

UNIVERSIDAD DE OVIEDO

# **Exploración regional de cobre en la Zona de Ossa Morena**

Universidad de Oviedo  
Máster en recursos geológicos e ingeniería geológica  
Trabajo fin de Máster  
Guim Torres Baltasar  
Febrero, 2014

**D. Guim Torres Baltasar**, autor del Trabajo Fin de Master titulado EXPLORACIÓN REGIONAL DE COBRE EN LA ZONA DE OSSA MORENA, certifica que constituye un trabajo original y solicita su presentación.

En Oviedo, a 1 Febrero de 2014

A handwritten signature in blue ink that reads "Guim". The signature is written in a cursive style and is positioned above a horizontal line.

Fdo.: Guim Torres Baltasar

**Dña. M<sup>a</sup> Mercedes Fuertes Fuente**, Profesora Titular del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo, certifica que ha dirigido y revisado el Trabajo Fin de Master titulado EXPLORACIÓN REGIONAL DE COBRE EN LA ZONA DE OSSA MORENA, realizado por D. Guim Torres Baltasar, y autoriza su presentación.

En Oviedo, a 1 Febrero de 2014

A handwritten signature in black ink. The signature is highly stylized and cursive, starting with a large loop and ending with a long, sweeping tail.

Fdo.: M<sup>a</sup> Mercedes Fuertes Fuente

## AGRADECIMIENTOS

En la elaboración de este proyecto final de máster he podido contar con la ayuda y el estímulo de diversas personas. Así, pues, quisiera agradecer, para empezar, a Mercedes Fuertes Fuente, directora del proyecto, sus aportaciones y su paciencia, especialmente en las sucesivas correcciones del trabajo. Mi agradecimiento se hace extensivo al profesor David Pedreira, con el que inicié en su día un proyecto de investigación que no pude llegar a desarrollar por razones laborales, y que no puso ninguna objeción a la hora de facilitar el cambio de tema de la tesis de máster. De la plantilla de profesores del Departamento de Geología de la Universidad de Oviedo también debo mencionar a Carlos López, por las gestiones llevadas a cabo para proceder a dicho cambio mientras me hallaba trabajando en Portugal. A su vez, tampoco puedo olvidar la acogida que me dispensaron en su momento, tanto académica como personal, otros profesores del Máster en Recursos Energéticos e Ingeniería Geológica en los cursos 2011-12 y 2012-13, así como algunos compañeros del mismo, ahora definitivamente amigos (Álvaro, Willy, Barbas, Gito, Koke, Cris, Luci, Dorli y Patri), quienes no sólo hicieron más feliz mi estancia ovetense, sino que también me han dado ánimos en el tramo final de este trabajo.

Mención aparte precisa la empresa minera Lundin Mining y Río Narcea, donde tuve la fortuna de encontrar un equipo muy humano y competente, y que me permitió realizar las prácticas del máster en su compañía, así como, entonces y algo más tarde, en calidad ya de trabajador de dicha empresa, aprender el oficio de geólogo. Concretamente, quisiera hacer constar mi agradecimiento al equipo de exploración encabezado por Jose Mario Branco, manager de exploración, y al grupo con el que trabajé a lo largo de siete meses, formado por los ayudantes de campo Alejandro Riberol y Juan Gallardo, quienes me enseñaron todo el trabajo práctico de recogida de muestras, y el geólogo Jorge Carriedo, responsable de la exploración en la Zona de Ossa Morena, que me hizo ver la geología desde el punto de vista minero y a quien considero uno de mis mentores.

Finalmente, quisiera dar las gracias asimismo a todos mis familiares, quienes aportaron ayuda y calidez a lo largo de todo el proceso de elaboración de este trabajo.

# ÍNDICE

<b>1. Introducción</b>	<b>7</b>
<b>2. Objetivos y Metodología</b>	<b>9</b>
<b>3. Resultados y discusión</b>	<b>10</b>
3.1. Situación Geográfica	10
3.2. Situación Geológica	10
3.2.1. Geología general de Ossa Morena	10
3.2.2. Geología del área de estudio	19
3.3. Trabajo de exploración minera en el área de estudio	23
3.3.1. Recopilación bibliográfica y reconocimiento del terreno	23
3.3.2. Métodos geofísicos: magnetometría aeroportada	32
3.3.3. Métodos geoquímicos: geoquímica de suelos	41
3.3.4. Otros métodos geoquímicos: geoquímica de arroyos y de muestreo de rozas	44
<b>4. Conclusiones</b>	<b>48</b>
<b>5. Bibliografía</b>	<b>50</b>

## RESUMEN

El presente trabajo fin de master es el resultado de una campaña de exploración minera en la Zona de Ossa Morena realizada por el autor, durante los meses de Febrero a Agosto en la empresa minera Lundin Mining.

El objetivo de esta exploración minera era localizar mineralizaciones ricas en metales como Cu, Au, Ni, Zn o Ag, en la Zona de Ossa Morena, cuyas características geológicas, hacen que sea una zona potencialmente favorable para contener este tipo de recursos.

La exploración minera supone una etapa previa e imprescindible para el posterior desarrollo de una actividad minera. Para llevar a cabo dicho trabajo de localización de yacimientos explotables, la exploración cuenta con un gran abanico de métodos, no obstante, la elección de la técnica variará en función de las características del área a investigar y del tipo de metales prospectados.

En este caso en concreto, las técnicas utilizadas en los estadios iniciales de la exploración fueron una recopilación bibliográfica de la zona de estudio que permitió familiarizarse con el contexto geológico. Un vuelo geofísico de magnetometría aeroportada sobre la estructura del anticlinorio de Olivenza-Monesterio, seleccionada mediante el método anterior. Una vez delimitadas geográficamente las diferentes áreas de interés sobre el anticlinorio, se desarrolló una campaña de campo en la que se identificaron litologías, rasgos estructurales y paragénesis de minerales metálicos. En aquellas áreas donde las observaciones de campo permitieron clasificarlas como favorables, se aplicó el método de la geoquímica de suelos y, en puntos muy concretos, geoquímica de muestro en rozas.

Los resultados de los análisis geoquímicos no fueron los suficientemente satisfactorios como para poder pasar al siguiente peldaño de la exploración. Este hubiese sido una campaña de sondeos en aquellas zonas donde la geoquímica de suelos hubiera desvelado una anomalía positiva en alguno de los metales prospectados. Es por esta razón, la empresa decidió dar por finalizada la exploración en la Zona de Ossa Morena. Aun así, todos los datos adquiridos y la información obtenida durante la campaña de exploración podrán ser usados por la empresa si ésta decide reiniciar la exploración en Ossa Morena en el futuro.

## **ABSTRACT**

The purpose of this master work is to present some results of a mineral exploration campaign which were developed by a mining company (Lundin Mining) in the Ossa Morena Zone. The author was involved in this campaign during seven months from February to August in 2013.

This exploration was focus on mineralizations that were rich in metals like Cu, Au, Ni, Zn and Ag in the Ossa Morena Zone. Due to some geological features, this zone is potentially a favourable area for this kind of resource.

Mineral exploration is a prior and essential stage for the development of a mine. The exploration has different methods and techniques to find resources. Thus, the ideal technique would vary depending on the characteristics of the researched area and the metal prospected.

In this particular case, in the initial stage of the exploration, the best option was a bibliographic compilation of all previous studies in the area. This let us to acquaint with the geological context and selected, as a goal of exploration, a main geological structure known as Olivenza-Monesterio Anticlinorium. A second stage of exploration was a geophysical flight over the above mentioned structure. Taking into account the obtained data, different areas of interest were defined in the Olivenza-Monesterio anticlinorium and a field campaign was planning. In this field campaign, lithologies, structural features and metallic mineral paragenesis were identified.

Areas where the results of the previous methods were successful were classified as positive zones, and a soil geochemistry, the next step in this exploration, was developed. Moreover, in some specific localities, rock sampling geochemistry was made. Finally, the results of geochemical analysis were not satisfactory enough to plan a drilling campaign that would be the next step in a mining exploration project. If the results of the soil geochemistry had been better, with a positive anomaly in any of the prospected metals, this last stage would have been possible. Although the company decided to give up the exploration in Ossa Morena Zone, all the information that our team got during this exploration campaign can be used by the company if it decides to restart exploration in Ossa Morena in the future.

## 1. INTRODUCCIÓN

La búsqueda y explotación de recursos minerales en la Zona de Ossa Morena (ZOM) tiene una larga historia de la cual dan testimonio el gran número de explotaciones mineras abandonadas y en activo presentes en esta zona del macizo Varisco Ibérico. Esta Zona presenta altas concentraciones de mineralizaciones producidas durante las orogénias Cadomiense y Varisca, así como durante el episodio distensivo que se produjo durante el Paleozoico Superior. Esta compleja historia geológica dio lugar a diversos tipos de mineralizaciones y yacimientos en la zona, como son los de tipo estratoligado de cobre-zinc-plomo, los ricos en hierro de origen vulcano-sedimentario, conocidos como IOGC (Iron Oxide-Copper-Gold deposits), los tipo cromita podiforme magmática (níquel-cobre). También están los de cobre-oro-bismuto y venas de plomo y zinc, así como gran variedad de yacimientos tipo skarn. Muchos de estos yacimientos y mineralizaciones están controlados por estructuras de strike-slip de gran extensión cortical. Dichas fallas controlan la sedimentación, el magmatismo y la actividad hidrotermal en la Zona de Ossa Morena desde el Paleozoico Inferior. (Carriedo et al., 2010). Algunos de estos yacimientos reconocidos se encuentran ubicados en zonas específicas, delimitadas por la propia tipología de la mineralización y por las características geológicas del entorno. En este sentido, la mayor parte de las mineralizaciones del tipo estratoligado se localizan en el flanco sur del Antiforme de Olivenza-Monesterio. Las antiguas minas de La Bilbaína, La Bóveda o Alconchel serían ejemplos de este tipo de mineralizaciones y, en todas ellas, el metal principal explotado era hierro extraído de la magnetita. Por otro lado, los yacimientos tipo skarn se encuentran en los contactos entre los plutones de edades variscas, con composiciones que varían de intermedias a máficas, y las rocas carbonatadas pertenecientes al Cámbrico Inferior. La mayor concentración de skarns está asociada al plutón de Burguillos del Cerro, y se desarrollan en calizas, dolomías y localmente en corneanas pelíticas. Otro yacimiento importante es Cala, skarn de magnetita con cobre del que se extrajo hierro y que, actualmente, algunos autores (Carriedo et al., 2007) consideran que puede ser una mineralización de tipo IOGC. En el caso de las mineralizaciones de tipo IOGC, los dos mayores yacimientos se localizan en el domo de Valuengo y en el área de Santa Olalla. Actualmente la única mina activa en la zona de Ossa Morena es Aguablanca (Ni-Cu) que se considera un yacimiento de sulfuros magmáticos asociado a rocas máficas.

Todo lo expuesto anteriormente y las características geológicas de la Zona de Ossa Morena hacen que las empresas mineras realicen campañas de exploración para localizar nuevas mineralizaciones de metales que sean rentables. El trabajo realizado en las etapas anteriores a la apertura de una mina, es decir, la exploración minera, supone una etapa previa e imprescindible para desarrollar una nueva actividad minera. La

exploración minera cuenta con diferentes métodos que permiten delimitar áreas potencialmente favorables para la ubicación de mineralizaciones con posibilidad de ser explotadas. Existe un amplio abanico de métodos que se utilizan en la exploración de metales, no obstante, la aplicación de uno u otro va a depender, entre otros factores, de las características del área a investigar y del tipo de metales prospectados. En este trabajo fin de master se pretende poner de manifiesto lo anteriormente expuesto a través del caso concreto de una campaña de exploración en Extremadura para diferentes metales (Cu, Au, Ni, Zn, Ag) realizada por el autor de la presente memoria durante su trabajo en la empresa minera Lundin Mining.

## **2. OBJETIVOS Y METODOLOGÍA**

El objetivo de este trabajo fin de master fue la exploración minera de diferentes metales realizado por el autor en un área que abarca lo que se conoce como el Antiforme de Monesterio-Olivenza dentro de la Zona de Ossa-Morena de Macizo Varisco Ibérico. Esta estructura geológica ocupa una superficie donde actualmente no hay ninguna mina en activo pero sí existen varios indicios de labores mineras antiguas. La exploración se centró, principalmente, en la búsqueda de mineralizaciones de cobre debido a que en el momento en que se llevó a cabo este trabajo dicho metal tenía un valor de 3.784 US\$/lb, más alto en el mercado internacional que el que tiene a día de hoy (3.219 US\$/lb). No obstante, también fueron objeto de prospección posibles mineralizaciones de otros metales (Au, Ni, Ag).

Como el área a investigar tenía una extensión muy grande y los permisos de exploración de la empresa estaban repartidos por toda ella, se desarrollaron varios proyectos en la zona y la metodología utilizada fue ligeramente diferente entre ellos. No obstante, las metodologías aplicadas fueron la recopilación bibliográfica, reconocimiento del terreno y cartografía, método geofísico de susceptibilidad magnética y métodos geoquímicos (geoquímica de suelos, de arroyos y de muestreo de rozas).

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Situación Geográfica

La zona que fue objeto de exploración se localiza en la comunidad autónoma de Extremadura, concretamente en la provincia de Badajoz. Está limitada al norte por la población de Olivenza y al Sur por Monesterio, mientras que Almendralejo y Segura de León son sus límites noroeste y suroeste, respectivamente (Fig.3.1.1.). No obstante, en el presente trabajo se presentan con mayor detalle las investigaciones realizadas en dos áreas más concretas que se sitúan, una en el entorno de la población de San Jorge, y la otra entre las localidades de Segura de León y Bodonal de la Sierra. San Jorge es una población situada a unos 6 kilómetros al sureste de la población de Olivenza y Segura de León se localiza más al sur, a pocos kilómetros de la frontera con Portugal

