido descrita por García de Miguel (1990). Las especies fundamentales reconocidas en Cueva de la Mora son: pirita, calcopirita, esfalerita, galena y magnetita, siendo accesorias: pirrotina, cobre gris y arsenopirita. El yacimiento de Monte Romero contiene pirita, calcopirita, esfalerita, y galena como especies principales, y marcasita, pirrotina, cobre gris y magnetita como accesorias.

2.2. RELIEVE E HIDROLOGÍA

El relieve en todo el Andévalo Occidental es alomado, dominado por cerros redondeados sobre los que destacan pequeñas sierras. Se ha dicho de él que asemeja a “un mar embravecido que hubiera quedado petrificado” (Martín Bolaños, citado en MAPA, 1991). Las máximas altitudes en este territorio rara vez superan los 400 m.

El depósito de lodos se sitúa en una ladera de pendiente suave al sur de un pequeño hueco minero y al sur-suroeste de las antiguas instalaciones mineras del Monte Romero (Lavadero Romerito), entre los relieves de Monte Romero al norte, los Riscos de los Muertos al este, Las Lagunillas al sur y el Cabezo de la Barbellina al oeste.

En todo el área no existen acuíferos importantes, debido a la escasa permeabilidad de los materiales aflorantes. Sólo en zonas muy tectonizadas es posible realizar captaciones de escasa importancia y sometidas a la estacionalidad (IGME, 1982).

Los cursos fluviales que atraviesan el Andévalo, tanto el oriental como el occidental, son de carácter muy estacional, a excepción del Tinto, el Odiel y algunos de los afluentes principales de ellos y del Guadiana. Los diques que forman el cierre del depósito por el sur se sitúan unos 75 m del cauce del Arroyo de Monte Romero. Dicho arroyo desemboca en el Barranco de la Malena, que se une a la Rivera del Olivargas en el embalse del mismo nombre. Tras su paso por el embalse, las aguas del Olivargas

afluyen directamente en el Río Odiel por su lado derecho. En la **figura 4** se muestra la situación aproximada de la zona de trabajo en la cuenca del Río Odiel.

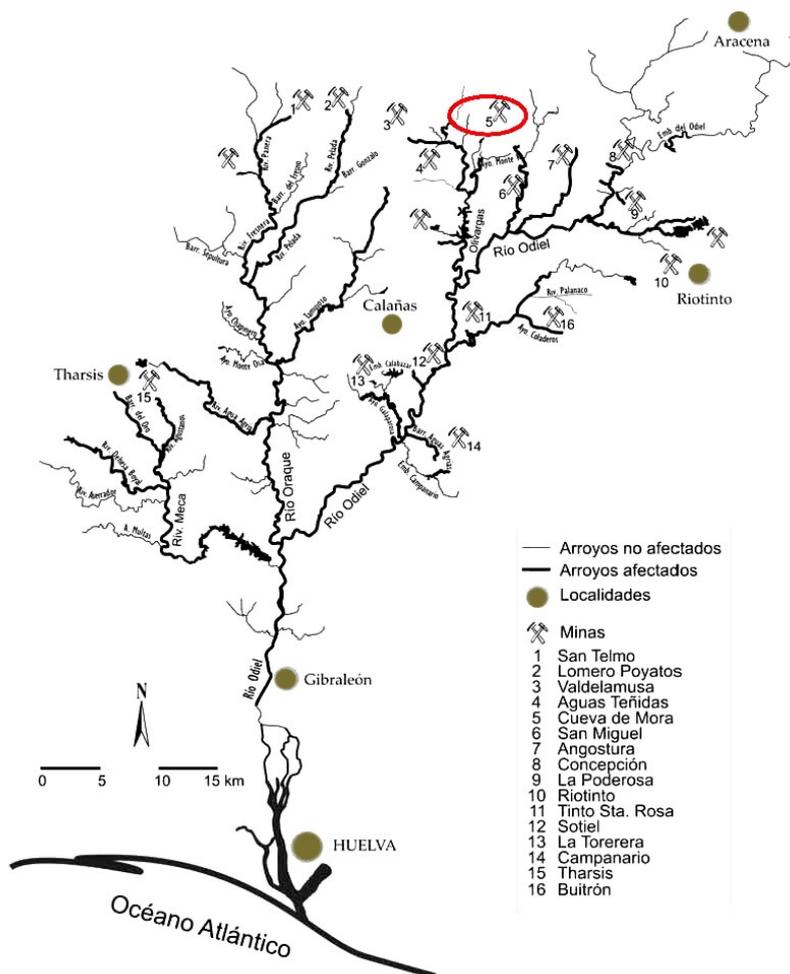


Figura 4. Situación aproximada de Cueva de la Mora en relación con la red hidrográfica del Río Odiel.

El barranco de Monte Romero y/o el arroyo Malena portan aguas fuertemente afectadas por los huecos mineros, las escombreras, las descargas de aguas ácidas procedentes de las labores mineras superficiales y subterráneas de la Mina de Monte Romero, y las aguas procedentes de la balsa seleccionada para este estudio. El pH puede oscilar entre

3'1 en el estío y 3'4 en la época húmeda, con contenidos en arsénico total disuelto de hasta 27 mg/l y de hierro de hasta 362'4 mg/l (Sarmiento *et al.*, 2005a; Sarmiento *et al.*, 2005b). En la **fotografía 1** se aprecia el aspecto de dicho arroyo en época seca.



Fotografía 1. Aspecto del arroyo de Monte Romero en agosto de 2007. Obsérvese el color rojo del agua y la abundancia de precipitados blanquecino-amarillentos.

2.3. CLIMA

2.3.1. Selección de los observatorios

Para realizar el análisis climatológico del entorno de Cueva de la Mora, se han seleccionado las estaciones pluviométricas y termopluviométricas recogidas y descritas en la **tabla I**. Los datos proceden de la publicación “Caracterización Agroclimática de la



provincia de Huelva” (MAPA, 1989), completados con otros extraídos directamente de las fichas del Instituto Nacional de Meteorología. Los criterios de selección fundamentales que se han tenido en cuenta son:

- Proximidad de la estación a la zona minera y afinidad geográfica.
- Periodo de datos suficientemente amplio y completo o con pocas lagunas subsanables.

Tabla I. Datos relativos a los observatorios meteorológicos estudiados.

NOMBRE ESTACIÓN	nº id	COORDENADAS UTM (X,Y)	ALTITUD (m.s.n.m.)	Nº AÑOS TEMPERATURAS	Nº AÑOS PRECIPITACIONES
Cabezas Rubias	4532	668450,4177490	290	1957-1991 (35)	1933-1989 (57)
Almonaster la Real	4563	694650, 4194110	610	1951-1999 (49)	1952-2003 (52)
El Cerro de Andévalo	4584	681950,4178550	310	///	1952-1980 (29)

Almonaster la Real es la estación más próxima a Cueva de la Mora. Sin embargo, la cota de la balsa minera está tan sólo a 200 m.s.n.m., lo que difiere bastante de los 610 m.s.n.m. a los que se encuentra dicha estación. La ligeramente menor altitud con respecto a los observatorios de Cabezas Rubias y Cerro de Andévalo, así como la orientación sur, llevan a pensar que el punto donde se sitúa el depósito de lodos será algo más seco y cálido que ambas estaciones.

2.3.2. Elementos climáticos térmicos

2.3.2.1. Temperaturas medias mensuales y estacionales

Las temperaturas medias de los observatorios escogidos (mensuales, anuales y estacionales) se muestran en las **tablas II y III.**



Tabla II. Temperaturas medias mensuales y anuales (°C).

MES	ALMONASTER	CAB. RUBIAS
ENERO	9,6	8,1
FEBRERO	10,5	8,8
MARZO	12,0	10,4
ABRIL	14,6	11,9
MAYO	18,2	15,0
JUNIO	22,1	19,7
JULIO	25,3	23,4
AGOSTO	24,5	23,7
SEPTIEMBRE	21,1	21,3
OCTUBRE	16,2	16,1
NOVIEMBRE	12,4	11,4
DICIEMBRE	9,9	8,7
AÑO	16,4	14,9

Tabla III. Temperaturas medias estacionales (°C).

ESTACIÓN	ALMONASTER	CAB. RUBIAS
INVIERNO	10,0	9,3
PRIMAVERA	14,9	12,4
VERANO	24,0	22,3
OTOÑO	16,6	16,4

Puede verse que los mínimos de temperatura media mensual corresponden en ambos casos a enero (rondando los 9°C) y las máximas se dan tanto en julio como agosto (alrededor de 24 ó 25 °C).

Curiosamente, la estación más cálida es Almonaster, lo puede ser debido a que este observatorio se encuentra en un valle bastante abrigado, pues es cerrado y con orientación sur. Sin embargo, la zona estudiada se encuentra más al sur que Cabezas Rubias, y cabe esperar que sea un poco más cálida que este observatorio. Por estos



motivos, se debería pensar que la temperatura anual media de la zona de Cueva de la Mora puede estar entre 15 y 16 °C.

2.3.2.2. Periodo cálido

En la **tabla IV** se muestran los valores de temperaturas medias de máximas mensuales y anuales. La duración del periodo cálido se establece determinando los meses en los que se supera la temperatura media de máximas de 30°C (estos meses están marcados en la tabla). Se considera que la probabilidad de que se alcancen temperaturas dañinas (superiores a los 38°C) es inferior al 20% durante el periodo complementario al establecido como cálido.

Se observa que el periodo cálido se prolonga durante cinco meses (de mayo a septiembre incluidos) y que por lo menos durante dos meses la media de máximas supera los 38°C, lo que indica que en esta zona se alcanzan temperaturas muy elevadas, especialmente en Cabezas Rubias.

Tabla IV. Temperaturas medias de máximas mensuales y anuales (°C). Aparecen marcados con color gris los valores superiores a 30.

MES	ALMONASTER	CAB. RUBIAS
ENERO	13,4	13,8
FEBRERO	14,5	14,4
MARZO	16,5	16,8
ABRIL	20,1	19,9
MAYO	24,1	23,5
JUNIO	28,7	29,1
JULIO	33,8	34,5
AGOSTO	33,2	35,0
SEPTIEMBRE	29,8	30,7
OCTUBRE	22,9	23,7
NOVIEMBRE	18,2	17,5
DICIEMBRE	14,9	14,1
AÑO	22,5	22,8



2.3.2.3. Periodo frío. Heladas

En la **tabla V** se muestran las temperaturas medias de mínimas de las estaciones seleccionadas. Se marcan aquellas temperaturas que no alcanzan los 7°C, pues según los criterios de L.Emberger cuando la temperatura media de mínimas de un mes es inferior a este valor, se puede considerar que este mes es frío.

Tabla V. Temperaturas medias de mínimas mensuales y anuales (°C). Se resaltan en gris aquellas que resultan ser inferiores a 7°C.

MES	ALMONASTER	CABEZAS RUBIAS
ENERO	4,8	2,7
FEBRERO	4,8	3,6
MARZO	6,2	3,7
ABRIL	7,8	4,6
MAYO	10,7	7,3
JUNIO	13,8	10,6
JULIO	16,7	13,1
AGOSTO	16,3	13,2
SEPTIEMBRE	14,8	12,0
OCTUBRE	11,3	8,5
NOVIEMBRE	7,8	5,1
DICIEMBRE	5,4	2,9
AÑO	10'0	7,3

Según los criterios de L. Emberger, se consideran fríos entre cuatro y seis meses al año. Las heladas serán posibles a lo largo de todo ese periodo.

2.3.2.4. Continentalidad. Índice de Gorczynsky

El índice de Gorczynski se calcula empleando la siguiente expresión:

$$I_G = 1.7 * [(tm_{12} - tm_1) / \text{sen } \varphi] - 20.4$$



Donde:

I_G → Índice de Gorczyński

tm_{12} → Temperatura media del mes más cálido (°C)

tm_1 → Temperatura media del mes más frío (°C)

φ → Latitud expresada en grados y centésimas de grado.

Este índice establece una relación entre la continentalidad y la amplitud térmica anual, teniendo en cuenta la proximidad de grandes masas de agua (como el mar) como amortiguadores de las temperaturas extremas. Se tiene en cuenta la latitud para compensar la tendencia de la oscilación térmica a incrementarse a medida que aumenta la latitud. En la **tabla VI** se muestran los valores obtenidos del índice con los datos de los observatorios utilizados. El resultado de la expresión indica que podemos considerar la zona como continental.

Tabla VI. Parámetros y valor del índice de Gorczyński. Calificación climática de las estaciones.

ESTACIÓN	Lat.	φ	tm_{12}	tm_1	I_G	RESULTADO
ALMONASTER	37° 52'	37.86°	25.3	9.6	23,09	Continental
CABEZAS. RUBIAS	37° 50'	37.83°	23.7	8.1	22,84	Continental

2.3.3. Elementos climáticos hídricos

2.3.3.1. Precipitaciones mensuales y estacionales

En las **tablas VII** y **VIII** se muestran los valores de las precipitaciones medias mensuales y anuales así como estacionales de los observatorios seleccionados.



Tabla VII. Precipitaciones medias anuales

MES	ALMONASTER	CABEZAS RUBIAS	CERRO DE ANDÉVALO
ENERO	157,2	145,1	125,8
FEBRERO	124,1	122,2	99,3
MARZO	103,8	97,6	106,2
ABRIL	95,7	79,3	71,2
MAYO	69,0	62,2	48,3
JUNIO	31,0	33,0	25,4
JULIO	5,1	2,9	1,4
AGOSTO	8,2	5,3	1,4
SEPTIEMBRE	44,8	29,3	34,9
OCTUBRE	112,8	109,4	84,7
NOVIEMBRE	143,1	125,9	86,4
DICIEMBRE	174,9	144,4	134,4
AÑO	1069,9	956,7	819,4

Tabla VIII. Precipitaciones medias estacionales

ESTACIÓN	ALMONASTER	CABEZAS RUBIAS	CERRO DE ANDÉVALO
INVIERNO	152,1	137,2	119,8
PRIMAVERA	89,5	79,7	75,2
VERANO	14,8	13,7	9,4
OTOÑO	100,2	88,2	68,7

En todas las estaciones se observa un fuerte descenso de las precipitaciones en verano (el mes de julio es el más seco), lo que se traducirá en la existencia de déficit estival. La estación más lluviosa es el invierno (siendo diciembre el mes más húmedo).



2.3.3.2. Evapotranspiración potencial mensual y estacional (ETP)

En las **tablas IX y X** se recogen los datos de evapotranspiración potencial (ETP) mensual, anual y estacional, obtenidas por el método de Thornthwaite. El método de Thornthwaite es el único que se puede aplicar a las estaciones termopluviométricas de la zona. Suele dar resultados sensiblemente por defecto en zonas áridas y semiáridas (lo que no es el caso). Este defecto puede verse contrarrestado cuando existe alta humedad del aire, lo que el método no tiene en cuenta. En las estaciones más cercanas al mar se reducirá la evapotranspiración real.

En definitiva, a pesar de la simplicidad del método, no es posible aplicar otro y, aunque sea difícil evaluar la calidad de los resultados con respecto a la realidad permite la comparación entre observatorios y la clasificación climática posterior.

Tabla IX. ETP media mensual y anual según Thonthwaite

MES	ALMONASTER	CABEZAS RUBIAS
ENERO	19,6	18,8
FEBRERO	22,2	21,0
MARZO	33,4	33,2
ABRIL	48,0	43,5
MAYO	75,1	69,2
JUNIO	101,7	105,6
JULIO	125,9	138,3
AGOSTO	112,2	132,0
SEPTIEMBRE	79,5	99,7
OCTUBRE	49,1	60,2
NOVIEMBRE	28,6	31,2
DICIEMBRE	20,1	20,4
AÑO	715,4	773,1



Tabla X. ETP media estacional según Thornthwaite.

