

Artículos



“LAS ESCORIAS ROMANAS DE RIOTINTO”

MIGUEL ORTIZ MATEO

Dr. Ingeniero de Minas

Profesor de la Universidad de Huelva

RESUMEN

En el presente artículo se determina fehacientemente el volumen de escorias romanas depositadas en las minas de Riotinto y a partir de éstas se ha podido determinar el mineral beneficiado así como el cobre y plata obtenidos.

ABSTRACT

In the present article has been calculated the volumen of roman slags that were deposited on the dump of Riotinto's mines, and taking these as point of reference also has been possible to determinate the total quantity of mineral treated so as the copper and silver obtained.

PALABRAS CLAVE

Escorias antiguas, escorias romanas, Riotinto, Rio Tinto.

KEY WORDS

Ancient slags, roman slags, Riotinto, Rio Tinto.

EL PROBLEMA DE LAS ESCORIAS

Al iniciar el estudio de la metalurgia antigua de Riotinto es esencial conocer cuál fue el volumen de escorias generadas en esta época, siendo acordes con las reservas de mineral explotadas durante la misma.

Las cubicaciones de escorias antiguas comenzaron a realizarse en la segunda mitad del siglo XIX, así en 1888 fueron evaluadas por GONZALO TARÍN (1888, T. II. 57) en 4.000.000 de metros cúbicos para la región minera de Huelva, considerándolas como procedentes de la metalurgia del cobre, aunque también era conocedor de la existencia de una metalurgia antigua de la plata por las muestras de metal blanquillo (speiss) encontradas en la cuenca. En 1902, W. A. JENKINS, jefe del laboratorio químico de la Rio Tinto Company Limited (RTCL), consideró las escorias como procedentes de la metalurgia del cobre y de la plata (ROTHENBERG et al, 1990, 2).

En 1924, la RTCL realizó un plano de “Escoriales antiguos de la Cuenca Minera de Riotinto” basado en un plano anterior realizado por ingenieros de minas españoles en el año 1890 (fig. 1, cuadros I y II). GORDON DOUGLAS, calculó el volumen de escorias en 20 millones de t, clasificando las escorias con un contenido de más del 0,5% en cobre y pequeñas cantidades de plomo y plata como procedentes de esta metalurgia y las escorias con contenidos superiores a 0,5% en plomo y pequeñas cantidades de cobre y plata como procedentes de la metalurgia de la plata, criterio también seguido por SALKIELD, en virtud de tales criterios se calcularon

Nº	t de escorias	g de Au por t	g de Ag por t	% Cu	% Pb
1	49.410	0,324	54,4311	0,16	0,42
2	108.000	0,389	62,4662	0,15	0,56
3	288.000	0,389	68,4277	0,15	0,48
4	1.411.000	0,324	52,2280	0,15	0,36
5	1.080.000	0,518	67,4557	0,16	0,47
6	2.004.480	0,324	51,2762	0,12	0,52
7	693.900	0,194	46,6562	0,10	0,56
8	3.388.500	0,194	51,6448	0,12	0,40
9	1.512.000	0,194	53,4591	0,12	0,23
10	388.800	0,194	58,7726	0,21	0,10
11	89.280	-	3,6935	0,63	-
12	230.400	-	6,0911	0,53	-
13	370.440	-	5,8319	0,75	-
14	316.800	-	2,9808	0,90	-
15	50.040	0,324	58,4591	0,15	0,16
16	748.800	0,259	94,8657	0,18	-
17	1.209.600	0,259	58,1895	0,21	-
18	1.110.600	0,324	50,4136	0,07	-
19	1.260.000	0,194	37,9722	0,07	-
20	200	Indicios	3,1103	0,77	-
Total	16.310.250				

CUADRO I. Metales contenidos en las escorias de Riotinto, según el aforo y análisis realizados por la RTCL en 1924

Fuente: Archivo Fundación Riotinto

Artículos

Nº	t de escorias	g de Au	g de Ag	kg de Cu	kg de Pb
1	49.410	16.009	2.689.441	99.056	208.522
2	108.000	42.012	6.746.350	162.000	604.800
3	288.000	112.032	19.707.178	432.000	1.382.400
4	1.411.000	457.164	73.693.708	2.116.500	5.079.600
5	1.080.000	559.440	72.852.156	1.728.000	5.076.000
6	2.004.480	649.452	102.782.117	2.405.376	10.423.296
7	693.900	134.617	32.374.737	693.900	3.885.840
8	3.388.500	657.369	174.998.405	4.066.200	13.554.000
9	1.512.000	293.328	80.830.159	1.814.400	3.477.600
10	388.800	75.427	22.850.787	816.480	388.800
11	89.280	-	329.756	562.464	-
12	230.400	-	1.403.389	1.221.120	-
13	370.440	-	2.160.369	2.778.300	-
14	316.800	-	944.317	2.851.200	-
15	50.040	1.210	2.675.093	75.060	80.064
16	748.800	313.286	70.661.036	1.347.840	-
17	1.209.600	1.111	70.386.019	2.540.160	-
18	1.110.600	359.834	55.989.344	777.420	-
19	1.260.000	244.440	47.844.972	882.000	-
20	200	Indicios	622	1.540	-
Total	16.310.250	3.916.731	841.919.955	27.351.016	44.159.922

CUADRO II. Aforo y análisis de metales de las escorias de Riotinto, realizados por la RTCL, en 1924

Fuente: Archivo Fundación Riotinto

16.310.250 t de escorias de plata y un millón de toneladas de escorias de cobre, el resto hasta 20 millones de t se habrían utilizado como balasto de ferrocarril, fundente de los hornos, etc. (ROTHENBERG et al, 1990, 2-3), considerándose como objetivas por lo que fueron utilizadas en gran número de trabajos posteriores.

En 1950 DAVID WILLIAMS, Jefe del Departamento de Geología de la RTCL, publicó un estudio en el que describe unos minerales de aspecto terrosos, situados entre el gossan y los sulfuros masivos, denominados jarositas, con colorido variado que va desde el negro hasta el amarillo claro que incluyen sulfatos, arseniatos, óxidos, sílice, etc.

Las jarositas argentíferas encontradas en Riotinto desde 1897, tenían composiciones que cubrieron las siguientes gamas de variación (cuadro III).

Siendo el promedio de los análisis de unas muestras de jarositas terrizas, realizados por WILLIAMS en 1932 el siguiente (cuadro IV).

En el cuadro V se recogen análisis de jarositas según sus colores.

DAVID WILLIAMS calculó que las reservas totales de minerales jarosíticos debieron de ser de 3.000.000 t, de las que se habrían extraído en tiempos antiguos unos 2.000.000 t, precediendo a los minerales de cobre de la zona de enriquecimiento en calcosita, situada encima de los sulfuros masivos (WILLIAMS, 1950, 152).