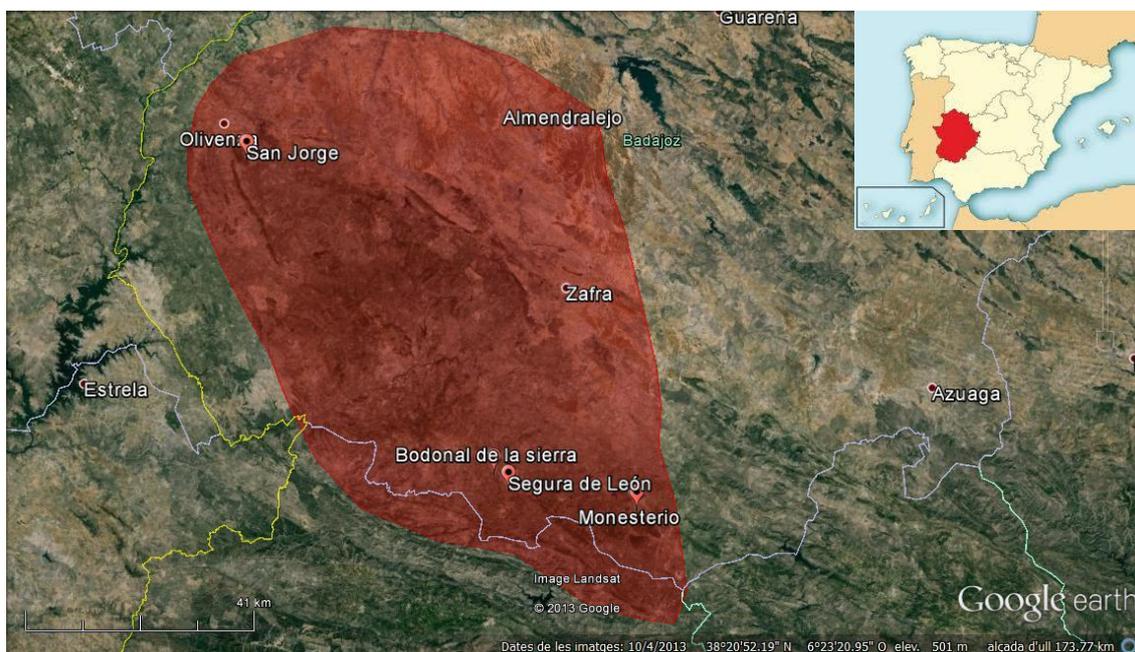


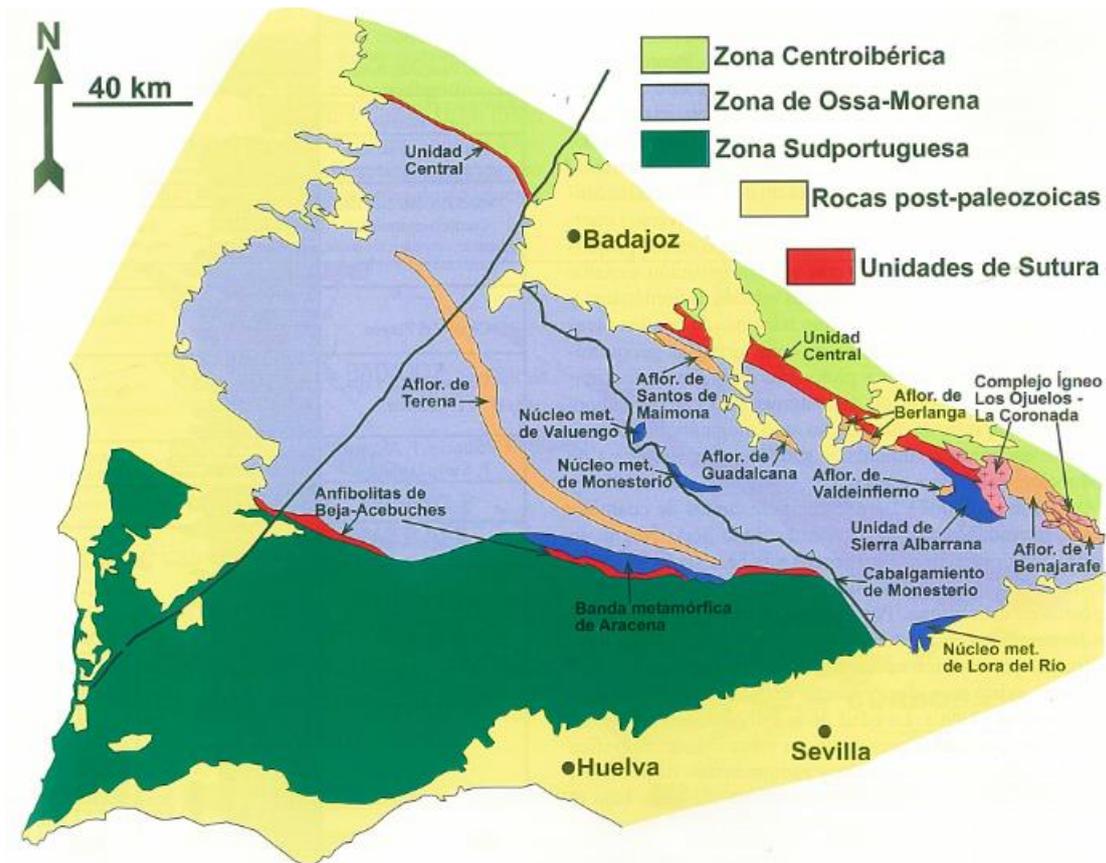
Fig. 3.1.1. Ubicación geográfica del área de estudio. (Imagen Google Earth).

#### 3.2. Situación geológica

##### 3.2.1. Geología general de la Zona de Ossa-Morena

Desde el punto de vista geológico, el área objeto del presente estudio se localiza en la Zona de Ossa Morena definida por Lotze (1945) y que representa la rama meridional del orógeno Varisco en la Península Ibérica, constituyendo su parte más interna. Se trata de

un bloque continental constituido por rocas del Proterozoico terminal al Carbonífero, que se suturó con la Zona Centroibérica y la Zona Sudportuguesa durante la Orogenia Varisca. En ambos límites, se han reconocido rocas básicas de afinidad oceánica (Quesada et al., 1994; Gómez-Pugnaire et al., 2003). Se caracteriza por la presencia generalizada de foliaciones tectónicas sin-metamórficas y abundante magmatismo concentrado en tres lapsos de tiempo: Precámbrico terminal, Cámbrico-Ordovícico y Carbonífero. (Fig.3.2.1.)

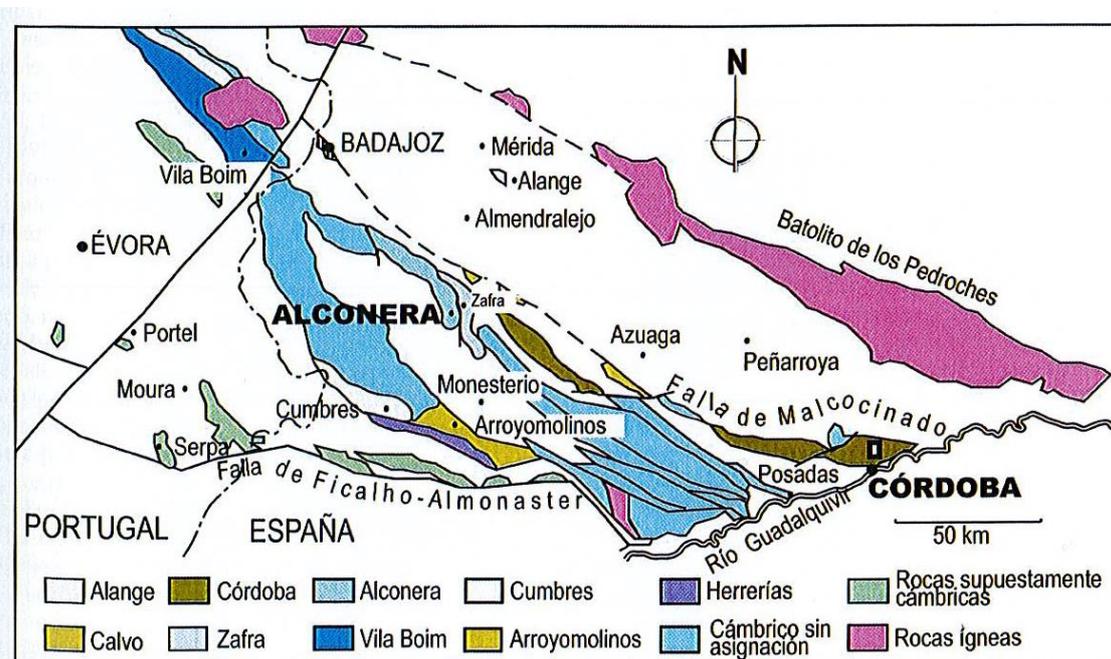


**Fig. 3.2.1. Esquema geológico muy simplificado de la Zona de Ossa-Morena en el que se muestran las unidades de sutura y aquellas que han registrado metamorfismo de grado medio y alto. También se han señalado los afloramientos carboníferos. (Vera, 2004: 165)**

La estratigrafía de Ossa-Morena resulta ser muy extensa compleja y con un gran número de eventos que implican diferentes series estratigráficas, que se separan en tres grupos, las formaciones precámbricas, la sucesión pre-orogénica y la sucesión sin-orogénica. Las formaciones precámbricas incluyen las denominadas Serie Negra y Formación Malcocinado. La primera del Proterozoico Superior la constituyen esquistos oscuros y metagrauvas con intercalaciones de cuarcitas negras (Carvalhosa, 1965). La segunda, con una edad infra cámbrica (Fricke, 1941) todavía no bien precisada, la

forman lavas y rocas vulcanoclásticas interestratificadas con filitas, arcosas, grauvacas y conglomerados poligénicos.

La Sucesión pre-orogénica esta constituida principalmente por materiales cámbricos cuyos afloramientos se han dividido en varias cubetas tectosedimentarias (Liñán, 1984; Liñán y Quesada, 1990), cada una con una sucesión y nomenclatura estratigráfica característica (Fig.3.2.2.). Las únicas cubetas en las que se ha realizado una propuestas estratigráfica formal, son las de Córdoba al NE y Alconera al NO, representativas de dominios menos y más subsidentes, respectivamente. Por otra lado, destacan los afloramientos de sucesiones silúricas que se caracterizan por su notable continuidad y el predominio de facies lutíticas.



**Fig. 3.2.2. Distribución geográfica de las principales unidades tectosedimentarias (cubetas) del Cámbrico de la Zona de Ossa-Morena (Modificada de Liñán y Quesada, 1990).**

En cuando a la Sucesión sin-orogénica, la sedimentación tuvo lugar en el Devónico y Carbonífero Inferior. Esta sedimentación sinorogénica, esencialmente marina, se desarrolló durante un episodio distensivo con abundante vulcanismo y plutonismo, ocurrido entre dos episodios compresivos, uno del Devónico y otro del Carbonífero Superior. La sedimentación carbonífera ocurrió fundamentalmente en cuencas marinas, separadas por los paleo-relieves de la Zona de Ossa-Morena, en los que se daría sedimentación de carácter continental en pequeñas cuencas aisladas. (Gabaldón et al., 1985; Quesada et al., 1990).

Las grandes estructuras de la Zona de Ossa-Morena tienen una directriz general NO-SE y una vergencia hacia el SO. Las primeras estructuras variscas son grandes pliegues

acostados de orientación NO-SE, cuyas trazas axiales describen complejas trayectorias en cartografía debido a un plegamiento posterior (Fig.3.2.3.). La principal estructura de esta fase es el Anticlinal de Olivenza, en cuyo núcleo afloran las rocas de la Serie Negra. Los pliegues acostados aparecen cortados por cabalgamientos que se generaron a continuación (Fig.3.2.3.). La principal de estas estructuras es el Cabalgamiento de Olivenza-Monesterio (Eguíuz, 1987; Expósito 2000; Expósito et al., 2002) Su traza cartográfica separa el sector central de la Zona de Ossa-Morena diagonalmente de NO a SE, donde se escinde en varias ramas, dando lugar a un sistema de cabalgamientos que desplaza varias veces la traza axial del Anticlinal de Olivenza.

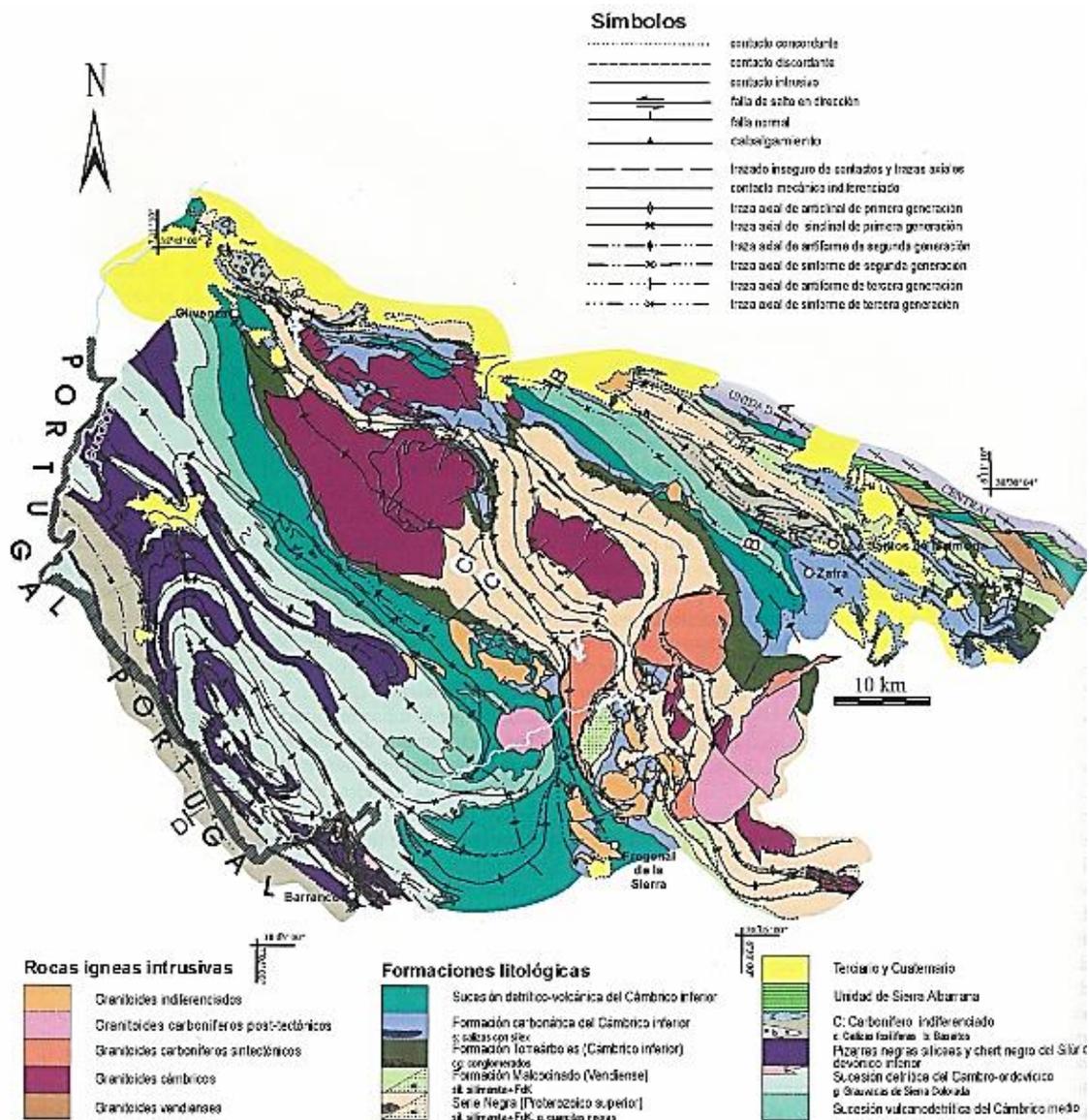


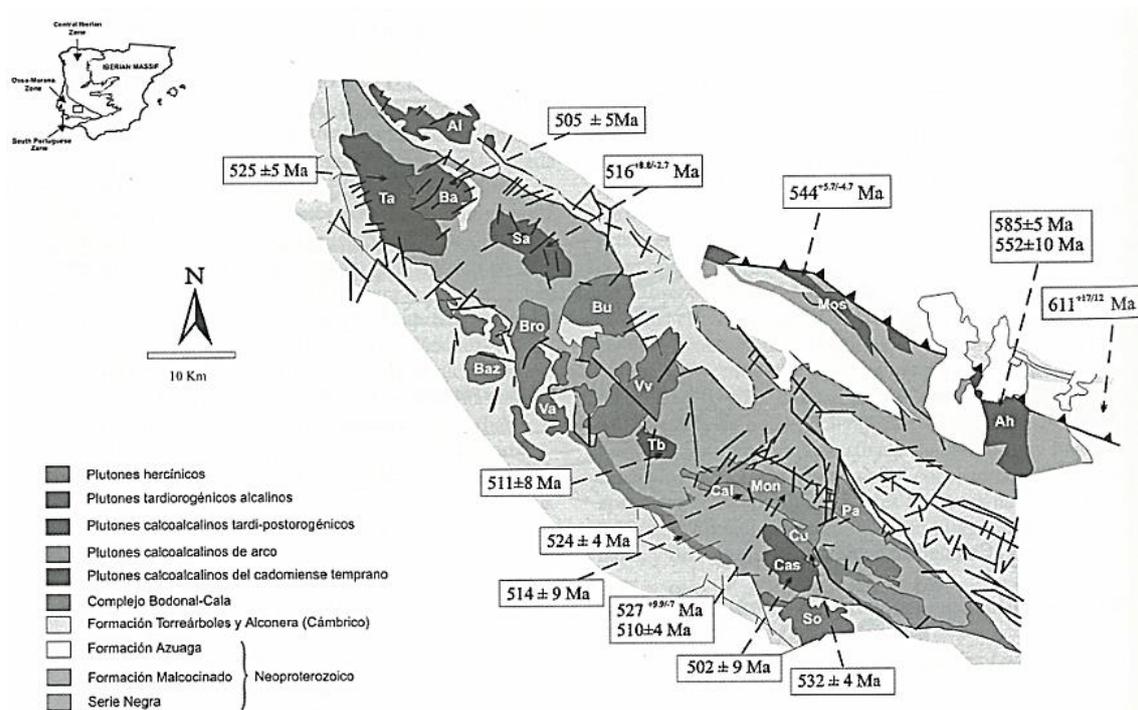
Fig. 3.2.3. Mapa geológico del sector central de la Zona de Ossa Morena. (Vera, 2004: 178)

Las estructuras compresivas y extensionales descritas hasta ahora, así como los depósitos sinorogénicos, están deformados por pliegues de orientación NO-SE. El eje de estos pliegues forma un pequeño ángulo con el de los pliegues acostados, sin embargo el ángulo entre las superficies axiales de ambos debe haber sido originalmente grande. Esto unido a la falta de cilindrismo de estos segundos pliegues (Expósito et al., 2002) da lugar a figuras de interferencia complejas. Finalmente los pliegues rectos están cortados en ocasiones por fallas inversas de alto ángulo, que pueden haberse generado tardíamente en la misma etapa de acortamiento. Estos sistemas de fallas son los responsables de la forma cartográfica sigmoidal que presentan algunas de las grandes unidades tectónicas de la Zona de Ossa-Morena. (Simancas et al., 2003).

El metamorfismo es en la mayor parte de la zona de bajo o muy bajo grado, excepto a lo largo de cuatro bandas de orientación regional (banda metamórfica de Aracena, núcleos metamórficos de Valuengo, Monesterio y Lora del Río) en las que aparecen rocas de grado medio y alto.

