



RESUMEN DE LA TESIS DOCTORAL

DATOS DEL/ DE LA DOCTORANDO/A:

Apellidos y nombre: Moreno González, Raúl	NIF/ Pasaporte: [REDACTED]	Nacionalidad: [REDACTED]
Dirección a efectos de notificaciones: [REDACTED]		
Teléfono: [REDACTED]	EMAIL: [REDACTED]	
iD ORCID: 0000-0002-5679-2110		Compruebe/Obtenga su ORCID a través de la BUH
Según formato: 0000-0000-0000-0000		

DATOS DE LA TESIS DOCTORAL:

Título: Evolution of flood levels of open pits in the Tharsis mining district and characterization of the pollutant load from acid mine drainage sources (Evolución del nivel del agua en las cortas del distrito minero de Tharsis y caracterización de la carga de contaminantes de los focos generadores de lixiviados Ácidos)	
Programa Oficial de Doctorado al que se adscribe: Ciencia y Tecnología Industrial y Ambiental	
Departamento: Ciencias de la Tierra	
Director/es:	
Dr./Dra.: Manuel Olías Álvarez	iD ORCID: 0000-0001-5394-3449
Dr./Dra.: Carlos Ruíz Cánovas	iD ORCID: 0000-0002-2860-5154
Resumen en castellano que será usado para la base de datos del Ministerio TESEO (máx. 4000 caracteres)	
<p>El distrito minero de Tharsis es el segundo más importante de la Faja Ibérica de Pirita (IPB). La intensa explotación de sulfuros llevada a cabo desde la Edad del Cobre pero, sobre todo, desde la segunda mitad del siglo XIX hasta finales del XX ha dejado grandes escombreras y otros residuos mineros ricos en sulfuros en la zona, donde los drenajes ácidos de minas (AMD) son generados, junto con cuatro lagos mineros ácidos (Filón Norte, Sierra Bullones, Filón Centro y Filón Sur). Se realizó una caracterización del funcionamiento hidrológico y evolución de los lagos de mineros. Se desarrolló una metodología simple basada en el uso de las ortofotografías disponibles y el Modelo Digital de Terreno (DTM), junto con el balance hídrico de los lagos mineros, que podría ser aplicado a otros sitios mineros abandonados. La acumulación de grandes volúmenes (5.2 hm³) de aguas ácidas y ricas en metales en estos lagos mineros plantea una grave preocupación ambiental. Los resultados mostraron que las cortas mineras de Sierra Bullones y Filón Norte están conectadas subterráneamente y presentan la misma evolución, con una transferencia de agua de Sierra Bullones a Filón Norte. El nivel del agua en ambos lagos mineros está aumentando, con un aumento promedio de 2.8 m/año desde el comienzo de las inundaciones. Sin embargo, el aumento en la tasa de evaporación, como resultado del incremento del área inundada a medida que aumenta el nivel del agua, induciría un equilibrio hidrológico antes de alcanzar el nivel de desbordamiento, lo que conduciría a la formación de un lago terminal. Por otro lado, el nivel del agua en los lagos mineros de Filón Centro y Filón Sur se mantiene aproximadamente estable. El primero se comporta como un lago flow-through o terminal, dependiendo de la precipitación anual, mientras que el segundo actúa permanentemente como un lago flow-through.</p> <p>Además, se estudió la influencia de los procesos hidrogeoquímicos y la tipología de residuos sobre los parámetros fisicoquímicos y concentraciones disueltas de contaminantes en las aguas ácidas generadas en tres periodos hidrológicos diferentes (seco, húmedo e intermedio). En la zona se producen lixiviados extremos, alcanzando incluso pH negativos y concentraciones de hasta 2.2 g/ L de As y 194 g/L de Fe. El plomo es el elemento menos móvil en disolución probablemente debido a la precipitación de minerales secundarios de Pb y/o su coprecipitación sobre oxihidroxisulfatos de Fe. El arsénico, Cr y V también se coprecipitan con minerales de Fe. Se identificaron patrones estacionales en los contenidos metálicos: elementos provenientes de las rocas hospedantes, como Al, Mn y Ni, mostraron sus concentraciones máximas en el período seco, cuando la dilución con agua dulce es menor y la interacción agua-roca y evaporación es mayor. Por otro lado, As, Cr, Fe, Pb y V mostraron concentraciones mínimas en el período seco debido a la intensa precipitación de oxihidroxisulfato de Fe. La carga contaminante más alta de las minas Tharsis ocurre en el período húmedo (139 ton/día de SO₄, 44 ton/día de Fe, 6.7 ton/día de Al, etc.) mientras que en el período intermedio, es solo una cuarta parte, y en el período seco, es mínimo debido a los bajos caudales. Aproximadamente la mitad de los contaminantes liberados llega a la cuenca del río Meca, mientras que la otra mitad se une al río Oraque, aunque se producen algunas diferencias según el elemento y la temporada. Estos vertidos acidifican el</p>	



agua del Embalse Sancho y comprometerán la calidad de las aguas del nuevo embalse, actualmente en construcción aguas abajo del río Oraque.

Las concentraciones y patrones normalizados de elementos de tierras raras (REE), su comportamiento en la red fluvial y las contribuciones de REE de fuentes AMD también fueron analizadas. Se observaron altas concentraciones de REE, con un valor medio de 1,747 $\mu\text{g/L}$. La concentración de REE muestra una correlación positiva con la conductividad eléctrica (CE). Sin embargo, las concentraciones más altas de REE ocurrieron en muestras con niveles intermedios de contaminación y valores de CE. Las correlaciones más altas de REE medio (MREE) y REE pesado (HREE) ocurrieron con elementos relacionados con mineralizaciones hidrotermales de Mn y Ni. Los patrones normalizados de AMD mostraron un enriquecimiento de MREE sobre REE ligero (LREE) y HREE en todas las muestras. El uso de patrones REE como trazadores geoquímicos confirmó el comportamiento conservador del REE en la red fluvial en condiciones de pH ácido bajo. La cuantificación de REE liberado de fuentes de AMD a cuerpos de agua reveló que la carga principal de REE ocurre durante el periodo húmedo con 6.6 kg/día de LREE, 1.1 kg/día de MREE y 0.5 kg/día de HREE.