	ALMONASTER	CABEZAS RUBIAS
INVIERNO	20,6	20,1
PRIMAVERA	52,2	48,6
VERANO	113,3	125,3
OTOÑO	52,4	63,7

En comparación con la cantidad de agua precipitada, la ETP no es especialmente elevada salvo en el caso del verano, donde si existirá cierto déficit de agua.

3.2.3.3. Balance hídrico

A partir de los datos de precipitación y evapotranspiración mensuales se han realizado los balances hídricos de dos estaciones (Almonaster y Cabezas Rubias) siguiendo el método directo, y tomando una reserva máxima de los suelos de 100 mm. Este método de cálculo permite la comparación entre observatorios, aunque evidentemente no se ajusta a la realidad en un punto concreto, en el que la posición topográfica puede variar la cantidad de agua aportada por escorrentía, la reserva del suelo normalmente no será 100 mm, y la ETP puede ser mayor o menor, debido a la exposición o al tipo de vegetación. Los parámetros que intervienen son:

P → Precipitación

ETP → Evapotranspiración Potencial

PPA → Pérdida Potencial Acumulada

R → Reserva

VR → Variación de la Reserva

ETR → Evapotranspiración Real

F → Falta

Ex → Exceso

D → Desagüe o Drenaje.



En el **ANEXO I** se recogen las tablas correspondientes a los balances hídricos. En la **tabla XI** se recogen los meses que pueden considerarse secos (teniendo en cuenta que estos meses son aquellos en los que la falta de agua (F) es mayor de 50 mm).

Tabla XI. Meses que se consideran secos (F > 50mm)

ESTACIÓN	MESES SECOS (RESERVA MÁXIMA = 100 mm)
ALMONASTER	Julio y agosto.
CABEZAS RUBIAS	Julio, agosto y septiembre.

A la vista de los resultados de los balances hídricos, y teniendo en cuenta las deficiencias de este método, puede considerarse razonable asignar a la zona de trabajo una falta anual alrededor de los 300 mm, concentrada en los meses de julio y agosto principalmente. El resto del año es bastante húmedo. De hecho existe un importante exceso de agua que, en algunos casos, incluso supera el déficit anual. Este exceso de precipitaciones se suele concentrar en los meses de diciembre y enero.

2.3.4. Índices y clasificaciones climáticas

2.3.4.1. Índice de aridez de De Martonne

El índice de aridez de De Martonne se expresa mediante la siguiente fórmula:

$$I_a = P / (t_m + 10)$$

Donde:

I_a → Índice de aridez

t_m → Temperatura media anual en °C

P → Precipitación media anual en mm

Con los datos obtenidos en la **tabla II**, se obtienen los resultados que aparecen en la **tabla XII**, y que califican a las estaciones elegidas como húmedas.



Tabla XII. Clasificación de las estaciones según el índice de aridez de De Martonne.

ESTACIÓN	la	ZONA
ALMONASTER	40'52	HÚMEDA
CABEZAS RUBIAS	38'42	HÚMEDA

2.3.4.2. Índice de aridez de la UNESCO

Según los criterios de la UNESCO, se clasifican las zonas áridas a partir de la precipitación, la evapotranspiración (estimada por el método de Penman), la temperatura, el número de meses secos y el período de sequía.

Aridez

En función de la precipitación media anual (P) y la ETP de Penman, ambos en mm, se evalúa el índice de aridez: P/ETP_{Penman} . La ETP_{Penman} puede ser estimada a partir de la fórmula propuesta por Hontoria (1995):

$$ETP_{Penman} = (ETP_{Thornthwaite} + 0'893) / 0'723$$

Los resultados del cálculo se muestran en la **tabla XIII**.

Tabla XIII. Calificación de la aridez según la UNESCO

ESTACIÓN	ETP Penman	P/ETP Penman	ARIDEZ
ALMONASTER	990.7	1.079	HIPERHÚMEDO
CABEZAS RUBIAS	1070.5	1.1189	HÚMEDO

Temperatura

En función de las temperaturas medias del mes más frío y el más cálido se define el tipo de invierno y el tipo de verano, respectivamente, según vemos en la **tabla XIV**.



Tabla XIV. Tipos de verano y de invierno según la UNESCO.

ESTACIÓN	tm ₁₂	tm ₁	TIPO DE VERANO	TIPO DE INVIERNO
ALMONASTER	25.3	9.6	CÁLIDO	FRESCO/TEMPLADO
CABEZAS RUBIAS	23.7	8.1	CÁLIDO	FRESCO

Número de meses secos y periodo de sequía

Contabilizando el número de meses en los cuales la precipitación media mensual es menor de 30 mm ($P_i < 30$ mm) se establece el periodo de sequía. El periodo de sequía máximo se produce durante los meses centrales del verano (julio y agosto) abarcando entre dos meses y medio a tres meses (ver **tabla XV**).

Tabla XV. Precipitación media de los meses centrales del año (mm) y nº de meses secos en cada estación

MES	ALMONASTER	CABEZAS RUBIAS
ENERO	157,2	145,1
FEBRERO	124,1	122,2
MARZO	103,8	97,6
ABRIL	95,7	79,3
MAYO	69,0	62,2
JUNIO	31,0	33,0
JULIO	5,1	2,9
AGOSTO	8,2	5,3
SEPTIEMBRE	44,8	29,3
OCTUBRE	112,8	109,4
NOVIEMBRE	143,1	125,9
DICIEMBRE	174,9	144,4
Nº MESES SECOS	2	3



2.3.4.3. Clasificación climática de Thornthwaite

Esta clasificación se realiza a partir de los resultados de los balances hídricos con reserva máxima 100 mm de todas las estaciones de estudio. Se establecen tres índices que permiten evaluar el clima de la estación:

Índice de humedad (Ih) → que es el porcentaje que suponen la suma de los excesos obtenidos en el balance hídrico con respecto a la ETP total anual.

Índice de aridez (Ia) → que es el porcentaje que supone la falta total anual obtenida en el balance hídrico con respecto a la ETP total anual.

Índice de humedad global (Im) → que es el resultado de la operación: $Im = Ih - (0,6 \cdot Ia)$.

ETP_{v%} → Porcentaje de ETP en los meses de verano (junio, julio y agosto).

El valor de los índices y la clasificación climática de las estaciones de estudio se muestra en la **tabla XVI**.

Tabla XVI. Índice de humedad, aridez y humedad global

ESTACIONES	Ih	Ia	Im	ETP _{v%}	CLIMA
ALMONASTER	49.5	33.0	29.7	47.49	B ₁ S ₂ B' ₂ a' → mesotérmico húmedo con falta de agua estival moderada.
CABEZAS RUBIAS	23.7	40.3	-0.5	48.62	C ₁ S ₂ B' ₂ b' ₄ → mesotérmico subhúmedo con gran exceso de agua invernal.



2.3.4.4. Clasificación bioclimática de Rivas Martínez

Siguiendo los criterios de esta clasificación, el carácter mediterráneo se establece a través de los índices de mediterraneidad. Estos son:

$$Im_1 \rightarrow ETP_{\text{julio}}/P_{\text{julio}}$$

$$Im_2 \rightarrow ETP_{\text{julio+agosto}}/P_{\text{julio+agosto}}$$

$$Im_3 \rightarrow ETP_{\text{junio+julio+agosto}}/P_{\text{junio+julio+agosto}}$$

Cuando $Im_1 > 4$, $Im_2 > 3'5$ e $Im_3 > 2'5$ en la misma localidad, nos encontramos en la región Mediterránea. En la **tabla XVII** se muestran los valores obtenidos.

Tabla XVII. Índices de Mediterraneidad de Rivas-Martínez

ESTACIONES	Im_1	Im_2	Im_3	REGIÓN
ALMONASTER	24.7	17.9	7.7	Mediterránea
CABEZAS RUBIAS	47.7	32.9	9.1	Mediterránea

Termoclima

El termoclima viene permite definir los pisos bioclimáticos, los cuales se ordenan en una cliserie que pueden ser altitudinal o latitudinal. Las divisiones entre pisos bioclimáticos se delimitan en función del valor que adquiere el llamado Índice de Termicidad. Dicho índice se deduce de la expresión:

$$I_t = (T_1 + t_1 + tm) * 10$$

Donde:

$I_t \rightarrow$ Índice de termicidad

$T_1 \rightarrow$ temperatura media de máximas del mes más frío.

$t_1 \rightarrow$ temperatura media de mínimas del mes más frío.



tm → temperatura media anual.

Los valores obtenidos del índice de termicidad y la asignación del piso y horizonte bioclimático a cada estación aparecen en la **tabla XVIII**

Tabla XVIII. Valores del índice de termicidad y pisos y horizontes bioclimáticos

ESTACIONES	tm	T ₁	t ₁	I _t	PISO BIOCLIMÁTICO	HORIZONTE BIOCLIMÁTICO
ALMONASTER	16.4	13.4	4.8	346	MESOMEDITERRÁNEO	INFERIOR
CABEZAS RUBIAS	14.9	13.8	2.7	314	MESOMEDITERRÁNEO	INFERIOR

Periodo de Actividad Vegetal (PAV)

El periodo de actividad vegetal (PAV) tiene gran transcendencia en la distribución de las comunidades vegetales. Un factor limitante para la actividad vegetativa es el frío (al margen de los periodos de sequía). En la **tabla XIX** se señalan los meses en los que no se supera el citado valor.

El PAV se establece como periodo o suma de meses en los que se supera la temperatura media de 7'5°C, por encima de la cual se pone de manifiesto un incremento de la biomasa apreciable. En ambas estaciones, y previsiblemente en la zona de trabajo, el periodo de actividad teórico alcanza los doce meses del año, si no fuera por la sequía que se produce en verano.



Tabla XIX. PAV, teniendo en cuenta la temperatura media mensual $> 7,5^{\circ}\text{C}$

MES	ALMONASTER	CABEZAS RUBIAS
ENERO	9,6	8,1
FEBRERO	10,5	8,8
MARZO	12,0	10,4
ABRIL	14,6	11,9
MAYO	18,2	15,0
JUNIO	22,1	19,7
JULIO	25,3	23,4
AGOSTO	24,5	23,7
SEPTIEMBRE	21,1	21,3
OCTUBRE	16,2	16,1
NOVIEMBRE	12,4	11,4
DICIEMBRE	9,9	8,7
PAV	12	12

Ombroclima

Dentro de cada piso bioclimático, en función de la precipitación, es posible distinguir diversos tipos de vegetación que corresponden de un modo bastante aproximado con otras tantas unidades ombroclimáticas. Si se supera el valor de 1000 mm anuales se considera que el ombroclima es Húmedo, lo que ocurre en Almonaster. Muy cerca de ese límite queda el valor de precipitación anual de Cabezas Rubias. En general, puede pensarse que todo el entorno cercano de la mina se sitúa cerca del límite entre los ombroclimas Húmedo y Subhúmedo, aunque más bien dentro del segundo.

2.4. SUELOS

Se ha señalado que, para la Zona Sudportuguesa, la naturaleza de las rocas (pizarras), lavas ácidas, riolitas, etc.) y las pendientes condicionan que la mayor parte de los suelos sean de muy escaso desarrollo: Leptosoles líticos, Leptosoles dystricos, Leptosoles eútricos y Regosoles lépticos. Sólo en alguna situación privilegiada aparecen



Cambisoles. Por último conviene señalar en esta zona la existencia de algunas áreas con suelos desarrollados después de una acción intensa de actividades antrópicas, Antrosoles (Junta de Andalucía, 2004).

En un trabajo que abarca una zona cercana, situada al oeste de Cueva de la Mora y cuyas características climáticas y de relieve son semejantes, se han reconocido las unidades geomorfoedáficas y asociaciones de suelos (Bellinfante *et al.*, 2000). En lo que respecta a los materiales geológicos presentes en dicha zona de estudio, y que tienen continuidad hacia el este alcanzando el entorno cercano de Cueva de la Mora, pueden ser válidas las observaciones de dichos autores: los suelos presentan un escaso desarrollo, mostrando un epipedón ócrico sobre la roca alterada (Leptosoles y Regosoles). A veces se observan inclusiones de Cambisoles en zonas donde la topografía permite una lenta evolución del perfil, siempre limitados en profundidad hasta unos 50 cm.

En relación con los niveles de elementos traza que pudieran estar presentes en los suelos de este entorno, o como simple idea general de los órdenes de magnitud de contenidos que pudieran ser esperables, existen datos que definen lo que se ha denominado fondo regional para el Complejo Volcano-Sedimentario (Kersabiec et Roger, 1976), y que se suponen medidos como contenidos totales en muestras superficiales de suelos (**tabla XX**).

Tabla XX. Fondo regional del Complejo Volcano-Sedimentario establecido para una serie de elementos traza. Tomado de Kersabiec et Roger (1976).

	Cu	Pb	Zn	Co	Ni	Cr	Mn
Mínimo	15	15	56	14	14	11	352
Máximo	118	127	120	38	83	57	459



Otros datos que se han recopilado se muestran en la **tabla XXI**. Los datos proceden de dos trabajos realizados para establecer los niveles normales de elementos en ambientes no contaminados (Junta de Andalucía, 2004; López Arias y Grau, 2004). Los valores extraídos del trabajo de la Junta de Andalucía reflejan los valores de fondo establecidos como la mediana de las distribuciones de valores totales medidos sobre un espesor superficial de 20 cm en suelos de la zona Sudportuguesa. Los datos del INIA se refieren a medidas de contenidos totales en muestras compuestas de capa arable sobre parcelas agrícolas y de pastos.

Tabla XXI. Datos de contenidos en mg/kg (ppm) de algunos elementos traza medidos en suelos.

Elementos (ppm)	As	Co	Cu	Ni	Cr	Zn	Pb	Cd	Hg
Junta de Andalucía Zona Sudportuguesa Espesor (0-20 cm)	20	16	31	27	85	72	31		
INIA (López Arias y Grau, 2004) Parcela 10.26, Almonaster			138	58	31	106	17	0'17	0'07
Mediana provincia de Huelva			33	24	18	69	15	0'05	0'062

2.5 VEGETACIÓN Y USOS DEL SUELO

El Andévalo se caracteriza por una relativa homogeneidad de las condiciones ecológicas lo que determina también una uniformidad elevada de su vegetación (Arroyo, 1988). Aunque desde muchos puntos de vista puede ser interpretado como un territorio de transición entre la Sierra de Aracena y el litoral onubense, comparte muchos más elementos florísticos con la primera (por ello se ven incluidas ambas zonas en el mismo Sector corológico: Mariánico-Monchiquense, subsector Araceno-Pacense). En todo el Andévalo, tanto el oriental como el occidental, la encina y el alcornoque se combinan formando mosaicos y mezclas, aumentando la dominancia del segundo cuanto más al norte y cuanto más humedad puede encontrarse en el suelo (vaguadas y laderas



umbrosas), hasta dominar en numerosos enclaves de la Sierra de Aracena. Hasta hace relativamente poco, esto debió ocurrir también en un entorno más o menos amplio de Cueva de la Mora.

Los encinares que dominan en este territorio pertenecen a la Serie mesomediterránea luso-extremaduriense silicícola de la encina: *Pyro bourgaeanae-Querceto rotundifoliae* S. La serie mesomediterránea luso-extremadureña silicícola de la encina de hojas redondeadas o carrasca corresponde en su etapa madura a un bosque esclerófilo en el que con frecuencia existe el piruétano o peral silvestre (*Pyrus bourgaeana*), así como en ciertas navas, y umbrías alcornoques (*Quercus suber*) o quejigos (*Quercus faginea* subsp. *broteroi*). El uso más generalizado de estos territorios, donde predominan los suelos silíceos pobres, es el ganadero; por ello los bosques primitivos han sido tradicionalmente adehesados a base de eliminar un buen número de árboles y prácticamente todos los arbustos del sotobosque. Paralelamente, un incremento y manejo adecuado del ganado, sobre todo del lanar, ha ido favoreciendo el desarrollo de ciertas especies vivaces y anuales (*Poa bulbosa*, *Trifolium glomeratum*, *Trifolium subterraneum*, *Bellis annua*, *Bellis perennis*, *Erodium botrys*, etc.), que con el tiempo conforman en los suelos sin hidromorfía temporal asegurada un tipo de pastizales con aspecto de céspedes tupidos de gran valor ganadero, que se denominan majadales (*Poetalia bulbosae*) (Rivas Martínez, 1987).