En lo referente al magmatismo, la Zona de Ossa-Morena se distingue de las zonas limítrofes, por el menor tamaño de las intrusiones, la abundancia del magmatismo básico y el lapso temporal que abarcan los fenómenos ígneos, desde el Neoproterozoico hasta el Pérmico. El magmatismo Neoproterozoico está representado principalmente por dos eventos magmáticos:

- A) El primero está relacionado con un episodio de rifting al inicio del Ciclo Cadomiense (Apalategui et al., 1985; Quesada, 1990). Se ubica en la Unidad Central de la zona de Cizalla de Badajoz-Córdoba y está representada por rocas metamórficas de grado medio-alto intensamente deformadas con paragénesis mineral de paragneises, ortogneises, anfibolitas y eclogitas retrogradadas.
- B) El segundo, de edad también neoproterozoica, está representado mayoritariamente por rocas volcánicas, distribuidas de forma discontinua a lo largo de dos ejes, al norte y sur, respectivamente, del Anticlinal de Olivenza (Fig.3.2.4.) (Delgado-Quesada et al., 1977; Arriola et al., 1984). Al norte se localiza la formación vulcanosedimentaria de Malcocinado (Fricke, 1941), caracterizada por la interstratificación de tobas y cenizas, de composición andesítica, con materiales sedimentarios detríticos. En el flanco S del anticlinal se localiza el Complejo Bodonal-Cala, constituido por andesitas, riolitas y tobas de distinta naturaleza, con intercalaciones de materiales carbonatados y pizarrosos.



**Fig. 3.2.4. Mapa geológico simplificado del Anticlinal de Olivenza de NE de la Zona de Ossa-Morena con edades de rocas ígneas. (Oschenr, 1993). Leyenda: Ta, Táliga; Al, Almendral; Ba, Barcarrota; Sa, Salvatierra; Bu, Burguillos del Cerro; Bro, Brovales; Baz, Bazana; Va, Valuengo; Vv, Valencia del Ventoso; Tb, Tablada; Cal, Calera de León; Mon, Monesterio; Cas, Castillo; Pa, Pallarés; So, Santa Olalla de Cala; Ah, Ahillones; Mos, Mosquil.**

El magmatismo Cámbrico es de naturaleza volcánica y está representado por dos episodios:

- A) Las primeras vulcanitas por encima de los carbonatos son de edad Cámbrico Inferior y constituyen una asociación bimodal. Afloran en el flanco meridional del Anticlinal de Olivenza y en Portugal. En la parte española han sido clasificados por Dupont (1979) como basaltos y traquibasaltos submarinos espilitizados, queratófidos y cuarzo queratófidos. En la parte portuguesa de la Zona de Ossa-Morena han sido descritas por Mata y Munhá (1990) como metabasaltos submarinos y metariolitas.
- B) Las segundas volcanitas atribuidas al Cámbrico Medio se encuentran en ambos flancos del Anticlinal de Olivenza, y constituyen asimismo una asociación bimodal. En el flanco meridional son exclusivamente rocas básicas, en tanto que en el flanco septentrional, las rocas ácidas masivas e ignimbríticas son muy abundantes (Dupont y Vegas, 1978; Dupont, 1979).

Las rocas intrusivas, a diferencia de las volcánicas, se disponen preferentemente en el núcleo del Anticlinal de Olivenza. Se pueden distinguir dos grupos en función de su edad y características geoquímicas:

- A) Un primer grupo de granitoides de edad Cámbrico Inferior a Medio que desde un punto de vista geoquímico son peraluminosos y en algún caso débilmente metaluminosos (Galindo, 1989; Salman, 2002). Estos granitoides muestran importantes diferencias en la geoquímica isotópica de modo que algunos presentan características de granitos de arco volcánico y otros de granitos tardi a post-colisionales.
- B) Existe un segundo grupo de rocas plutónicas del Cámbrico Medio (Castro, 1981; Galindo y Casquet, 1985; Salman, 2002). Geoquímicamente este magmatismo es de tendencia alcalina. Estos granitoides coinciden con las volcanitas ácidas del Cámbrico Medio, dentro del campo de los granitoides de intraplaca.

El magmatismo Ordovícico está relacionado con un episodio plutónico de carácter anorogénico durante el Ordovícico Inferior-Medio debido al progreso del rifting iniciado en el Cámbrico.

El magmatismo varisco está representado, principalmente, por una serie de plutones ubicados en el Anticlinal de Olivenza y en la banda metamórfica de Aracena. El magmatismo del Anticlinal de Olivenza consiste por un lado en macizos epizonales compuestos de tipo intermedio-ácido, calcoalcalinos y esencialmente metalumínicos, con predominio de tonalitas y granodioritas y, en menor proporción, rocas máficas y ultramáficas. Por otro lado de cuerpos intrusivos sencillos (stocks y diques) de tipo granítico y leucogranítico predominantemente peralumínicos. Dentro de los plutones de la asociación predominante meta-alumínica destacan los complejos intrusivos de Santa Olalla y Burguillos del Cerro.

- A) El complejo plutónico de Santa Olalla (Fig.3.2.5.) incluye el plutón principal de Santa Olalla, el pequeño stock de Aguablanca situado en la parte NE, y otras tres intrusiones, Garrote, Teuler y Cala. El plutón principal de Santa Olalla muestra un zonado composicional inverso con monzogranitos y granodioritas en el centro, tonalitas en la zona media y cuarzdioritas con anfíboles hacia el extremo (Velasco, 1976; Casquet, 1980; Casquet et al., 2001). Aguablanca es un plutón subcircular máfico, constituido fundamentalmente por noritas y gabronoritas. En su borde norte se localiza el granito de Garrote, que es un granito sienítico con hornblenda. Al oeste del plutón de Santa Olalla se localizan

Teuler y Cala, dos pequeñas intrusiones monzograníticas que desarrollan skarns de hierro.

B) El Complejo de Burguillos del Cerro tiene forma circular y está constituido por tres intrusiones principales que tienen una disposición más o menos concéntrica y un enjambre de diques graníticos tardíos (Pons, 1975, 1982; García Casquero, 1991). La intrusión más externa es tonalítica, la intermedia diorítica, y el núcleo del complejo son gabros y gabronoritas.

El magmatismo post-varisco está representado en diversos sectores de la Zona de Ossa Morena por diques diabásicos subverticales de dirección NO-SE que cortan a todas las demás rocas intrusivas. Su edad es pérmica y están relacionados con un evento extensional tardío.

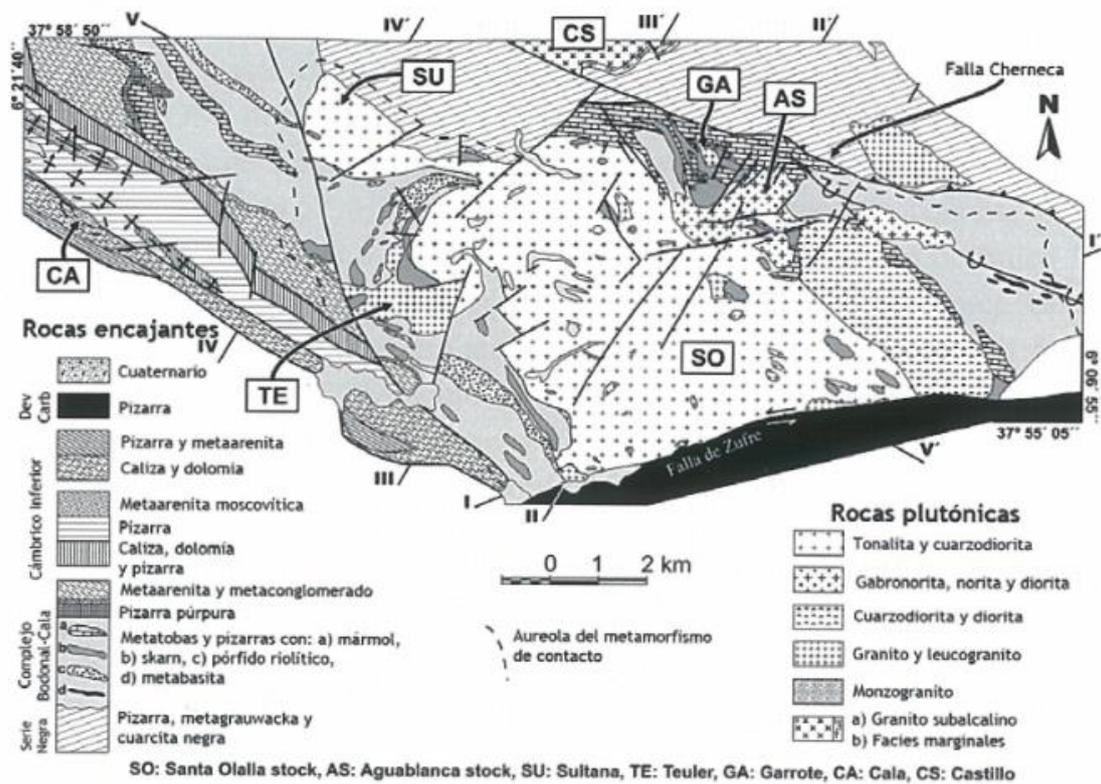


Fig. 3.2.5. Mapa geológico del complejo ígneo de Santa Olalla (Romero et al., 2006)

Resumiendo, esta zona es una unidad con una historia muy compleja, caracterizada por su evolución poli-orogénica (Fig.3.2.6.). El zócalo de la Zona de Ossa Morena representa diversos estadios en la evolución de un margen continental activo, probablemente de tipo andino (Quesada 1990). La etapa inicial se caracteriza por su desarrollo como arco volcánico durante el Proterozoico Superior. La colisión de este arco con el bloque ibérico proterozoico durante la orogenia Cadomiense provocó que fuese obducido sobre el margen ibérico evolucionando a una cuenca de antepaís. Esta

etapa sinorogénica tuvo lugar en el intervalo Rífense Superior-Cámbrico basal (Quesada, 1989, 1990; Abalos, 1990). La sutura aparece expuesta a lo largo de la zona de cizalla Badajoz-Córdoba. La evolución del bloque autóctono ibérico durante el Cámbrico, fue la de una plataforma sometida a varios eventos extensionales de importancia variable (Sánchez-García et al., 2008). Este rifting cámbrico causó la individualización de las unidades que actualmente se reconocen en este bloque. Finalmente, estos terrenos fueron afectados por una tectónica transpresiva/transensiva durante la orogenia Varisca, en relación con la colisión de la Zona Sudportuguesa (ZSP) (Quesada, 1992). La subducción de la corteza oceánica conduce a una colisión oblicua con ZSP, que se propagó de forma diacrónica hacia el sureste desde el Devónico tardío al Viséense tardío (Ribeiro et al., 1990; Quesada, 1991). Durante todo el proceso orogénico, la ZOM actuó como placa superior, sometida a un régimen tectónico transpresional. Por consiguiente se produce la reactivación de la sutura cadomiense preexistente bajo condiciones de desgarre senestral que ahora constituye el límite norte de la ZOM. En el Carbonífero temprano se produce el emplazamiento de un gran volumen de magma en la corteza media, se trata del Cuerpo Reflectorio Ibérico (IRB) definido por Simancas et al. (2003). Posteriormente al emplazamiento del IRB, cuando la cámara magmática ya estaba parcialmente consolidada y fuertemente influenciada por las rocas encajantes, comienza una etapa transtensional y pequeñas cantidades de magma pudieron ser emplazadas en zonas más superficiales.

### Evolución Varisca del Suroeste de Iberia

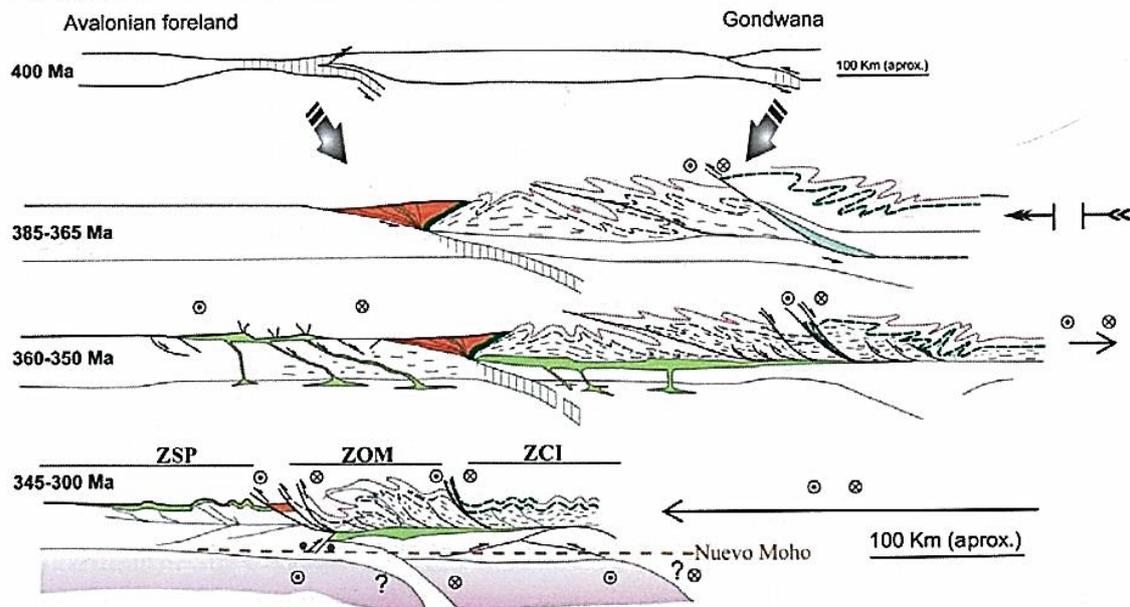


Fig. 3.2.6. Interpretación de la evolución varisca del SO de Iberia (adaptación de Simancas et al, 2003)

### 3.3.2. Geología del área de estudio

Como ya se comentó en capítulos previos, los trabajos de exploración realizados por el autor de esta memoria se describen en detalle en dos áreas que denominaremos proyecto Segura de León y Proyecto San Jorge. A continuación se presenta la geología de cada una de ellas.

#### Geología del Proyecto Segura de León

Según la Hoja del IGME 0896, la geología de Segura de León se caracteriza por materiales cuya edad va desde el Precámbrico al Carbonífero. De forma muy reducida también aparecen materiales terciarios y cuaternarios. Se distinguen dos unidades estructurales constituidas por materiales del Precámbrico Superior al Devónico Inferior: la Unidad de Fregenal-Cumbres y la Unidad de Barrancos-Hinojales, sobre las que se sitúa la Formación de Terena, atribuida al Devónico Superior-Carbonífero Inferior. A continuación se describen en detalle las principales litologías aflorantes en el área que fue objeto de estudio (Fig.3.2.7.).

Los materiales más antiguos de la Formación Fregenal-Cumbres son los que pertenecen a la Sucesión Tentudía. Dicha sucesión está constituida por metagrauvascas de grano fino y pizarras, con frecuentes intercalaciones de cuarcitas/liditas negras, metatobas ácidas, anfibolitas y calizas marmoleas. A techo de la Sucesión Tentudía, en el flanco suroeste del Anticlinorio de Olivenza-Monesterio, afloran materiales de volcánicos de carácter ácido pertenecientes a la Sucesión de Cuarcitas y Tobas cristalinas. Esta sucesión está constituida por tobas finas y metacuarcitas ácidas (con niveles poco potentes con magnetita) intercaladas con extensas bandas de metatobas cristalinas y riolitas. Las metatobas son rocas de aspecto gnéisico en donde los fenoclastos de feldespato potásico, cuarzo y plagioclasa están en una matriz de grano muy fino rica en sericita, cuarzo y plagioclasa. En la zona de Segura de León, el contacto entre la Sucesión Tentudía y la Sucesión de Cuarcitas y Tobas cristalinas es mecánico, mediante una falla paralela a las estructuras regionales. Por encima de la Sucesión de Cuarcitas y Tobas cristalinas, se encuentra una formación carbonatada de calizas y dolomías sobre niveles poco potentes de pizarras, areniscas y rocas vulcanoclásticas ácidas. Por último, mencionar la presencia de filones de cuarzo con dirección NNW-SSE cortando las rocas de composición carbonatada.

Las rocas ígneas aflorantes son gabros encajados en los materiales carbonatados descritos anteriormente. Por otro lado, afloran aglomerados volcánicos leuco-

tonalíticos sódicos. Estas rocas de filiación vulcanoclástica alternan con tobas de grano fino de idéntica composición al aglomerado.