Resumen en **inglés** que será usado para la base de datos del Ministerio TESEO (máx. 4000 caracteres)

The Tharsis mining district is the second most important of the Iberian Pyrite Belt (IPB). The intense exploitation of sulphides carried out since the Copper Age but, above all, since the second half of 19th century to the end of the 20th century, has left large dumps and other sulphide-rich mining wastes in the area, where acid mine drainages (AMD) are generated, together with four acidic pit lakes (Filón Norte, Sierra Bullones, Filón Centro y Filón Sur). A characterization of the hydrological functioning and evolution of the pit lakes (was carried out. A simple methodology based on the use of the available orthophotographs and the Digital Terrain Model (DTM), together with the water balance of the pit lakes was developed, which could be applied to other abandoned mining sites. The accumulation of large volumes (5.2 hm³) of acidic and metal-rich waters in these pit lakes poses a serious environmental concern. The results showed that Sierra Bullones and Filón Norte open pits are connected underground and present the same evolution, with a water transference from Sierra Bullones to Filón Norte. The water level in both pit lakes is increasing, with an average rise of 2.8 m/yr since the beginning of flooding. However, the increase in the evaporation rate, as a result of the larger flooded area as the water level rise, would induce a hydrological equilibrium before reaching the overflow level, leading to the formation of a terminal lake. On the other hand, the water level in Filón Centro and Filón Sur pit lakes remain approximately stable. The first behaves as a flow-through or terminal lake, depending on the annual rainfall, while the second acts permanently as a flow-through lake.

In addition, the influence of hydrogeochemical processes and the waste typology on the physicochemical parameters and dissolved concentrations of pollutants in the acid waters generated were studied during three different hydrological conditions (dry, wet and intermediate). Extreme leachates are produced in the area, reaching even negative pH values and concentrations of up to 2.2 g/L of As and 194 g/L of Fe. Lead was the least mobile element in dissolution probably due to the precipitation of Pb secondary minerals and/or its coprecipitation on Fe oxyhydroxysulphates. Arsenic, Cr, and V are also coprecipitated with Fe minerals. Seasonal patterns in metal contents were identified: elements coming from the host rocks, such as Al, Mn and Ni, showed their maximum concentrations in the dry period, when dilution with freshwater is lower and the water-rock interaction and evaporation is higher. On the other hand, As, Cr, Fe, Pb and V showed minimum concentrations in the dry period due to intense Fe oxyhydroxysulphate precipitation. The highest pollutant load from the Tharsis mines occurs in the wet period (139 ton/day of SO₄, 44 ton/day of Fe, 6.7 ton/day of Al, etc.) while in the intermediate period, it is only a quarter, and in the dry period, it is minimal due to the low flows. Approximately half of the pollutants released reaches the Meca River basin, while the other half joins the Oraque River, although some differences occur depending on the element and the season. These discharges acidify the water of the Sancho Reservoir and will compromise the quality of the new reservoir waters, currently in construction downstream the Oraque River.

The concentrations and normalised patterns of rare earth elements (REE), their behaviour in the fluvial network, and the REE contributions from AMD sources were also analysed. High concentrations of REE were observed, with a mean value of 1,747 $\mu\text{g/L}$. The concentration of REE shows a positive correlation with electrical conductivity (EC). However, the highest concentrations of REE occurred in samples with intermediate levels of pollution and EC values. The highest correlations of middle REE (MREE) and heavy REE (HREE) occurred with elements related to hydrothermal mineralisations of Mn and Ni. The normalised patterns of the AMD showed an enrichment of MREE over light REE (LREE) and HREE in all samples. The use of REE patterns as geochemical tracers confirmed the conservative behaviour of REE in the fluvial network under low acid pH. The quantification of REE released from AMD sources to water bodies revealed that the main load of REE occurs during the wet period with 6.6 kg/day of LREE, 1.1 kg/day of MREE, and 0.5 kg/day of HREE.



Palabras claves en **castellano** que deben coincidir con las enviadas a la base de datos TESEO (máx. 5 descriptores o palabras claves, separadas por coma)

Drenaje ácido de minas, Contaminación metálica, Elementos de tierras raras, Residuos mineros ricos en sulfuros, Evolución del nivel del agua

Palabras claves en **inglés** que deben coincidir con las enviadas a la base de datos TESEO (máx. 5 descriptores o palabras claves, separadas por coma)

Acid mine drainage, Metal pollution, Rare earth element, Sulphide-rich mining wastes, Water level evolution

Materias UNESCO (seleccione, picando en [+], alguno de los campos, disciplinas o subdisciplinas que aparecen en la siguiente url: <http://rabida.uhu.es/dspace/page/unesco>)

Especialidad: 2508.14; Campos afines: 2503.09, 2508.04, 2506.16

¿TESIS POR COMPENDIO DE PUBLICACIONES?

SI

(tachar lo que no proceda)

Algunas publicaciones, por respeto a los posibles conflictos de propiedad intelectual relativos a su difusión, serán sustituidas por referencia, resumen y DOI o enlace al artículo.

En Huelva, 23/10/2020

Firma del interesado

Fdo. _____