En las etapas preforestales, marginales y sustitutivas de la encina, son comunes la coscoja (*Quercus coccifera*) y otros arbustos perennifolios que forman maquís, en las cuales el madroño (*Arbutus unedo*) es un elemento escaso, contrariamente a lo que sucede en estos mismos estadios en las series de los alcornocales. En las variantes más húmedas sí se forman madroñales de *Arbutus unedo* con coscoja (*Quercus coccifera*) semejantes a los que se dan en los terrenos típicos del alcornocal, aunque menos exuberantes. Ocasionalmente, es posible encontrar retamares con *Retama sphaerocarpa* y con subpiso de pastizal en zonas muy pastoreadas con suelos todavía profundos (ICONA, 1991).



La larga y fuerte degradación del bosque mediterráneo original ha determinado la extensión de matorrales acidófilos, principalmente jarales-cantuesales en los lugares más secos, y brezales en los más húmedos. Los brezales suelen ser en realidad matorrales mixtos de brezo (*Erica australis*) con jara (*Cistus ladanifer*). Los jarales son la expresión de un grado muy avanzado de destrucción o erosión de los suelos, sobre todo de sus horizontes superiores ricos en materia orgánica, lo que conlleva, además, una pérdida irreparable de fertilidad. Estos jarales incluyen especies tales como *Cistus ladanifer*, *Cistus monspeliensis*, *Cistus salvifolius*, *Genista hirsuta*, *Lavandula stoechas*, *Ulex eriocladius*, etc.

En la actualidad, salvo por la existencia de algunos pinares de *Pinus pinea* y *Pinus pinaster*, la practica totalidad del territorio, hasta donde llega la vista desde el alto del Pimpollar o del Cabezo de la Barbellina, es un eucaliptal con *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus camaldulensis*, lo que queda bien reflejado en la correspondiente hoja del Mapa Forestal de España (ICONA, 1991). Se trata, en general, de montes pertenecientes al estado o a empresas papeleras. Aparecen como arbolados monoespecíficos casi transparentes a la luz que incide sobre suelos profundamente alterados por las repoblaciones y sometidos a procesos erosivos muy intensos.

3. EXPLOTACIÓN MINERA

Las grandes cantidades de escorias, así como los pozos estrechos y excavaciones antiguas superficiales atestiguan, según Pinedo Vara (1963), que la zona fue explotada en tiempo de los romanos, como lo prueban los utensilios y herramientas de trabajo halladas. Cabe destacar que, aunque es una elevada ley en hierro lo que caracteriza a las piritas de Cueva de la Mora, durante ese periodo la explotación estuvo centrada en la obtención final de cobre, variando la ley del mismo entre 0'5 y 2 por ciento.

Si bien la explotación activa de la cueva arranca a partir de 1875, el uso del depósito de lodos parece corresponder exclusivamente al período comprendido entre el arrendamiento de 1951, tras muchos años de inactividad, y el final del beneficio



avanzados los años sesenta. En la correspondiente ficha del Inventario Nacional, con fecha de 2001, se apunta que la utilización de la presa finalizó unos veinte años atrás. El contraste entre la larga vida de la explotación y el relativamente bajo volumen almacenado en el depósito se debe a que el depósito fue utilizado sólo en los años finales de la explotación, dado que el material cobrizo, que constituyó la mayor parte del mineral extraído, era transportado a las minas de Riotinto donde se trituraba y seguía el mismo curso y manipulaciones que la pirita propia.

Según la hoja MAGNA de Nerva (IGME, 1982), la mineralización existente en Cueva de la Mora es una masa lentejona que tiene las siguientes características geométricas: longitud de 350 m, anchura de 60 m, profundidad de 200 m, dirección N100°E y buzamiento 65° N. Las leyes del mineral, calificado de cobrizo, según queda recogido en esta última fuente son: 1'10% Cu, 5% Pb y 5% Zn. En la misma fuente se describe la mineralización de Monte Romero: dos lentejones de pirita ferrocobrizas cuyos extremos se prolongan en mineralizaciones de esfalerita y galena, con ley media de 0'5 a 2 % de Cu, 2'5 % de Pb y 5% de Zn. Según IGME (1982), el yacimiento de Cueva de La Mora tiene unas reservas seguras de pirita masiva de 4.000.000 t con leyes de 43% S y 0'92 Cu. La masa lentejona tiene las siguientes características geométricas: longitud de 350 m, anchura de 60 m, profundidad de 200 m.

4. DESCRIPCIÓN DEL DEPÓSITO DE RESIDUOS

El depósito de lodos se sitúa en las coordenadas UTM X: 165. 623, Y: 4.187.854 del huso 30. Partiendo de los datos del Inventario Nacional de Depósitos de Lodos en Procesos de Tratamiento de Industrias Extractivas (IGME, 2001), la clasificación según la ITC 08.02.01 es 2 D (clase: *mediana*; categoría: *depósitos de lodos cuyo funcionamiento incorrecto puede producir daños materiales de escasa importancia a los elementos en riesgo*). El tipo de depósito es presa, con emplazamiento en ladera. El sistema de vertido fue por tubería (bombeo), desde el dique, y la naturaleza de los lodos está constituida por finos de flotación. La estructura tiene 125 m de longitud, 80 de anchura y 6 de altura, almacenando 12.000 m³. El dique, siempre según dicho

inventario, está constituido de materiales sueltos, el recrecimiento se efectuó hacia aguas arriba, y las principales dimensiones son: 130 m de longitud inicial, 10 m de ancho de base inicial, 6 m de ancho de coronación inicial, y 6 m de altura inicial. La clave según el inventario es: 0938-1-0001 (antigua H-AL-009-B). Su situación se detalla en la **figura 5**.

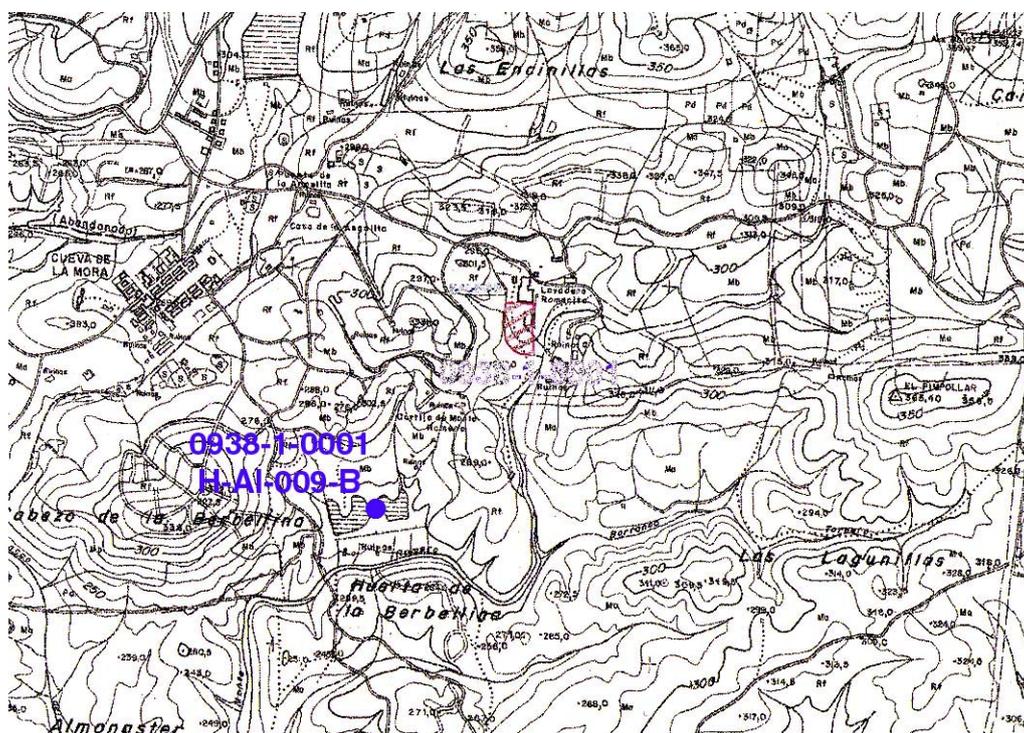


Figura 5. Situación del depósito de lodos mineros pertenecientes a Cueva de la Mora-Monte Romero. La referencia numérica es la de “Actualización y ampliación del inventario nacional de depósitos de lodos en procesos de tratamiento de industrias extractivas”.

Se trata de un depósito de residuos de concentración por flotación que, según parece, sirvió a la mina denominada Monte Romero y puede que también a la mina de Cueva de la Mora. El depósito está emplazado en una ladera de escasa pendiente. Como puede verse en la **figura 2** y en la **fotografías 2 y 3**, se pueden distinguir dos cuerpos separados por un cordón de tierra (uno oriental y otro occidental). En el trabajo publicado por Blanco *et al.* (2003) se designaron estos diferentes cuerpos como balsas B₁ y B₂, si bien en el Inventario Nacional se consideran como un solo depósito o balsa,

posiblemente porque se intuye que en tiempo de actividad el agua decantada del primero podía pasar al segundo por rebose o flujo subálveo. No obstante, la apariencia del lodo depositado en el primero (oriental) es más grisácea (menos grado de oxidación), lo que puede indicar que estuvo activo en tiempos más recientes sin que el lodo pasara al otro cuerpo (ver **fotografías 4 y 5**). Durante los trabajos se vio que efectivamente parecía haber diferencias de tiempo desde el vertido de la capa más superficial presente en ambos cuerpos, por lo que se hizo distinción, aprovechando la denominación citada más arriba unida a la partícula CU que designa en este trabajo a todas las muestras de Cueva de la Mora y su entorno.



Fotografía 2. Vista general del depósito de lodos de Cueva de la Mora desde posiciones situadas al noreste (arriba) y norte-noroeste (abajo). Arriba, en situación de estío, se aprecia perfectamente la diferente coloración de la superficie entre la parte más oriental (aquí a la izquierda) y la occidental, así como un cordón de tierra de color pardo que las separa. Abajo, en invierno, se observa el elevado grado de encharcamiento, especialmente en el cuerpo occidental, pudiendo generarse fugas de agua por una escotadura del dique.



Fotografía 3. Vista general desde el nordeste (fotografía procedente del Inventario de Depósitos de Lodos en Procesos de Tratamiento de Industrias Extractivas, 2001).



Fotografía 4. Aspecto del lodo en la cercanía del dique en el cuerpo de balsa que se ha denominado B₁ (noviembre de 2006).



Fotografía 5. Aspecto del lodo en la cercanía del dique en el cuerpo de balsa que se ha denominado B₂. (noviembre de 2006).

El cuerpo oriental (B₁) recibe aguas ácidas de mina procedentes de una galería de la Mina de Monte Romero. Estas aguas han sido analizadas por Rötting *et al* (2004). Los rangos de valores medidos sobre muestras de agua de dicho drenaje, tomadas entre octubre de 2003 y julio de 2004, son: pH entre 3'2 y 3'6, Eh entre 497 y 590 mV, C.E. entre 3'92 y 4'65 mS/cm, Al entre 110 y 141 ppm, Fe entre 306 y 372 ppm, Zn entre 321 y 413 ppm, Cu entre 3 y 14 ppm, y SO₄⁻ entre 3322 y 3700 ppm. Además, todo el conjunto del depósito recibe agua de escorrentía procedente de la ladera sobre la que se asienta, lo que garantiza un duradero encharcamiento en épocas de lluvias.

5. DESCRIPCIÓN DE LAS MUESTRAS

Se tomaron cuatro tipos de muestras:

- Lodos o residuos mineros en calicatas, continuando con sondeo en el fondo mediante tomamuestras mecánico de suelos.
- Lodos superficiales mediante muestreo con sonda manual de 30 incrementos muestrales para formar muestras compuestas.
- Suelos naturales, y muestra de acopio de mineral, usando azada manual.



- Eflorescencias y precipitados, raspando en la superficie donde se formaron, con cuchara de acero inoxidable.
- Aguas superficiales

El grueso de los resultados analíticos que se analizan más adelante y que se exponen en el **ANEXO II** procede de las calicatas continuadas con sondeo realizadas sobre el cuerpo o balsa que se ha denominado CU-B₁. En la **fotografía 6** puede apreciarse el aspecto de una de las calicatas. Cada punto de muestreo de una calicata-sondeo se designó con la partícula CU (en referencia a la población cercana de Cueva de la Mora), seguida del identificador del cuerpo de la balsa que correspondiera, seguido de un número. Sobre la **fotografía 8** se han marcado las posiciones de dichos puntos. La etiqueta de cada muestra añade a la designación del punto un número que identifica la muestra en orden creciente con la profundidad. Así, la muestra CU-B₁-2-3 se refiere a la tercera muestra tomada al profundizar o tercera muestra más profunda de la calicata-sondeo CU-B₁-2. Durante la campaña en la que se practicaron las calicatas y sondeos (noviembre de 2007) se tomaron dos muestras de agua en los encharcamientos existentes en ambos cuerpos del depósito: CU-B₁-I y CU-B₂-II. Cada muestra se dividió en tres: completa, filtrada con filtros de 45 µm, y filtrada y acidulada con ácido nítrico. Las muestras compuestas superficiales se denominaron CU-B₁-SET y CU-B₂-SET. Las muestras de suelos se denominaron CU-NAT seguido de un número, y las muestra de eflorescencias se denominaron CU-B₁-EF y CU-B₂-EF. Se tomó una muestra de precipitados ferruginosos en el fondo del curso del drenaje ácido que entra en la balsa (CU-PR). También se tomó una muestra de lo que parecía ser un resto de acopio de mineral en el área de instalaciones de Monte Romero. En las **tablas XXII** y **XXIII** se describen las muestras estudiadas procedentes de calicatas-sondeos.

Las muestras de suelos fueron tomadas en las inmediaciones del depósito, sin sobrepasar nunca la distancia de 500 m. Todas ellos son de tipo Leptosol, de colores pardos o pardo rojizos, a excepción de CU-NAT-3, que presenta mayor desarrollo y espesor, es de color pardo oscuro, rico en materia orgánica y con presencia de lombrices

de tierra. Todos pueden ser calificados como pedregosos o muy pedregosos. La mayoría de las muestras de suelos naturales se tomaron en marzo de 2008.



Fotografías 6 y 7. Arriba: calicata de muestreo en CU-B₁-1. Abajo: localización aproximada de los puntos donde se efectuaron las calicatas con sondeo en el fondo.

La muestra compuesta superficial CU-B₁-SET fue de color dominante Gley 1 4/10 Y en húmedo, observándose en laboratorio, ya seca y homogeneizada, como 5 Y 5/1. La muestra CU-B₂-SET era predominantemente 5Y 7/4. En la superficie donde se tomó esta última también se apreciaban terrones con caras Gley 2 8/5 PB y algunas grietas recubiertas de 7'5 YR 6/8. Fueron tomadas en el mes de agosto de 2007.