En cuanto a las estructura tectónicas desarrolladas en el varisco dentro de la Unidad Fregenal-Cumbres, estas permiten diferenciar en esta unidad dos subunidades: la de Fregenal-Arroyomolinos y, superpuesta a esta, la de Las Herrerías. En la subunidad de Fregenal-Arroyomolinos, la primera fase de deformación generó un tren de pliegues tumbados, de escala kilométrica y vergencia al sureste, en los que muchas veces se conservan los flancos invertidos. En una segunda etapa, durante la primera fase, se formaron pliegues con dirección que varía de N130E, al NE de la subunidad, a N100E al sur de la misma. En cuanto a la subunidad Las Herrerías, esta representa un manto cabalgante sobre la anterior generado durante la segunda fase de deformación. Posteriormente, la superficie de este cabalgamiento se pliega y da lugar al Sinclinal de Las Herrerías. El metamorfismo en el área de estudio es escaso, salvo un leve metamorfismo de contacto entre las rocas carbonatadas y los gabros descritos. No obstante, existen algunos indicios de condiciones de metamorfismo regional de grado muy bajo (desarrollo de clorita y sericita sin-cinématicas en los planos de esquistosidad).

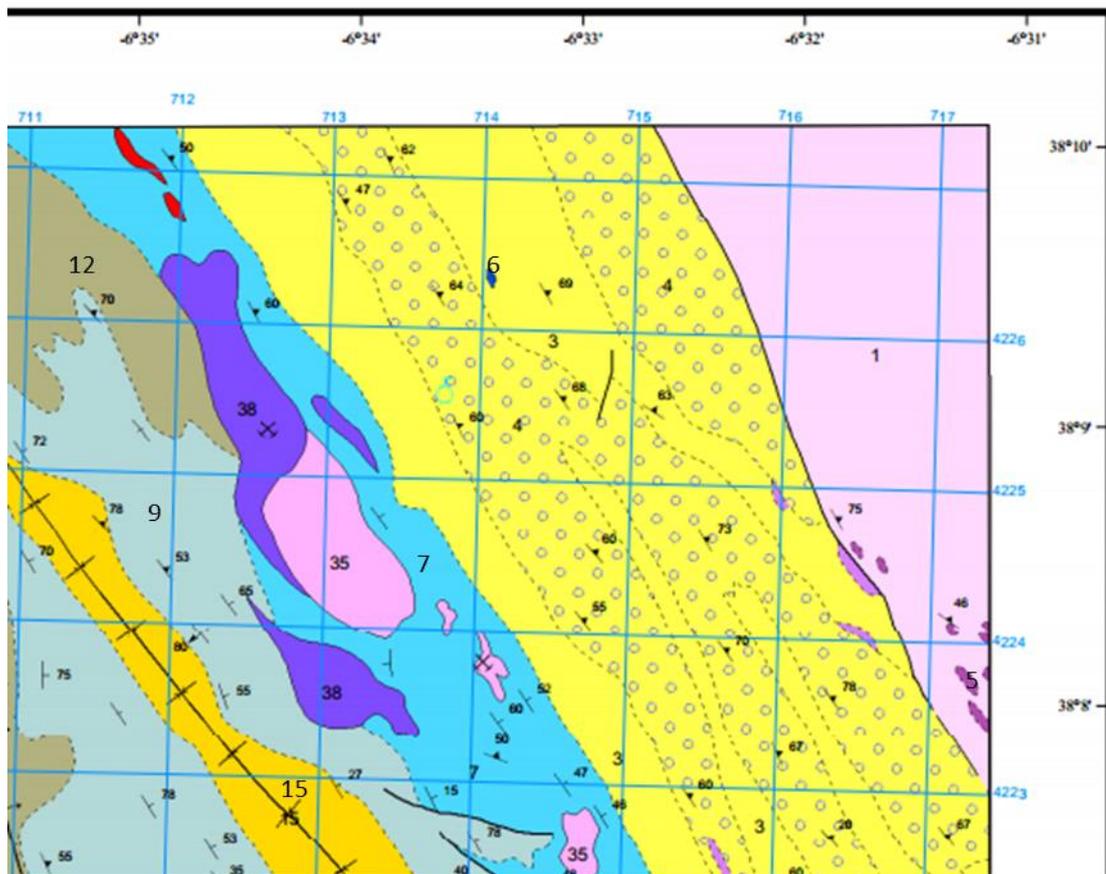
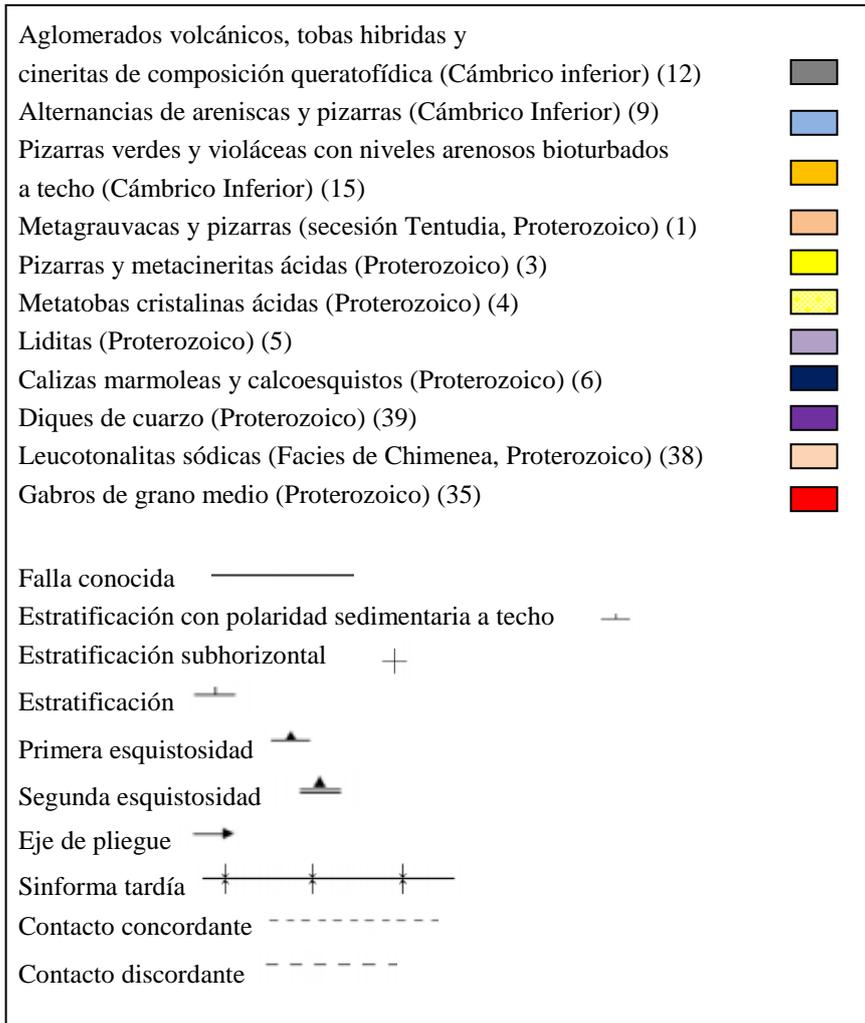


Fig. 3.2.7. Geología del área donde se ubica el Proyecto Segura de León. Fuente: IGME, hoja 0896.

Leyenda:



Geología del Proyecto San Jorge

De acuerdo con la hoja del IGME 827, la geología del área de interés se halla representada por formaciones que abarcan desde el Precámbrico Superior hasta el Silúrico. Sin embargo, prácticamente todos los materiales que aparecen en la zona delimitada como de área de estudio pertenecen al Cámbrico, con la excepción de los depósitos cuaternarios (Fig.3.2.8.). Las principales formaciones que afloran son la Formación Detrítica Inferior constituida por pizarras grises arenosas, arcosas y grauvas que se consideran la serie basal del Cámbrico Inferior. Por encima, se sitúa una formación de calizas y dolomías (Formación Calcárea), constituida fundamentalmente por calizas grises y blancas de grano fino a grueso y marmolizadas. Generalmente se presentan en bancos masivos con estratificación poco definida. Presentan intercalaciones de tramos de calizas dolomíticas, calcoesquistos y pizarras con potencias que no sobrepasan los 20-30m. En contacto mecánico con la Formación Calcárea se superpone

una potente serie detrítica, constituida por tres tramos. El último de los cuales forma parte de la Formación Detrítica Superior y se caracteriza por la presencia de un potente nivel detrítico de naturaleza arcósica, de color blanco y de gran extensión lateral.

Las estructuras tectónicas dominantes en la zona de estudio son pre-variscas y variscas. La principal estructura pre-varisca es la discordancia regional que se manifiesta entre materiales precámbricos (serie Negra) con los suprayacentes del Cámbrico Inferior. En cuanto a la deformación varisca, se distingue una primera fase de plegamiento de dirección ONO-ESE, además de fallas inversas y cabalgamientos de bajo ángulo. En una segunda fase de plegamiento se forman las grandes estructuras vergentes al suroeste. Finalmente se distingue una fase tardi-varisca con diferentes sistemas de fallas, unas pertenecientes a un sistema conjugado NE-SE y otras, menos abundantes, de dirección NNO-SSE. No se ha descrito ningún tipo de metamorfismo en el área de estudio.



**Fig. 3.2.8. Geología del área donde se ubica el Proyecto San Jorge. Fuente: IGME, hoja 0827.**

Leyenda:

Glacis (Cuaternario) (QG)	
Pizarras, arcosas, cuarcitas y grauvacas (Cámbrico Inferior) (CA1)	
Calizas y Dolomías (Cámbrico Inferior) (CA1c)	
Pizarras con un nivel singular arcósico (Cámbrico Inferior) (CA1s)	
Falla conocida	
Frente de cabalgamiento o manto de corrimiento	
Contacto normal o concordante	
Contacto normal o concordante supuesto	
Contacto por discordancia	
Anticlinal deducido	
Dirección y buzamiento de la esquistosidad	
Dirección y buzamiento de la estratificación	

### 3.3. Trabajo de Exploración minera en el área de estudio

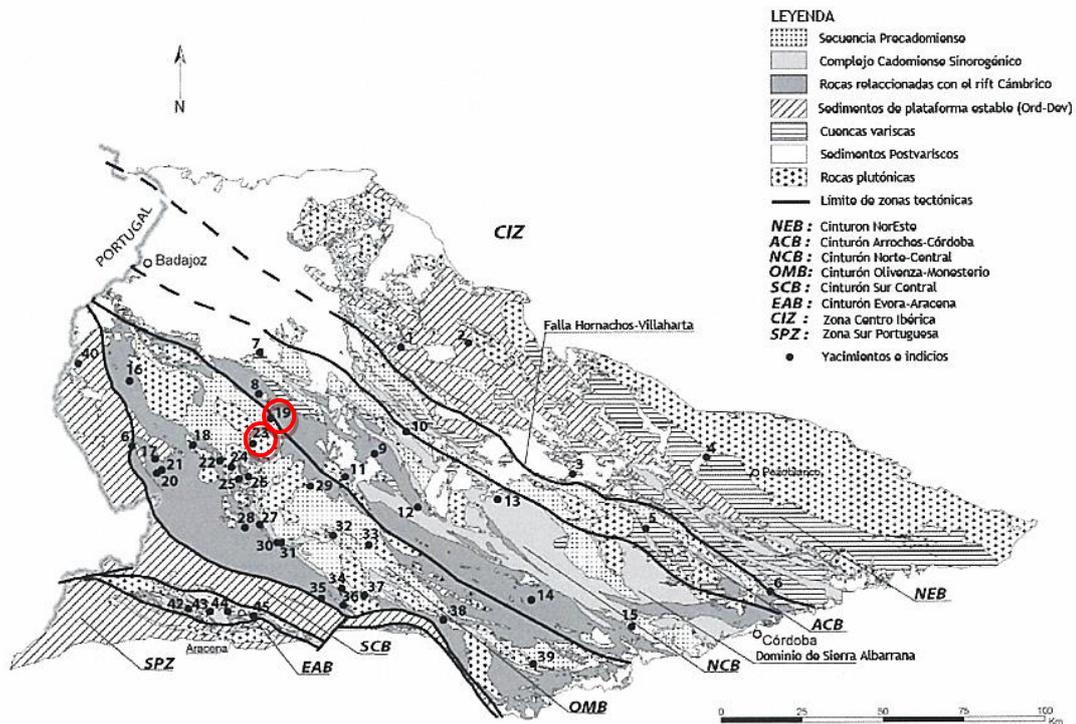
Como se mencionó previamente, la zona de estudio es muy extensa y se delimitaron varias áreas de interés, casi todas concentradas a lo largo de la estructura del Antiforme de Olivenza-Monesterio. En este capítulo se presenta el trabajo de exploración realizado, describiéndose de forma más detallada los proyectos Segura de León y San Jorge anteriormente definidos. Aunque principalmente el objetivo de exploración eran mineralizaciones de cobre, también níquel, oro y otros metales fueron tomados en consideración. A continuación se presentan los diferentes estudios realizados.

#### 3.3.1. Recopilación bibliográfica y reconocimiento del terreno.

Para llevar a cabo una exploración minera a nivel regional en una determinada zona, el primer paso es realizar una recopilación bibliográfica y familiarizarse con las distintas litologías de la región. Esta recopilación de bibliografía permite localizar zonas que han sido objeto de estudios previos y, en ocasiones, aprovechar algunos de los resultados de ellos facilitando así la selección de las áreas de interés. En el presente trabajo los documentos que resultaron más útiles fueron las memorias y mapas geológicos y metalogenéticos de Extremadura elaborados por el IGME y publicados por la Consejería de Economía y Trabajo, juntamente con la Dirección General de Ordenación Industrial, Energía y Minas.

En dichos documentos se describen las antiguas labores de minería realizadas a lo largo de la historia en Extremadura, permitiendo obtener información sobre el tipo de

mineralización que dio lugar a la explotación y su roca encajante. A partir de este material documental se pudieron seleccionar varias zonas de interés y, una vez obtenidos los permisos mineros de exploración necesarios, buscar información bibliográfica más concreta, ya sea en forma de artículos científicos (ej.: Carriedo y Tornos, 2010) o Mapas del IGME 1:50.000 y sus respectivas memorias. En base a estos datos, se seleccionaron varias áreas de interés. En la síntesis del mapa metalogénico de Extremadura tomado de Tornos et al. (2004) de la figura 3.3.1. se señalan aquellos indicios que fueron objeto de estudio en el presente trabajo.



**Fig. 3.3.1. Mapa geológico de la ZOM dividido por sus zonas metalogénicas y la localización de los principales yacimientos e indicios, se han resaltado en rojo aquellos estudiados en el presente**

**trabajo:** 1. Puebla de la Reina (Cu-Zn-Pb); 2.- San Nicolás (W-(Sn-Bi)); 3.- Oropesa (Sn); 4.- El Soldado (Pb-(Zn-Ag)); 5.- Nava Paredón (Zn-Cu-Pb); 6.- Los Arenales-Cerro Muriano (ba-fl-F-(Zn-Pb-Ag)); 7.- Santa Marta (Pb-Zn-Ag); 8.- Alfredo (Fe); 9.- Mariquita-Sultana (Hg-(Cu-Pb-Ba)); 10.- Retín (Zn-Pb); 11.- Calzadilla de los Barros (Cr); 12.- Llerena (barite); 13.- Azuaga-Berlanga ore field (Pb-(Ag-Zn)); 14.- Cerro del Hierro (Fe); 15.- Sierra Albarrana (U-(REE)); 16.- Las Herrerías (Fe-Cu); 17.- Oliva-Zahínos (Mn); 18.- La Bóveda (Fe); 19.- Abundancia (Cu); 20.- Mari Juli (W-(Bi-Au)); 21.- Virgen de Gracia (W); 22.- La Bilbaína (Fe-(Cu-Au)); 23.- Monchi (Fe-(Co-REE-U)); 24.- Colmenar-San Guillermo-Santa Justa (Fe-Cu); 25.- Bismark (Fe); 26.- La Berrona (Fe); 27.- La Valera (Fe); 28.- Los Eloys (Fe); 29.- La Hinchona (Cu); 30.- Chocolatero (Au); 31.- Guijarro (Au); 32.- Monesterio (Cabra Alta) (U-(Ni-Co)); 33.- Pallarés (Cu-Ba); 34.- Sultana (Cu-(Au-Bi)); 35.- Cala (Fe-Cu); 36.- Teuler (Fe); 37.- Aguablanca (Ni-(Cu-PGE)); 38.- Cazalla de la Sierra (Fe); 39.- Constantina-Huéznar (Au); 40.- Novillero (Fe-Cu); 41.- Villanueva del Fresno (Cabra Baja) (U-REE); 42.- Aroche (wollastonita) 43.- María Luisa (Cu-Zn-(Pb)); 44.- Fuenteheridos (Zn-Pb-Ag); 45.- Aracena (Zn-Pb-Ag-Ba). (Modificado de Tornos et al., 2004).