Después de este cálculo de reservas y de mineral explotado, el problema que se planteaba era que el

mineral extraído, después de su tratamiento metalúrgico, nunca pudo generar 20 millones de t de escorias, pues como estableció SALKIELD (1987, 13) si por cada

SiO ₂	nada	hasta	90%
Fe	2,0	hasta	33%
Cu	nada	hasta	0,16%
Pb	nada	hasta	40%
Sn	0,05	hasta	1,7%
As	traza	hasta	36%
Sb	traza	hasta	5%
Bi	traza	hasta	0,25%
CaO	0,2	hasta	0,5%
MgO	traza	hasta	0,5%
Al ₂ O ₃	0,7	hasta	2,5%
Mn	traza	hasta	0,12%
Ag	160	hasta	6800 ppm
Au	2,0	hasta	50 ppm

CUADRO III. Gama de variación de contenidos de las jarositas de Riotinto según SALKIELD, 1987, 13

Oro	23,2 g/t
Plata	1.552 g/t
Plomo	4,17%
Antimonio	1,95%

CUADRO IV. Análisis medio de las jarositas de Riotinto

Fuentes: D. WILLIAMS: Notes on ancient history, Manuscrito minas de Riotinto, 3 de Febrero de 1932, página 5

Artículos

Elementos	Gossan de la Montera	Tierra Negra	Tierra Amarilla	Tierra Gris
Cobre	0,11	0,13	0,08	0,03
Hierro	50,63	2,57	23,42	0,82
Plomo	2,43	1,19	4,17	0,57
Zinc	Indicios	Indicios	Indicios	Indicios
Arsénico	0,97	0,01	0,75	0,03
Azufre	0,13	1,25	0,78	0,34
Azufre (trioxide)	2,68	1,57	18,03	0,48
Antimonio	1,97	2,92	1,95	0,76
Selenio	0,008	0,006	0,020	0,002
Teluro	-	-	-	-
Cobalto	-	-	-	-
Bismuto	0,020	0,032	0,038	0,60
Oro, (onzas/t)	0,17	1,09	0,76	0,21
Plata, (onzas/t)	2,68	83,43	50,69	25,48

CUADRO V. Análisis de las tierras auro-argentíferas (jarositas) de la Corta Salomón (expresado en %) Según WILLIAMS, 1934 b, 632

tonelada de mineral se generaban 4,5 t de escorias, sólo se podían haber producido 9 millones de t de escorias, en el supuesto de que todas fueran de plata, por lo que se estableció el dilema de qué, o bien se había traído mineral de otras zonas para tratarlo en Riotinto, o se habían cubricado mal las escorias antiguas.

Este dilema fue resuelto en 1984 por el Departamento de Exploración minera, dirigido por FÉLIX GARCÍA PALOMERO de la empresa explotadora Rio Tinto Minera S.A. (RTM), como resultado de una campaña de exploración para oro y plata.

La mayor parte de las escorias antiguas se localizaban en las proximidades de la explotación minera conocida como Filón Norte, que en casi su totalidad se habían ido cubriendo por las escombreras de las explotaciones a cielo abierto realizadas en los últimos ochenta años. Esta dificultad de observación ha sido la causa de que todas las investigaciones de escorias hayan sido puntuales, no permitiendo una evaluación correcta de su volumen ni una clasificación en función de sus composiciones químicas, se conocían composiciones químicas de muestras aisladas, de tamaño reducido, que no podían tomarse como representativas del total de las escorias ni de zonas con cierta entidad.

En la citada campaña de investigación los sondeos que se realizaron atravesaron las escombreras modernas de gossan y las escorias antiguas hasta llegar al bed-rock o superficie original.

La exploración sistemática de las escorias se realizó mediante sondeos con malla de 100x100 y 50x50 m En los sondeos se realizaba una destrucción total de la roca

y se recogía la muestra en un captador de superficie, utilizando un sistema de barrido de muestra por aire comprimido mediante circulación inversa.

Durante la perforación se recogieron muestras cada tramo de dos metros perforados, llegando a obtenerse hasta 60 kg por muestra, que una vez estudiadas (definición del tipo de material) se homogeneizaban y analizaban para los elementos deseados (Cu, S, Pb, Zn, Au y Ag).

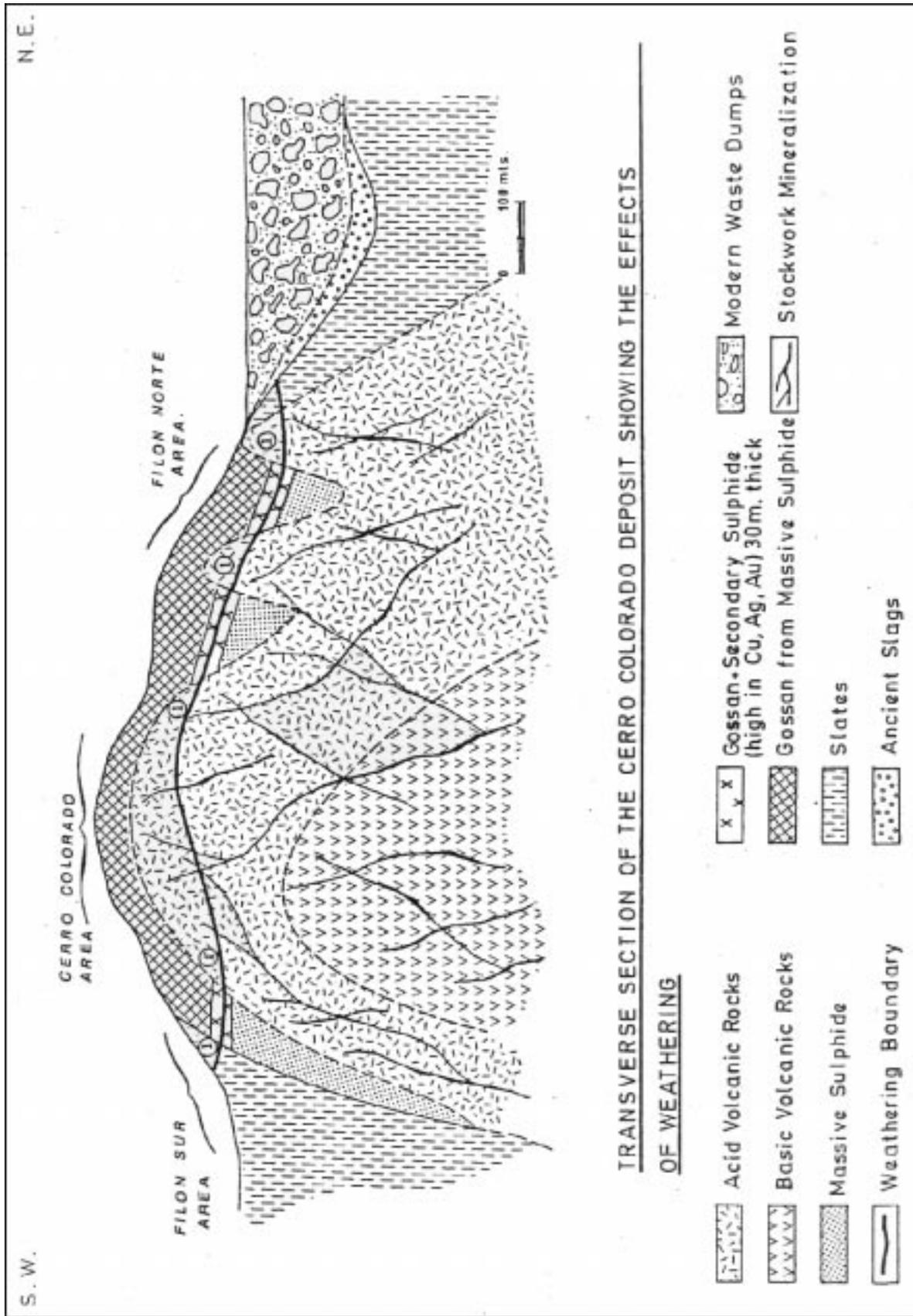
En el plano nº 1 se muestra una sección transversal por el centro del Cerro Colorado con indicación de los materiales gossanizados, escombreras y escorias.