Tabla XXII. Descripción de las muestras tomadas en la calicata-sondeo CU-B₁-1

MUESTRAS (ETIQUETADO)	ESPESOR	PROFUNDIDAD	COLOR CAMPO (HÚMEDO)	COLOR LABORATORIO (SECO Y HOMOGENEIZADO)
CU-B ₁ -1-1	8-9 cm	La profundidad aumenta	Gley 2 5/5 PB	5 Y 4/1
CU-B ₁ -1-2	3-4 cm	 Dominan colores amarillentos, y blanquecinos, por debajo de una capa gris oscura	Alternancia de laminillas 5 Y 8/1 que dominan sobre Gley 2 8/5 PB	5 Y 8/1
CU-B ₁ -1-3	13-15 cm		Laminillas 5Y 8/1 y 5 Y 8/8	5 Y 8/3
CU-B ₁ -1-4	14 cm		Dominan colores grises oscuros	Gley 2 2'5/10 BG
CU-B ₁ -1-5	40 cm	Gley 2 2'5/10 BG		Gley 2 3/10 BG
CU-B ₁ -1-6	20 cm	Gley 2 2'5/10 BG		Gley 2 3/10 BG
CU-B ₁ -1-7	40 cm	Gley 2 2'5/10 BG		Gley 2 3/10 BG
CU-B ₁ -1-8	40 cm	Gley 2 2'5/10 BG		Gley 2 3/10 BG
LA MÁXIMA PROFUNDIDAD ALCANZADA ES DE UNOS 180 cm. A partir de unos 25 cm de profundidad dominan los grises oscuros (zona teóricamente nada oxidada).				

Tabla XXIII. Descripción de las muestras tomadas en la calicata-sondeo CU-B₁-2

MUESTRAS (ETIQUETADO)	ESPESOR	PROFUNDIDAD	COLOR CAMPO (HÚMEDO)	COLOR LABORATORIO (SECO Y HOMOGENEIZADO)
CU-B ₁ -2-1	12-15 cm	La profundidad aumenta ↓	Gley 2 3/5 PB	5 Y 5/1
CU-B ₁ -2-2	2-5 cm	Dominan colores amarillentos, y blanquecinos, por debajo de una capa gris oscura	5Y 8/6 con grieta 5YR 5/8 que se continua en la capa inferior	5 Y 8/2
CU-B ₁ -2-3	8-10 cm	Dominan colores grises oscuros	Mezcla de Gley 2 6/5 PB y Gley 2 8/10B	Gley 2 7/5 PB
CU-B ₁ -2-4	39 cm		Gley 1 4/5 GY	Gley 1 5/5 GY
CU-B ₁ -2-5	15 cm		Gley 1 2 ⁵ /N	Gley 1 3/N
CU-B ₁ -2-6	20 cm		Gley 1 2 ⁵ /N	Gley 1 6/N
CU-B ₁ -2-7	20 cm		Gley 1 2 ⁵ /N	Gley 1 5/N
<p>LA MÁXIMA PROFUNDIDAD ALCANZADA ES DE UNOS 120 cm. A unos 18 cm de profundidad aparecen los grises oscuros (zona teóricamente nada oxidada). La cabeza muestreadora toca el fondo excavado en terreno natural.</p>				

Las muestras de eflorescencias se tomaron en verano (agosto de 2007). Se intentó que fueran representativas de lo que se forma todos los veranos sobre la superficie de los

dos cuerpos del depósito. En las **fotografías 8 y 9** se muestran imágenes que pueden permitir comprender la enorme importancia que puede alcanzar el proceso de formación de estas eflorescencias en tiempo seco. Una vez homogeneizadas dan un color amarillo pálido (5 Y 8/4), si bien en el campo es posible observar intersticios de colores amarillos y verdes brillantes sobre un fondo general blanco.



Fotografías 8 y 9. Aspecto general a cierta distancia (arriba) y detalle (abajo) de las eflorescencias formadas sobre el depósito de lodos de Cueva de la Mora.



La muestra CU-PR es un precipitado rojizo (mezcla de colores: 2'5 Y 4/4, 7'5 YR 6/8 y 7'5 YR 4/4) que recubre los bordes del reguero de agua ácida que entra en la balsa procedente de la mina. La muestra CU-MIN está tomada sobre lo que parece un resto de acopio de mineral, pedregoso, grisáceo y con brillos. Ambas muestras fueron tomadas en agosto de 2007.

6. RESULTADOS

6.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA

La totalidad de las muestras de residuos mineros tomadas en el depósito de Cueva de la Mora posee un 100% de contenido en elementos que pasan por el tamiz de 2 mm de luz de malla.

El sondeo CU-B₁-1 se sitúa más próximo al dique de tierras que el sondeo CU-B₁-2. En el mencionado dique estaban alineadas las bocas de vertido del lodo, por lo que es esperable una granoselección en dirección perpendicular a dicho dique, quedando materiales más gruesos en la proximidad del mismo. Se comprueba que existe un ligero enriquecimiento en la fracción arcilla a costa de las otras fracciones en CU-B₁-2, si se analizan los resultados de capas comparables. Con una sola excepción (CU-B₁-1-2, que contiene un 65% de arena), todas las muestras obtenidas en los sondeos están dominadas por la fracción limo. De todas formas, en ambos sondeos se observan alternancias de capas con mayor contenido en arena o arcilla en la vertical de un mismo punto, lo que se explica por las posibles variaciones de la energía y dirección del flujo del lodo sobre la superficie de la balsa.

Dejando a un lado la capa CU-B₁-1-2 (extraordinariamente arenosa), parece observarse que en las capas de colores que denotan mayor oxidación (CU-B₁-2 y CU-B₂-2) se alcanzan valores de contenido en arcilla muy superiores al resto de las muestras. Esto podría interpretarse como resultado de una alteración por oxidación que modifica la granulometría, además del quimismo y la composición mineralógica. Coincide además



que estas dos muestras contienen contenidos en azufre muy inferiores al resto, por lo que en ellas se ha debido producir una fuerte oxidación de la pirita presente y posterior eliminación de los productos de oxidación —lo que se explica después.

Las muestras tomadas en CU-B₁-1 aparecen empapadas en agua a partir de 65 cm de profundidad. Ocurre lo mismo en CU-B₁-2 a partir de unos 45 cm de profundidad. Hay que decir que en la época en la que se realizaron los sondeos (noviembre de 2007) existían encharcamientos en las zonas más deprimidas del depósito.

Todas las muestras poseen una fracción granulométrica inferior a 0'25 mm que supera el 98% rozando muchas veces el 100%. Esto convierte a estos residuos en muy alterables, si bien no es lo que mejor explica las posibles diferencias existentes entre unas muestras y otras, como se verá más adelante.

Recorriendo la gama de colores vistos en el campo durante la toma de muestras, se aprecia que el más rojizo es rojo amarillento (5YR 5/8), visto sobre la superficie de una grieta, en la que claramente se favorecen los procesos de oxidación. La totalidad de las muestras sobre las que puede decirse que han sufrido procesos de oxidación están calificadas con colores de la página 5Y (los más amarillos de las tablas Munsell), yendo desde el gris oscuro (5Y 4/1) hasta el blanco (5Y 8/1), pasando por el amarillo pálido (5Y 8/3).

Comparativamente hablando, en relación con otras muestras oxidadas de lodos mineros en este estudio y en la bibliografía, se trata de lodos muy poco oxidados, si atendemos a su coloración. Esto puede ser debido a que el periodo transcurrido desde el cese de actividad (unos 25 años) ha sido insuficiente, por las características del material, y también por el hecho de que, por su situación y la topografía circundante, la balsa sufre prolongados periodos de encharcamiento anualmente. No obstante, el clima de la zona es lo suficientemente seco en verano para permitir oxidación, ligada a desaturación y descenso del nivel freático, lo que ha permitido que sea apreciable una cierta oxidación en las capas superficiales.



Las capas que muestran cierto nivel de oxidación se describen como alternancia de laminillas en un caso y como una masa blanquecina en otro. Las capas profundas y la capa superior presentan colores propios de estados reducidos, condiciones de “gley”: grises verdosos y azulados oscuros o negros. La existencia de una capa grisácea que recubre todo el depósito en su sector B₁ se interpreta como el producto de una fase posterior de operación y vertido sobre una masa de residuos que ya había iniciado su oxidación.

En cuanto a las muestras compuestas superficiales CU-B₁-SET y CU-B₂-SET, representan, por el color y textura, lo que claramente se observa en la superficie de los cuerpos del depósito diferenciados. La muestra compuesta superficial CU-B₁-SET fue de color dominante Gley 1 4/10 Y en húmedo, observándose en laboratorio, ya seca y homogeneizada, como 5 Y 5/1. Como se ha comentado, la muestra CU-B₂-SET era predominantemente 5Y 7/4. En la superficie donde se tomó esta última también se apreciaban terrones con caras Gley 2 8/5 PB y algunas grietas recubiertas de 7'5 YR 6/8.

6.2. CARACTERIZACIÓN QUÍMICA

6.2.1. pH, azufre y Contabilidad Ácido-Base

Teóricamente, por el tipo de residuos estudiados, el pH y los contenidos en las diferentes formas de azufre ha de guardar una estrecha relación. Aun siendo materiales que por su color aparentan un bajo o nulo grado de oxidación, las muestras presentan unos valores de pH muy bajos en los dos sondeos (CU-B₁-1 y CU-B₁-2), por lo que pueden calificarse como ultra-ácidos (Soil Survey Staff, 1993).

En ambos sondeos es posible encontrar capas amarillentas cuyos valores de pH no destacan de los valores medidos en las muestras tomadas en capas grises. Los valores obtenidos en la capa más superficial tienen una media de $1'47 \pm 0'29$. Por debajo



aparece una pequeña zona de oxidación (amarillenta) con pH medio $1'48 \pm 0'31$. Tampoco parece observarse ninguna relación clara con los contenidos en azufre sulfato o pirítico. De igual forma, no se observan relaciones claras entre los parámetros citados y la distancia de los sondeos al dique, desde donde se realizó el vertido. Es difícil explicar los valores tan bajos en muestras de apariencia poco o nada oxidada. Además, la muestra de mineral CU-MIN, que es grisácea, pedregosa y de granulometría más gruesa que el lodo, proporciona también una medida de pH bajísima ($0'79$). Se trata, por tanto de materiales muy ricos en pirita originalmente, la cual forzosamente se ha oxidado en parte para permitir que se genere tanta acidez. La existencia, todavía, de abundantes sulfuros finamente molidos, puede ser la culpable de los colores tan grises.

Los contenidos en azufre total del conjunto de materiales de la balsa (excluyendo los claramente afectados por los procesos de oxidación) son muy elevados. El nivel medio de azufre total es $25'3\% \pm 10'4$. El contenido promedio de los materiales situados en la zona de oxidación es, por el contrario, de $1'63\% \pm 0'63$.

Parecen reconocerse, en base a los contenidos en azufre total, tres fases de vertido. Una primera fase representadas por las muestras CU-B₁-1-7, CU-B₁-1-8, CU-B₁-2-6 y CU-B₁-2-7, presenta valores heterogéneos de azufre total y del pH (aunque siempre entre los valores más altos). Esta capa de fondo mediría 40 cm en CU-B₂ y 80 cm en CU-B₁, es decir, se adelgaza hacia el norte, según aumenta la distancia al dique. Una segunda fase de vertido se reconoce por los valores bastante homogéneos de azufre total, que son muy superiores a los de la otra fase (por encima de 30%). Mediría 74 cm en CU-B₁-1 y 54 cm en CU-B₁-2, es decir, se adelgaza en el mismo sentido. Las diferencias entre esta capa y la inferior tal vez indiquen un cambio en el mineral procesado o en el método de procesamiento. Por encima de éstas aparecen las capas aparentemente más oxidadas, con menos azufre total (entre $1'1$ y $5'19\%$). El espesor de estas capas es de unos 18 cm en CU-B₁-1 y de 13 cm en CU-B₁-2. La parte inferior conserva colores de gley o marca una transición en CU-B₁-2. Posiblemente, estas capas con menos azufre y, en general, de apariencia más oxidada se hayan formado por alteración de materiales semejantes a las de la fase inferior.



Los contenidos de S en forma de sulfato presentes en la zona de oxidación ($1'11\% \pm 0'39$) indican que la casi totalidad del S total de los materiales de esta zona han sido oxidados a sulfatos y muy probablemente movilizados por lixiviación o disueltos en agua de escorrentía con anterioridad al aporte de la última capa gris.

Por último, la capa de lodos grises de apariencia muy reciente anteriormente citada se superpone a las demás en ambos sondeos. Posee un espesor que, esta vez, crece hacia el norte en la alineación entre CU-B₁-1 y CU-B₁-2. La superficie externa presenta abultamientos y cambios muy variables de espesor dando la sensación de que desaparece puntualmente y deja entrever la fase anterior. El azufre total en esta capa superficial oscila entre 25 y 28'4%. Los bajos contenidos en azufre sulfato determinados en estos lodos superficiales ($0'40\% \pm 0'15$) indican que estos materiales pueden encontrarse en una fase muy incipiente de oxidación, a pesar del pH tan bajo que ya se ha alcanzado. La muestra CU-B₁-SET, por sus valores de pH, azufre total, azufre sulfato y aspecto es, aparentemente, muy representativa de esta última capa descrita.

La muestra CU-B₂-SET, con apariencia de estar más oxidada, presenta mucho menos azufre total y se asemeja por sus valores de pH y contenido en azufre a la capa amarillenta que quedó sepultada en CU-B₁. Parece ser que los procesos que han ocurrido en ambos cuerpos de balsa llevaban una dirección parecida, con parecidos resultados analíticos y visuales, hasta que una fase final de vertido tuvo lugar —la cual solo afectó a CU-B₁.

En la **tabla XXIV** se muestran los valores obtenidos para los diferentes parámetros que intervienen en el cálculo del *Acid-Base Account*. La acidez potencial (AP) se ha calculado con el factor estequiométrico 62'5, como sugiere Dold (2005). No se han considerado los contenidos en Fe y Al solubles y de cambio como acidez en reserva. La capacidad neta de neutralización potencial (NPN), independientemente de su ajuste a la realidad —a día de hoy todavía se discute mucho sobre como intervienen los diferentes



elementos en el balance—, es un buen descriptor de los procesos ocurridos y de los que previsiblemente seguirán ocurriendo.

Tabla XXIV. Valores de pH, azufre pirítico (Spir.), acidez potencial (AP) y capacidad de neutralización potencial (CNP) de las muestras analizadas en Cueva de la Mora. NPN es la capacidad neta de neutralización potencial de la acidez. El pH se midió sobre pasta saturada. Spir. fue obtenido como diferencia entre el azufre total y el valor de azufre sulfato. La capacidad de neutralización potencial fue medida por el método de Sobek *et al.*, (1987).

MUESTRA	pH	%Spir.	AP (t CaCO ₃ /1000 t material)	CNP (t CaCO ₃ /1000 t material)	NPN=CNP-AP (t CaCO ₃ /1000 t material)
CU-B ₁ -1-1	1.81	24.775	1548.4	-9.8	-1558.2
CU-B ₁ -1-2	1.24	0.405	26.6	-15.5	-42.1
CU-B ₁ -1-3	1.39	0.850	53.1	-47.5	-100.6
CU-B ₁ -1-4	1.15	38.204	2387.8	-35.3	-2423.1
CU-B ₁ -1-5	1.28	33.848	2115.5	-21.5	-2150.8
CU-B ₁ -1-6	2.13	34.540	2158.8	-43.5	-2202.3
CU-B ₁ -1-7	2.53	9.143	571.4	-38.4	-609.8
CU-B ₁ -1-8	2.50	15.062	941.4	-37.9	-979.3
CU-B ₁ -2-1	1.25	27.926	1745.4	-24.5	-1769.9
CU-B ₁ -2-2	1.83	0.297	18.6	-19.1	-37.7
CU-B ₁ -2-3	1.71	4.604	287.8	-16.6	-304.4
CU-B ₁ -2-4	1.89	32.941	2058.8	-9.2	-2068.0
CU-B ₁ -2-5	2.32	32.940	2058.8	-8.2	-2067.0
CU-B ₁ -2-6	2.70	8.480	506.4	-16.3	-522.7
CU-B ₁ -2-7	2.27	21.420	1294.9	-8.7	-1303.6
CU-MIN	0.79	11.787	736.7	-48.3	-785.0
CU-B ₁ -SET	0.84	23.574	1473.4	-42.0	-1515.4
CU-B ₂ -SET	1.65	0.383	23.9	-8.8	-32.7

Puede verse que la capa superior, con valores de NPN entre -1515 y -1770 t CaCO₃/1000 t, considerando las muestras CU-B₁-1-1, CU-B₁-2-1 y CU-B₁-SET, es un arsenal de generación de acidez. Esto se manifiesta, y se seguirá manifestando por tiempo desconocido, mediante la formación de eflorescencias superficiales en verano, las cuales son producto de la oxidación de la pirita y otros sulfuros y el posterior



ascenso capilar y deposición de los sulfatos generados. Dichas eflorescencias como se ha visto se disolverán en otoño, pudiendo pasar algo de agua a la balsa o cuerpo de balsa CU-B₂ o a través del dique. Este proceso debió ocurrir a lo largo de años en las capas más oxidadas infrayacentes y en la misma superficie de CU-B₂, de tal modo que el azufre total fue descendiendo hasta los niveles actuales.