Como ejemplo de lo anteriormente expuesto, se consideró el entorno en el que se ubicaban unas antiguas minas de hierro conocidas como mina La Bilbaína y mina La Bóveda (Fig.3.3.4. y 3.3.5. respectivamente). De este modo, el siguiente paso fue ir al

campo puesto que las descripciones pueden no ser lo suficientemente detalladas y las cartografías muy antiguas; por lo que es más aconsejable realizar una cartografía de detalle propia. En este trabajo de campo no sólo se trataba de reconocer las litologías y encontrar minerales indicadores de posibles mineralizaciones, sino también indagar e intentar entender la estructura geológica de la zona puesto que esta puede controlar la ubicación de nuevas mineralizaciones. En base a esto, se programó un trabajo de campo para reconocer los indicios antes mencionados (Fig.3.3.2. y Fig.3.3.3.). En las antiguas labores de mina La Bilbaína, se corroboró la presencia de hierro en forma de pirita y se identificó la roca de caja como una caliza muy tableada, marmolizada (no mostraba una fuerte reacción al ácido clorhídrico) (Fig.3.3.2.) y con diferentes etapas de fracturación. De acuerdo con la memoria del IGME correspondería a la caliza del Complejo Valverde-Fregenal. Por otro lado, se observó que la morfología de cuerpo mineral explotado era filoniana. Además se certificó la presencia de sulfatos secundarios, principalmente el sulfato de hierro melanterita  $\text{Fe}^{2+}\text{SO}_4 \cdot 7(\text{H}_2\text{O})$ , indicativo de la existencia de mineralizaciones primarias de sulfuros (Fig.3.3.3).



**Fig. 3.3.2. Roca de caja de la antigua mineralización de mina La Bilbaína.**



**Fig. 3.3.3. Melanterita reconocida en el emplazamiento del antiguo cuerpo mineralizado de mina La Bilbaína.**



**Fig. 3.3.4. Mina La Bilbaína. Antigua mina donde se explotaba hierro. Desde esta perspectiva se puede observar el corte de las antiguas labores siguiendo el cuerpo mineral explotado.**



**Fig. 3.3.5. Restos de actividad minera en mina de La Bóveda.**

### Proyecto Segura de León

La memoria metalogenética de Extremadura informaba que en la campaña de exploración llevada a cabo por PRESUR-ENADIMSA en la Reserva de la Monaguera se localizaron importantes anomalías de oro (Coma et al., 1988; Canales y Matas, 1992). Entre ellas, destacaba la anomalía TM-21 (68-277 y 68-278) situada dentro de la zona de Cabeza de Vaca-Tentudía-Cala, que según el informe de PRESUR-ENADIMSA, correspondía a una mineralización ligada a las pizarras, areniscas, rocas volcanoclásticas y diques, fundamentalmente félsicos, de la Sucesión de Tentudía, así como a las rocas volcanoclásticas de la Fm Malcocinado. De acuerdo con el informe mencionado, las rocas se encontraban brechificadas y afectadas por procesos de silicificación, microclinización y turmalinización, y con una diseminación de magnetita, pirita, arsenopirita y otros sulfuros, con reconcentraciones locales en filones irregulares de cuarzo. Estas alteraciones hidrotermales parecían ligadas a cabalgamientos variscos de fase 2 con dirección NO-SE. También había concentraciones significativas en cizallas con la misma dirección, en desgarres tardíos de dirección N-S o N60°E y en sus rejuegos tardíos con movimiento de falla normal. Los contenidos en oro eran bajos, aunque señalaban la presencia de tramos de 3 metros con leyes de 2,3 gr/t y leyes máximas de 7,2 gr/t (Canales y Matas, 1992). Este informe mencionaba que en el área de Bodonal y Segura de León había estructuras similares pero sin indicios de labores mineras. En esta área, PRESUR y Río Tinto Minera habían llevado a cabo campañas de cartografía de detalle, geoquímica de roca y sedimentos, geofísica aeroportada, calicatas y sondeos. Considerando que se podía acceder a mucha información el siguiente paso fue intentar conseguir los datos obtenidos en dichas campañas. Sin embargo, esto no fue posible debido a que las investigaciones tuvieron un coste muy elevado y, tanto Río

Tinto como PRESUR, hubiesen pedido una suma de dinero importante a cambio de dicha información. Además las técnicas analíticas están en continua evolución, de modo que algunos de los resultados obtenidos por dichas empresas actualmente no serían del todo fiables. Considerando todo lo anterior, es decir, el hecho de que en el entorno de Bodonal y Segura de León hubiese estructuras similares al área donde se documentaba la existencia de anomalías de oro y el de ser objeto de una exploración minera con técnicas variadas por empresas previas, fueron los motivos para incluir Segura de León como una posible área de interés de la que se precisaba un reconocimiento detallado. El siguiente paso fue la planificación de la campaña de campo para confirmar o descartar el entorno de Segura de León como potencialmente favorable a contener mineralizaciones explotables.

En la campaña de reconocimiento del terreno se trabajó en varios afloramientos en los cuales, en general, las rocas presentaban un estado de alteración y meteorización muy elevado haciendo que el reconocimiento litológico fuese complicado. Las regiones con climatología seca y relieve irregular, dejan al descubierto grandes afloramientos en donde se pueden hacer estudios detallados de las diferentes litologías y de sus estructuras. Pero cuando este no es el caso, se debe estar muy atento a posibles obras civiles de infraestructuras y/o posibles incendios, puesto que ambos hechos pueden dejar al descubierto nuevos afloramientos que desvelen o complementen información geológica sobre el área. El Proyecto de Segura de León es un ejemplo de este hecho, durante los primeros meses de la campaña de campo no se encontraron los suficientes afloramientos para tener un conocimiento geológico detallado del área, de modo que se decidió abandonar temporalmente el proyecto. Unos meses después, el comienzo de unas obras para construir una carretera, permitió el reconocimiento de varios afloramientos en los taludes de la nueva infraestructura. Estos desvelaron mucha más información de la obtenida hasta ese momento, a pesar de que dichos afloramientos habían sido excavados hacía semanas y presentaban alteración. En la figura 3.3.6. se muestra el corte realizado en el talud excavado durante las obras de la carretera, las líneas amarillas discontinuas marcan rasgos estructurales que podrían ser diferentes estadios de foliación/fracturación (S1, S2, S3). En este mismo corte se identificó una discontinuidad, señalada en la figura 3.3.6. con trazo rojo, que ponía en contacto dos litologías claramente diferentes y que se interpretó como una falla. No obstante, no se identificaron estructuras de deformación características de un contacto mecánico de este tipo, lo que se atribuyó al posible comportamiento dúctil de las materiales. Aunque tampoco se descartó que dichas estructuras fueran irreconocibles debido a la alteración meteórica que presentaba el afloramiento. Por otro lado, se pudo distinguir lo que parecía un contacto entre un intrusivo y su roca de caja (línea discontinua de color negro en la figura 3.3.6). Esta interpretación se basó en el hecho de que el contacto entre los dos tipos de roca era lobulado y muy irregular, lo que apuntaba a un comportamiento

plástico de los materiales. Por otro lado, no se apreciaba ninguna estructura de deformación tectónica tales como foliaciones o rocas de falla. Una observación que reafirmó la interpretación fue que en la roca de caja que presentaba una textura gnéisica con cristales de feldespatos potásicos (Fig.3.3.7.), este tenía mayor tamaño a lo largo de su contacto con el posible cuerpo intrusivo. Este hecho podría ser debido a un incremento de la temperatura provocado por la intrusión. En la roca de caja, los cristales de feldespatos estaban orientados y definían un bandeo en el que alternaban bandas ricas en ellos con bandas de grano fino, probablemente, más ricas en minerales ferromagnesianos dando así la textura gnéisica. La relación de crecimiento-deformación de cristales de feldespatos potásicos parecía sincrónica o, en algún caso, previa. Algunas de las bandas de ferromagnesianos tenían comportamiento magnético, de modo que podrían ser las bandas con magnetita y pirita diseminadas que describe la memoria del IGME dentro de la litología denominada “metatobas cristalinas” (Fig.3.3.8.).

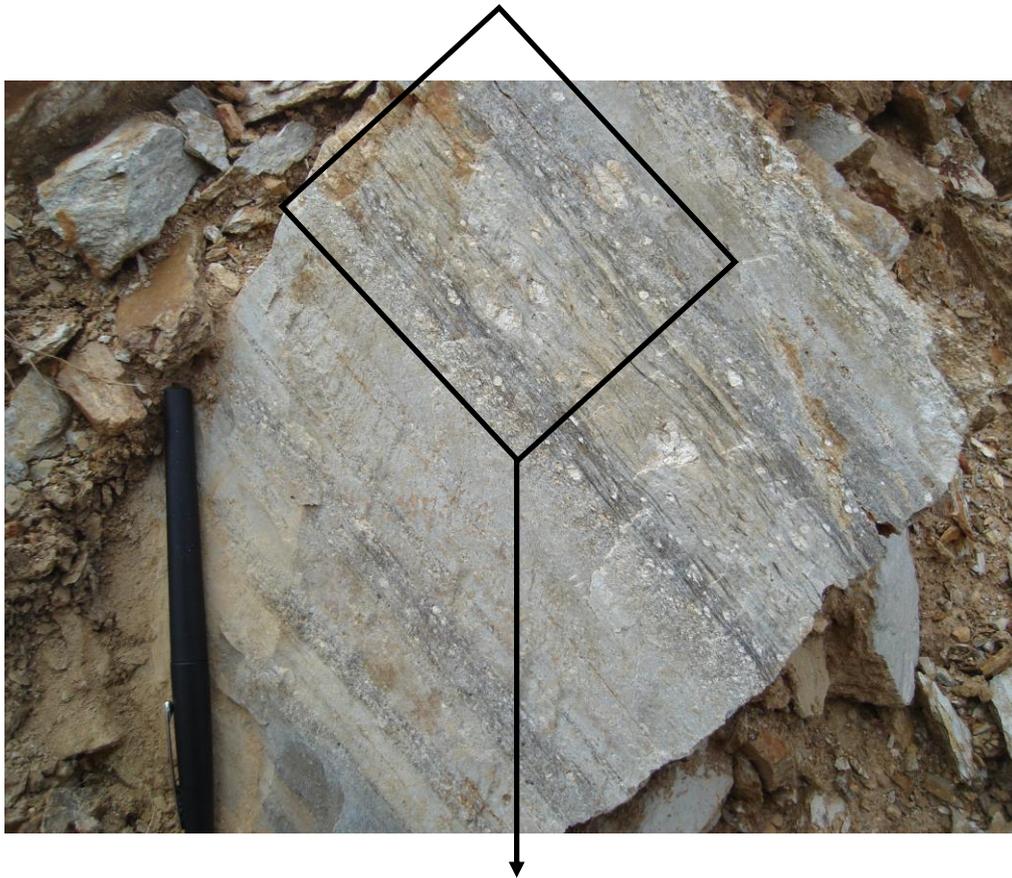


**Fig. 3.3.6. Corte en la carretera donde aparecen las estructuras y litologías del área de estudio y su interpretación geológica.**



**Fig. 3.3.7. Roca de caja con textura gnéissica.**

Aunque la clasificación litológica de las rocas descritas fue difícil, se interpretó la roca de caja como una toba volcánica afectada por varias etapas de deformación evidenciadas por el desarrollo de diversas foliaciones. Mientras que el posible cuerpo intrusivo, que presentaba un grado de alteración meteórica muy superior al del material vulcanosedimentario, como una riolita. Todo el tramo estudiado en esta zona, eran repeticiones de estos materiales de origen volcánico. Unos kilómetros más al este se localizaba una secuencia de rocas carbonatadas. Con todos estos datos se concluyó que las principales litologías del área se correspondían con “tobas finas y metacuarcitas”, “metatobas cristalinas con intercalaciones de riolitas” y “mármoles calcodolomíticos” de acuerdo a la nomenclatura de las cartografías 1:50.000 del IGME descritas en el apartado 3.2.2 de la presente memoria.



**Fig. 3.3.8. Observación de detalle del crecimiento de los cristales de feldespato potásico sin- o pre- con al menos una etapa de foliación. También se aprecian las bandas oscuras con comportamiento magnético.**

En esta campaña campo, paralelamente a la identificación de litologías, se recogieron muestras con mineralizaciones de sulfuros (Fig.3.3.9.), con el objetivo de realizar análisis químicos y establecer su contenidos en los elementos metálicos de interés y, en el caso de que fuera necesario, hacer probetas o láminas delgadas pulidas para un estudio más detallado de la paragénesis metálica. Las muestras encontradas fueron escasas y el sulfuro mayoritario era arsenopirita en una ganga de cuarzo. Este mineral es indicador, aunque no siempre, de la posibilidad de mineralizaciones auríferas.



**Fig. 3.3.9. Ejemplo de muestra de seleccionada para análisis químico con una paragénesis de arsenopirita-cuarzo lechoso.**

Tras esta etapa de recopilación bibliográfica y reconocimiento del terreno se concluyó que en esta zona delimitada inicialmente como área de interés, no había indicios suficientes de mineralizaciones metálicas como invertir más tiempo en ella y, por tanto, en el proyecto de Segura de León no se prosiguió con la exploración.

### *3.3.2. Métodos geofísicos: magnetometría aeroportada*

Los métodos geofísicos se pueden usar en áreas amplias donde los afloramientos son escasos ya que permiten cubrir extensiones de terreno relativamente grandes, con un coste comparativamente bajo, y de manera más o menos rápida. En general, los métodos geofísicos usados en exploración minera buscan la elaboración de mapas con la distribución de una cierta propiedad física de la roca o mineral objeto de búsqueda. Estas propiedades pueden ser, por ejemplo, patrones de reflejo electromagnético, conductividad o susceptibilidad magnética. Esta última propiedad fue la elegida para seleccionar el método geofísico de exploración en la zona de estudio. Como etapas previas de recopilación bibliográfica y reconocimiento del terreno manifestaban que los

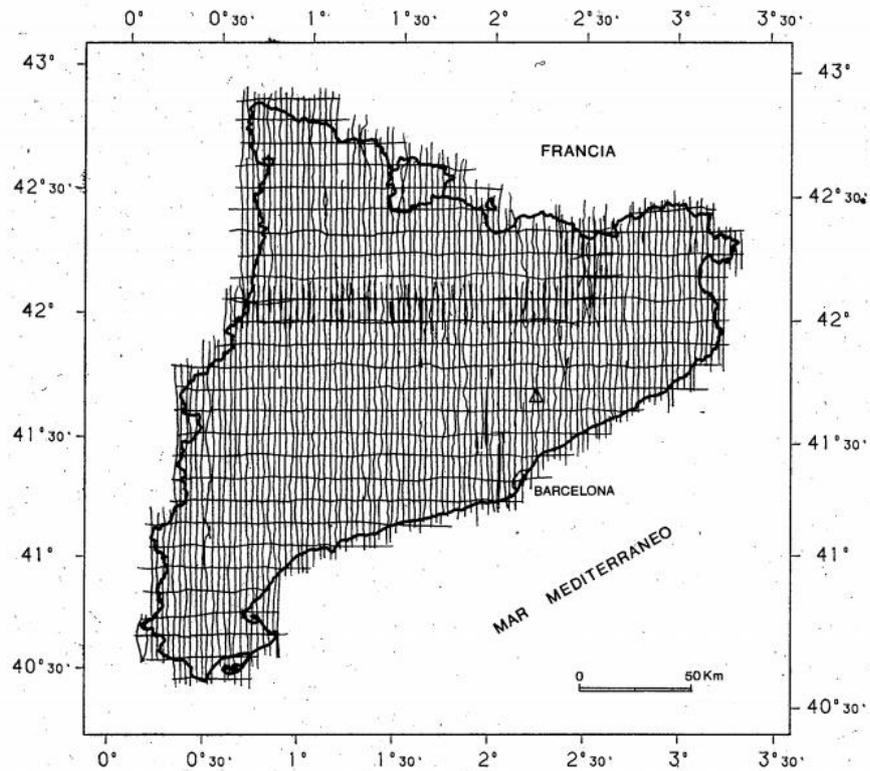
principales indicios de minerales metálicos presentaban minerales con un alto contenido en hierro, se pensó que estos podían dar una buena respuesta a la medida de esta propiedad y que lo mejor era usar un método magnético.