En el plano nº 2 se indican todos los sondeos que atravesaron escorias antiguas y con los datos obtenidos de ellos se reconstruyó la distribución espacial de las mismas.

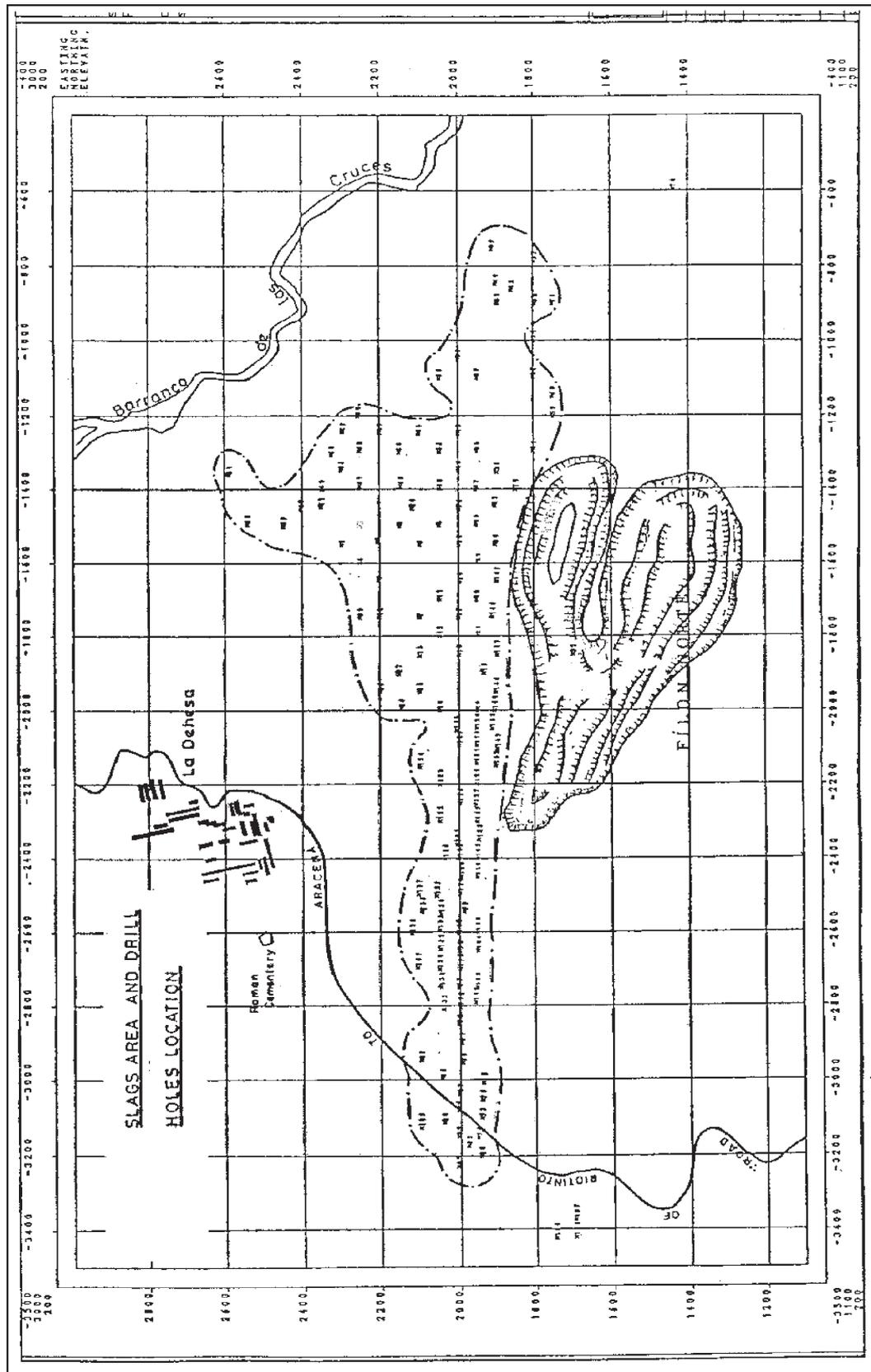
En el plano nº 3 se reconstruyó la posición de las escorias con relación a los distintos filones, así como la topografía original de la zona al comienzo de su explotación minera. Esta reconstrucción topográfica era la primera vez que se realizaba con datos obtenidos mediante sondeos.

Del estudio de los 149 sondeos con un total de 424 muestras correspondientes a tramos de dos metros cada una, se obtuvieron los siguientes resultados:

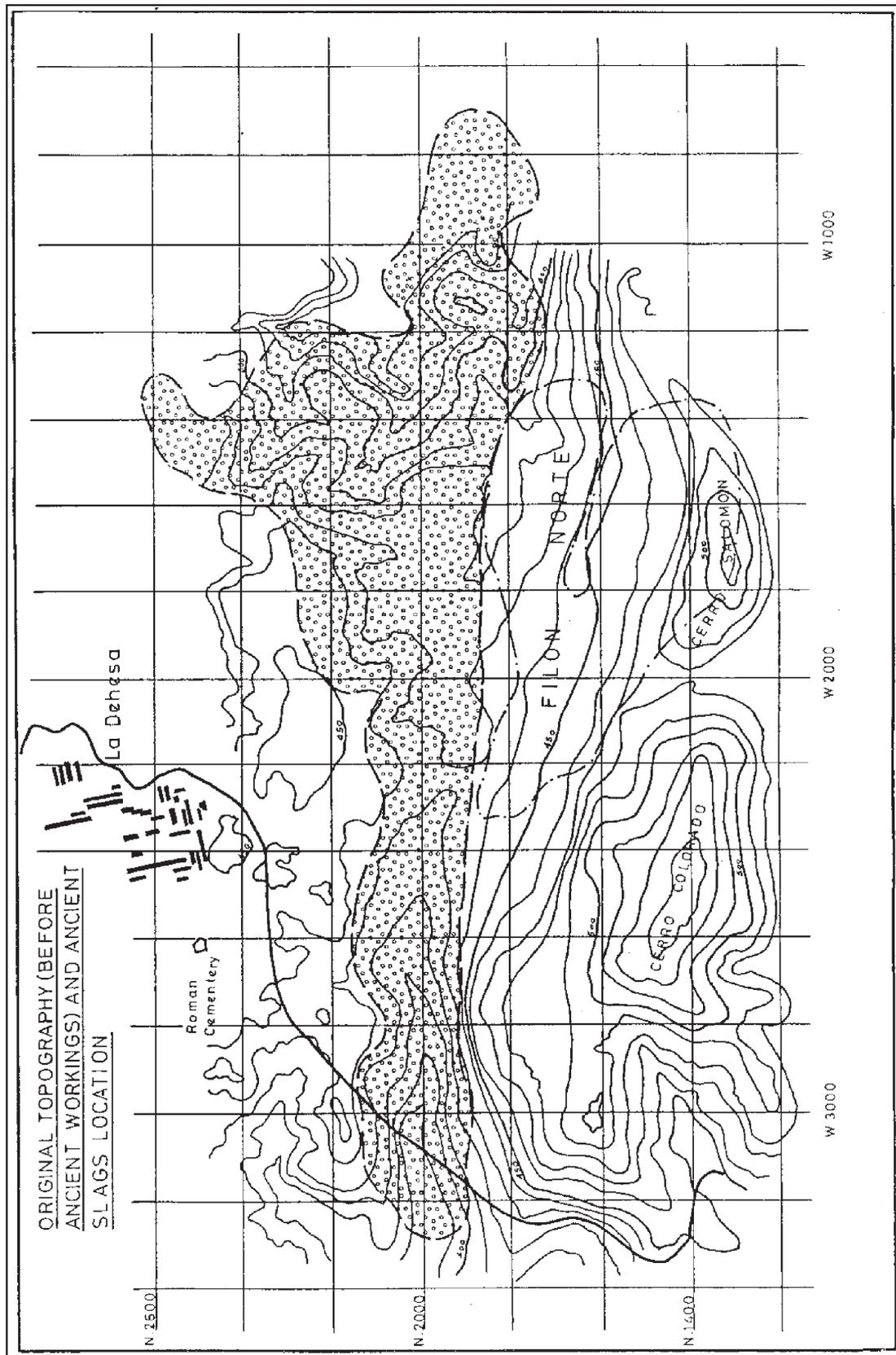
- La potencia media de las escorias era muy reducida, seis metros, con un máximo de 22 m, otro de 20 m y tres de 18 m; el resto estaba comprendido entre dos y ocho metros, constituyendo las escorias una capa extensa, poco potente y de espesor homogéneo siguiendo la topografía original, sin grandes acumulaciones.
- Los contenidos medios de estas escorias eran de 1.323 partes por millón (p.p.m.) de cobre, 12.468 p.p.m. de azufre, 12.564 p.p.m. de plomo, 384 p.p.m. de zinc, 1,13 p.p.m. de oro y 87,89 p.p.m. de plata, Este contenido medio no se correspondía con el contenido medio del gossan de Riotinto, al menos en los elementos más importantes: 1,5-3,0 p.p.m. de oro, 40 - 60 p.p.m. de plata y 300 - 500 p.p.m. de cobre.
- La diferencia de contenidos en oro, plata y cobre entre las escorias y el gossan indujo a pensar en un tratamiento de otros materiales con un alto contenido en cobre y plata, conjuntamente con el gossan. Era necesario buscar y definir estos materiales para poder ubicarlos dentro del yacimiento original.
- Salvo el contenido en cobre, todas las escorias parecían homogéneas en función de sus contenidos en oro y plata. Esta homogeneidad vertical y lateral parecía indicar que no existían grandes variaciones en los procesos metalúrgicos utilizados y que las variaciones en los contenidos de cobre debían de corresponder a diferencias de los materiales tratados.



Plano n°1. Sección transversal del depósito de Cerro Colorado
Fuente: GARCÍA PLOMERO et al. 1986



Plano nº2. Escoriales y localización de sondeos
Fuente: GARCÍA PALOMERO, 1991



Plano nº3. Topografía original (antes de los trabajos antiguos) y de situación de los escoriales antiguos
 Fuente: GARCÍA PALOMERO, 1991

Artículos

En la tabla 1 se indican las estadísticas generales de los diferentes elementos analizados de las escorias que nos confirman la relativa homogeneidad de estos materiales.

Para obtener el máximo de información de la campaña de sondeos, se analizaron las muestras procedentes del bed-rock de las escorias, o sea, de los materiales que formaban la superficie original (pizarras del Culm y

Metales	Cu %	S %	Pb %	Zn %	Au ppm	Ag ppm
Número de datos	424	424	424	424	424	424
Valor medio	0,132	1,24	1,25	0,038	1,13	87
Varianza	0,048	1,24	0,60	0,024	0,46	3.025
Desviación típica	0,221	1,11	0,77	0,157	0,67	55

TABLA Nº 1. Estadísticas generales de las muestras de escorias
Fuente: FÉLIX GARCÍA PALOMERO, 1986

piroclastos), observándose unos contenidos anormalmente altos en cobre, oro y plata en comparación con los contenidos típicos de estos materiales fuera de esta zona. El origen de estos metales debe ser un proceso de lixiviación de las escorias superiores con una posterior precipitación en las fracturas de las rocas del bed-rock. Tal como se muestra en el plano 4, las zonas de mayor concentración de cobre en el bed-rock coinciden con las zonas de mayor concentración de cobre en las escorias observados en el plano 5.

TIPOS DE ESCORIAS

De acuerdo con la distribución de metales dentro de las escorias se observa que en general estas son bastante homogéneas salvo en los contenidos en cobre; en base a este metal sí se pueden definir dos grupos bien marcados: un grupo de escorias (40% del total de las muestras) tenía un contenido menor de 500 p.p.m. en

cobre y el otro grupo de escorias (60% restante del total de las muestras) tenía un contenido superior a 500 p.p.m. en cobre. Ambos grupos de muestras tenían una distribución espacial bien definida, dando lugar a dos zonas tal como se muestran en el plano nº 5.

En la tabla 2 se muestran las estadísticas de todos los metales en cada uno de los dos grupos de escorias.

Por tanto podemos considerar las escorias con > 500 p.p.m. de cobre, como procedentes de esta metalurgia, y las que tienen < 500 p.p.m. de cobre como procedentes de la metalurgia de la plata.