Algún día, el frente de oxidación podría alcanzar a las capas no oxidadas que aquí se han identificado como una segunda fase de vertido. En ellas los valores de NPN están por debajo de -2000 t CaCO₃/1000 t, lo que supone que la generación de acidez, agua ácida, sulfatos y otros contaminantes estaría garantizada por muchos años, al margen de que el valor obtenido sea o no sea real.

El pH de las eflorescencias recogidas en CU-B₁ es de 0'27. Esto quiere decir que un material altamente soluble, en contacto con el agua, la acidifica hasta ese punto en la medida normalizada. En la superficie de CU-B₂, en la que todavía existe algo de azufre pirítico y una NPN negativa, se forman también eflorescencias cuyo pH alcanza valores tan extremos como 0'15 en la prueba analítica. Si se observan los datos de calidad de agua en los encharcamientos que se producen en la superficie de las balsas (**ANEXO II**) se concluye que son aguas de muy mala calidad, especialmente en B₁ a pesar de que el agua embalsada es agua de lluvia que se renueva. Las principales descargas de elementos, sulfatos y acidez deben producirse periódicamente cada vez que se reinicia el tiempo húmedo otoñal y el agua se lleva todas las eflorescencias hasta su formación al año siguiente. Debe existir en este proceso, una influencia ligada a la mediterraneidad del clima de la zona de trabajo.

6.2.2. Elementos extraídos en extracciones secuenciales

Observando la medida de contenidos totales de los diferentes elementos, destaca el Fe como elemento mayoritario. Destacan también los niveles totales de Ba, As, Zn y, especialmente, Pb. Los valores de Mn, Cr, Ni y Co son inferiores a los valores aportados como fondo regional (ver **tablas XX y XXI**) y a los obtenidos en algunas



muestras de suelos analizadas. Sin embargo, en general, son mayores los valores medidos en los lodos para los elementos Zn, As, Cd, Ba, Hg, y, sobre todo, Pb, así como los niveles de Cu en algunas muestras.

También puede indicarse que los materiales de esta balsa presentan contenidos en Pb y As superiores a los de los depósitos estudiados en Mina María Luisa y Zarandas, mientras que sus contenidos en Cu y Fe son claramente inferiores a las de ambas balsas. Los contenidos en Ag son en general intermedios a los medidos en los lodos de Mina María Luisa y Zarandas, mientras que para Zn y Cd ocurre lo contrario.

Si se observa la franja aparentemente más oxidada, el nivel superior, situado inmediatamente por debajo de la última capa aportada en superficie, manifiesta, al igual que ocurría en los contenidos de S como sulfato y S total, contenidos de elementos inferiores al siguiente nivel de oxidación. Los contenidos en Fe, Zn, Pb, Cd y Ag disminuyen aproximadamente un 50%, mientras que los contenidos en Cu y As son unas cinco veces inferiores en este nivel más superficial.

El procedimiento de extracción secuencial confirma la mayor facilidad de movilización de los elementos estudiados en los materiales de la zona de oxidación de esta balsa ya que se aprecia una tendencia generalizada, con excepción del As, a que las fracciones de mayor disponibilidad representen una elevada proporción en la distribución, mucho mayor de la mostrada en los otros depósitos estudiados. Este hecho confirmaría la movilización de los elementos situados en superficie y está favorecido por el bajo pH determinado en estos materiales, que no favorece los procesos de adsorción.

Cu, Cd y Zn tienen una mayor presencia bajo formas de gran solubilidad en agua, mostrando porcentajes superiores al 60% del total en la fracción primera en el caso del Cu, y hasta un 87% para el Cd (aunque con bajos contenidos) y 43% en el caso del Zn. La presencia de minerales de Cu y Zn de alta solubilidad se hace casi necesaria para explicar lo que muestran las pruebas de extracción secuencial, especialmente en la muestra CU-B₁-1-3



Del mismo modo, el Fe presenta un porcentaje de fracciones solubles en agua muy elevado, en torno al 40% de los contenidos totales en los materiales de la zona de oxidación.

El Pb, elemento que muestra elevados contenidos en esta zona aparentemente más oxidada (2076 a 4146 mg/kg), presenta una distribución variable, si bien se mantiene la tendencia a presentar elevados contenidos en la fracción segunda, fracción de alta disponibilidad.

El As también presenta elevados porcentajes de sus contenidos totales bajo fracciones de alta disponibilidad (alrededor de un 30%), poniendo de manifiesto el grado de toxicidad de estos residuos en zona de oxidación si se movilizaran por la escorrentía superficial a los cauces o suelos del entorno. El procedimiento de extracción secuencial pone de manifiesto también la tendencia a asociarse con las fracciones de oxi-hidróxidos de Fe y/o sulfatos secundarios en las muestras oxidadas.

La Ag muestra un comportamiento variable, asociándose principalmente a fracción cuarta (sulfatos secundarios) y a la fracción de sulfuros.

Por el aspecto gris de la capa superficial, la mayoría de los elementos deberían estar asociados a los sulfuros primarios. Esta suposición sólo es cierta con los elementos Ba, Hg, Ag y Zn, lo que viene a significar que se trata de lodos que han sufrido un cierto grado de oxidación (de ahí los valores de pH) que ha generado oxi-hidróxidos e hidroxisulfatos.

En esta balsa toman gran importancia los procesos climáticos estacionales. Aunque el clima es mediterráneo subhúmedo, el depósito recibe, por su situación gran cantidad de agua suplementaria además de la precipitación directa, manteniéndose encharcada buena parte del año. En cuanto la evaporación y la evapotranspiración superan a los aportes de agua, el depósito y el terreno circundante empiezan a secarse. Durante los meses centrales de verano se producen fenómenos de ascenso capilar y precipitación



superficial semejantes a los descritos como procesos de mayor importancia por Dold y Fontboté (2001) en climas mediterráneo y árido en Chile, formándose eflorescencias de gran desarrollo, con contenidos muy elevados en Al, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Cd, y U, mayoritariamente solubles.

6.2.3. Análisis ambiental del depósito

Ya se comentó que los elementos para los que existe referencia, en los que los lodos del depósito poseen contenidos mayores que el fondo regional son: Ba, As, Zn y, especialmente, Pb.

Si se considera la superficie del depósito como un nuevo suelo de origen artificial y se comparan los valores totales medidos en muestras **superficiales** con los criterios establecidos por la Junta de Andalucía (1999) para fijar valores de intervención en terrenos forestales (**tabla XXV**) vemos que habría que preocuparse por los elementos As y Pb, realizando estudios más profundos de distribución superficial de estos elementos. No obstante, al tratarse de medidas totales o pseudototales, puede resultar erróneo no considerar los contenidos en elementos solubles y en posiciones de cambio catiónico, para los que no existen elementos de juicio. De todos modos, la combinación de pH ultra-ácido con los contenidos en los elementos citados, unido a características físicas negativas (estructura ausente), han impedido una colonización por parte de la vegetación en el tiempo transcurrido ni siquiera en las zonas deprimidas donde existen sedimentos que son mezcla de lodo y tierra del entorno cercano.

Elemento	Suelos Agrícolas								PN	AI
	1		2 ₁		2 ₂		3			
	<7	>7	<7	>7	<7	>7	<7	>7		
As	<20		20-30		30-50		>50		>100	>300
Cd	<2	<3	2-3	3-5	3-7	5-10	>7	>10	>15	>30
Co	<20	<50	20-50	50-150	50-100	150-300	>100	>300	>300	>400
Cr	<100		100-250		250-450		>450		>500	>1000
Cu	<50	<100	50-150	100-300	150-300	300-500	>300	>500	>500	>1000
Hg	<1		1-2		2-10		>10		>15	>30
Mo	<10		10-40		40-200		>200		>200	>500
Ni	<40	<50	40-80	50-100	80-200	100-300	>200	>300	>500	>750
Pb	<100	<200	100-250	200-400	250-350	400-500	>350	>500	>1000	>2000
Se	<2		2-5		5-10		>10		>20	>30
Sn	<20		20-50		50-150		>150		>300	>500
Tl	<1		1-3		3-5		>5		>10	>30
Zn	<200	<300	200-300	300-500	300-600	500-1000	>600	>1000	>1000	>3000

1.- Valores máximos permitidos
 2₁.- Investigación recomendable
 2₂.- Investigación obligatoria
 3.- Tratamiento necesario (obligatorio)
 PN: Valor de intervención para
 parques naturales y zonas forestales.

AI= Valor de intervención para áreas
 industriales
 <7 = pH 5-7
 >7 = pH >7

Tabla XXV. Valores marcados por la legislación autonómica, relativos a la declaración de suelos contaminados (Junta de Andalucía 1999).

Atendiendo al análisis TCLP, puede verse en la **tabla A.II.1** del **ANEXO II**, que sólo es esperable algún problema por la lixiviación de Pb, especialmente en el cuerpo de balsa CU-B₂. A pesar de todo, y vistos los contenidos en elementos solubles de las eflorescencias, este depósito debe considerarse altamente contaminante para las aguas superficiales. Parece que una simple comparación con los niveles establecidos de contenidos totales o los niveles extraídos teóricamente lixiviables no permiten enjuiciar correctamente la evidente problemática de este depósito.

6.3. CARACTERIZACIÓN MINERALÓGICA

La composición mineralógica de la mineralización, según la información recopilada, incluía: pirita (FeS₂), calcopirita (CuFeS₂), esfalerita (ZnS), y galena (PbS) como



principales. Se presentan como accesorias: pirrotina (Fe_{1-x}S), arsenopirita (FeAsS), y magnetita (FeFe_2O).

Los minerales encontrados mediante el protocolo seguido en los laboratorios del IGME para las muestras oxidadas incluyen siempre cuarzo y minerales silicatados tales como moscovita o clorita biotita, que son teóricamente procedentes de la ganga original, así como pirita.

En las muestras aparentemente más oxidadas cobra gran presencia la jarosita $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$, así como la barita (Ba SO_4).

Entre los minerales menos abundantes y accesorios se dan numerosos oxi-hidróxidos e hidroxisulfatos, tanto en muestras de apariencia oxidada como reducida: pirocricota ($\text{Mn}(\text{OH})_2$), alunita ($\text{KAl}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$), coquimbita ($\text{Fe}_2 (\text{SO}_3)\cdot 9\text{H}_2\text{O}$), kieserita ($\text{MgSO}_4\cdot\text{H}_2\text{O}$) y anglesita (PbSO_4)

El yeso ($\text{Ca SO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) y la basanita ($\text{CaSO}_4\cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), que se han identificado en las muestras procedentes de la zona profunda no oxidada, podrían ser de carácter terciario, como apuntan Dold y Fontboté (2001).

En las muestras de eflorescencias y precipitados se han identificado: coquimbita ($\text{Fe}_2 (\text{SO}_3)\cdot 9\text{H}_2\text{O}$), magnesiocopiapita ($\text{MgFe}_4 (\text{SO}_4)_6(\text{OH})_2\cdot 20 \text{H}_2\text{O}$), romboclasa ($\text{FeH}(\text{SO}_4)_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$), así como jarositas.

7. CONCLUSIONES

Se han investigado las características físicas, químicas y mineralógicas de un depósito de residuos mineros situado en Cueva de la Mora (Huelva). El clima es de carácter Mediterráneo subhúmedo, propio de la comarca del Andévalo. El depósito de lodos se sitúa en una ladera de pendiente suave al sur de un pequeño hueco minero y al sur-suroeste de las antiguas instalaciones mineras del Monte Romero (Lavadero Romerito),



entre los relieves de Monte Romero al norte, los Riscos de los Muertos al este, Las Lagunillas al sur y el Cabezo de la Barbellina al oeste. Los diques que forman el cierre del depósito por el sur se sitúan unos 75 m del cauce del Arroyo de Monte Romero, muy afectado por aguas ácidas procedentes de la explotación minera.

El depósito se identifica con el código 0938-1-0001 en la “Actualización y ampliación del inventario nacional de depósitos de lodos en procesos de tratamiento de industrias extractivas” (IGME, 2001). La naturaleza de los lodos está constituida por finos de flotación. La composición mineralógica de la mineralización, según la información recopilada, incluía: pirita, calcopirita, esfalerita y galena como principales. Se presentan como accesorios: pirrotina, arsenopirita, y magnetita. Parece que el beneficio del mineral se centró en Cu y Pb. Entre los minerales menos abundantes y accesorios se dan numerosos oxi-hidróxidos e hidroxisulfatos, tanto en muestras de apariencia oxidada como reducida: pirocroita, alunita, coquimbita, kieserita y anglesita. El yeso y la basanita, que se han identificado en las muestras procedentes de la zona profunda no oxidada, podrían ser de carácter terciario. En las muestras de eflorescencias y precipitados se han identificado: coquimbita, magnesiocopiapita, romboclasa, así como natro- e hidroniojarosita.

Aparentemente, por los colores visualizados, en relación con otras muestras oxidadas de lodos mineros en este estudio y en la bibliografía, se trata de lodos muy poco oxidados. Esto puede ser debido a que el periodo transcurrido desde el cese de actividad (unos 25 años) ha sido insuficiente, por las características del material, y también por el hecho de que, por su situación y la topografía circundante, la balsa sufre prolongados periodos de encharcamiento anualmente. No obstante, el clima de la zona es lo suficientemente seco en verano para permitir oxidación, ligada a desaturación y descenso del nivel freático, lo que ha permitido que sea apreciable una cierta oxidación en las capas superficiales. La existencia de una capa grisácea que recubre todo el depósito en su sector B₁ se interpreta como el producto de una fase posterior de operación y vertido sobre una masa de residuos que ya había iniciado su oxidación.



Aun siendo materiales que por su color aparentan un bajo o nulo grado de oxidación, las muestras presentan unos valores de pH muy bajos, por lo que pueden calificarse como ultra-ácidos. Es difícil explicar los valores tan bajos en muestras de apariencia poco o nada oxidada. Se trata, por tanto de materiales muy ricos en pirita originalmente, la cual forzosamente se ha oxidado en parte para permitir que se genere tanta acidez. La existencia, todavía, de abundantes sulfuros finamente molidos, puede ser la culpable de los colores tan grises.

Los contenidos en azufre total del conjunto de materiales de la balsa (excluyendo los claramente afectados por los procesos de oxidación) son muy elevados. El nivel medio de azufre total es superior al 25. El contenido promedio de los materiales situados en la zona de oxidación es, por el contrario, de 1'63. Los contenidos de S en forma de sulfato presentes en la zona de oxidación indican que la casi totalidad del S total de los materiales de esta zona han sido oxidados a sulfatos y muy probablemente movilizados por lixiviación o disueltos en agua de escorrentía con anterioridad al aporte de la última capa gris.