De esta manera se decidió realizar una magnetometría aeroportada y se proyectó un vuelo de susceptibilidad magnética (Fig.3.3.10.) que cubriera toda la zona de estudio. La finalidad era localizar áreas con alto contenido en minerales que dan respuesta magnética alta, como magnetita -  $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}\text{O}_4$  - o pirrotina -  $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$  -. Como ya ha sido mencionado, a partir de la bibliografía consultada así como de las campañas iniciales de campo, se tenía el conocimiento de que estos minerales formaban parte de paragénesis metálicas, tanto de aquellas con cobre donde calcopirita -  $\text{CuFeS}_2$  - era la principal mena, como aquellas con níquel acompañando a la pentlandita -  $(\text{Fe},\text{Ni})_9\text{S}_8$  -.



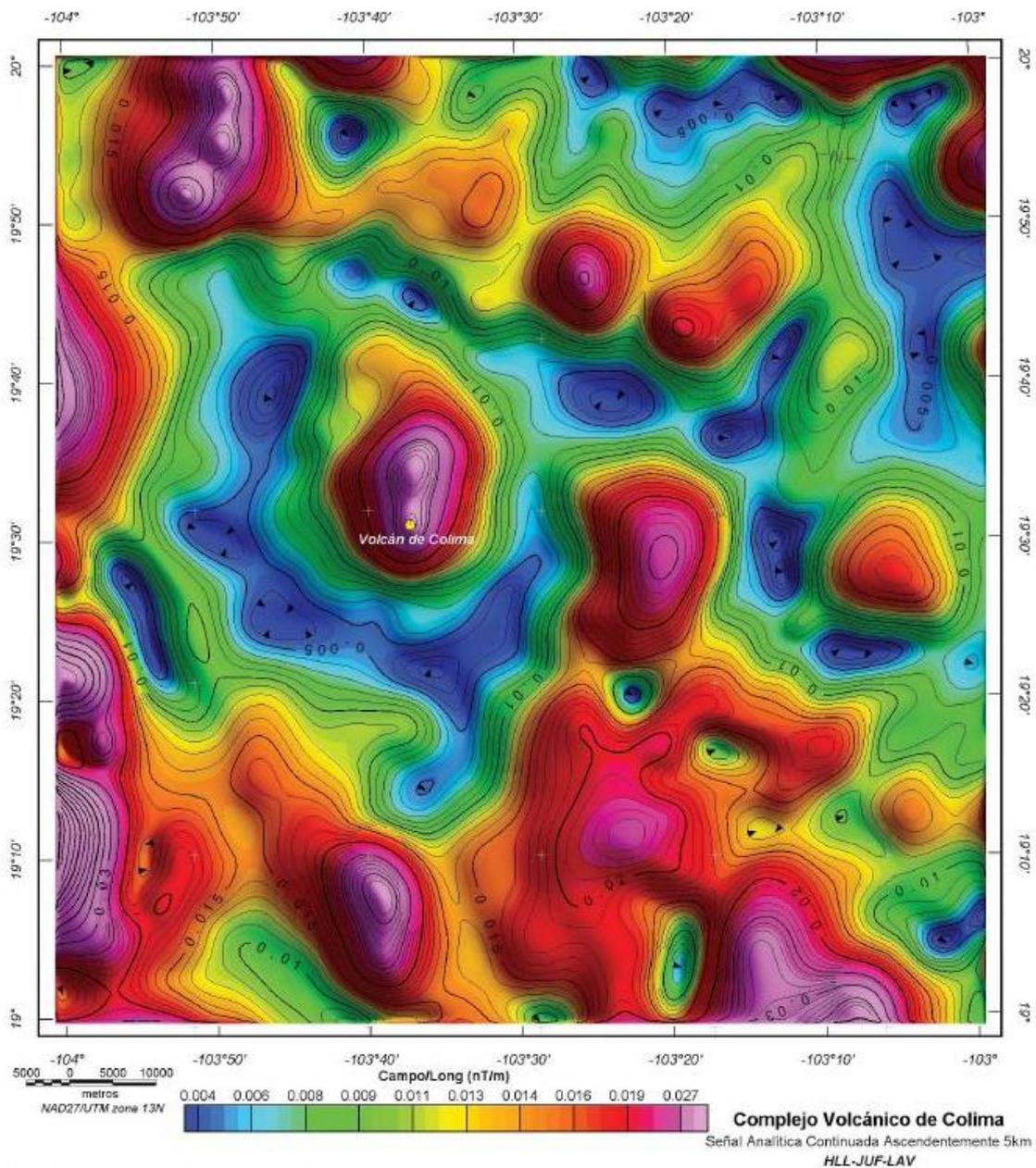
**Fig. 3.3.10. Helicóptero con el que se realizó la magnetometría aeroportada.**

Para planificar el vuelo geofísico se acordaron una serie de trayectorias que debería seguir el helicóptero sobre la zona seleccionada (Fig.3.3.11.). Cuando se hace un vuelo geofísico es interesante cubrir todo el terreno posible para extraer la máxima información del área de interés. Las trayectorias trazadas no se pueden presentar en este trabajo fin de master por ser datos privados de la empresa minera Lundin Mining.



**Fig. 3.3.11. Ejemplo de cómo es la malla o los perfiles seguidos por un vuelo magnético (Zeyen y Banda, 1998). No se trata de la malla real (ver explicación en el texto)**

El tratamiento de los datos tomados durante el vuelo magnético dio como resultado un mapa similar al que se muestra en la figura 3.3.12., en el que se superpone a la topografía del terreno los valores obtenidos de susceptibilidad magnética. De esta forma se pueden delimitar topográficamente las áreas donde se localizan los máximos que, a priori, podrían corresponder con una mayor concentración de paragénesis metálicas ricas en minerales con hierro. El mapa real que se obtuvo no se puede presentar en este trabajo fin de master por el derecho a la privacidad de datos de la empresa minera Lundin Mining.



**Fig. 3.3.12. Ejemplo de un mapa de susceptibilidad magnética (López-Lorea et al., 2011). Los tonos rosados representan los máximos en esta propiedad física mientras que los tonos azules indican mínimos. No se trata del mapa real (ver explicación en el texto)**

A partir de los resultados del vuelo magnético, se planificaron nuevas campañas de campo para analizar en el terreno la causa de las anomalías más altas y confirmar si eran debidas a la presencia de mineralizaciones metálicas magnéticas. Pero también para identificar los minerales causantes ya que, por ejemplo, las anomalías debidas a la presencia de magnetita diseminada en una roca tenían mucho menor interés que aquellas originadas por la presencia de paragénesis con magnetita o con pirrotina acompañando a calcopirita o pentlandita.

## Proyecto San Jorge

Esta área no había sido clasificada de interés en la etapa previa descrita en el apartado 3.3.1. de recopilación bibliográfica y reconocimiento del terreno. Sin embargo, el vuelo magnético entre las poblaciones de Olivenza y San Jorge reveló una importante anomalía de susceptibilidad magnética de modo que era necesario una búsqueda bibliográfica y la planificación de una campaña de campo para averiguar el por qué de esta anomalía magnética.

La bibliografía no recogía la existencia de indicios o labores mineras antiguas en el área. Sin embargo, en su revisión se descubrió que unas antiguas actividades mineras, conocidas como Las Herrerías, donde se extraía magnetita, hematites y barita con algo de pirita (memoria metalogenética de Extremadura), estaban localizadas en el mismo flanco del Anticlinorio de Monesterio-Olivenza. Además su roca de caja era muy parecida a una de las que se describía en las cartografías 1:50.000 del IGME en el entorno de San Jorge. Estos nuevos datos apoyaban la necesidad de planificar una campaña de reconocimiento del terreno y cartografía en la zona de San Jorge. Una vez en el campo, se pudo comprobar que por las características del entorno, con afloramientos muy escasos, una capa de suelo muy potente y mucha vegetación, el uso del Sistema de Posicionamiento Global era decisivo para llevar a cabo una campaña de campo provechosa. Utilizando los equipos receptores GPS, y como se conocía con exactitud la localización geográfica de la anomalía magnética, se reconoció todo el terreno delimitado por los valores magnéticos altos en busca de afloramientos que permitieran identificar los minerales causantes.

La metodología a seguir fue referenciar geográficamente con el dispositivo GPS cualquier afloramiento que se encontrara, por pequeño que fuese. Este punto se anotaba en la libreta de campo y se le añadían los siguientes datos:

- corte geológico esquemático del afloramiento con identificación de estructuras tectónicas (pliegues, foliaciones, fallas u otros tipos de discontinuidades)
- descripción de la roca o rocas aflorantes y asignación de códigos litológicos. Por ejemplo, si era el primer afloramiento encontrado y resultaba ser de caliza, era el punto 001 con el código CZ.
- descripción, en el caso de localizarse, de paragénesis de minerales metálicos
- señalización del punto en un mapa topográfico escala 1:15.000
- muestreo de las diferentes litologías

Acompañando este trabajo de campo se realizaba el trabajo de gabinete que se describe a continuación. Una vez en la oficina, se descargaban los puntos marcados en el

dispositivo GPS al ordenador y, mediante el software de georeferenciación ArcGis, se podían solapar a mapas topográficos, a cartografías geológicas o a fotos aéreas. Por otro lado, se revisaban las muestras de las litologías tomadas en el campo con más detalle (Fig.3.3.13.). Esto tenía como objetivo evitar pasar por alto alguna propiedad de la roca (Ej.: magnetismo o reacción al ácido clorhídrico) que modificará su clasificación y, si este era el caso, se cambiaban los códigos litológicos identificativos.



**Fig. 3.3.13. Trabajo de gabinete: revisión de las litologías muestreadas en el trabajo de campo.**

Las litologías identificadas (figuras 3.3.14. y 3.3.15.) más frecuentes fueron calizas y tufitas. Otras litologías definidas menos abundantes incluyen rocas ígneas, esquistos, calcita y cuarzo. Dentro de las calizas se distinguieron dos tipos a los que se les asignó los códigos LST y GLST. La caliza LST era blanquecina, muy foliada, producía una efervescencia fuerte al reaccionar con el ácido clorhídrico y, ocasionalmente, estaba poco recristalizada. La caliza GLST era más grisácea, menos foliada teniendo un aspecto más masivo. Su reacción al ácido era mucho menor debido, probablemente, a mayor abundancia de dolomita en su composición.

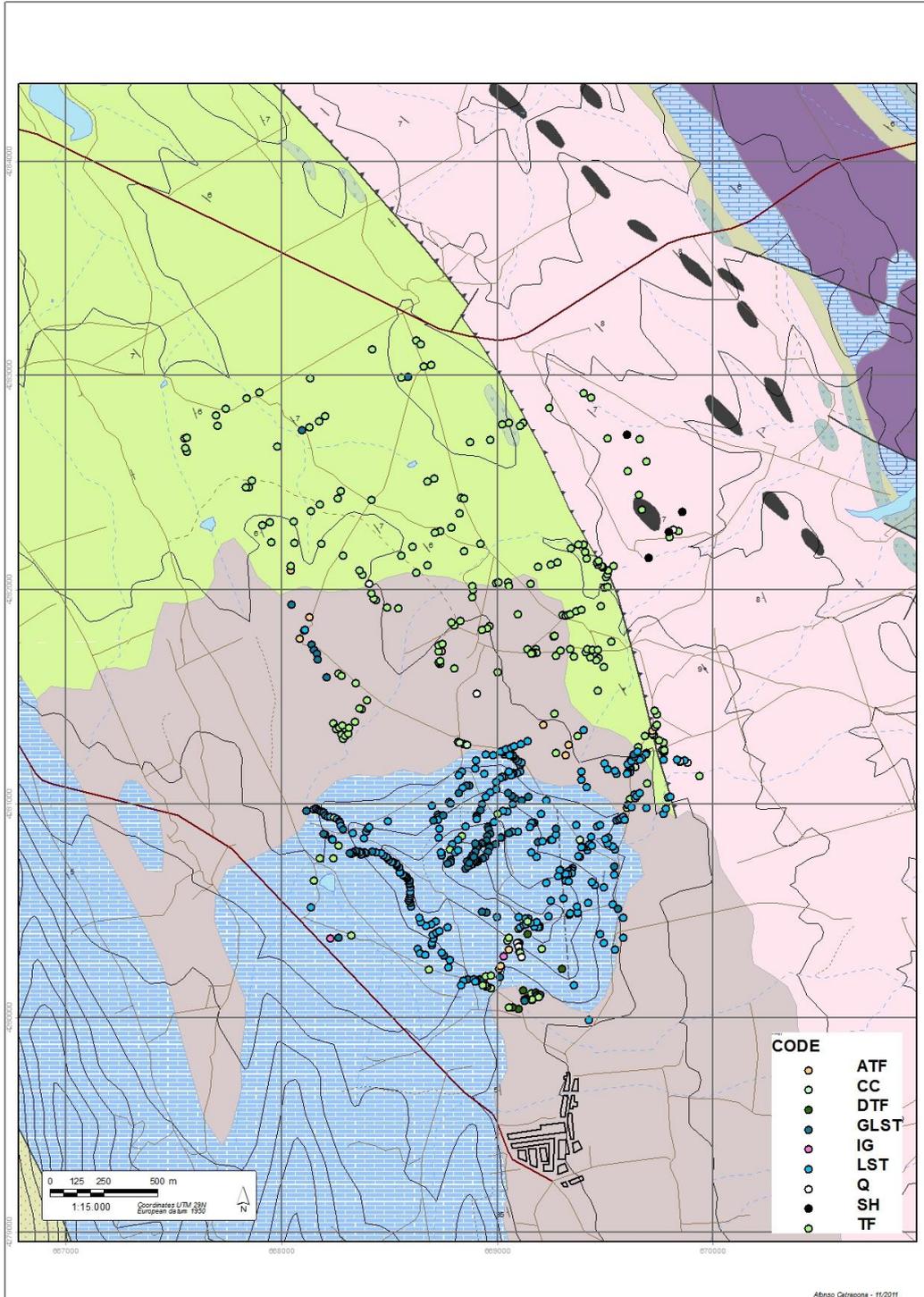
Las tufitas tenían como característica común ser magnéticas debido a la presencia de magnetita diseminada en su mineralogía, no obstante, mostraban variaciones que definieron tres variedades litológicas diferentes TF, DTF y ATF. La tufita TF tenía un color gris verdoso, mostraba un tamaño de grano inferior al milímetro y estaba muy foliada. La tufita DTF tenía una coloración más oscura y su comportamiento magnético era muy acentuado. La tufita ATF estaba fuertemente foliada y tenía un tono rojizo debido a oxidación supergénica de magnetita diseminada.

El tipo litológico al que se le asignó el código “Rocas Ígneas (IG)” afloraba únicamente en un área muy concreta del Proyecto San Jorge. Su aparición fue inesperada dado que las memorias y cartografías revisadas del IGME no hacían mención alguna a este tipo de rocas. En cualquier caso era una roca oscura que estaba constituida mayoritariamente por minerales máficos, probablemente anfíboles, destacaba la presencia de feldespato, posiblemente de plagioclasa, y carecía de cuarzo. La clasificación no se pudo realizar con certeza absoluta porque la roca presentaba un alto grado de alteración meteórica, pero posiblemente, se tratará de un gabro o una anfibolita. Su relación con el resto de rocas del afloramiento, de naturaleza carbonatada, no se pudo establecer con precisión por la mala calidad de afloramiento. No obstante, se interpretó que podría ser un dique de una roca ígnea máfica que intruía las rocas carbonatas.