VOLUMEN DE ESCORIAS

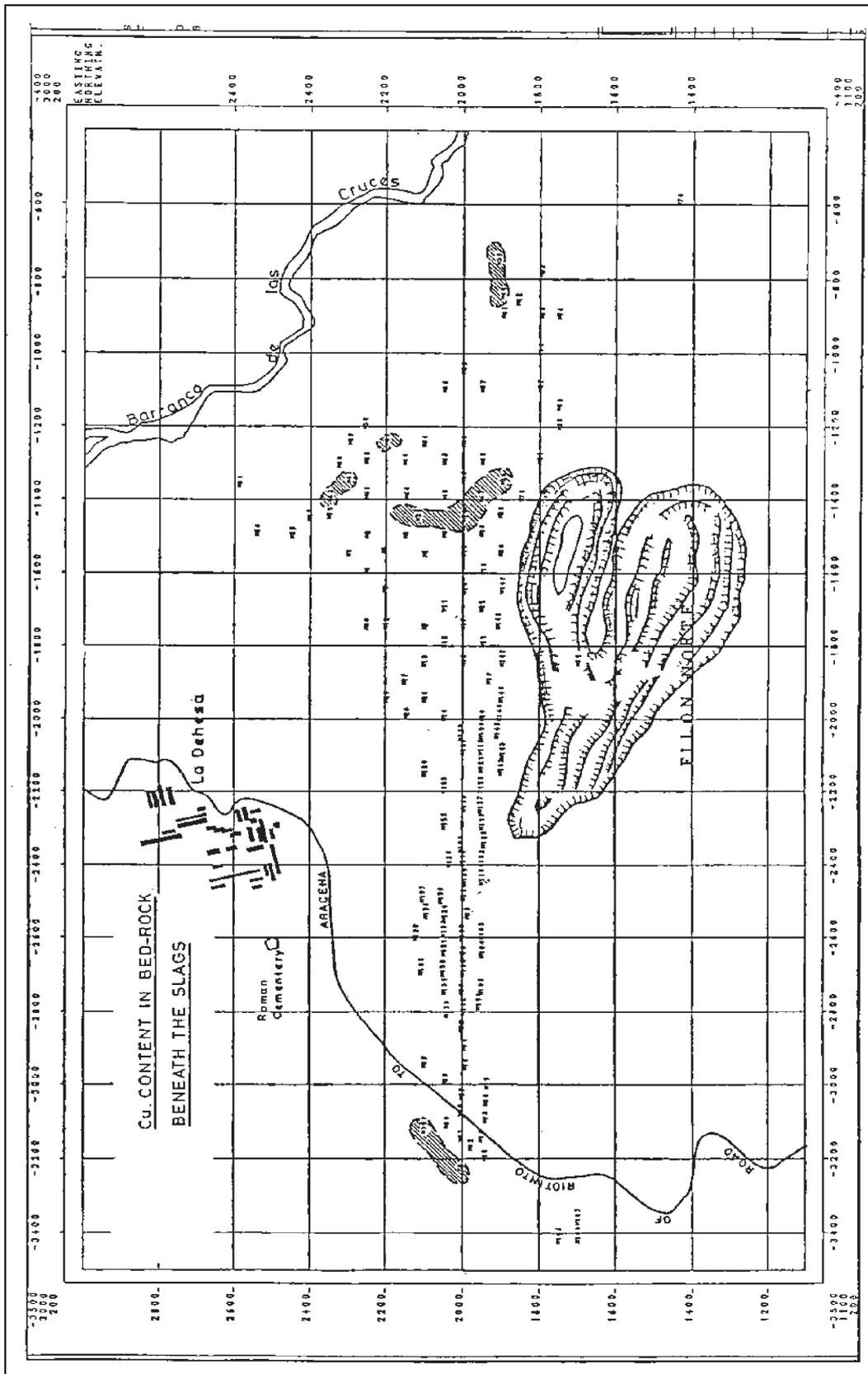
En base a los datos de los sondeos se reconstruyó el yacimiento de escorias cuya cubicación dio la cifra de unos seis millones de toneladas, si a esta cantidad se le suman las escorias utilizadas en carreteras, obras civiles de la mina, fundente de los hornos, balasto para el ferrocarril de Riotinto a Huelva, etc., el volumen total de escorias antiguas lo podemos estimar en unos ocho o nueve millones de toneladas, cifra muy inferior a la anteriormente citada de 20 millones de toneladas.

Si tal como hemos dicho consideramos las escorias con > 500 p.p.m. de cobre, como procedente de esta metalurgia, y las que tienen < 500 p.p.m. de cobre como procedentes de la metalurgia de la plata; considerando el volumen total de escorias como 9 millones de toneladas, tendremos 5,4 millones de toneladas de escorias de cobre, y 3,6 millones de toneladas de escorias procedentes de la metalurgia de la plata.

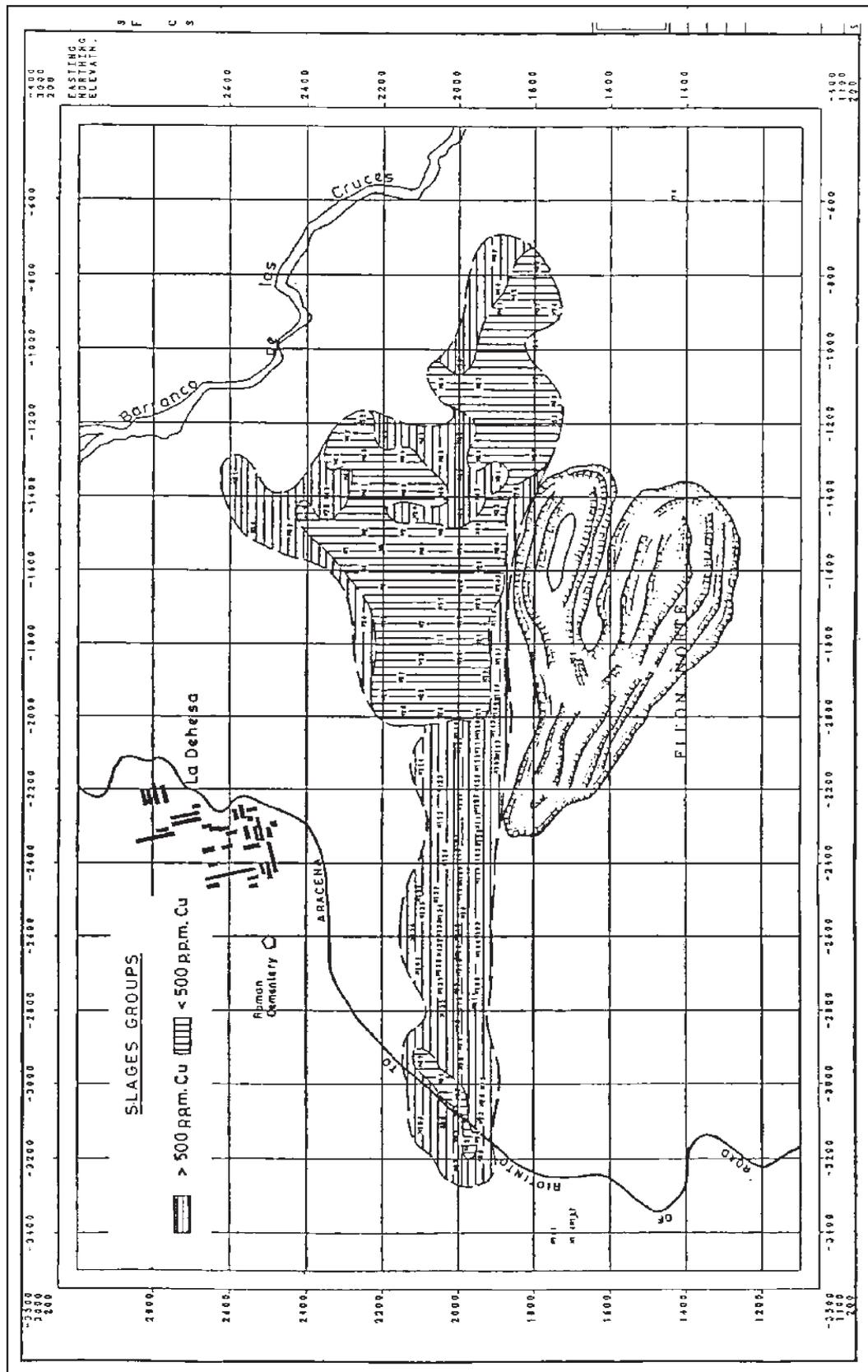
SALKIELD (1987, 13) que dedicó su vida profesional a la metalurgia de Riotinto, estableció basado en sus conocimientos y posiblemente en ensayos con minerales jarosíticos extraídos por la RTCL que 1 t de mineral generaban 4,5 t de escorias, lo que hace que el mineral jarosítico extraído por los romanos fue 800.000 t; basados en los datos del cuadro IV el contenido en plata sería de 1.241,6 t y el de oro de 18.560 kg Suponiendo

Grupo con contenido en cobre < 500 p.p.m.						
Metales	Cu %	S %	Pb %	Zn %	Au ppm	Ag ppm
Número de datos	165	165	165	165	165	165
Valor medio	0,013	1,87	0,77	0,027	1,22	85,87
Varianza	0,0001	1,72	0,30	0,008	0,59	3.606,05
Desviación típica	0,010	1,31	0,55	0,090	0,76	60,05
Grupo con contenido en cobre > 500 p.p.m.						
Metales	Cu %	S %	Pb %	Zn %	Au ppm	Ag ppm
Número de datos	259	259	259	259	259	259
Valor medio	0,208	0,84	1,56	0,045	1,07	89,64
Varianza	0,065	0,53	0,55	0,035	0,37	2.838,25
Desviación típica	0,255	0,73	0,74	0,188	0,60	53,27

TABLA Nº 2. Estadística de los dos grupos de escorias



Plano nº4. Contenido de cobre en el bed-rock, debajo de las escorias
 Fuente: FÉLIX GARCÍA PALOMERO, 1991



Plano nº5. Grupos de escoriales
 Fuente: FÉLIX GARCÍA PALOMERO, 1991

un rendimiento metalúrgico del 80% la plata obtenida por los romanos sería de 993,28 t y el oro (aunque desconocemos si lo beneficiaban) 14.848 kg¹.