Efectuado el cálculo de la capacidad neta de neutralización (muy negativa en todos los casos), se deduce que este depósito puede ser visto como un arsenal de generación de acidez. Esto se manifiesta, y se seguirá manifestando por tiempo desconocido, mediante la formación de eflorescencias superficiales en verano, las cuales son producto de la oxidación de la pirita y otros sulfuros y el posterior ascenso capilar y deposición de los sulfatos generados. Dichas eflorescencias como se ha visto se disolverán en otoño, pudiendo salir a través del dique.

Observando la medida de contenidos totales de los diferentes elementos, destaca el Fe como elemento mayoritario. Destacan también los niveles totales de Ba, As, Zn y, especialmente, Pb.

Si se comparan los valores totales medidos en muestras superficiales con los criterios establecidos por la Junta de Andalucía (1999) para fijar valores de intervención en



terrenos forestales, se observa que solamente habría que preocuparse por los elementos As y Pb. No obstante, al tratarse de medidas totales o pseudototales, puede resultar erróneo no considerar los contenidos en elementos solubles y en posiciones de cambio catiónico, para los que no existen elementos de juicio. Algo semejante ocurre con los resultados del test TCLP. Parece que una simple comparación con los niveles establecidos de contenidos totales o los niveles extraídos teóricamente lixiviables no permiten enjuiciar correctamente la evidente problemática de este depósito, a la luz de las pruebas de extracción secuencial de las fases más móviles.

8. BIBLIOGRAFÍA

Barrie, C. T., Amelin, Y. & Pascual, E. 2002. U–Pb geochronology of VMS mineralization in the Iberian Pyrite Belt. *Mineralium Deposita*, 37 (8), 684–703.

Bellinfante, N. L. Martínez Zavala y G. Paneque. 2000. Cartografía de unidades geomorfoedáficas de la comarca del Andévalo (NW de Huelva). Relaciones suelo/geomorfología. *Edafología*, vol. 7-3, pp. 287-289.

Dold, B. 2005. *Basic Concepts of Environmental Geochemistry of Sulfide Mine-Waste*. XXIV Curso Latinoamericano de metalogenia. Lima, Perú. 36 p.

Carvalho, P., L. Conde, J. Hernández Enrile, V. Oliveira and L. J. G. S. Schermerhom. 1976. III Reuniao de Geologia do Sodoeste do Macico Hesperico da Peninsula Iberica, Huelva-Beja, Faixa Piritosa Iberica: Comunicacoes Services Geologicos Portugal, v. 60, pp: 271-315.

Carvalho D., F. J. A. S. Barriga and J. Munhá. 1999. Bimodal siliciclastic systems-The Case of The Iberian Pyrite Belt. In. T. Barrie and M Hannington (eds.). *Volcanic-Associated Massive Sulfide Deposits: Processes and Examples in Modern and Ancient Settings*. Reviews in Economic Geology vol. 8, chap. 16, pp. 375-408.

Conde, C. y F. Tornos. 2007. Litoestratigrafía y arquitectura de las rocas volcánicas de la zona norte de la Faja Pirítica (zona San Telmo-Aguas Teñidas-Cueva de la Mora). En: IGME. 2007. Apoyo cartográfico y estructural al estudio de sulfuros masivos del sector septentrional de la Faja Pirítica Ibérica. Informe inédito. Servicio de Documentación del IGME. Anexo II. pp. 68-85.

García de Miguel, J. M. 1990. Mineralogía, paragénesis, y sucesión de los sulfuros masivos de la Faja Pirítica en el suroeste de la Península Ibérica. *Boletín Geológico y Minero*, vol.101-1: 73-105.



Hontoria Fernández, Chiquinquirá. 1995. *El régimen de humedad de los suelos de la España peninsular*. Tesis Doctoral. Departamento de Edafología de la ETSI Agrónomos, Universidad Politécnica de Madrid.

IGME. 2007. Apoyo cartográfico y estructural al estudio de sulfuros masivos del sector septentrional de la Faja Pirítica Ibérica. Informe inédito. Servicio de Documentación del IGME. 138 p.

Kersabiec, A. M. et G. Roger. 1976. Sur la distribution de quelques éléments en traces dans l'enceinte des amas pyriteux de la partie de la province de Huelva. Bull. B. R. G. M., 2^{ème} serie, II, 5 : 439-485.

Leistel, J.M., Marcoux, E. & Thieblemont, D. 1998. The volcanic-hosted massive sulphide deposits of the Iberian Pyrite Belt. Review and preface to the Thematic Issue. *Mineralium Deposita*, 33, 2-30.

Lopez-Arias, M, y J. M. Grau. 2005. *Metales pesados, materia orgánica y otros parámetros de la capa superficial de suelos agrícolas y de pastos en la España peninsular*. INIA.

Mantero, E. M., E.. García Navarro, F..M. Alonso-Chaves, L..M. Martín Parra, J. Matas y A. Azor. 2007. La Zona Sudportuguesa: propuesta para la división de un bloque continental en dominios. *Geogaceta*, 43: 27-30.

MAPA. 1989. *Caracterización agroclimática de la provincia de Huelva*. Dirección General de la Producción Agraria. MAPA. Madrid.

MAPA. 1991. *Mapa Forestal de España*. E: 1/200.000. Hoja 3-10 Sevilla. ICONA, Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. 132.páginas, 1 mapa.

Quesada, C. 1998. A reappraisal of the structure of the Spanish segment of the Iberian Pyrite Belt. *Mineralium Deposita*, 33 (1-2): 31-44.

Rivas Martínez, S., (1987). "Mapa de series de vegetación de España". Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. ICONA.

Rötting, T., C. Ayora y J. Carrera. 2004. *Informe sobre los bidones experimentales de tratamiento de aguas ácidas de mina en la mina Cueva de la Mora*. Proyecto Tramientos pasivos de aguas ácidas de mina en la cuenca del Odiel. IGME. IJA-CSIC, UPC, UHU. informe inédito. 61 p.

Sarmiento Aguasanta, J. M. Nieto, M. Olías & C. Cánovas. 2005a. Environmental impact of mining activities in the Odiel river basin (SW Spain). Proceedings of 9th International Mine Water Congress. Oviedo, Asturias, Spain. pp. 89-94.



Sarmiento, A. M., C. Casiot, J. M. Nieto, F. Elbaz-Poulichet y M. Olías. 2005b. Variación estacional en la especiación y movilidad de Fe y As en aguas afectadas por drenajes ácidos de mina en la cuenca del río Odiel (Huelva). *Geogaceta*, 37:115-118.

Silva, J. B., J. T. Oliveira and A. Ribeiro. 1990. Structural outline, South Portuguese Zone. In: Pre-Mesozoic Geology of Iberia. Dallmeyer, R. D. and E. Martínez García (eds.). Springer-Verlag. pp. 348-362.

Schermerhom, L. J. G. 1971. An outline stratigraphy of the Iberian Pyrite Belt. *Boletín Geológico y Minero*, v. 82: 239-268.

SOIL SURVEY STAFF. 1993. *Soil Survey Manual*. Agricultural Handbook No. 18. Soil Conservation Service, Washington, DC.

Soriano, C. and Casas, J. M. 2002. Cross section through the central part of the Iberian Pyrite Belt, South Portuguese Zone (Spain). *Geological Society of America Special Paper* 364: 183-197



ANEXO I. BALANCES HÍDRICOS



Tabla A.I.1. Balance hídrico por el método directo de la estación de Almonaster. ETP según Thornthwaite.

ALMONASTER				CLAVE: 4563					UTM X: 694650				
HOJA Nº: 917				Nº AÑOS T: 49					UTM Y: 4194110				
Reserva máxima: 100mm				Nº AÑOS P: 52					ALTITUD: 610 m.s.n.m.				
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	AÑO
P	112,8	143,1	174,9	157,2	124,1	103,8	95,7	69,0	31,0	5,1	8,2	44,8	1069,9
ETP	49,1	28,6	20,1	19,6	22,2	33,4	48,0	75,1	101,7	125,9	112,2	79,5	715,4
P-ETP	63,7	114,5	154,8	137,6	101,9	70,4	47,7	-6,1	-70,7	-120,8	-104,0	-34,7	354,5
PPA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	76,8	197,6	301,6	336,3	///
R	63,7	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	93,9	23,2	0,0	0,0	0,0	///
ΔR	63,7	36,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	6,1	70,7	23,2	0,0	0,0	///
ETR	49,1	28,6	20,1	19,6	22,2	33,4	48,0	75,1	101,7	28,3	8,2	44,8	715,4
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	97,6	104,0	34,7	236,3
Ex	0,0	78,2	154,8	137,6	101,9	70,4	47,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	354,5
D	0,0	39,1	97,0	117,3	109,6	90,0	68,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	117,3

Tabla A.I.2. Balance hídrico por el método directo de la estación de Cabezas Rubias. ETP según Thornthwaite.

CABEZAS RUBIAS				CLAVE:					UTM X:				
HOJA Nº:				Nº AÑOS T:					UTM Y:				
Reserva máxima: 100mm				Nº AÑOS P:					ALTITUD: m.s.n.m.				
	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	AÑO
P	109,4	125,9	144,4	145,1	122,2	97,6	79,3	62,2	33,0	2,9	5,3	29,3	956,7
ETP	60,2	31,2	20,4	18,8	21,0	33,2	43,5	69,2	105,6	138,3	132,0	99,7	773,1
P-ETP	49,2	94,7	124,0	126,3	101,2	64,4	35,8	-7,0	-72,6	-135,4	-126,7	-70,4	183,6
PPA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	79,6	215,0	341,7	412,1	///
R	49,2	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	93,0	20,4	0,0	0,0	0,0	///
ΔR	49,2	50,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	7,0	72,6	20,4	0,0	0,0	///
ETR	60,2	31,2	20,4	18,8	21,0	33,2	43,5	69,2	105,6	23,3	5,3	29,3	773,1
F	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	115,0	126,7	70,4	312,1
Ex	49,2	43,9	124,0	126,3	101,2	64,4	35,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	183,6
D	24,6	34,3	79,1	102,7	102,0	83,2	59,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	91,8



**ANEXO II. RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE
LABORATORIO.**



En las sucesivas tablas se muestran los resultados analíticos obtenidos sobre las muestras de lodos y otros materiales recogidas en Cueva de la Mora y su entorno.

Tabla A.II.1. Parámetros deducidos a partir de las curvas granulométricas obtenidas en los laboratorios del IGME. d_{50} representa el diámetro de malla (mm) que permite el paso del 50% de la muestra. d_{90} representa el diámetro de malla (mm) que permite el paso del 90% de la muestra.

MUESTRA	d_{50}	d_{90}	< 0'25mm (%)	% ARENA (0,06-2mm)	%LIMO (0,002-0,06mm)	% ARCILLA (<0,002mm)
CU-B ₁ -1-1	0.02	0.07	99.85	11.5	83.78	4.72
CU-B ₁ -1-2	0.08	0.17	98.16	65.0	30.3	4.70
CU-B ₁ -1-3	0.005	0.05	99.87	8.5	56.71	34.79
CU-B ₁ -1-4	0.008	0.024	99.99	0.45	86.71	12.84
CU-B ₁ -1-5	0.012	0.05	99.94	11.5	75.69	12.81
CU-B ₁ -1-6	0.005	0.016	99.98	0.4	81.63	17.97
CU-B ₁ -1-7	0.006	0.019	99.96	1.00	83.77	15.23
CU-B ₁ -1-8	0.007	0.040	99.55	6.00	74.32	19.68

Tabla A.II.2. Parámetros deducidos a partir de las curvas granulométricas obtenidas en los laboratorios del IGME. d_{50} representa el diámetro de malla (mm) que permite el paso del 50% de la muestra. d_{90} representa el diámetro de malla (mm) que permite el paso del 90% de la muestra.

MUESTRA	d_{50}	d_{90}	< 0'25mm (%)	% ARENA (0,06-2mm)	%LIMO (0,002-0,06mm)	% ARCILLA (<0,002mm)
CU-B ₁ -2-1	0.018	0.050	99.93	8.00	82.63	9.37
CU-B ₁ -2-2	0.003	0.080	99.07	12.05	52.56	35.39
CU-B ₁ -2-3	0.005	0.041	99.99	4.80	73.33	21.87
CU-B ₁ -2-4	0.007	0.018	100.00	0.40	85.22	14.38
CU-B ₁ -2-5	0.004	0.017	99.96	1.00	75.27	23.73
CU-B ₁ -2-6	0.004	0.017	99.82	0.60	71.60	27.80
CU-B ₁ -2-7	0.005	0.021	99.51	1.60	77.98	20.42



Tabla A.II.3. Parámetros deducidos a partir de las curvas granulométricas obtenidas en los laboratorios del IGME. d_{50} representa el diámetro de malla (mm) que permite el paso del 50% de la muestra. d_{90} representa el diámetro de malla (mm) que permite el paso del 90% de la muestra.

MUESTRA	d_{50}	d_{90}	< 0'25mm (%)	% ARENA (0,06-2mm)	%LIMO (0,002-0,06mm)	% ARCILLA (<0,002mm)
CU-B ₁ -SET	0.018	0.060	99.13	10.00	80.64	9.36
CU-B ₂ -SET	0.004	0.087	99.54	16.00	52.97	31.03

Tabla A.II.4. Características físicas de las muestras de suelos naturales tomadas en el entorno de los depósitos de lodos de Cueva de la Mora.

MUESTRA	Color Munsell (húmedo, campo)	Color Munsell (seco, lab.)	EG (%)	Fracciones granulométricas (USDA) en %		
				Ar	L	Ac
CU-NAT-1	5 YR 4/4	5 YR 5/4	34.29	47.9	36.2	15.9
CU-NAT-2	7'5 YR 4/4	7'5 YR 5/4	39.74	33.1	49.8	17.1
CU-NAT-3	7'5 YR 3/2	7'5 YR 5/2	s.d.	25.1	61.0	13.9
CU-NAT-4	7'5 YR 4/6	7'5 YR 5/6	52.48	46.1	33.2	20.7
CU-NAT-5	5 YR 3/3	5 YR 4/3	45.74	54.9	31.9	13.2
CU-NAT-6	5 YR 4/6	5 YR 4/6	41.93	58.9	33.6	7.55
CU-NAT-7	5 YR 4/6	5 YR 5/6	56.24	42.7	39.0	18.3
CU-NAT-8	7'5 YR 4/4	7'5 YR 5/4	49.17	57.6	28.8	13.6



Tabla A. II.5. Valores de pH, azufre total, azufre en forma de sulfatos (Sulfato), azufre pirítico (Spir.) y capacidad de neutralización potencial de las muestras del sondeo CU-B₁-1. El pH se midió sobre pasta saturada. Los valores de azufre total se midieron por combustión total. Sulfato fue medido por fluorescencia de rayos X sobre extracto con oxalato amónico. Spir. fue obtenido como diferencia entre el azufre total y el valor de azufre sulfato. La capacidad de neutralización potencial fue medida por el método de Sobek *et al.*, (1987).

MUESTRA	pH	%Stotal	%Sulfato	%Spir.	C.N.P. (t CaCO ₃ /1000 t material)
CU-B ₁ -1-1	1.81	25.000	0.225	24.775	-9.8
CU-B ₁ -1-2	1.24	1.100	0.695	0.405	-15.5
CU-B ₁ -1-3	1.39	2.330	1.480	0.850	-47.5
CU-B ₁ -1-4	1.15	39.380	1.176	38.204	-35.3
CU-B ₁ -1-5	1.28	34.450	0.602	33.848	-21.5
CU-B ₁ -1-6	2.13	35.860	1.320	34.540	-43.5
CU-B ₁ -1-7	2.53	11.310	2.217	9.143	-38.4
CU-B ₁ -1-8	2.50	16.140	1.078	15.062	-37.9

Tabla A. II.6. Valores de pH, azufre total, azufre en forma de sulfatos (Sulfato), azufre pirítico (Spir.) y capacidad de neutralización potencial de las muestras del sondeo CU-B₁-2. El pH se midió sobre pasta saturada. Los valores de azufre total se midieron por combustión total. Sulfato fue medido por fluorescencia de rayos X sobre extracto con oxalato amónico. Spir. fue obtenido como diferencia entre el azufre total y el valor de azufre sulfato. La capacidad de neutralización potencial fue medida por el método de Sobek *et al.*, (1987).