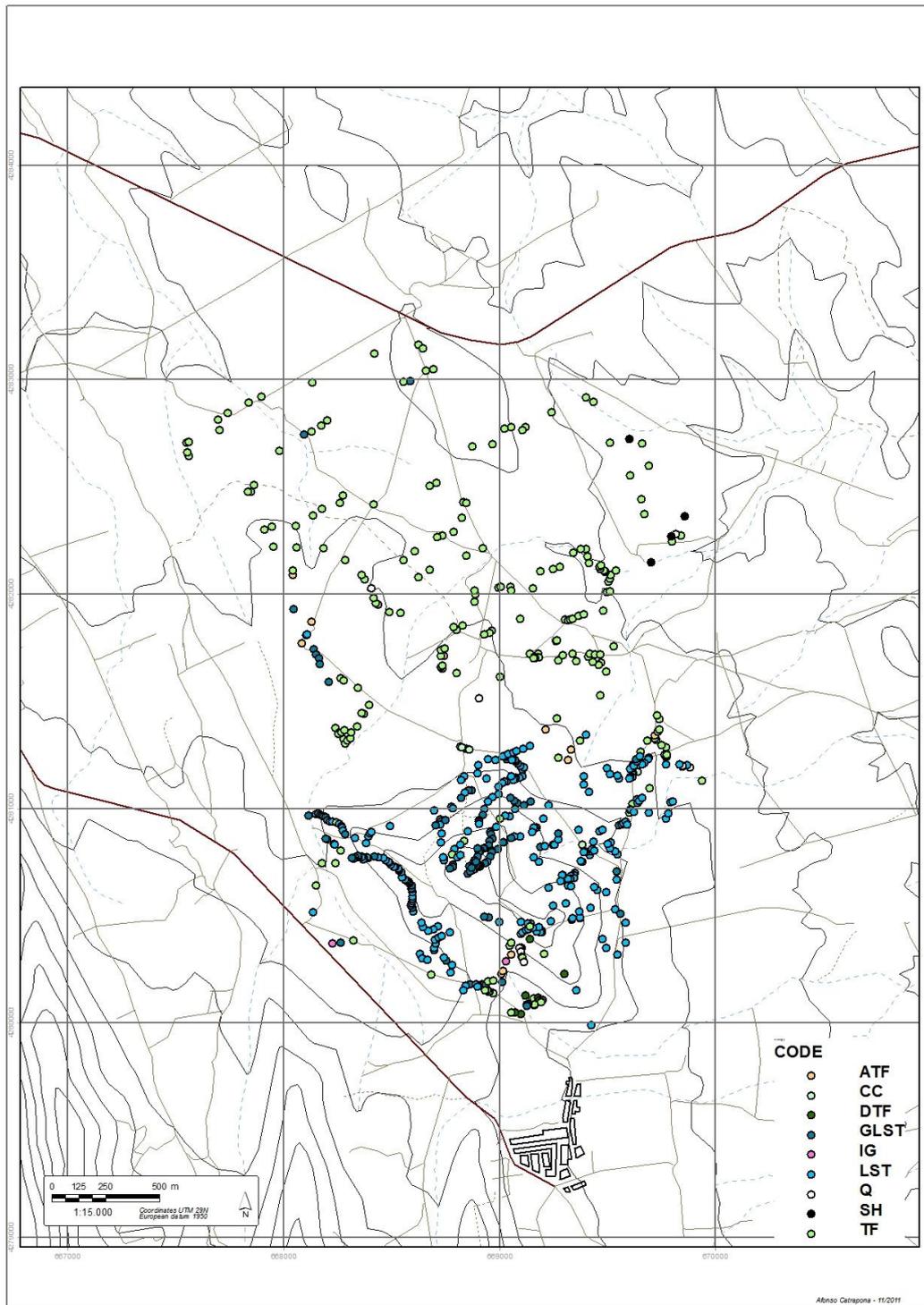
El tipo litológico al que se le asignó la nomenclatura “Esquistos (SH)” se encontró en aquellas zonas donde los valores de susceptibilidad magnética eran menores, y sus afloramientos eran muy puntuales. La roca presentaba una fuerte alteración meteórica que sólo permitía distinguir una intensa foliación. Su mineralogía principal eran micas, mayoritariamente biotita, junto con posiblemente cuarzo y/o feldespato, difíciles de discriminar por la meteorización antes mencionada.

Finalmente los dos tipos litológicos a los que se denominó “Calcita (CC)” y “Cuarzo (Q)” se correspondían con venas rellenas de estos minerales y que se localizaban en el entorno del posible dique de roca máficas (IG). El cuarzo tenía una coloración muy blanca, no presentaba impurezas, y de manera muy esporádica contenía cristales milimétricos de pirita. En la calcita se distinguía claramente su marcada exfoliación romboédrica, reaccionaba con el ácido clorhídrico, y mostraba algunas impurezas en forma de óxidos de hierro y/o de manganeso.

Los trabajos de campo y de gabinete descritos previamente se plasmaron en cartografías como la que se muestra en la figura 3.3.14. En esta se puede observar la geología regional del área de estudio, con los afloramientos geo-referenciados localizados en la campaña de campo e identificados por un código relacionado con su clasificación litológica. Esta metodología de trabajo resultó ser muy efectiva, ya que permitió, en un tiempo relativamente corto, correlacionar con mayor facilidad la geología del área de interés. En consecuencia, elaborar una interpretación geológica propia sobreponiendo los puntos georeferenciados con el mapa topográfico de la zona (Fig.3.3.15.) El resultado de dicha interpretación no se puede mostrar en este trabajo debido a que se trata de información privada de la empresa Lundin Mining.



**Fig. 3.3.14. Mapa geológico con la cartografía del IGME, a la cual se superponen las litologías identificadas durante el trabajo de campo. Dicho mapa fue elaborado mediante el programa informático ArcGis. De acuerdo con la memoria del IGME, la leyenda de este mapa es la siguiente: azul, dolomías y calizas masivas (Cámbrico inferior); gris, coluvial, cantos con bloques arcillas y limos (Holoceno); verde claro, grauvacas y pizarras versicolores. Esquistos de Jerez (Cámbrico inferior); rosa, Serie Negra, esquistos, pizarras y cuarcitas negras (Neoproterozoico); negro, cuarcitas negras (Neoproterozoico); verde: vulcanitas básicas (Cámbrico inferior)**



**Fig. 3.3.15. Superposición de las muestras tomadas y georeferenciadas durante la campaña de campo a la topografía del área de estudio. Realizado con ArcGIS.**

Los trabajos realizados certificaron que la anomalía de susceptibilidad magnética evidenciada en el vuelo magnético entre las poblaciones de Olivenza y San Jorge era debida únicamente a la presencia de magnetita. Pero también que el modo de distribución de este mineral, tanto como cristales diseminados, principalmente, en las tufitas o como escasos cristales aislados, no hacían que resultara un objetivo rentable

para su explotación. En base a esto, se decidió finalizar la exploración en esta área y continuar la búsqueda de mineralizaciones en otros proyectos.

En el caso del Proyecto San Jorge no se obtuvieron los resultados deseados, sin embargo, hubo otros proyectos en donde las observaciones de campo revelaron la presencia de mineralizaciones metálicas con abundante presencia de calcopirita. Este hecho provocó que en estas regiones se decidiera continuar con la exploración y, por lo tanto, realizar estudios más específicos y detallados basados en métodos geoquímicos tales como geoquímica de suelos o geoquímica procedente de muestreo de rozas.

### 3.3.3. *Métodos geoquímicos: geoquímica de suelos*

La geoquímica de suelos se utilizó en aquellas áreas donde la combinación de todos los datos obtenidos por los métodos previamente descritos llevaron a localizar paragénesis portadoras de metales base y preciosos como Cu, Ni, Au, Ag o Zn. Por tanto, indicadoras de la presencia de posibles mineralizaciones metálicas explotables. La finalidad de este método era revelar si los indicios descubiertos tenían continuidad en superficie, o bien, eran apariciones puntuales. Así se podrían detectar y delimitar posibles anomalías positivas de los elementos metálicos antes mencionados.

Este método requiere un muestreo puntual y continuo de una determinada cantidad de suelo (Fig.3.3.16.). Antes de planificar la campaña de recogida de las muestras hubo que ir al campo y revisar el área. La explicación a esto es que puede ocurrir que la localización geográfica donde el vuelo magnético da los valores más altos de susceptibilidad magnética, sea una montaña o un relieve rocoso en el que no haya desarrollo de suelo y, por tanto, este no puede ser muestreado. Por esta razón, muchas veces la malla de recogida de muestra de suelos no puede superponerse exactamente a los valores positivos más altos de anomalía magnética. A fin de evitar esa pérdida de información, lo que se hizo es intentar situar puntos de muestreo en las superficies de escorrentía del agua de lluvia del área con la anomalía magnética. De este modo, cuando llueve, el agua de escorrentía circulará por el área con el valor más alto de anomalía magnética y, si contiene elementos metálicos indicadores de mineralizaciones, se verá reflejado en los suelos de las superficies mencionadas.



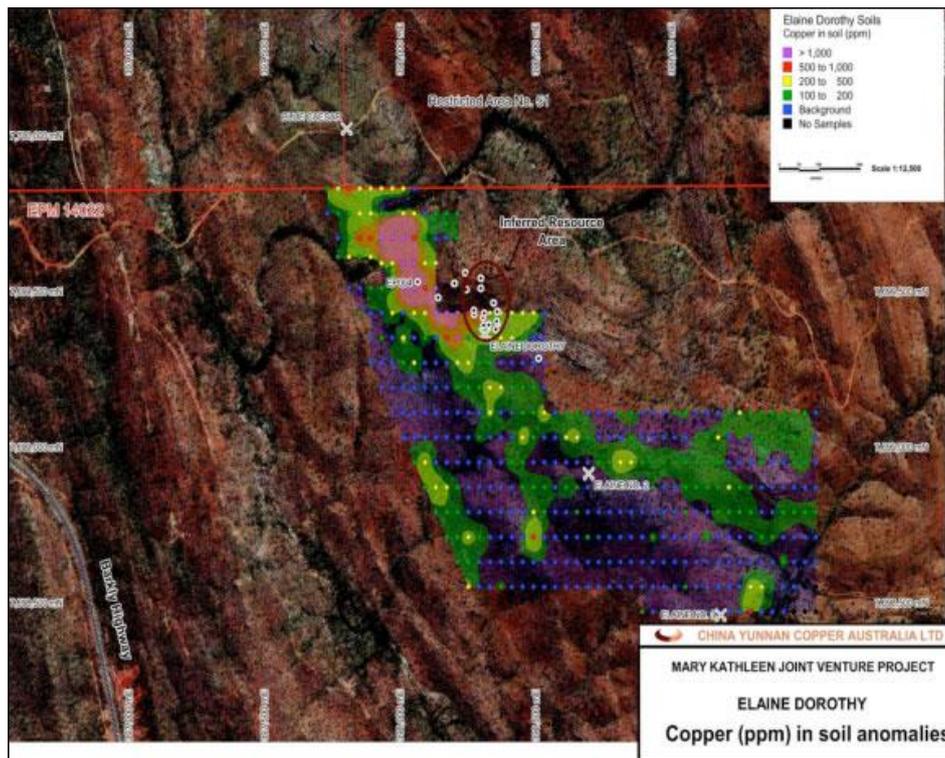
**Fig. 3.3.16. Ejemplo de malla de muestreo, los puntos en amarillo representa la localización geográfica donde se debe recoger la muestra.**

Una vez diseñada la malla de muestreo (Fig.3.3.16.), los puntos se referencian geográficamente y, a partir de este momento, ya se puede ir al campo a recoger las muestras de suelos. La metodología del muestreo consistió en localizar el punto de toma de cada muestra mediante un dispositivo receptor GPS y acopiar la muestra que se obtiene de cavar un hoyo. La profundidad de este depende de las características del suelo, ya que se debe profundizar hasta encontrar el horizonte del suelo no alterado para evitar posibles contaminaciones. La herramienta que se utiliza es una azada y la muestra, cuya cantidad varía entre 1 y 3kg, se guarda en sacos de tela que se etiquetan y referencian geográficamente (Fig.3.3.17.). Estas muestras se envían a laboratorio para un análisis químico multielemental.



**Fig. 3.3.17. Toma de muestras en la campaña de geoquímica de suelos.**

El trabajo de gabinete posterior se llevó a cabo con el programa informático ArcGis. Con este software las muestras se superponen a diferentes capas de información referenciada geográficamente, en este caso al mapa topográfico, al geológico y al de anomalías se susceptibilidad magnética obtenido en la magnetometría aeroportada. Finalmente, con los resultados del análisis multielemental de las muestras de suelos recogidas, se realizaron mapas de distribución de la concentración del metal o metales prospectados. Así, las anomalías de cada metal fueron delimitadas geográficamente y cada metal daría lugar a un mapa similar al que se observa en la figura 3.3.18. Los mapas auténticos de anomalías de metales no se puede presentar en este trabajo fin de master por el derecho a la privacidad de datos de la empresa minera Lundin Mining, Los resultados de la geoquímica de suelos revelaron una distribución irregular de las anomalías positivas de los diferentes metales prospectados.



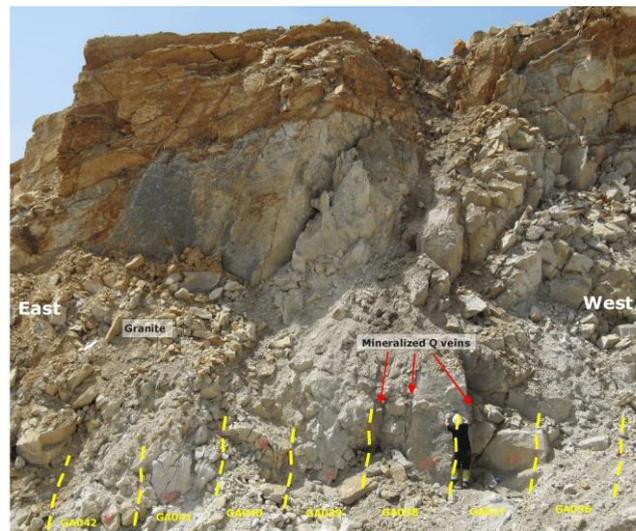
**Fig. 3.3.18.** Ejemplo de un mapa de anomalías de cobre a partir de una malla de muestreo de geoquímica de suelos, los contenidos más altos en cobre están representados en rojo.

**Fuente:** [http://www.cycal.com.au/irm/content/spanish/projects\\_marykathleen.html](http://www.cycal.com.au/irm/content/spanish/projects_marykathleen.html).

No se trata de los datos correspondientes a este estudio (ver explicación en el texto)

#### 3.3.4. Otros métodos geoquímicos: geoquímica de arroyos y de muestreo de rozas

La geoquímica en muestreos de rozas se aplicó en afloramientos concretos del área de estudio donde, tras alguno de los métodos descritos a lo largo de este capítulo, se localizaron mineralizaciones metálicas. Este tipo de muestreo requería de buenos afloramientos que mostraran un corte vertical de la roca mineralizada. En estos casos, se trazaron líneas de muestreo de un metro de largo perpendiculares a la dirección principal de las estructuras mineralizadas (Fig.3.3.19.). Estas líneas sirven de guías para arrancar la roca mediante cincel y martillo. Al mismo tiempo que uno de los ayudantes va arrancando la muestra, el otro se encarga de ir recogiéndola con una bandeja metálica de bordes redondeados para evitar que parte de ella se pierda. Dicha bandeja se limpia antes de tomar la siguiente muestra.



**Fig. 3.3.19. Muestreo en rozas: líneas de muestreo perpendiculares a la dirección principal de las estructuras mineralizadas, en este caso venas de cuarzo.**

El conjunto de muestras es enviado al laboratorio para realizar un análisis de los metales que interesen. Los resultados de estos análisis son muy puntuales por lo que la concentración del metal/metales puede ser llegar a ser anómalamente alta. No obstante, obtener valores muy altos es motivo suficiente como para valorar la posibilidad de hacer una campaña de geoquímica de suelos en el área.

En cuanto a la geoquímica de arroyos, este es un método relativamente barato que permite obtener resultados en un periodo de tiempo corto y que se puede aplicar durante las primeras etapas de reconocimiento del terreno. Su finalidad es localizar anomalías positivas en concentración de metales a partir de muestras recogidas en puntos de la red de drenaje del área de interés. Aunque la muestra se toma del sedimento del arroyo, como dicho sedimento proviene de las laderas del valle, los valores de concentración de los metales corresponderán a los de los suelos de las laderas más cercanas al punto de recogida de la muestra.

La toma de muestras consiste en recoger una cantidad representativa de aproximadamente un kilogramo de los sedimentos depositados por el arroyo en los diferentes puntos seleccionados. Estos sedimentos se pasan por un tamiz con una luz de malla de 1 mm (Fig.3.3.20.) y lo que sale del tamiz, es decir, todas aquellas partículas inferiores a 1mm, se introduce en una bolsa de poliéster debidamente etiquetada. El conjunto de muestras (Fig.3.3.21.) es enviado a un laboratorio para realizar un análisis multielemental. Posteriormente, con los datos analíticos, se construyen mapas de anomalías geoquímicas tal y como se describió para la geoquímica de suelos.



**Fig. 3.3.20. Recogida de muestras de geoquímica de arroyos: tamizado de los sedimentos del arroyo.**



**Fig. 3.3.21. Muestras procedentes de la campaña de geoquímica de arroyos, georeferenciadas, etiquetadas y preparadas para enviar al laboratorio para su análisis multielemental.**

El inconveniente de esta técnica es que se ve condicionada por la climatología y las características del entorno geográfico puesto que necesita de lluvias abundantes y una red de drenaje importante. Por esta razón, en la exploración minera en Extremadura sólo se podría haber empleado durante la primavera o el otoño. De hecho, si la campaña de exploración de la empresa en esta zona hubiese coincidido con las estaciones húmedas se podría haber utilizado. Pero ni las condiciones climatológicas eran las óptimas, ni se quería correr el riesgo de empezar una campaña de recogida de muestras y depender de la climatología para poder acabarla. Por estas razones se decidió realizar el vuelo magnético, de coste mucho más elevado, pero sin estos inconvenientes. Y con más

capacidad de cubrir un área tan extensa como la del Antiforme de Olivenza-Monesterio en un tiempo relativamente rápido. No obstante, aunque no fue usado en la exploración en la Zona de Ossa Morena, el autor del presente trabajo realizó geoquímica de arroyos en campañas de exploración que la empresa desarrolló en otras regiones de España, más adecuadas para su utilización, como Galicia (figuras 3.3.20. y 3.3.21.).