Como se verá más adelante, la metalurgia del cobre romana, al no encontrarse mata de cobre entre las escorias, debió de ser similar a la del siglo XVIII y primera mitad del XIX; basados en los datos de RUA FIGUEROA (1849, 171) y SALKIELD (1987, 28) y del autor, una tonelada de mineral de cobre generaba entre 1,4-1,5 toneladas de escorias, por tanto los 5,4 millones de toneladas de escorias de la metalurgia del cobre, procedían de 3.600.000 toneladas de mineral de cobre, siendo generalmente asumido que explotaban leyes superiores al 10% (SALKIELD, 1987, 11), considerando este límite inferior, el cobre contenido sería de 360.000 toneladas, que para un rendimiento metalúrgico del 80%, el cobre obtenido sería de 288.000 toneladas.

POSIBLE UBICACIÓN DE LAS ÁREAS DE EXTRACCIÓN MINERA

Si se considera el volumen total de escorias con sus contenidos medios en metales preciosos y cobre, no es posible localizar una parte del yacimiento de gossan de la que pudieran proceder los minerales que originaron estas escorias. No obstante, teniendo en cuenta el volumen total original de la masa de gossan (75-100 millones de toneladas) con una estructura interna definida por el reparto y distribución de metales, y de acuerdo con los tipos de escorias anteriormente descritos, podemos deducir la procedencia de los minerales que originaron estos dos tipos de escorias.

En la fig. 2 se muestra una sección transversal del Cerro Colorado en la que se definen todos los tipos de rocas y la situación de los diferentes tipos de mineralización.

Si admitimos que los dos tipos de escorias descritos, corresponden a dos tipos de minerales diferentes, dentro del yacimiento de gossan sólo existe una zona para cada uno de estos minerales. Tal como se muestra en la fig. 2, los minerales que originaron escorias bajas en cobre (132 p.p.m. Cu, 1,22 p.p.m. Au y 86 p.p.m. Ag) solamente pueden proceder de la parte basal de la capa de gossan en las zonas topográficamente altas con una fuerte lixiviación del cobre (nº 6 de la sección transversal de dicha fig. 2). Esta zona basal es la que tradicionalmente se viene citando como zona de jarositas.

También tenemos que tener en cuenta que parte de esas escorias procedían del beneficio de los sulfuros masivos, que fueron explotados ampliamente por los romanos.

Los minerales que originaron escorias con mayor contenido en cobre (2.081 p.p.m. Cu, 1,08 p.p.m. Au y 90 p.p.m. Ag) solamente pueden proceder de zonas topográficamente bajas próximas a las zonas de sulfuros (tran-

sición de gossan a sulfuros secundarios), en las que las aguas freáticas producen una precipitación de los elementos lixivados en niveles más altos (cobre y plata principalmente). Esta zona se indica en la fig. 2 con el nº 4.

El grupo de escorias con contenido en cobre inferior a 500 p.p.m. podemos considerarlo como procedente de la fundición de los minerales de plata y el que tiene contenido en cobre superior a 500 p.p.m. como procedente de la metalurgia del cobre. Pero conforme con la tabla 2 el grupo de escorias considerado como procedente de la metalurgia de la plata contiene menos plomo (0,77%) (necesario para recuperarla) que el procedente de la metalurgia del cobre (1,56%), esta aparente contradicción podemos explicarla considerando que en la metalurgia de la plata se agregaba plomo, que se traía de Nueva Carthago, en la fundición, produciéndose: escorias, speiss (metal blanquillo) y plomo-plata. El bullion plomo-plata se llevaba a la copelación obteniéndose plata y litargirio (PbO) que se volvía a reutilizar en el proceso. El metal blanquillo era de nuevo tratado en época romana y en el siglo XIX, recuperándose plata y plomo que era de nuevo reutilizado, para reflejar esto, RUA FIGUEROA (1859, 93) compara los análisis efectuados a dos muestras de metal blanquillo (cuadro VI) en que la diferencia entre ellas se debe a que la número II habría sido reutilizada para extraerle la plata y el plomo.

Como consecuencia del trabajo realizado por el Departamento de Exploración Minera de R.T.M. y de los criterios que hemos establecido, se observa la falta de coincidencia entre el plano 5 y el plano 6 "*Montones de escorias de plata y cobre, relacionados con los princi-*

	Expresado en %	
	I	II
Sílice	0,100	1,000
Carbón	-	0,275
Cobre	2,794	1,231
Hierro	51,837	59,803
Plomo	17,026	Indicios
Antimonio	3,600	10,242
Plata	0,030	-
Arsénico	21,500	25,106
Azufre	2,342	2,137
Cal	0,413	Indicios
Magnesia	Indicios	Indicios
Pérdida	0,358	0,206
	100,00	100,00

CUADRO VI. Análisis de dos muestras de metal blanquillo Según RUA FIGUEROA, 1859, 93

¹RAMBAUD (1969) fijaba la cantidad de metales extraídos por los romanos (basado en los 20 millones de toneladas de escorias) en 60 toneladas de oro y 4.000 de plata.