MUESTRA	pH	%Stotal	%Sulfato	%Spir.	C.N.P. (t CaCO ₃ /1000 t material)
CU-B ₁ -2-1	1.25	28.45	0.524	27.926	-24.5
CU-B ₁ -2-2	1.83	1.45	1.153	0.297	-19.1
CU-B ₁ -2-3	1.71	5.19	0.586	4.604	-16.6
CU-B ₁ -2-4	1.89	33.09	0.149	32.941	-9.2
CU-B ₁ -2-5	2.32	33.07	0.130	32.940	-8.2
CU-B ₁ -2-6	2.70	8.48	0.378	8.102	-16.3
CU-B ₁ -2-7	2.27	21.42	0.701	20.719	-8.7



Tabla A. II.7. Valores de pH, azufre total, azufre en forma de sulfatos (Sulfato), azufre pirítico (Spir.) y capacidad de neutralización potencial de las muestras de eflorescencias, precipitados y mineral en Cueva de la Mora. El pH se midió sobre pasta saturada. Los valores de azufre total se midieron por combustión total. Sulfato fue medido por fluorescencia de rayos X sobre extracto con oxalato amónico. Spir. Fue obtenido como diferencia entre el azufre total y el valor de azufre sulfato. La capacidad de neutralización potencial fue medida por el método de Sobek *et al.*, (1987).

MUESTRA	pH	%Stotal	%Sulfato	%Spir.	C.N.P. (t CaCO ₃ /1000 t material)
CU-B ₁ -EF	0.27	17.367	5.937	11.430	-512.8
CU-B ₂ -EF	0.15	12.35	4.364	7.986	-340,5
CU-PR	1.48	8.92	2.234	6.686	-48.8
CU-MIN	0.79	13.80	2.013	11.787	-48.3
CU-B ₁ -SET	0.84	24.65	1.079	23.574	-42.0
CU-B ₂ -SET	1.65	0.92	0.537	0.383	-8.8

Tabla A.II.8. Valores de pH y capacidad de neutralización potencial de las muestras del suelos naturales y sedimentos en el entorno del depósito de Cueva de la Mora. El pH se midió sobre pasta saturada. La capacidad de neutralización potencial fue medida por el método de Sobek *et al.*, (1987).

MUESTRA	pH	C.N.P. (t CaCO ₃ /1000 t material)
CU-NAT-1	3.76	-1.00
CU-NAT-2	4.10	-0.22
CU-NAT-3	6.41	-5.90
CU-NAT-4	4.39	0
CU-NAT-5	4.53	+2.7
CU-NAT-6	5.64	+2.5
CU-NAT-7	4.79	+1.7
CU-NAT-8	4.48	0.7
CU-SED	1.96	-13.60



Tabla A.II.9. Resultados analíticos de muestras de lodos, suelos y eflorescencias sometidas al test de extracción TCLP (método EPA 1311). En rojo se indican los límites establecidos para identificar los residuos peligrosos según el resultado de aplicar el test, salvo (*), que son límites establecidos para la aplicación del test STLC.

MUESTRA	Ag	As	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Se	Zn
TCLP limit (mg/L)	5	5	1	80(*)	5	25(*)	0.2	20(*)	5	1	250(*)
CU-NAT 1	0.00006	0	0.053	0.017	0	0.092	0	0.012	0.064	0	0.24
CU NAT-2	0	0	0.025	0.019	0	0.089	0	0.019	0.014	0	0.24
CU NAT 4	0.0002	0	0.002	0.004	0.0007	0.060	0	0.007	0.019	0	0.052
CU NAT 5	0	0	0.003	0.003	0	0.098	0	0.008	0.008	0	0.087
CU NAT 6	0	0.001	0.002	0.016	0.005	0.078	0	0.017	0.002	0	0.085
CU NAT 7	0	0	0.004	0.004	0	0.12	0	0.002	0.045	0	0.15
CU NAT 8	0	0	0.004	0.009	0.001	0.040	0	0.009	0.005	0.002	0.33
CU SED-2	0.00008	0.006	0.059	0.089	0.016	1.88	0.010	0.13	8.33	0	23.1
CU B1-SET	0.0009	0.020	0.103	0.187	0	7.55	0.00002	0.091	4.44	0	28.42
CU B2-SET	0.007	0.048	0.025	0.018	0	1.08	0.087	0.024	7.70	0	9.29



Tabla A.II.10. Resultados analíticos de muestras de aguas tomadas sobre los encharcamientos que se forman en invierno en cada una de las balsas en que puede subdividirse en depósito de Cueva de la Mora.

	Balsa CU-B1	Balsa CU-B2
	Noviembre 2007	Noviembre 2007
MEDIDAS DE CAMPO		
C.E 20°. (mS/cm)	12'74	2'09
MEDIDAS DE LABORATORIO		
Sólidos disueltos (mg/l)	13.342	1.428
Sólidos en suspensión (mg/l)	39'7	4'7
pH	2'03	2'72
C.E 20°. (mS/cm)	15'113	1'76
Alcalinidad (mg/l)	--	--
Fe (µg/l)	2665	31'5
Cu (µg/l)	66'70	4'73
Mn (µg/l)	12'80	55'40
Zn (µg/l)	74'90	33'60
Al (µg/l)	152'00	32'20
Ni (µg/l)	314'00	139'00
As (µg/l)	9160'00	<100'00
Ba (µg/l)	27'90	47'40
Cd (µg/l)	167'00	52'80
Co (µg/l)	760'00	91'40
Cr (µg/l)	114'00	25'80
Pb (µg/l)	1522'00	352'00
Sb (µg/l)	141'00	<2'00



Tabla A.II.11. Minerales identificados sobre la fracción inferior a 0'063 mm mediante análisis cualitativo por Difracción de Rayos X sobre polvo cristalino. La identificación de las especies se realizó con el Software X'Perl y la base de datos ICDD en los laboratorios del IGME. La llamada (i) expresa duda sobre la existencia del mineral citado.

MUESTRA	Minerales principales	Minerales secundarios	Accesorios y trazas
CU-B₁-1-1	CUARZO, PIRITA, BARITA	ALUNITA	MOSCOVITA
CU-B₁-1-2	CUARZO	BARITA, PIRITA, MOSCOVITA	ALBITA
CU-B₁-1-3	CUARZO	JAROSITA, MOSCOVITA	COQUIMBITA, PIROCROITA (i)
CU-B₁-1-4	BARITA, PIRITA	CUARZO	ANGLESITA
CU-B₁-1-5	PIRITA, BARITA	CUARZO	MOSCOVITA
CU-B₁-1-6	BARITA, PIRITA	CUARZO	KIESERITA
CU-B₁-1-7	PIRITA, BARITA	CUARZO, MOSCOVITA, YESO	CAOLINITA, PIROCROITA (i)
CU-B₁-1-8	CUARZO	PIRITA, MOSCOVITA	YESO, CLORITA



Tabla A.II.12. Minerales identificados sobre la fracción inferior a 0'063 mm mediante análisis cualitativo por Difracción de Rayos X sobre polvo cristalino. La identificación de las especies se realizó con el Software X'Perl y la base de datos ICDD en los laboratorios del IGME. La llamada (i) expresa duda sobre la existencia del mineral citado.

MUESTRA	Minerales principales	Minerales secundarios	Accesorios y trazas
CU-B₁-2-1	CUARZO, BARITA, PIRITA	---	MOSCOVITA
CU-B₁-2-2	CUARZO, MOSCOVITA	JAROSITA, PIRITA, BARITA	---
CU-B₁-2-3	CUARZO	MOSCOVITA, PIRITA	ANGLESITA
CU-B₁-2-4	PIRITA	BARITA, CUARZO	ANGLESITA
CU-B₁-2-5	PIRITA	BARITA, CUARZO	ANGLESITA
CU-B₁-2-6	CUARZO	PIRITA, MOSCOVITA	BARITA, BASANITA, ANGLÉSITA, PIROCROITA (i)
CU-B₁-2-7	CUARZO, PIRITA	BARITA, MOSCOVITA	---



Tabla A.II.13. Minerales identificados sobre la fracción inferior a 0'063 mm mediante análisis cualitativo por Difracción de Rayos X sobre polvo cristalino. La identificación de las especies se realizó con el Software X'Perl y la base de datos ICDD en los laboratorios del IGME.

MUESTRA	Minerales principales	Minerales secundarios	Accesorios y trazas
CU-B₁-SET	BARITA, PIRITA	CUARZO	MOSCOVITA, PIROFILITA, ANGLÉSITA
CU-B₂-SET	CUARZO	MOSCOVITA	ALBITA, CLORITA, JAROSITA

Tabla A.II.14. Minerales identificados sobre la fracción inferior a 0'063 mm mediante análisis cualitativo por Difracción de Rayos X sobre polvo cristalino. La identificación de las especies se realizó con el Software X'Perl y la base de datos ICDD en los laboratorios del IGME.

MUESTRA	Minerales principales	Minerales secundarios	Accesorios y trazas
CU-PR	HIDRONIOJAROSITA,	CUARZO	NATROJAROSITA, STARKEYITA
CU-EF-1	ROMBOCLASA	MAGNESIOCOPIAPITA	COQUIMBITA
CU-EF-2	MAGNESIOCOPIAPITA	---	CUARZO, RICHTERITA
CU-SED	CUARZO	MOSCOVITA, HEMATITES	CLORITA, JAROSITA, PIRITA
CU-MIN	ANGLÉSITA	BARITA	ROMBOCLASA, VOLTAITA, MOSCOVITA



A continuación se exponen las tablas de datos obtenidos en la extracción secuencial de las muestras. Las medidas vienen expresadas siempre en mg/kg. Las diferentes fracciones (**FR.**), numeradas con números del **1** al **7**, se corresponden con los diferentes extractantes

- **Fracción 1:** Agua destilada (30 ml por 1 g de muestra, agitando durante una hora a temperatura ambiente): se disuelven el yeso y las sales metálicas solubles en agua como calcantita o pickeringita.
- **Fracción 2:** Acetato amónico 1M a pH 4'5, agitando durante dos horas a temperatura ambiente: se extrae la fracción de cambio y la ligada a carbonato cálcico.
- **Fracción 3:** Oxalato amónico 0'2 M, a pH 3, agitando durante una hora en oscuridad: disuelve completamente oxihidróxidos e hidroxisulfatos de Fe (III) tales como swertmannita y ferrihidrita de dos líneas.
- **Fracción 4:** Oxalato amónico 0'2 M, a pH 3, en baño de agua a 80° C, agitando durante dos horas: disuelve todos los minerales secundarios de Fe(III).
- **Fracción 5:** Agua oxigenada al 35% en baño de agua durante una hora: se disuelven la materia orgánica y los sulfuros supergénicos de cobre (covellina y calcosina).
- **Fracción 6:** Ácido clorhídrico y clorato potásico, seguido de ebullición con ácido nítrico 4M: se disuelven los sulfuros primarios.
- **Fracción 7:** Mezcla de ácidos clorhídrico, fluorhídrico, nítrico y perclórico, para atacar los contenidos residuales en silicatos, en digestor abierto sobre placa calefactora.

CU-B1-SET										CU-B1-SET										
FR	Al	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg	Tl	Pb	U
1	513,08	0,34	9,90	12218,30	2,31	0,95	196,88	220,32	82,48	0,35	1,10	0,52	0,61	0,17	2,17	226,85	0,06	2,77	125,69	0,62
2	55,65	0,52	0,73	868,11	0,16	0,02	7,68	12,00	27,09	0,19	0,35	0,00	0,02	0,00	2,53	353,61	0,22	0,53	11038,70	0,04
3	13,56	0,55	0,00	100,53	0,01	0,00	5,95	1,18	5,26	0,09	0,42	0,72	0,00	0,01	1,78	288,85	0,11	0,07	538,76	0,02
4	22,78	0,15	0,00	193,98	0,04	0,00	3,23	2,44	9,52	0,31	1,42	1,07	0,00	0,44	35,46	560,24	0,13	0,11	120,63	0,16
5	5,53	1,14	4,17	12439,65	2,61	0,60	14,68	33,95	65,01	0,73	4,37	0,33	0,07	0,00	2,79	22,84	0,00	1,89	27,48	0,00
6	9,58	0,15	1,43	13553,31	3,02	0,47	32,72	119,32	45,44	0,04	0,70	5,83	0,24	0,08	13,88	437,90	4,37	1,02	78,85	0,00
7	3444,48	0,00	3,37	210,25	0,00	0,23	3,78	11,38	2,40	0,00	0,17	0,12	0,05	0,38	20,05	5972,50	0,00	1,86	3,25	1,70
SUMA	4064,65	2,85	19,60	39584,13	8,14	2,27	264,93	400,59	237,20	1,72	8,53	8,60	0,99	1,08	78,66	7862,79	4,88	8,25	11933,36	2,53

CU-B2-SET										CU-B2-SET										
FR	Al	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg	Tl	Pb	U
1	306,28	0,13	39,01	253,57	0,36	0,56	55,45	169,88	0,68	0,07	0,00	0,12	0,47	0,01	0,02	8,60	0,01	0,04	56,10	0,51
2	74,42	0,00	3,89	505,90	0,04	0,02	6,95	18,35	8,74	0,00	0,02	0,00	0,04	0,00	2,36	45,47	0,04	0,09	401,61	0,26
3	15,54	5,05	0,00	557,50	0,01	0,00	4,13	4,35	27,74	0,09	0,62	0,38	0,02	0,03	4,23	49,24	0,00	0,06	146,93	0,05
4	143,10	1,83	4,28	17100,73	0,11	0,27	267,04	244,53	473,92	1,45	10,17	5,75	0,06	1,71	75,28	30,19	0,03	10,42	1741,12	0,06
5	17,46	1,03	2,05	93,37	0,06	0,09	17,15	111,21	0,00	0,26	0,13	4,31	0,33	0,00	1,28	11,00	0,53	0,44	2505,41	0,00
6	337,98	0,90	11,07	2374,39	0,04	0,24	42,66	124,65	64,63	0,00	1,47	0,79	0,13	0,36	18,04	1450,66	2,12	0,49	1459,90	0,00
7	24793,62	2,63	56,72	1387,78	0,05	0,00	4,98	33,75	6,95	0,00	0,60	1,89	0,00	3,85	58,45	5517,33	0,00	32,58	39,29	14,79
SUMA	25688,40	11,56	117,01	22273,24	0,66	1,18	398,37	706,72	582,65	1,87	13,01	13,24	1,06	5,96	159,66	7112,49	2,73	44,11	6350,36	15,67



CU-PR										CU-PR										
FR	Al	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg	Tl	Pb	U
1	2642,70	0,06	411,65	1467,47	20,03	19,07	156,53	8669,30	0,82	0,90	0,00	0,09	12,82	0,06	0,00	1,66	0,00	0,00	1,60	21,60
2	469,41	0,00	46,35	17622,60	2,04	2,11	31,80	816,52	6,94	0,05	0,02	0,00	1,46	0,00	1,19	1,90	0,00	0,01	1,54	1,14
3	201,89	2,15	0,00	36047,58	0,14	0,06	15,97	77,31	22,70	0,03	0,25	0,01	0,14	0,08	5,85	2,20	0,00	0,06	2,90	0,37
4	255,24	1,88	12,27	85453,10	0,18	0,21	101,06	140,53	89,30	0,28	0,87	1,48	0,27	0,31	8,55	14,76	0,00	3,00	185,00	3,45
5	10,02	0,54	1,09	113,88	0,01	0,04	0,42	1,39	0,00	0,61	0,53	0,69	0,05	0,00	0,00	0,41	0,00	0,36	33,89	0,00
6	565,85	2,40	38,16	119574,04	0,30	0,83	141,94	166,59	1099,59	0,19	3,42	0,00	0,15	0,71	24,01	393,57	0,00	2,85	516,85	0,00
7	4694,00	1,92	15,07	1322,52	0,18	2,03	4,82	7,04	13,11	0,00	0,20	0,34	0,00	0,30	7,05	773,00	0,00	1,35	88,23	0,84
SUMA	8839,10	8,95	524,59	261601,19	22,88	24,35	452,55	9878,67	1232,45	2,07	5,29	2,61	14,90	1,46	46,65	1187,50	0,00	7,64	830,01	27,40