#### 4. CONCLUSIONES

La metodología seguida en esta campaña de exploración minera en la Zona de Ossa Morena permitió, a través de la recopilación bibliográfica, familiarizarse con el contexto geológico y localizar los diferentes indicios de antiguas labores mineras. Con dicha información y el uso del método geofísico de magnetometría aeroportada, se delimitaron aquellas zonas con mayor probabilidad de presencia de mineralizaciones metálicas y se desarrolló una exploración regional centrada en el Antiforme de Olivenza-Monesterio. Una vez delimitadas geográficamente las diferentes áreas de interés en la región, se desarrolló una campaña de campo en la que se identificaron litologías, rasgos estructurales y paragénesis de minerales metálicos.

Aquellas áreas en las que las observaciones de campo permitieron clasificarlas como favorables a presentar anomalías en los metales prospectados, principalmente cobre pero también oro y níquel, se aplicaron métodos de exploración geoquímica. Estos se eligieron en base a las posibilidades que permitía el terreno, así en puntos concretos donde existían buenos afloramientos de estructuras con paragénesis metálicas se llevó a cabo una geoquímica a partir de un muestreo en rozas. Sin embargo, se descartó realizar una geoquímica de arroyos. La razón fue que, pese a ser un método relativamente barato que permite obtener información de grandes extensiones de terreno de manera más o menos rápida, la climatología durante la estación del año que la empresa había fijado para hacer la campaña de exploración y la orografía de Extremadura no eran favorables para su utilización. Finalmente, la geoquímica de suelos resultó ser el método seleccionado para delimitar geográficamente las concentraciones más altas o anomalías positivas de los elementos metálicos prospectados.

La valoración de los datos obtenidos a partir de todos los métodos presentados en este trabajo fin de master deberían aportar la información suficiente como para decidir o no la realización de una campaña de sondeos. Este es el último paso para dar dimensiones a un cuerpo mineralizado y hacer el cálculo de reservas, es decir, valorar económicamente una mineralización y determinar si la explotación sería rentable. En el caso que nos ocupa, se tomó la decisión de no hacer sondeos debido a que en ninguna de las campañas de geoquímica de suelos se obtuvieron valores de concentración suficientemente altos en los elementos metálicos que eran objetivo para la empresa. La exploración minera en esta zona se dio por finalizada en esta etapa.

No obstante, se delimitaron algunas anomalías positivas con valores de concentración de metales realmente altos, sin embargo, la empresa no vio motivos suficientes para subir el siguiente peldaño y llevar a cabo sondeos en dichas localizaciones. Un factor importante en esta decisión fue probablemente la bajada de precio en el mercado de los

metales, concretamente cobre y oro, durante el desarrollo de esta campaña de exploración. En situaciones de este tipo, las empresas mineras suelen tender a recortar el presupuesto en los departamentos de exploración. Como consecuencia, para justificar la inversión de dinero en una campaña de sondeos, requieren que los indicios establecidos con los métodos previos tengan concentraciones más altas del metal en cuestión de las que se aceptarían en una situación de mayor estabilidad de precios de mercado.

De todos modos, la campaña de exploración llevada en esta extensa zona aportó gran cantidad de datos además de dejar constancia de la existencia de varios indicios de interés. Así la empresa tiene información válida para poder reemprender la investigación en otro momento.

Finalmente y respecto a la modelización de yacimientos, mencionar que únicamente en dos de los indicios se obtuvieron datos suficientes que permitieran la modelización de la mineralización. En un caso como tipo Skarn y en el otro como tipo BIF (Banded Iron Formation). Entre las observaciones que llevaron a la interpretación de una de estas mineralizaciones como tipo skarn están: (1) presencia de una intrusión granodiorítica con un encajante carbonatado que tenía evidencias de metamorfismo de contacto, desarrollándose mármoles y corneanas; (2) identificación de calcosilicatos como epidota y granates cálcicos acompañando pirita y, puntualmente, calcopirita. En cuanto a mineralización de tipo BIF, se aplicó a rocas con alta presencia de hematites y un contenido en magnetita superior al 60% que les otorgaba una densidad muy elevada. De forma ocasional, este tipo de litologías tenía cobre nativo diseminado. Lamentablemente no se pudo verificar y/o cuantificar la presencia de estos posibles yacimientos debido a que no se llegó a la etapa avanzada de campaña de sondeos, a través de la cual se hubiese podido corroborar o desmentir la posible presencia de dichos yacimientos y cuantificar sus reservas en minerales metálicos explotables.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Ábalos, B. (1990): *Cinemática y mecanismos de la deformación en régimen de transpresión. Evolución estructural y metamórfica de la Zona de Cizalla Dúctil de Badajoz-Córdoba*. Tesis Doctoral, Univ. País Vasco, 430 p.

Apalategui, O., Borrero, J. e Higuera, P. (1985): División en grupos de rocas en Ossa-Morena Occidental. *5ª Reunión del Grupo de Ossa-Morena, Temas Geológicos-Mineros*, IGME, Madrid, 73-80.

Arriola, A., Eguiluz, L., Fernández-Carrasco, J. y Garrote, A. (1984): Individualización de diferentes dominios y unidades en el anticlinorio de Olivenza-Monesterio. *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 8: 147-168.

Carriedo, J. y Tornos, F. (2007): Complex structural and hydrothermal evolution of the Cala magnetite deposit, SW Iberia: an IOGC deposit?. *Diggin Deeper. Proceedings of the Ninth Biennial SGA Meeting*, Dublín, 2: 1351-1354

Carriedo, J y Tornos, F. (2010): The iron oxide copper-gold belt of the Ossa-Morena Zone, southwest iberia: Implications for IOCG genetic models. En: Porter, T.M. (ed.), *Hydrothermal Iron Oxide Copper-Gold & Related Deposits: A Global Perspective*, PGC Publishing, Adelaide, 3: 1-20.

Carvalhosa, A. (1965): Contribução para o conhecimento geológico da ragiao entre Portel e Ficalho (Altentejo). *Mem. Serv. Geol. Portugal*, 2: 1-30.

Casquet, C. (1980): *Fenómenos de endomorfismo, metamorfismo y metasomatismo de contacto en los mármoles de Rivera de Cala (Sierra Morena)*. Tesis Doctoral, Univ. Complutense de Madrid, 259 p.

Castro, A. (1981): *Estudio petrológico del área de Barcarrota-Higuera de Vargas (Badajoz, Sierra Morena Occidental)*. Tesis de Licenciatura, Univ. Salamanca.

Canales, A. M. y Matas, J. (1992): Anomalías de Au en el flanco Sur del Anticlinorio de Olivenza-Monesterio. En: Rábano, I. y Gutiérrez Marco, J. C. (eds.): *Libro de Resúmenes, VIII Reunión de Ossa Morena*, 53.

Casquet, C., Galindo, C., Tornos, F., Velasco, F. y Canales, A. (2001): The Aguablanca Cu-Ni ore deposit (Extremadura, Spain), a case of synorogenic orthomagmatic

mineralization: age and isotope composition of magmas (Sr, Nd) and ore (S). *Ore Geology Reviews*, 18: 237-250.

Coma, F., Alberdi, T., Matas, J., Pérez, H. y Vaquero, A. (1988): Estado de la investigación sobre las mineralizaciones de oro en el anticlinorio Olivenza-Monesterio. *Actas VIII Congreso Internacional Minería Metalurgia*.

Delgado-Quesada, M., Liñán, E., Pascual, E. y Pérez-Lorente, F. (1977): Criterios para la diferenciación de dominios en Sierra Morena Central. *Studia Geol. Salmant.*, 12: 75-90.

Dupont, R. (1979): *Cadre géologique et métallogénèse des gisements de fer du Sud de la province de Badajoz (Sierra Morena Occidentale, Spagne)*. Tesis Doctoral, I.N.P., Lorraine, 371 p.

Dupont, R. y Vegas, R. (1978): Le Cambrien inferieur du Sud de la province de Badajoz. Distribution des series sédimentaries et volcaniques associeés. *C.R. Acad. Sci. Paris*, 286 : 447-450

Eguiluz, L. (1987): *Petrogénesis de rocas ígneas y metamórficas en el antifirme de Burguillos Monesterio. Macizo Ibérico Meridional*. Tesis Doctoral, Univ. País Vasco, 649 p.

Expósito, I. (2000): *Evolución estructural de la mitad septentrional de la Zona de Ossa-Morena, y su relación con el límite Zona de Ossa-Morena / Zona Centroibérica*. Tesis Doctoral, Univ. Granada, 296 p.

Expósito, I., Simancas, J.F., González Lodeiro, F., Bea, F., Montero, P. y Salman, K. (2002): Metamorphic and deformational imprint of Cambrian-Lower Ordovician rifting in the Ossa-Morena Zone (Iberian Massif, Spain). *Jour. Struct. Geol.*, 25: 2077-2087.

Fricke, W. (1941): *Die Geologia des Grenzgebietes zwishen nordostlicher Sierra Morena und Extremadura*. Tesis Doctoral, Univ. Berlín, 91 p.

Gabaldón, V., Garrote, A. y Quesada, C. (1985): Geología del Carbonífero Inferior del Norte de la Zona de Ossa-Morena. Introducción a la excursión. *5ª Reunión Grupo Ossa-Morena, Temas Geológicos y Mineros*, IGME, Madrid, 101-137.

Galindo, C. (1989): Granitoides tipo A en el cierre W del anticlinorio Olivenza-Monesterio. *Mem. Not. Publ. Mus. Lab. Min. Geol. Univ. Coimbra*, 108: 33-38.

Galindo, C. y Casquet, C. (1985): Caracterización geoquímica del Complejo Plutónico Táliga-Barcarrota (Badajoz). *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 9: 46-62.

García Casquero, J.L. (1991): *El Complejo Plutónico de Burguillos del Cerro (Badajoz. Un macizo político y poliintrusivo en la cadena Hercínica Ibérica*. Tesis Doctoral, Univ. Salamanca, 376 p.

Gómez-Pugnaire, M.T., Azor, A., López Sánchez Vizcaíno, V. y Soler, M. (2003): The amphibolites from the Ossa-Morena/Central Iberian Variscansuture (Southwestern Iberian Massif): geochemistry and tectonic interpretation, *Lithos*, 68: 23-42.

Liñán, E. (1984): Los ichnofósiles de la Formación Torreárboles (Precámbrico?-Cámbrico inferior) en los alrededores de Fuente de Cantos, Badajoz. *Cuad. Lab. Xeol. Laxe*, 8: 283-314

Liñán, E. y Quesada, C. (1990): Stratigraphy: Rift Phase (Cambrian). En: Dallmeyer, R.D. y Martínez García, E. (eds.), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, Springer-Verlag, Berlín, 259-271.

López-Lorea, H., Urrutia-Fucugauchi, J. y Alva-Valdivia, L. (2011): Estudio aeromagnético del complejo volcánico de Colima, occidente de México – implicaciones tectónicas y estructurales. *Rev. Mex. Cienc. Geol.*, 28/3: 349-370.

Lotze, F. (1945): Zur Gliederung der Varisziden der Iberischen Meseta. *Geotekt. Frosch.*, 6: 78-92. (Traducido al español en *Publ. Extr. Geol. España*, 5: 149-166).

Mapa Geológico 1:50.000 de Higuera La Real (hoja y memoria explicativa 0896). IGME. Madrid

Mapa Geológico 1:50.000 de Alconchel (hoja y memoria explicativa 0827) IGME, Madrid.

*Mapa metalogenético de Extremadura* (s.d.), Junta de Extremadura.

Mata, J. y Munhá, J. (1990): Magmatogénesis de Metavulcanitos Cambrios del Nordeste Alentejano: los estadios iniciales de rifting continental. *Comun. Serv. Geol. Portugal*, 76: 61-89.

Oschner, A. (1993): *U-Pb geochronology of the Upper Proterozoic lower Paleozoic geodynamic evolution in the Ossa-Morena Zone (SW Iberia): Constrains on the Timing of the Cadomian Orogeny*. Tesis Doctoral, Univ. Zürich, 248 p.

Pons, J. (1975): Pétrofabrication des roches éruptives dans les complexes de Quérigut (Ariège, France) et de Burguillos del Cerro (Badajoz, Espagne). *Travaux Lab. Géologie-Pétrologie Univ. Paul Sabatier*, 128: 209-223.

Pons, J. (1982): *Un modèle d'évolution de complexes plutoniques: Gabros et granoitoïdes de la Sierra Morena Occidentale (Espagne)*. Tesis Doctoral, Univ. Toulouse, 2 vol., 451 p.

Quesada, C. (1989): Paleozoic tectono-thermal evolution of Iberian Massif from terrane perspective. *28th. International Geological Congress*. Washington D.C., 2: 648

Quesada, C. (1990): Precambrian successions in SW Iberia: their relationship to Cadomian orogenic events. En: D'Lemos, R.S., Strachan, R.A. y Topley, C.G. (eds.), *The Cadomian Orogeny*, Geol. Soc. (London), Sp. Publ., 51: 353-362.

Quesada, C. (1991): Geological constraint on the Paleozoic tectonic evolution of tectonostratigraphic terranes in Iberian Massif. *Tectonophysics*, 185: 225-245.

Quesada, C. (1992): Evolución Tectónica del Macizo Ibérico (Una historia de crecimiento por acreencia sucesiva de terrenos durante el Proterozoico Superior y el Paleozoico. En: Gutiérrez-Marco, J.G., Saavedra, J. y Rábano, I. (eds.), *El Paleozoico Inferior de Ibero-América*, Univ. Extremadura, Cáceres, 173-187.

Quesada, C., Apalategui, O., Eguiluz, L., Liñan, E. y Palacios, T. (1990): Ossa Morena Zone. 2. Stratigraphy. 2.1. Precambrian. En: Dallmeyer, R.D. y Martínez-García, E. (eds.), *Pre-Mesozoic Geology of Iberia*, Springer-Verlag, Berlín, 252-258.

Quesada, C. y Dallemeyer, R.D. (1994): Tectonothermal evolution of the Badajoz-Córdoba shear zone (SW Iberia): characteristics and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  mineral age constrains. *Tectonophysics*, 231: 195-213.

Ribeiro, A., Kullberg, M.C., Kullberg, J.C., Manuppella, G. y Phipps, S. (1990): A review of alpine tectonics in Portugal: foreland detachment in basement and cover rocks. *Tectonophysics*, 184: 357-366.

Romero, I., Lunar, R., Capote, R., Quesada, C., Dunning, G.R., Piña, R. y Ortega, L. (2006) : U-Pb age constraints on Variscan magmatism and Ni-Cu-PGE metallogeny in the Ossa-Morena Zone (SW Iberia). *Jour. Geol. Soc.*, 163: 837-846.

Salman, K. (2002): *Estudio petrológico, geoquímico y geocronológico de los granitoides del área Monesterio-Cala, Zona de Ossa-Morena* (Macizo Ibérico). Tesis Doctoral, Univ.Granada, 232 p.

Sánchez-García, T., Quesada, C., Bellido, F. y González del Tángano, J. (2008): Two-step magma flooding of the upper crust during rifting: The Early Paleozoic of the Ossa Morena Zone (SW Iberia). *Tectonophysics*, 461: 72-90.

Simancas, J.F., Carbonell, R., González Lodeiro F., Pérez Estaún, A., Juhlin, C., Ayarza, P., Kashubin, A., Azor, A., Martínez Poyatos, D., Almodóvar, G.R., Pascual, E., Sáez, R. y Expósti, L. (2003): The Crustal Structure of the Transpressional Variscan Orogen of SW Iberia: The IBERSEIS Deep Seismic Reflection Profile. *Tectonics*, 22/6: 1062, doi:10.1029/2002TC001479.

Tornos, F., Inverno, C.M.C., Casquet, C., Mateus, A., Ortiz, G. y Oliveira, V. (2004): The metallogenic evolution of the Ossa-Morena Zone. *Journal of Iberian Geology*, 30: 143-181.

Velasco, F. (1976): *Mineralogía y Metalogenia de los skarns de santa Olalla (Huelva)*. Tesis Doctoral, Univ. País Vasco, 290 p.

Vera, J.A. (ed.) [2004]: *Geología de España*, IGME y SGE, Madrid.

Zeyen, H. J. y Banda, E. (1998): Cartografía geofísica en Cataluña. I: El mapa aeromagnético. *Rev. Soc. Geol. España*, 1, (1-2): 73-79.

[http://www.cycal.com.au/irm/content/spanish/projects\\_marykathleen.html](http://www.cycal.com.au/irm/content/spanish/projects_marykathleen.html)