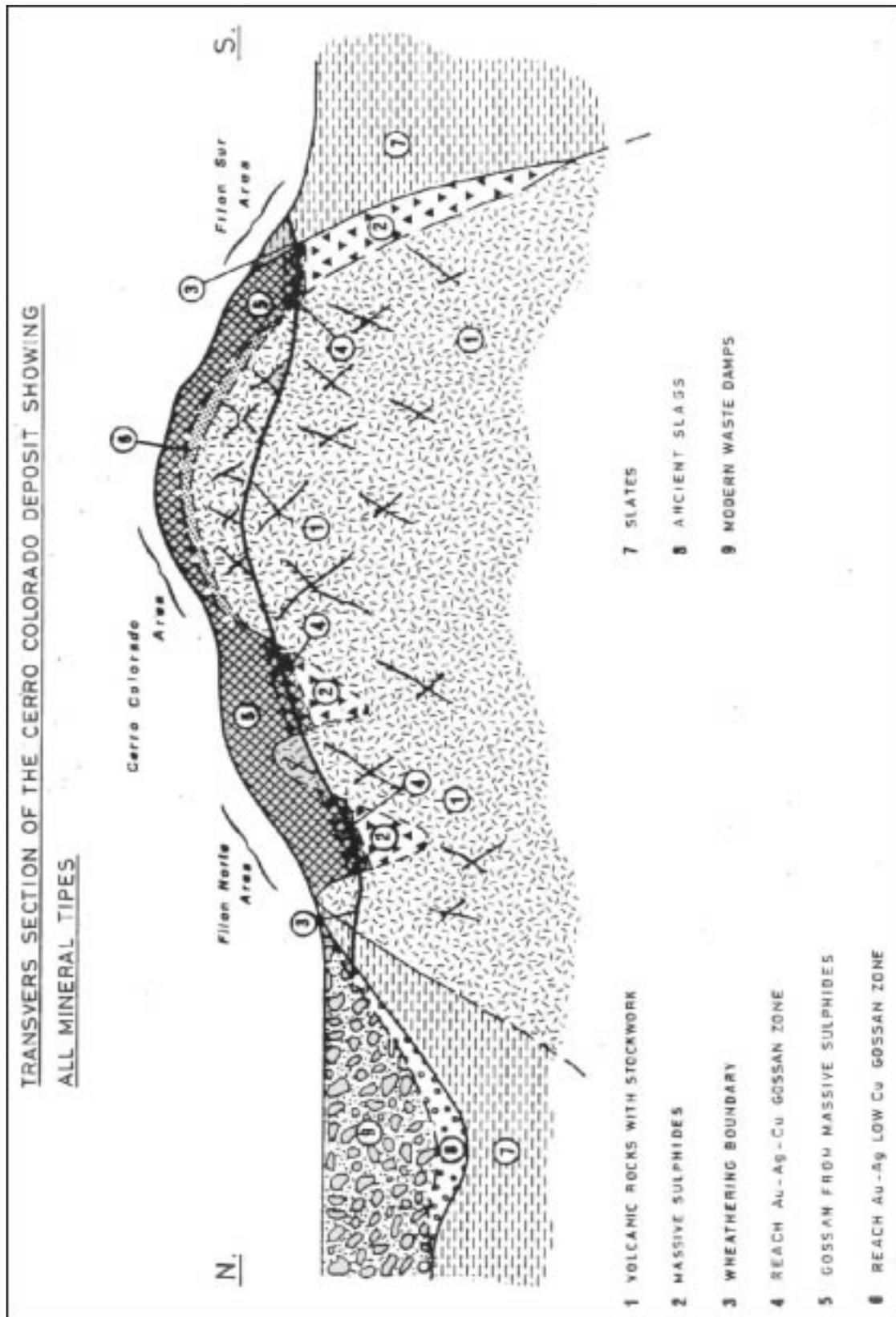
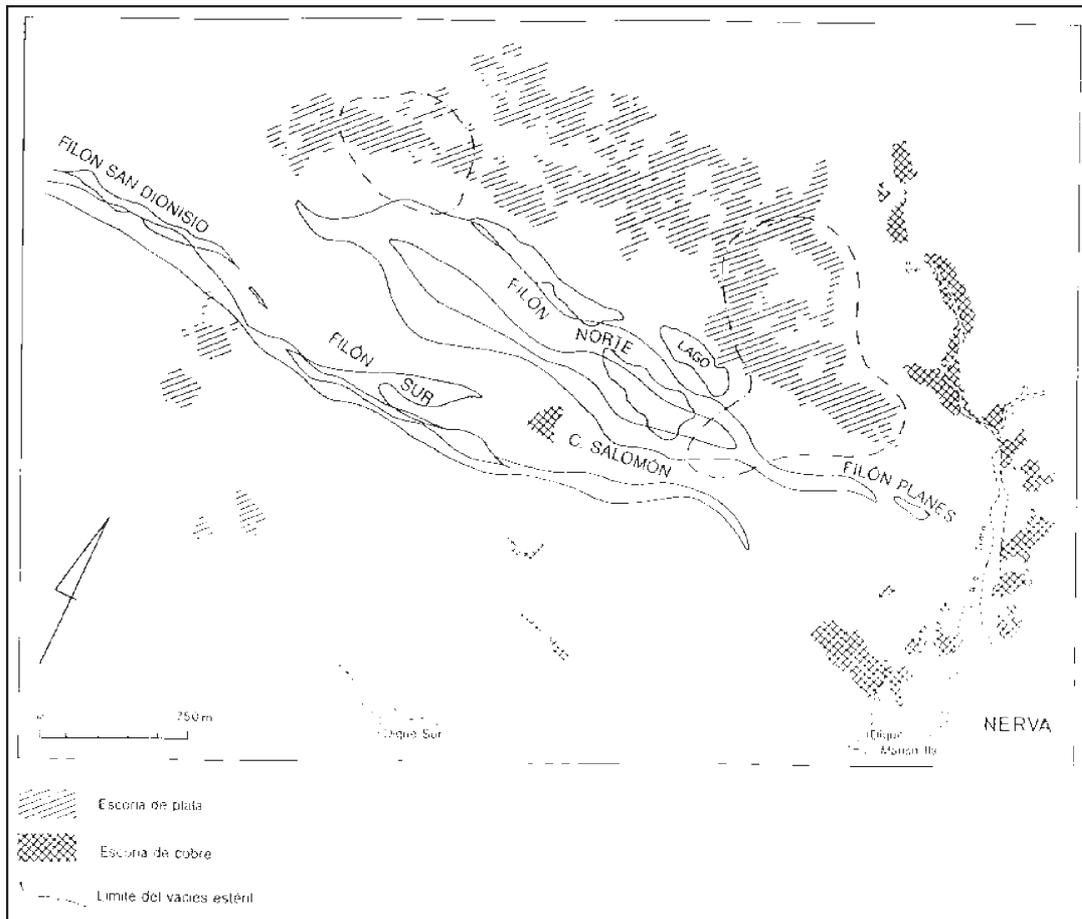


Fig. 2. Sección transversal del depósito de Cerro Colorado mostrando todos los tipos de mineralización
Fuente: FÉLIX GARCÍA PALOMERO, 1991



Plano nº 6. Montones de escorias de plata y cobre, relacionados con los principales depósitos de minerales explotados en la antigüedad y en tiempos modernos (basado en datos de un mapa de 1924)
Fuente: BLANCO FREIJEIRO et al, 1981, 101

pales depósitos de minerales explotados en la antigüedad y en tiempos modernos (basado en datos del mapa de 1924)" (BLANCO FREIJEIRO y ROTHENBERG, 1981, 101), que atribuimos a que este último plano ha sido elaborado basado en datos superficiales y no en una investigación exhaustiva a base de una campaña de sondeos que alcanzase el bed-rock, tampoco olvidemos que en 1981 al estar las escorias cubiertas por las escombreras de los cielos abiertos la única forma de llegar a resultados reales era mediante la realización de sondeos mecánicos.

LIXIVIACIÓN DE LAS ESCORIAS

Una vez descritos los dos tipos de escorias en función de su contenido en cobre y admitiendo que se originaron de materiales diferentes con una supuesta localización, sorprende el bajo contenido en cobre de estas escorias.

La razón de este bajo contenido hay que buscarla en la lixiviación que han sufrido en sus más de 2.000 años

de existencia; esta lixiviación se deduce del contenido en cobre, oro y plata, de las rocas del bed-rock. Estos contenidos son muy anómalos en oro y plata, elementos menos solubles que el cobre; pero también son anómalos en cobre, con mayores contenidos en la vertical de las escorias que a su vez tienen alto contenido en cobre, tal como se indica en los planos 4 y 5.