CU-B1-EF										CU-B1-EF										
FR	Al	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg	Tl	Pb	U
1	7005,10	2,54	639,22	182443,10	39,03	30,33	2259,30	15824,00	2961,15	2,25	49,13	0,16	42,77	0,19	15,45	0,00	0,00	1,47	38,85	5,59
2	26,39	0,63	13,79	3662,60	0,87	0,61	50,20	333,59	118,60	0,23	1,43	0,00	1,17	0,01	0,00	5,08	0,00	0,04	81,70	0,81
3	7,35	0,98	0,00	155,95	1,48	0,00	2,06	13,11	2,96	0,03	0,06	0,72	0,03	0,00	0,34	5,80	0,00	0,00	1,62	0,04
4	50,02	0,12	0,00	34,27	0,01	0,03	0,48	1,12	0,65	0,10	0,02	0,23	0,00	0,00	0,44	96,80	0,00	0,00	4,88	0,04
5	0,00	0,50	0,49	27,09	0,02	0,02	0,00	2,88	0,00	0,03	0,06	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
6	7,04	0,70	0,17	411,36	0,00	0,00	1,67	3,59	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	91,90	0,00	0,08	0,58	0,00
7	61,90	0,00	0,22	46,32	0,00	0,00	1,59	2,04	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,12	21,21	0,00	0,01	0,00	0,01
SUMA	7157,80	5,48	653,90	186780,68	41,41	30,99	2315,29	16180,33	3084,26	2,64	50,70	1,27	43,97	0,20	16,35	220,78	0,00	1,61	127,63	6,48

CU-B2-EF										CU-B2-EF										
FR	Al	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg	Tl	Pb	U
1	10744,50	0,02	668,10	101268,30	10,56	14,13	3765,00	7057,11	1364,80	1,75	13,71	2,12	25,64	0,65	1,74	4,02	0,06	2,10	129,84	9,14
2	518,82	0,85	22,49	3135,80	0,41	0,54	121,69	218,07	73,07	0,53	0,30	0,00	0,90	0,05	2,82	33,73	0,07	0,03	2727,36	0,95
3	20,53	1,11	0,00	177,32	0,02	0,00	7,05	12,43	2,62	0,08	0,06	0,41	0,05	0,00	0,29	36,01	0,00	0,02	120,71	0,06
4	11,77	0,03	0,00	65,37	0,00	0,00	1,34	0,38	1,55	0,25	0,15	0,07	0,00	0,09	1,88	253,00	0,00	0,04	14,49	0,15
5	9,83	1,87	1,48	71,09	0,05	0,16	150,38	66,83	0,00	0,44	0,00	0,82	0,25	0,00	0,36	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
6	26,94	0,84	4,15	2611,43	0,02	0,14	83,17	105,12	94,25	0,00	0,00	0,00	1,07	0,15	17,40	958,26	0,00	0,09	16,15	0,00
7	4794,53	0,20	4,40	206,32	0,00	0,00	1,24	4,57	3,01	0,00	0,07	0,08	0,01	0,45	10,87	1788,28	0,00	4,37	1,88	1,84
SUMA	16126,92	4,91	700,61	107535,63	11,06	14,96	4129,86	7464,52	1539,30	3,04	14,29	3,50	27,91	1,40	35,35	3073,30	0,13	6,70	3010,43	12,13



CU-NAT-1

FR	Al	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg	Tl	Pb	U
1	72,65	0,10	27,15	28,12	0,13	0,40	1,96	0,29	0,09	0,06	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,35	0,02
2	416,78	3,59	173,84	100,95	0,41	0,60	17,12	6,07	0,46	0,01	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	30,25	0,00	0,02	21,96	0,72
3	674,43	1,98	911,90	430,05	11,58	1,02	34,23	5,62	2,56	0,00	0,10	0,15	0,11	0,03	0,01	8,56	0,00	0,02	35,94	0,00
4	1905,93	11,20	146,41	13180,00	2,17	6,71	38,23	19,34	16,55	0,11	0,76	0,00	0,16	0,32	1,03	13,58	0,00	0,02	20,29	0,07
5	140,96	4,30	2,86	67,79	0,07	0,38	0,79	0,36	0,00	0,42	0,20	0,03	0,00	0,00	0,05	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00
6	4282,36	9,04	168,33	14030,80	3,89	15,55	22,86	41,55	12,32	0,00	0,00	0,00	0,16	0,38	0,00	4,11	0,00	0,03	9,37	0,00
7	22860,02	58,06	89,94	8452,76	3,11	19,52	19,99	26,52	5,94	0,00	0,72	0,36	0,02	2,22	1,47	313,17	0,00	0,61	2,56	6,38
SUMA	30353,13	88,26	1520,42	36290,47	21,34	44,17	135,17	99,75	37,91	0,59	1,79	0,53	0,71	2,96	2,56	372,05	0,00	0,71	90,48	7,19

CU-NAT-2

FR	Al	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg	Tl	Pb	U
1	34,75	0,03	19,66	28,60	0,09	0,07	0,61	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	1,04	0,00	0,00	0,15	0,00
2	398,25	6,55	260,14	118,45	0,50	1,19	27,11	16,12	7,89	0,01	0,00	0,00	0,36	0,00	0,00	62,67	0,00	0,03	10,56	0,83
3	630,77	1,77	1390,62	621,71	17,45	1,39	46,42	6,54	4,32	0,00	0,16	1,91	0,14	0,02	0,06	21,75	0,00	0,03	38,35	0,68
4	1818,53	11,48	363,21	10707,33	4,10	8,71	52,56	22,62	19,97	0,14	0,51	0,01	0,11	0,40	0,95	28,08	0,00	0,02	23,86	0,96
5	184,29	3,97	11,29	94,38	0,18	0,85	5,51	0,43	0,00	0,43	0,06	0,00	0,00	0,00	0,14	4,82	0,00	0,00	0,00	0,00
6	3174,20	6,24	334,55	7185,91	2,73	13,81	43,94	32,80	8,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,31	0,00	36,85	0,00	0,04	9,47	0,00
7	19390,65	36,71	167,37	12478,72	3,11	15,85	57,48	36,25	6,65	0,00	0,21	0,21	0,03	1,57	1,71	232,39	0,00	0,57	8,57	0,27
SUMA	25631,44	66,76	2546,84	31235,10	28,16	41,87	233,62	114,76	47,46	0,58	0,93	2,13	0,65	2,30	2,86	387,60	0,00	0,69	90,95	2,74

CU-SED

FR	Al	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg	Tl	Pb	U
1	672,98	0,55	763,13	95,55	1,96	2,96	95,77	548,44	0,49	0,33	0,00	0,00	1,27	0,03	0,00	1,94	0,01	0,08	43,28	0,75
2	491,36	1,81	87,23	240,20	0,26	0,38	43,54	75,11	4,11	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00	0,77	145,70	0,03	0,26	946,00	1,28
3	185,60	2,28	0,00	932,33	0,03	0,05	25,08	8,70	60,78	0,09	0,28	0,20	0,02	0,49	3,63	81,03	0,00	0,06	200,97	0,61
4	1356,14	12,20	83,38	19557,29	0,45	1,34	186,91	88,12	445,14	1,41	3,79	0,11	0,08	2,69	56,76	98,94	0,05	5,20	1038,22	1,12
5	354,27	1,91	34,92	542,63	0,75	0,88	45,59	116,59	0,94	0,18	0,00	2,42	0,32	0,00	0,41	0,00	0,36	0,23	104,77	0,00
6	1934,59	3,26	55,00	16202,15	0,87	1,81	109,77	351,91	140,61	0,26	0,86	15,66	0,73	1,50	12,33	822,40	21,68	1,27	1294,52	0,00
7	38878,85	35,16	1109,76	22646,55	3,69	12,72	49,46	52,96	47,15	0,00	0,97	1,10	0,14	4,21	46,44	1512,42	0,00	12,82	169,04	6,17
SUMA	43873,79	57,18	2133,41	60216,70	8,01	20,14	556,12	1241,83	699,22	2,26	5,90	19,49	2,82	8,91	120,34	2662,43	22,14	19,91	3796,80	9,93

CU-MIN

FR	Al	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg	Tl	Pb	U
1	670,41	0,54	7,17	5910,96	0,26	0,95	140,56	1488,46	117,90	0,33	0,59	3,68	4,03	0,00	0,00	0,98	0,00	0,00	0,35	0,02
2	134,18	0,34	0,77	848,69	0,02	0,08	13,70	154,58	171,21	0,44	0,74	2,90	1,06	0,11	46,98	44,66	1,10	5,27	136637,39	1,47
3	12,98	0,39	0,00	128,39	0,00	0,01	4,19	7,82	76,05	0,18	1,78	4,20	0,06	0,55	26,48	258,07	0,69	0,61	763,29	0,28
4	21,23	0,17	4,64	369,33	0,01	0,05	3,18	0,24	87,01	0,33	5,83	7,88	0,06	4,80	207,99	388,51	0,58	0,59	739,57	0,55
5	13,56	0,58	8,24	5920,94	0,02	0,59	22,50	350,47	113,80	0,55	0,75	5,75	0,95	0,00	8,14	8,48	0,43	4,19	1107,28	0,00
6	20,32	0,24	17,90	22019,80	0,09	1,78	55,47	5775,05	391,96	3,22	4,23	135,69	15,85	0,75	157,09	193,36	38,72	18,83	656,57	0,00
7	3596,98	0,00	1,91	138,12	0,00	0,08	3,02	19,42	8,82	0,00	0,77	0,89	0,03	0,14	23,58	1495,87	0,00	4,04	8,76	3,32
SUMA	4469,65	2,25	40,63	35336,23	0,40	3,54	242,63	7796,03	966,75	5,04	14,70	160,98	22,03	6,35	470,26	2389,93	41,52	33,53	139913,21	5,64



CU-B1-1-1

FR	CU-B1-1-1																			
	Al	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg	Tl	Pb	U
1	144,10	0,16	0,24	2248,10	0,40	0,17	33,57	32,04	6,71	0,21	0,19	0,32	0,10	0,01	0,64	40,62	0,01	0,51	0,08	0,08
2	0,00	6,54	0,26	335,08	0,05	0,00	1,51	3,07	39,19	1,14	0,33	0,00	0,00	0,00	2,19	335,39	0,08	0,28	10749,30	0,02
3	11,35	0,99	0,00	59,65	0,01	0,00	4,03	0,41	7,08	0,19	0,38	1,63	0,00	0,00	1,70	331,85	0,09	0,09	470,30	0,02
4	15,09	0,12	3,59	176,05	0,03	0,04	3,58	1,67	8,00	0,24	1,18	1,51	0,00	0,21	23,43	558,02	0,05	0,13	139,00	0,10
5	7,43	0,57	6,08	17336,60	2,71	0,59	16,19	26,61	104,58	1,02	3,63	0,21	0,06	0,00	3,46	30,37	0,00	3,07	33,82	0,00
6	11,41	0,04	1,00	8724,47	1,85	0,32	19,40	67,70	35,92	0,00	0,57	5,84	0,70	0,00	12,93	358,14	4,75	0,93	100,75	0,00
7	2379,50	0,00	2,11	155,95	0,00	0,00	1,52	9,74	5,56	0,00	0,23	0,21	0,02	0,11	19,36	1579,75	0,00	0,90	0,77	1,62
SUMA	2568,88	8,42	13,27	29035,90	5,05	1,12	79,80	141,25	207,05	2,80	6,50	9,71	0,88	0,32	63,71	3234,15	4,97	5,91	11494,02	1,83

CU-B1-1-2

FR	CU-B1-1-2																			
	Al	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg	Tl	Pb	U
1	326,00	0,09	4,31	5198,60	0,88	0,35	58,73	58,24	30,34	0,07	0,51	0,11	0,16	0,05	0,53	28,08	0,00	0,97	73,64	0,19
2	59,89	0,00	0,46	596,25	0,10	3,85	5,56	5,38	8,84	0,09	0,17	0,00	0,01	0,01	1,65	275,26	0,06	0,34	1186,03	0,09
3	12,68	1,14	0,00	83,74	0,01	0,00	1,05	1,11	5,80	13,69	0,17	0,69	0,01	0,05	1,13	190,30	0,00	0,08	89,97	0,01
4	23,81	0,14	0,00	2771,90	0,01	0,03	11,34	5,44	28,79	0,76	1,54	1,81	0,00	0,65	10,49	123,60	0,27	3,07	374,07	0,12
5	13,40	0,81	3,04	212,54	0,40	0,11	2,46	28,10	0,00	0,24	0,34	1,79	0,10	0,00	0,30	30,43	3,75	0,46	3,25	0,00
6	56,80	0,00	0,81	5492,38	0,07	0,00	13,27	116,44	26,92	0,00	1,19	2,70	0,18	0,51	9,96	1938,02	1,25	2,56	342,18	0,00
7	3622,85	3,01	3,71	218,18	0,12	3,48	0,95	6,84	1,71	0,00	0,98	0,27	0,00	0,07	4,78	3866,65	0,00	2,84	6,91	1,20
SUMA	4115,43	5,18	12,32	14573,59	1,58	7,82	93,34	221,54	102,39	14,85	4,90	7,37	0,46	1,35	28,84	6452,34	5,33	10,31	2076,04	1,61

CU-B1-1-3

FR	CU-B1-1-3																			
	Al	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Se	Mo	Ag	Cd	Sn	Sb	Ba	Hg	Tl	Pb	U
1	868,92	0,57	11,59	16118,30	2,29	0,87	288,00	283,67	193,50	0,29	1,86	0,15	0,80	0,16	1,25	6,58	0,00	4,45	69,45	1,03
2	125,40	0,16	4,34	766,60	0,27	0,12	18,08	24,83	11,21	0,00	0,22	0,00	0,04	0,00	1,91	81,08	0,03	0,92	192,81	0,19
3	14,29	0,85	0,00	314,47	0,03	0,00	4,41	3,54	10,30	0,03	0,41	0,48	0,01	0,00	1,08	64,67	0,00	0,39	128,11	0,02
4	111,94	1,30	0,00	16989,00	0,07	0,16	214,82	278,65	283,65	0,48	6,37	9,59	0,05	1,29	27,95	24,91	0,09	20,34	1048,84	0,49
5	3,73	0,92	0,79	94,76	0,02	0,03	9,51	19,56	0,00	0,13	0,04	2,34	0,02	0,00	1,01	8,97	0,00	1,14	1401,24	0,00
6	76,34	0,00	12,84	2871,90	0,05	0,08	15,52	30,95	35,02	0,00	0,47	0,00	0,00	0,24	12,71	2251,43	0,27	1,35	1284,76	0,00
7	10979,40	1,64	17,06	586,18	0,06	0,00	2,18	17,57	4,44	0,00	0,29	0,73	0,00	2,68	37,61	6479,32	0,00	24,95	21,20	10,84
SUMA	12180,01	5,45	46,61	37741,20	2,78	1,27	552,51	658,77	538,11	0,93	9,65	13,28	0,92	4,36	83,52	8916,95	0,39	53,53	4146,41	12,57