CONCLUSIONES

Se ha obtenido información relativa a la actividad minero-metalúrgica que dio lugar a dichos materiales. De esta información se han sacado las siguientes conclusiones:

- Se reconstruyó por primera vez la topografía original de los yacimientos de Riotinto.
- Se ha podido evaluar el volumen real de escorias así como sus contenidos en los metales más importantes (Cu, S, Pb, Zn, Au, Ag).
- Se pudo definir y delimitar dos tipos principales de escorias en función de sus contenidos en cobre. Estos

Artículos

tipos parecen corresponder a dos tipos de gossan y no a tipos de tratamiento.

- d) Se ha podido localizar la posible procedencia de los materiales que dieron origen a los dos tipos de escorias.
- e) Se observó un proceso de lixiviación de escorias que originó un enriquecimiento de su bed-rock en cobre, oro y plata.
- f) Hemos podido delimitar los dos tipos de escorias, unas como procedentes de la metalurgia de la plata (< 500 p.p.m. de cobre) y otras como procedentes de la metalurgia del cobre (> 500 p.p.m. de cobre).
- g) En función de los dos tipos de escorias y de sus volúmenes se ha podido ubicar el mineral beneficiado para plata y el beneficiado para cobre así como los metales obtenidos. ☉

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILERA COLLADO, ELENA (2000): "Un modelo de antropización del territorio. La explotación minera de Riotinto en época romana". *III Sesión Científica de la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero*. Huelva.
- ALLAN, J. C. (1968): "The accumulations of ancient slag in the south-west of the Iberian Peninsula". *Bulletin of the Historical Metallurgy*. Group 2-1. London.
- (1970): *Considerations on the antiquity of the mining in the Iberian Peninsula*. London.
- ÁLVAREZ, G. Y GÓMEZ, F. (1988): "Cuevas de Lago. Minería extractiva antigua en Riotinto". *I Congreso Nacional de la Cuenca Minera de Riotinto*. Riotinto (Huelva).
- AMORES CARREDANO, F. (1988): "El yacimiento arqueológico de Cortalagos (Riotinto, Huelva). Datos para una síntesis". *I Congreso Nacional de la Cuenca Minera de Riotinto*. Riotinto (Huelva).
- AMORÓS et al (1981): "Jarosites: a silver bearing mineral of the gossan of Riotinto (Huelva) and Union (Cartagena) Spain". *Mineralium Deposita*, 16-2. London.
- BACHMANN, H. G. (1982): *The identification of slag from archeological sites*. London.
- BLANCO FREIJEIRO Y ROTHENBERG (1981): *Exploración arqueometalúrgica de Huelva*. Barcelona.
- BLÁZQUEZ, J. M. (1991): *Agricultura y minería romanas durante el Alto Imperio*. Madrid.
- CONSEJERÍA DE ECONOMÍA Y FOMENTO (ed.) (1986): *La minería andaluza*. Madrid.
- CRADDOCK et al (1987): "Recovery of silver from speiss at Riotinto". *IAMS Newsletter*, 10-11. London.
- ELHUYAR, F. (1854): "Relación de las minas de cobre de Riotinto". *Revista Minera*, Tomo V. Madrid.
- EZQUERRA DEL BAYO (1850): *Sobre los escoriales de fundiciones antiguas de España y en particular de Río-Tinto y Cartagena*. Madrid.
- FLORES CABALLERO, M. (1981 a): *Las antiguas explotaciones de Riotinto*. Huelva.
- FORBES, R. J. (1950): *Metallurgy in Antiquity*. London.
- (1966): *Studies in ancient technology*. London.
- GARCÍA PALOMERO, F. (1974): "Caracteres estratigráficos del anticlinal de Riotinto". *Studia Geológica*, VIII. Salamanca.
- (1980): *Caracteres geológicos y relaciones morfológicas y genéticas de los yacimientos del Anticlinal de Riotinto*. Huelva.
- (1986): *Cubicación de las escorias de Riotinto. Trabajo inédito facilitado por el autor*. Huelva.
- GONZALO TARÍN, JOAQUÍN (1888): *Descripción física, geológica y minera de la provincia de Huelva*. Madrid.
- HEALY, J. F. (1979): *Mining and metallurgy in the greek and roman World*. London.
- HUNT ORTIZ, M. (1988 a): "Metalurgia antigua de la plata, el cobre y el hierro en las minas de Riotinto". *I Congreso Nacional Cuenca Minera de Riotinto*. Riotinto (Huelva).
- (1988 b): "La recuperación de la plata del speiss en Riotinto". *Huelva en su historia*, 2. Huelva.
- (1988 c): "Consideraciones sobre la metalurgia del cobre y del hierro en época romana en la provincia de Huelva, con especial referencia a las minas de Riotinto". *Habis*, 18-19. Sevilla.
- JONES, B. (1980): "The roman mines at Río Tinto". *Journal of Roman Studies*, LXX. London.
- LUZÓN, J. M. (1970): "Instrumentos mineros de la España Antigua". *VI Congreso Internacional de Minería*. León.
- PÉREZ MACÍAS, J. A. (1998): *Las minas de Huelva en la antigüedad*. Huelva.
- PINEDO VARA, I. (1963): *Piritas de Huelva, su historia, minería y aprovechamiento*. Madrid.
- RAMBAUD, F. (1963): "Notas geológico-estructurales de la zona Norte de Riotinto (Huelva)". *Estudios Geológicos*, Tomo XIX. Madrid.
- (1969): "El sinclinal carbonífero de Riotinto (Huelva) y sus mineralizaciones asociadas". *Memoria del Instituto Geológico y Minero*, Tomo LXXI. Madrid.
- RICKARDT, T. A. (1927): "With the geologists in Spain. The Río Tinto Mines, roman slag and ancient mining implements". *Engineering and Mining Journal*, Vol. 124. London.
- (1928): "The mining of the roman in Spain". *Journal Roman Studies*, Vol XVIII. London.
- ROSTORZEFT (1973): *Historia Social y Económica del Imperio Romano*. Madrid.
- ROTHENBERG et al (1990): "El enigma de Riotinto". *Minería y Metalurgia en las Antiguas Civilizaciones Mediterráneas y Europeas*, Tomo I. Madrid.
- RÚA FIGUEROA, R. (1859): *Ensayo sobre la historia de las minas de Río-Tinto*. Madrid.
- (1868): *Minas de Río-Tinto. Estudios sobre la explotación y el beneficio de sus minerales*. Coruña.
- SALKIELD L. U. (1970): "Ancient slags in the South West of the Iberian Peninsula". *VI Congreso Internacional de Minería*. León.
- (1987): *A technical history of the Riotinto mines: Some notes on exploitation from pre-phoenician times to the 1950s*. London.
- TYLECOTE R. F. (1987): *The early history of metallurgy in Europe*. London.
- WILLIAMS, D. (1934 a): "The Río Tinto mines, Spain". *Transaction of Institution of Mining and Metallurgy*, Vol. XLIII. London.
- (1934 b): "The geology of the Río Tinto mines, Spain". *Transaction of Institution of Mining and Metallurgy*, Vol. XLIV. London.
- (1950): "Gossanized breccia-ores, jarosites and jaspers at Río Tinto". *Transaction of the Institution of Mining and Metallurgy*. Vol. LII. London.
- (1962): "Further reflections on the origin of the porphyries and ores of Río Tinto, Spain". *Transaction of the Institution of Mining and Metallurgy*, Vol. LXXI. London.